

A solid blue square is positioned to the left of the title text.

**Étude pré-diagnostique du service d'eau de la ville
de Sikasso au Mali, propositions de stratégie
et mesures d'amélioration**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION : Eaux Souterraines

Présenté et soutenu publiquement par

Ulrich CHITOU

Travaux dirigés par :

Mr Lawani A. MOUNIROU, Enseignant – Chercheur en Hydraulique générale et appliquée
Département Hydraulique

Mr Bega OUEDRAOGO

Mr. Bertrand KPELI, Ingénieur Génie Rural/Chef projet à CINTECH

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Mahamadou KOITA

Membres et correcteurs : Dr Lawani A. Mounirou

Mr Bega OUEDRAOGO

Mr Bertrand KPELI

[Promotion 2014-2015]

REMERCIEMENTS

Pour l'aboutissement de mon projet de fin d'étude, mes remerciements vont à l'endroit de

- Monsieur Marius GAGRE, Directeur Général de CINTECH qui nous a donné l'opportunité de ce stage au sein de sa structure ;
- À tous les Ingénieurs du département Hydraulique de CINTECH, Monsieur Bertrand KPELI, Monsieur Homère OUEDRAOGO, Monsieur Alex TAGOUKAM pour leurs conseils, leur disponibilité, leur soutien ainsi que les recommandations dans la conduite de ce projet d'étude ;
- Docteur Lawani A.MOUNIROU Enseignant-chercheur en Hydraulique générale à l'Institut International de l'Environnement et de l'Eau pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils ;
- Monsieur Bega OUEDRAOGO pour l'encadrement et les nombreux conseils reçus
- À tout le personnel de CINTECH pour leur bonne collaboration ainsi que le bon environnement dans lequel j'ai pu réaliser ce projet de fin d'étude.

À tous ceux qui m'ont été d'une aide pour ce stage, je vous prie de recevoir l'expression de ma gratitude

RÉSUMÉ

L'eau, source de vie est un besoin vital pour tout être humain. L'apport de cette ressource aux populations nécessite la réalisation d'infrastructures hydrauliques telles que les réseaux d'adduction d'eau potable.

En effet l'un des objectifs du millénaire pour le développement visé par les pays en développement dont le Mali est la réduction de moitié des populations n'ayant pas accès à l'eau potable. Cependant l'atteinte de ces objectifs est confrontée à plusieurs problèmes dont l'incapacité des infrastructures hydrauliques à faire face à la demande sans cesse croissante de la population. C'est le cas du réseau de distribution de la ville de Sikasso faisant l'objet de la présente étude. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés au diagnostic du réseau de distribution de la ville de Sikasso, en vue d'apporter des solutions aux différents problèmes rencontrés sur le réseau. Cette étude nous a permis de déceler des problèmes tels que : la vétusté du réseau de distribution datant des années 1995, la surexploitation des équipements de pompage, les pertes élevées au niveau de la distribution et le mauvais fonctionnement des équipements de pompage. Après avoir évalué les besoins en eau de la population, la simulation du réseau sous Epanet nous a permis de visualiser le fonctionnement du réseau de distribution et de faire des propositions en vue d'une meilleure distribution de l'eau dans la ville de Sikasso. Ces propositions concernent essentiellement le renouvellement des équipements de pompage, l'installation des surpresseurs et réducteurs de pression afin d'assurer une bonne pression aux zones où les pressions sont les plus faibles. La prise en compte de ces solutions permettra de réduire considérablement les pertes d'eau enregistrées sur le réseau et d'approcher le fonctionnement optimal des différents équipements de pompage.

Mots clés

1. Sikasso ;
2. Réseau de distribution ;
3. Diagnostic ;
4. Simulation ;
5. Régulation de la pression

ABSTRACT

Water, source of life is a basic need for every human being. Bringing this resource to the population requires the construction of water infrastructure such as potable water systems. Indeed one of the Millennium Development challenges of the developing countries including Mali is the halving of the population without access to safe drinking water to drinking water. However, achieving these objectives is facing several problems including the failure of hydraulic infrastructures to satisfy the increasing demand of the population. It is in this context that the distribution network of the city of Sikasso is subject of this study. In this study, we are interested in the diagnosis of the city of Sikasso distribution network in order to provide solutions to various problems encountered on the network. This study has allowed us to detect flaws in the distribution system such as the age of the distribution network from the years 1995, overexploitation of pumping equipment, high losses in distribution and malfunctioning equipment pumping. After assessing the water needs of the population, the simulation of network under EPANET allowed us to visualize the operation of the distribution network and to make proposals for a better distribution of water in the city. These proposals mainly concern the renewal of pumping equipment, the installation of pressing and pressure reducers to ensure good pressure to areas where pressures are the weakest.

Key words

1. Sikasso ;
2. Distribution network ;
3. Diagnosis ;
4. Simulation ;
5. Pression regulation ;

LISTE DES ABREVIATIONS

USAID: United States Agency for International Development ;

PROMISAM : Projet de Mobilisation des Initiatives en Matière de Sécurité Alimentaire au Mali ;

AEP : Adduction d'eau potable ;

SOMAGEP : Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable ;

SOMAPEP : Société Malienne de Patrimoine de l'Eau Potable ;

PN : Pression Nominale ;

FD : Fonte Ductile ;

PVC : Polychlorure de Vinyle ;

Vj : Volume journalier ;

Cps : Coefficient de pointe saisonnier ;

Cpj : Coefficient de pointe journalier ;

PADS-PROSEA : Programme d'Appui Dano-Suédois au Programme Sectoriel Eau et Assainissement ;

APD : Avant-Projet Détaillé.

| | |
|--|-----|
| REMERCIEMENTS..... | I |
| RÉSUMÉ | II |
| ABSTRACT | III |
| Liste des tableaux | VII |
| Liste des figures | VII |
| I - Introduction | 1 |
| I – 1 Contexte et Problématique | 1 |
| I – 2 Objectif général..... | 2 |
| I – 2.1 Objectifs spécifiques | 2 |
| I – 2.2 Résultats attendus..... | 2 |
| I – 3 Approche méthodologique | 4 |
| I – 3.1 Recherche documentaire | 4 |
| I – 3.2 Acquisition, traitement et contrôle des données | 4 |
| I – 3.3 Diagnostic du réseau de la ville de Sikasso | 4 |
| I – 3.4 Simulation du réseau de distribution de la ville de Sikasso..... | 5 |
| II – Présentation du milieu physique | 6 |
| II – 1 Caractéristiques du milieu physique | 6 |
| II – 1.1 Situation géographique du milieu | 6 |
| II – 1.2 Données climatiques..... | 6 |
| II – 1.3 Réseau hydrographique | 7 |
| II – 1.4 Relief et Végétation | 8 |
| II – 2 Caractéristiques du milieu humain | 8 |
| II – 2.1 Aspects sociaux et démographiques | 8 |
| II – 2.2 Aspects économiques | 9 |
| II – 2.3 Potentialités et contraintes de la ville de Sikasso | 10 |
| III – Diagnostic du réseau actuel d’eau potable de Sikasso..... | 10 |

| | |
|---|----|
| III – 1 Aperçu du réseau d'eau potable de Sikasso | 10 |
| III – 1.1 Évaluation des besoins moyens en eau..... | 10 |
| III – 1.1.1 Évaluation des consommations domestiques | 11 |
| III – 1.1.2 Évaluation des besoins non domestiques | 13 |
| III – 1.1.3 Évaluation des coefficients de pointe..... | 13 |
| III – 1.2 Évaluation des ressources en eau | 14 |
| III – 1.2.1 Capacité maximale des forages | 14 |
| III – 2 Caractérisation du réseau d'eau potable de la ville de Sikasso | 17 |
| III – 2.1 Réseau d'adduction | 17 |
| III – 2.1.1 Transport de l'eau brute | 17 |
| III – 2.1.2 Station de traitement de l'eau..... | 17 |
| III – 2.1.3 Production journalière | 17 |
| III – 2.1.4 Station de pompage et refoulement de l'eau traitée | 18 |
| III – 2.2 Réseau de distribution | 20 |
| III – 2.2.1 Réservoirs..... | 20 |
| III – 2.2.2 Conduite de distribution | 22 |
| III – 2.2.3 Estimation des pertes du réseau | 23 |
| III – 2.2.4 Détermination du point de fonctionnement de chaque pompe | 24 |
| III – 2.2.5 Vérification des conditions de vitesse des conduites de refoulement et propositions d'amélioration..... | 29 |
| IV – Modélisation du réseau de distribution de Sikasso..... | 30 |
| IV – 1 Éléments du modèle | 30 |
| IV – 1.1 Les nœuds | 30 |
| IV – 1.2 Demande au nœud..... | 31 |
| IV – 1.3 Les tronçons | 31 |
| IV – 1.4 Le Réservoir | 31 |
| IV – 2 Présentation de l'outil de simulation utilisé..... | 32 |
| IV – 3 Simulation du fonctionnement actuel | 34 |
| IV – 3.1 Résultats et propositions d'amélioration..... | 35 |
| V – Conclusion | 37 |

| | |
|--|--------|
| ANNEXE I : Présentation des localités | - 1 - |
| ANNEXE II : Besoins domestiques | - 2 - |
| ANNEXE III : Besoins non domestiques | - 4 - |
| ANNEXE III : Récapitulatif de la demande en eau | - 7 - |
| ANNEXE IV : Caractéristiques de quelques conduites à différents endroits du réseau | - 9 - |
| ANNEXES V : Évaluation et Projection de la demande | - 12 - |
| ANNEXES VI : Chronogramme du stage | - 13 - |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Caractéristiques de l'étude | 3 |
| Tableau 2: Évolution de la population de la ville de Sikasso à l'horizon 2030..... | 9 |
| Tableau 3: Évaluation des consommations domestiques en 2013 | 11 |
| Tableau 4: Évolution des consommations domestiques jusqu'à 2030 | 12 |
| Tableau 5: Récapitulation des consommations domestiques et non domestiques | 13 |
| Tableau 6: Caractéristiques des forages alimentant la station de traitement de Sikasso..... | 16 |
| Tableau 7: Évolution de la production moyenne journalière de 2007 à 2013..... | 18 |
| Tableau 8: Caractéristiques des pompes installées pour le refoulement de l'eau traitée Zone II | 19 |
| Tableau 9: Caractéristiques des pompes installées pour le refoulement de l'eau traitée Zone III | 20 |
| | 20 |
| Tableau 10: Caractéristiques techniques des réservoirs | 22 |
| Tableau 11: Les pertes d'eau du réseau de Sikasso pendant la période 2008 à 2013..... | 23 |
| Tableau 12: Vérification des conditions économiques des conduites de refoulement de la zone I et III..... | 29 |
| Tableau 13: Formule des pertes de charge en mètre de colonne d'eau et débit en m ³ /s | 33 |
| Tableau 14: Coefficient de pertes de charges pour certains types de vannes et raccords | 34 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Présentation de la ville de Sikasso..... | 6 |
| Figure 2: Localisation des 13 forages existants | 15 |
| Figure 3: Schéma de localisation des 5 reservoirs | 21 |
| Figure 4: Détermination du point de fonctionnement | 24 |

| | |
|--|----|
| Figure 5: Détermination du point de fonctionnement de la conduite I de la zone I..... | 25 |
| Figure 6: Détermination du point de fonctionnement de la conduite II de la zone I..... | 26 |
| Figure 7: Détermination du point de fonctionnement de la zone II | 27 |
| Figure 8: Détermination du point de fonctionnement de la zone II | 28 |
| Figure 9: Détermination du point de fonctionnement de la zone III..... | 28 |
| Figure 10: Simulation actuelle du réseau de distribution de Sikasso | 35 |

I - Introduction

I – 1 Contexte et Problématique

L'alimentation en eau potable en milieux urbain et rural occupe de nos jours une place de choix dans les plans de développement de nos pays. Ainsi le Mali s'engage, avec pour objectif un taux national d'accès à l'eau de 82% à l'horizon 2015 (USAID 2012) . En effet, le gros problème rencontré par les services d'eau potable reste la continuité du service, notamment à Sikasso et dans beaucoup d'autres villes du Mali comme Kayes, Kati, Koutiala etc. Ceci est essentiellement dû à une insuffisance de la ressource, un manque d'infrastructure, une vétusté des infrastructures, une mauvaise gestion. C'est donc dans le souci de résoudre ces problèmes à moyen et long termes que d'importantes réformes furent réalisées. L'une de ces réformes porte sur la gestion du secteur de l'eau qui a été confiée à deux (02) sociétés nouvellement créées que sont :

- ❖ LA SOMAPEP SA, Société Malienne de Patrimoine de l'Eau Potable ;
- ❖ LA SOMAGEP SA, Société Malienne de Gestion de l'Eau Potable ;

Dans le cadre de la mise en œuvre de ces réformes, est intervenue la signature de la convention de financement entre les gouvernements du Mali et du Danemark le 08 Décembre 2009 relative à la contribution du Danemark au <<Programme d'Appui Dano-Suédois au Programme Sectoriel Eau et Assainissement>> (PADS-PROSEA 2010-2014).

Dans le cadre de ce partenariat et dans le but de réduire le déficit d'approvisionnement d'eau potable dans les centres ruraux et urbains, quatre centres prioritaires dont Kati, Koutiala, Kayes, Sikasso ont été choisis. C'est dans ce contexte que le groupement de bureaux d'études RAMBOLL/MWH/ CINTECH a été recruté suite à un appel d'offre international pour la sous composante Hydraulique Urbaine.

Il est donc bien évident que l'ensemble du problème ne peut être traité dans le cadre d'un seul mémoire de fin d'étude compte tenu de son immensité et aussi de sa complexité. C'est pourquoi seuls certains aspects ont pu être abordés durant la période de Février 2015 à Juin 2015. Cependant, les résultats produits pourront servir de base pour la phase de réalisation des études d'Avant-Projet Détaillé (APD) du site d'étude.

Ainsi, le présent document illustre « l'étude diagnostique du service d'eau ainsi que les propositions de stratégies et mesures d'amélioration relatif au réseau de la ville de Sikasso ». Il consiste principalement à l'élaboration d'un diagnostic du réseau actuel ainsi que la mise en

place d'un modèle de simulation du fonctionnement du réseau de distribution de la ville pour 2013.

I – 2 Objectif général

Notre étude est une contribution à l'amélioration des services d'approvisionnement en eau potable des populations de la ville de Sikasso par une étude diagnostique du service d'eau suivi des propositions de stratégies d'amélioration.

I – 2.1 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques visés par l'étude sont entre autres :

- ❖ Élaborer un pré-diagnostic du réseau de distribution d'eau potable dans son fonctionnement actuel ;
- ❖ Évaluer les demandes en eau actuelles et futures ;
- ❖ Mettre en place un modèle de simulation du fonctionnement de la ville en 2013 ;

I – 2.2 Résultats attendus

Cette étude qui est axée sur le diagnostic du fonctionnement actuel du réseau d'eau potable de la ville de Sikasso servira de base à une étude plus approfondie relative à la modélisation actuelle et future dudit réseau. Ainsi, les résultats produits serviront de base pour l'analyse détaillée du fonctionnement actuel et futur du réseau. Les principaux résultats, ainsi que les activités qui ont permis de les atteindre sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques de l'étude

| Objectif général | Objectif spécifique | Activités | Résultats attendus |
|------------------|---|--|--|
| | Évaluer les demandes en eau actuelles et futures en fonction des infrastructures actuelles et futures à mettre en place | <ul style="list-style-type: none"> • Détermination de la consommation actuelle ; • Estimation de la demande en eau actuelle et future respectivement en 2013, 2020 et 2030 | <ul style="list-style-type: none"> • Connaissance de la couverture effective du réseau AEP en place dans la ville de Sikasso |
| | Élaborer un diagnostic du réseau de distribution afin de voir si la ressource disponible peut couvrir tous les besoins de la zone d'étude | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse des insuffisances ainsi que des limites du réseau de distribution • Analyse des causes ainsi que des conséquences des insuffisances sur le réseau de distribution | <ul style="list-style-type: none"> • La capacité actuelle du réseau sur place est vérifiée afin de voir si elle est suffisante pour alimenter la zone d'étude |
| | Mettre en place un modèle de simulation du fonctionnement de la ville en 2013 | <ul style="list-style-type: none"> • Choix du logiciel pour la modélisation • Construction d'un modèle informatique mettant en évidence tous les paramètres | <ul style="list-style-type: none"> • Le fonctionnement du réseau est analysé • Les problèmes observés au niveau du réseau sont illustrés • Le calage du model est fait • Le fonctionnement du réseau actuel mettant en évidence les zones de faible couverture est simulé • Le fonctionnement du réseau de distribution en 2013est simulé |

I – 3 Approche méthodologique

Dans le but d'atteindre les objectifs, une méthodologie reposant sur quatre (04) axes a été adoptée. Elle résume la recherche documentaire, l'acquisition, le traitement et le contrôle des données, le diagnostic du fonctionnement actuel du réseau et la modélisation hydraulique du réseau de distribution de la ville de Sikasso, le tout aboutissant à la rédaction du mémoire.

I – 3.1 Recherche documentaire

Durant cette phase, nous avons effectué la collecte des informations sur les côtes topographiques, la nature physique du milieu d'étude.... En somme des éléments pouvant nous servir à l'élaboration du diagnostic, les éléments de dimensionnement, ainsi que sur l'outil de simulation du réseau. Ces informations ont été obtenues, grâce à l'exploitation des différents plans existants (Plan de réseau, plan de lotissement) en vue de mieux cadrer notre zone d'étude. Les données existantes sur les consommations en eau ont été exploitées pour préparer l'analyse technique pouvant servir de pré-dimensionnement.

I – 3.2 Acquisition, traitement et contrôle des données

Elles concernent les données de consommation et de production. En effet, les données de consommations domestiques ont été fournies par la SOMAPEP. Ce sont des données de consommation moyennes de chaque secteur ou quartier. Il a donc fallu tenir compte du taux de desserte par quartier pour calculer la consommation moyenne de chaque quartier. Ensuite, la somme des consommations moyennes des secteurs raccordés au réseau nous a permis d'évaluer la consommation moyenne domestique de la ville. Les consommations non domestiques (consommation sociale, activités socioéconomiques) ont été évaluées en tenant compte de la consommation moyenne du nombre d'abonnés. Quant aux données de production elles ont été fournies par forage.

I – 3.3 Diagnostic du réseau de la ville de Sikasso

L'amélioration et la consolidation des réseaux d'eau potable existants passent nécessairement par une évaluation de leurs performances et un diagnostic, permettant la formulation de propositions de solutions. Compte tenu du manque d'information dont nous disposons et n'ayant pas été sur le terrain afin de mieux analyser le réseau de distribution l'approche utilisée pour mieux cerner le fonctionnement du réseau d'eau potable de Sikasso a consisté à décrire ledit réseau depuis la station de captage d'eau brute jusqu'aux conduites de distribution. Pour chaque partie du réseau, nous

avons réévalué ce que doit être la performance « *réelle* » afin de la comparer à la valeur actuelle. Ainsi, des propositions d'amélioration ont été formulées en vue de hausser cette performance jugée peu satisfaisante.

I – 3.4 Simulation du réseau de distribution de la ville de Sikasso

À partir d'un plan du réseau, nous avons extrait le réseau des conduites de chaque secteur ou quartier. Ensuite sur la base de la consommation moyenne du secteur considéré, nous avons calculé pour le jour de pointe, les débits moyens transitant dans chaque conduite en tenant compte du mètre linéaire de chaque conduite par rapport à la longueur du sous réseau alimentant le secteur. Ensuite, les demandes aux différents nœuds ont été calculées en affectant la moitié du débit de chaque conduite à chaque nœud. Les formules ci-dessous illustrent la méthode de calcul des débits et des demandes :

$$q_i = \frac{C_{jp}}{24 \times \sum L_i} \times L_i$$

Avec :

C_{jp} : la consommation du jour de pointe du secteur ;

L_i : la longueur de la conduite i en m;

q_i : le débit linéaire de la conduite i en m^3/s .

Pour une conduite qui a d'autres tuyauteries en aval, le débit transitant dans cette conduite est :

$$Q_i = \sum q_i .$$

La consommation à chaque nœud devient : $C_j = \sum_{i=1} \frac{Q_i}{2}$

La rugosité des conduites a été obtenue en tenant compte de la nature (type de conduite, âge de la conduite). Les cotes des nœuds du réseau ont été obtenues à travers les interpolations faites avec les logiciels COVADIS et SIG. Une fois ces données obtenues, nous sommes passés à la simulation du fonctionnement actuel du réseau. Les résultats de cette première simulation ont permis de mettre en évidence les insuffisances dans le fonctionnement du réseau notamment des zones de faible pression, des zones mortes du réseau etc.... Sur la base de ces insuffisances, des propositions d'amélioration ont été faites pour le fonctionnement futur.

II – Présentation du milieu physique

II – 1 Caractéristiques du milieu physique

II – 1.1 Situation géographique du milieu

La zone d'étude se situe au Sud, à 375 km de Bamako (Mali) et est limitée au Nord par la région de Koutiala et la région de Diola, au Sud par la région de Kadiolo, à l'Est par le Burkina Faso et à l'Ouest par la région de Kolondieba. Les coordonnées géographiques d'un point du centre-ville de la ville de Sikasso sont de 11°19'03" Nord, de latitude et de 5°39'59" Ouest, de longitude.

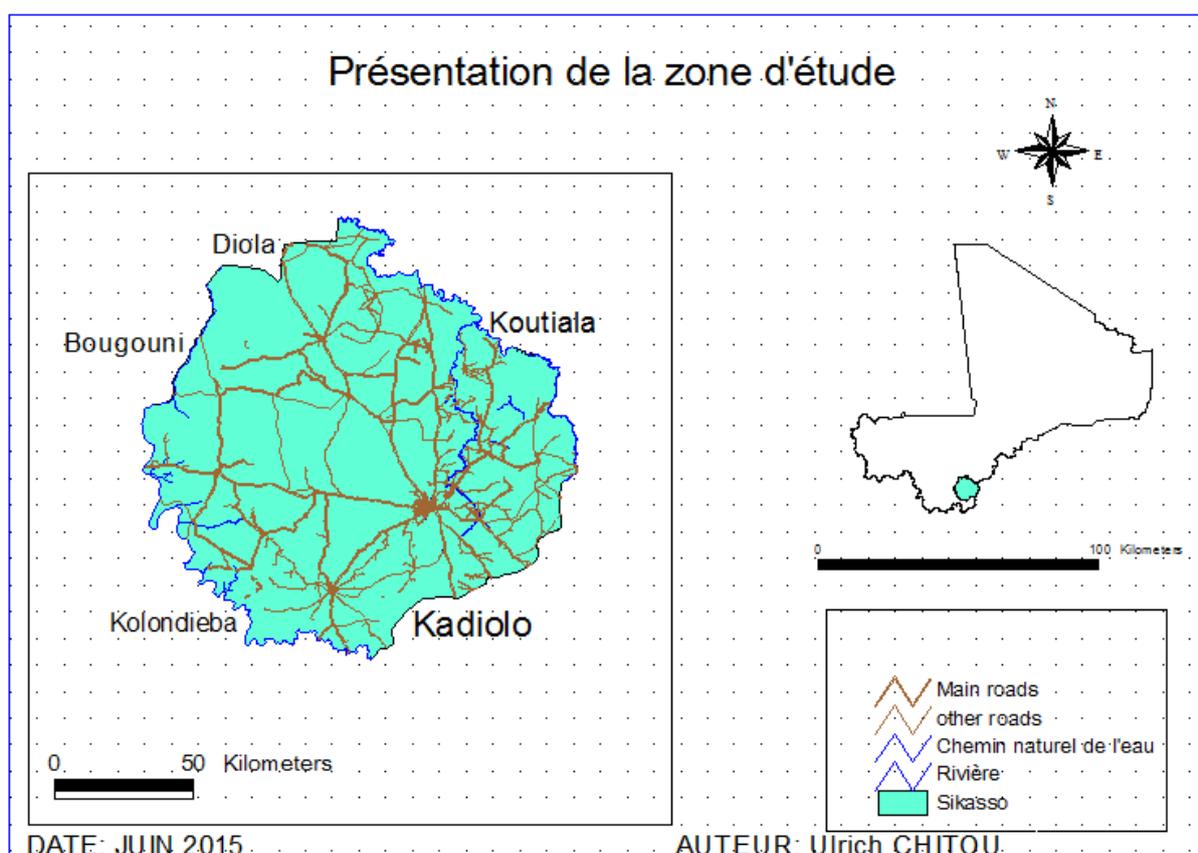


Figure 1: Présentation de la ville de Sikasso

II – 1.2 Données climatiques

La région de Sikasso est la seule s'étendant en exclusivité dans les zones humide et subhumide, comprise entre les isohyètes 750 mm au Nord et 1400 mm au Sud. Elle est caractérisée par plusieurs zones telles que la zone soudanienne humide et la zone guinéenne couvrant respectivement 1/3 et 2/3 de la région.

La zone soudanienne humide couvre le Nord de la région entre les isohyètes 750 mm au Nord et 1150 mm au Sud et se caractérise par :

- ❖ Une durée moyenne de la saison des pluies de six mois (Mai à Octobre) avec 300 mm environ en Août ;
- ❖ Une humidité relative de moins de 50% entre Décembre et Avril et de moins de 75% en Juin, Octobre, Novembre et des mois humides (Juillet, Août, Septembre) ;
- ❖ Une température moyenne annuelle de 27°C en Avril et en Mai et une moyenne de 24°C entre Décembre et Janvier ;
- ❖ Une saison sèche et chaude de Février à Avril, une saison pluvieuse humide de Mai à Octobre, de Décembre à Janvier une saison humide ;
- ❖ Des vents moyens entre 120 et 157 km/jour de Janvier à Juillet ;

Quant à la zone guinéenne elle s'étend entre les isohyètes 1150 mm au Nord et 1400 mm au Sud et se caractérise par :

- ❖ Une durée moyenne de la saison des pluies de sept mois, de Mai à Octobre avec une moyenne mensuelle dépassant 250 mm ;
- ❖ Une température moyenne annuelle de 27°C ;
- ❖ Une saison humide et chaude d'Avril à Octobre ;
- ❖ Une saison sèche et fraîche de Novembre à Mars ;
- ❖ Des mois humides de Juillet à Septembre ;
- ❖ Des vents moyens entre 100 et 250 Km/jour de Janvier à Juin ;

Source : <http://omathosikasso.blogspot.com>

II – 1.3 Réseau hydrographique

La ville de Sikasso constitue l'une des plus importantes zones agricoles du Mali et se caractérise par un bon réseau hydrographique. En effet, cette zone fait partie du bassin versant du haut Niger, et est constituée de cours d'eau, de rivières ainsi que de mares sacrées. Parmi ces nombreux cours d'eau, les plus importants sont le Sankarani et le Bani, tous deux des affluents du fleuve Niger (<http://www.oocities.org>.)

II – 1.4 Relief et Végétation

Le relief de la région de Sikasso est constitué de collines, de montagnes au sud, de vallées et de plaines, respectivement au centre et au nord. La zone reposant sur le socle Birrimien a un relief généralement plat et autonome et s'organise comme suit :

- ❖ Au Sud – Est, se trouve le plateau gréseux du Kéné Dougou correspondant à l'arrondissement de Dandéresso ;
- ❖ Au Nord – Ouest, on trouve un champ de colline ; le plus important est Pankourou enclavant les arrondissements de Dogoni Blindjio et Finkolo ;
- ❖ À 12 km de Sikasso se trouve les grottes de Missirikoro ;
- ❖ Les collines de faible altitude dont le Kapelekourou au Nord-Est (Route de Bobo Dioulasso), le Nanga Felekourou au Sud-Est, le Samory-Kourouni au Sud, les plateaux de l'aviation et de Koulousandougou au Nord.

La végétation est caractérisée par une couverture végétale qui va de la savane arborée à la forêt tropicale. Cette couverture est constituée de très grands arbres, d'une forêt de transition entre la végétation soudano guinéenne et la savane arborée. L'abondance de cette végétation utile à l'industrie locale est due à la forte pluviométrie dans la zone d'étude. Par ailleurs la zone d'étude comprend des zones agro-écologiques telles que : Ganadougou, kéné Dougou, Falo favorisant l'écotourisme, deux zones d'intérêt cynégétique, deux réserves de faune et vingt-quatre forêt classées.

Source : (PROMISAM 2007-2011)

II – 2 Caractéristiques du milieu humain

II – 2.1 Aspects sociaux et démographiques

La zone d'étude est une commune urbaine qui regroupe plusieurs quartiers urbains et quinze (15) périphéries villageoises. La population est estimée en 2013 à **230 112** habitants (tableau 2) dans les zones urbaines et **15 300** habitants en périphérie villageoise totalisant ainsi 245 412 habitants (SOMAPEP 2013) . Le taux d'accroissement de la population est de 3% (USAID 2012) et les estimations futures, ont été faites sur la base de la formule d'accroissement géométrique avec comme hypothèse une invariance du taux d'accroissement.

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

P_n : Population à l'année t_n ;

P_0 : Population de l'année de référence t_0

α : Taux d'accroissement de la population

Tableau 2: Évolution de la population de la ville de Sikasso à l'horizon 2030

| Année | 2013 | 2020 | 2030 |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Population urbaine | 230 112 | 283 009 | 380 340 |
| Population non urbaine | 15 300 | 18 817 | 25 289 |
| Total | 245 412 | 301 826 | 405 629 |

La population est composée d'ethnies telles que les Senoufo, les Peulhs et les Samoghos. Il existe également d'autres ethnies non majoritaires, qui ne sont pas originaires du Mali mais plutôt de l'immigration vers cette zone du fait de bonnes conditions pour l'agriculture. Les principales langues parlées sont le Bambara, le Minianka et le Français qui est la langue officielle.

II – 2.2 Aspects économiques

Les principales activités économiques de la zone du projet sont : l'agriculture, l'élevage, la pêche dont le principal support sont les deux principaux cours d'eau (Sankarni et Bani), le commerce, l'artisanat et les mines. L'agriculture constitue la principale activité de la commune et répond à environ 85% des besoins de la population. Elle est pratiquée toute l'année avec pour spéculations le mil, le sorgho, le maïs et le riz. Toutefois, on y pratique des cultures intermédiaires et de rente comme l'arachide, le coton, le manioc, la pomme de terre et les cultures maraîchères (oignons, pastèques) qui constituent les principales cultures commerciales.

Quant à l'élevage, Il contribue de façon notable à l'amélioration de la production agricole par l'apport de fumier et la culture attelée ainsi qu'à l'amélioration des revenus en servant d'épargne. L'abondance des fourrages fait que la région devient de plus en plus une zone d'élevage.

Par contre, la pêche est très peu développée et reste artisanale avec l'utilisation de techniques archaïques. Elle se pratique dans les cours d'eau, les mares et les retenues d'eau. Cette activité occupe beaucoup de personnes réparties en trois grandes catégories : les professionnels, les semi-professionnels et les amateurs.

II – 2.3 Potentialités et contraintes de la ville de Sikasso

Nous pouvons noter l'existence d'une politique de l'environnement assurée par les services compétents et la prévision d'aménagement des points d'eau et autres ressources à travers les schémas directeurs d'urbanisme disponible pour la région de Sikasso. Aussi la présence de certains bailleurs de fond comme la Coopération Suisse ou Danoise, AFD, UE, Banque Mondiale constitue un grand atout pour la réalisation des différents projets relatifs à l'amélioration de l'approvisionnement en eau.

Cependant, malgré ces nombreux atouts, les différents projets rencontrent beaucoup de difficultés dans l'atteinte de leurs objectifs. Parmi les principales contraintes qui freinent encore le développement de cette région nous pouvons citer : la faible application des politiques et programmes au niveau de la population, l'insuffisance des points d'eau potable, la pollution par les intrants agricoles utilisés dans l'agriculture et les mines, la non fonctionnalité des comités de gestion, l'insuffisance d'établissements secondaires, techniques et professionnels et enfin l'insuffisance de l'appropriation de la technologie.

III – Diagnostic du réseau actuel d'eau potable de Sikasso

III – 1 Aperçu du réseau d'eau potable de Sikasso

Le réseau d'eau potable de la ville de Sikasso a été conçu dans les années 90 dans le cadre de la coopération Danoise. Elle constitue à nos jours le réseau de distribution le plus important au Mali après celui de Bamako. Il est constitué principalement d'une station de pompage à Lafiabougou alimentée par 13 forages de caractéristiques distinctes. L'eau produite est traitée par aération et chloration puis acheminée vers cinq (05) réservoirs d'eau semi-enterrés répartis dans trois zones et assurant la distribution de l'eau potable dans la ville de Sikasso. La distribution de l'eau potable est effectuée par des canalisations totalisant 394 km de longueur tout diamètre confondu.

III – 1.1 Évaluation des besoins moyens en eau

Deux types de besoins caractérisent la demande en eau. Il s'agit des besoins domestiques et non domestiques. L'évaluation de cette demande sera réalisée à partir des informations relatives à la population et aux consommations, et a surtout pour objectif :

- ❖ Suivre l'évolution de ces demandes en fonction de l'accroissement de la population ;
- ❖ Vérifier si les sources d'eau potentielles permettent de combler cette demande en eau actuelle et future ;

- ❖ Prévoir les aménagements requis dans le financement des installations à court, moyen et à long termes.

III – 1.1.1 Évaluation des consommations domestiques

Les consommations domestiques représentent en général les demandes en eau pour les activités personnelles ou ménagères, desservie le plus souvent à travers les bornes fontaines et les branchements privés.

Le tableau 3 récapitule les besoins domestiques actuels en tenant compte de tous les paramètres relevant des enquêtes sociales et des résultats obtenus.

Tableau 3: Évaluation des consommations domestiques en 2013

| Désignation | | Branchements particuliers (BP) | Bornes Fontaines (BF) | Total |
|------------------------|---|--------------------------------|-----------------------|---------------|
| Centre urbain | Population desservie | 74 525 | 5 162 | 79 687 |
| | Consommation spécifique (l/pers/j) | 50.7 | 17.5 | |
| | Consommation moyenne (m³/j) | 3 778 | 90 | 3 868 |
| Centre non urbain | Population desservie | 135 | 3 855 | 3 990 |
| | Consommation spécifique (l/pers/j) | 40 | 17.5 | |
| | Consommation moyenne (m³/j) | 5 | 67 | 72 |
| Total | Consommation moyenne (m³/j) | 3 783 | 157 | 3 940 |
| Taux de dessert | | 30.4 % | 3.7 % | 34.1 % |

La desserte en eau domestique est assurée par des branchements privés et des bornes fontaines. Elle correspond à **30.4%** de la population pour les branchements privés ; soit 74 660 habitants, et à **3.7 %** soit une population de 9 017 habitants pour les bornes fontaines. La population totale desservie en eau est donc de 83 677 habitants. Par conséquent, nous pouvons conclure que la population non desservie en eau domestique est estimée à 161 733 habitants correspondant à **65.9%** de la population.

Dans un souci d'amélioration des conditions de vie de la population, et en adoptant comme objectif celui du Millénaire pour le développement, à savoir réduire de moitié le taux de personne n'ayant pas accès à l'eau potable, on peut donc admettre que le taux de population non desservie sera de **32.95 %** si le projet débutait en 2030. Ainsi, le tableau 4 montre l'évolution du taux de

desserte et des consommations moyennes jusqu'à l'horizon du projet en tenant compte de notre hypothèse.

Tableau 4: Évolution des consommations domestiques jusqu'à 2030

| Désignation | Année | 2 013 | 2 020 | 2 030 |
|----------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|
| Branchements particuliers | Taux de dessert en milieu urbain | 30.4% | 36% | 45% |
| | Population desservie en milieu urbain | 74 527 | 108 656 | 182 531 |
| | Consommation spécifique en milieu urbain (l/pers/j) | 50.7 | 50.7 | 50.7 |
| | Taux de dessert en milieu non urbain | 0.06% | 3% | 6% |
| | Population desservie en milieu non urbain | 135.0 | 7 546 | 24 338 |
| | Consommation spécifique en milieu non urbain (l/pers/j) | 40.0 | 40.0 | 40.0 |
| | Consommation moyenne (m ³ /j) | 3 784 | 5 811 | 10 228 |
| Bornes Fontaines | Taux de dessert en milieu urbain | 2.1% | 4% | 10% |
| | Population desservie en milieu urbain | 5 162 | 12 073 | 40 563 |
| | Consommation spécifique en milieu urbain (l/pers/j) | 17.5 | 17.5 | 17.5 |
| | Taux de dessert en milieu non urbain | 1.6% | 3.0% | 6% |
| | Population desservie en milieu non urbain | 3 855 | 9 055 | 24 338 |
| | Consommation spécifique en milieu non urbain (l/pers/j) | 17.5 | 17.5 | 17.5 |
| | Consommation moyenne (m ³ /j) | 158 | 370 | 1 136 |
| Total | Population desservie | 83 677 | 136 966 | 252 448 |
| | Population Totale | 245 410 | 301 823 | 405 625 |
| | Taux de dessert | 34.1% | 45.5% | 67.0% |

Dans cette projection, nous avons supposé que la consommation spécifique est constante pour chaque type d'abonné jusqu'à l'horizon du projet. Ainsi, des campagnes ou promotions d'extension du réseau doivent être réalisées pour atteindre ce taux. Durant ces campagnes, on pourrait proposer des prix sociaux (baisse du prix de branchement particulier) afin de permettre aux populations de souscrire massivement aux branchements particuliers. Cependant, le prix du branchement particulier doit permettre de couvrir les frais d'acquisition et de pose des différents éléments (compteur, regard de protection, conduite de piquage).

III – 1.1.2 Évaluation des besoins non domestiques

La desserte en eau non domestique est répartie suivant les moyens consommateurs et les gros consommateurs. Les moyens consommateurs regroupent 14% de la population urbaine et totalisent une consommation de 557 m³/j. Les gros consommateurs quant à eux sont constitués d'une part des consommateurs publics (administrations, communes, services publics) et les consommateurs pour les activités économiques (laveries, boulangeries), leurs consommations variant en fonction de l'activité. Ainsi, les besoins non domestiques au niveau de notre zone d'étude sont de 1489 m³/j et nous supposons que l'évolution des consommations non domestiques suit l'évolution de la population. (SOMAGEP 2013) . Avec cette hypothèse, le tableau 5 illustre l'évolution des consommations moyennes domestiques et non domestiques jusqu'à l'horizon du projet.

Tableau 5: Récapitulation des consommations domestiques et non domestiques

| <i>Année</i> | <i>2013</i> | <i>2020</i> | <i>2030</i> |
|---|--------------|--------------|---------------|
| Consommation domestique moyenne (m ³ /j) | 3 940 | 6 181 | 11 364 |
| Consommation non domestique moyenne (m ³ /j) | 1 489 | 1 831 | 2 461 |
| Consommation totale (m³/j) | 5 429 | 8 012 | 13 825 |

On remarque que les consommations moyennes domestiques ont pratiquement triplé alors que les consommations non domestiques ont été multipliées par 1,65. Beaucoup d'efforts doivent être fournis pour l'atteinte de ces chiffres.

III – 1.1.3 Évaluation des coefficients de pointe

Les consommations varient en terme quantitatif suivant les saisons, les jours de la semaine, les heures de la journée. Ces variations ont une influence directe sur les ressources en eau à mobiliser et/ou les dimensions des installations.

a) Coefficient de pointe saisonnière

Les variations saisonnières ont une influence sur la demande globale et les dimensions du système. Elles permettent d'évaluer les besoins de régulation de ressources en eau (barrage, nappe, souterraine). Le coefficient de pointe saisonnière C_{ps} est le rapport de la consommation journalière moyenne de la période de pointe sur de la consommation journalière moyenne calculée sur l'année. Il varie entre 1.10 et 1.20.

$$C_{ps} = \frac{C_{jmp}}{C_{jm}} = \frac{\text{Consommation journalière moyenne de la période de pointe}}{\text{Consommation journalière moyenne}}$$

N'ayant pas les relevés des consommations de chaque jour, nous retenons comme coefficient de pointe saisonnière la valeur de 1.15.

b) Coefficient de pointe journalière

Le coefficient de pointe journalière exprime le retour de façon cyclique du comportement des usagers au cours de la semaine. Les pointes de consommations se situent aux jours de grande lessive et de repos hebdomadaires. Le coefficient de pointe journalière C_{pj} est le rapport de la consommation du jour de pointe sur la consommation journalière moyenne de la période de pointe. Il est indépendant de la saison. Il varie entre 1.05 et 1.15.

$$C_{pj} = \frac{C_{jpp}}{C_{jmp}} = \frac{\text{Consommation du jour de pointe}}{\text{Consommation journalière moyenne de la période de pointe}}$$

Pour les mêmes raisons énumérées plus haut, nous retenons la valeur de 1.1 pour le coefficient de pointe journalier.

c) Coefficient de pointe horaire

Le coefficient de pointe horaire rend compte de la pointe de la consommation au cours de la journée. Il exprime donc les habitudes du consommateur au cours de la journée. Il est indépendant de la saison. Il n'a aucune influence sur les quantités d'eau à mobiliser. Il varie entre 1.5 et 3.

$$C_{ph} = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q}} \text{ avec } Q \text{ débit moyen horaire en } m^3/h$$

Le coefficient de pointe horaire a été calculé par secteur.

III – 1.2 Évaluation des ressources en eau

III – 1.2.1 Capacité maximale des forages

Dans la région de Sikasso, on retrouve deux (02) ressources fondamentales pour l'approvisionnement en eau : les eaux de surface et les eaux souterraines. Les eaux de surface regroupent une quantité d'eau significative pouvant régler à long terme le problème d'insuffisance de la production d'eau. Mais compte tenu de leur distance par rapport au réseau, cette ressource est

délaissée au profit des eaux souterraines qui semblent économiquement plus viables. Néanmoins, il est possible de faire recours à cette ressource s'il y a un déficit au niveau des besoins.

Treize (13) forages permettent d'alimenter le réseau d'alimentation de la ville de Sikasso. On y retrouve neuf (09) forages dans le quartier de Lafiabougou dans la vallée du Lotio et quatre (04) forages dans la vallée de Naflébougou. La figure ci-contre présente la localisation de ces forages sur Google Earth.

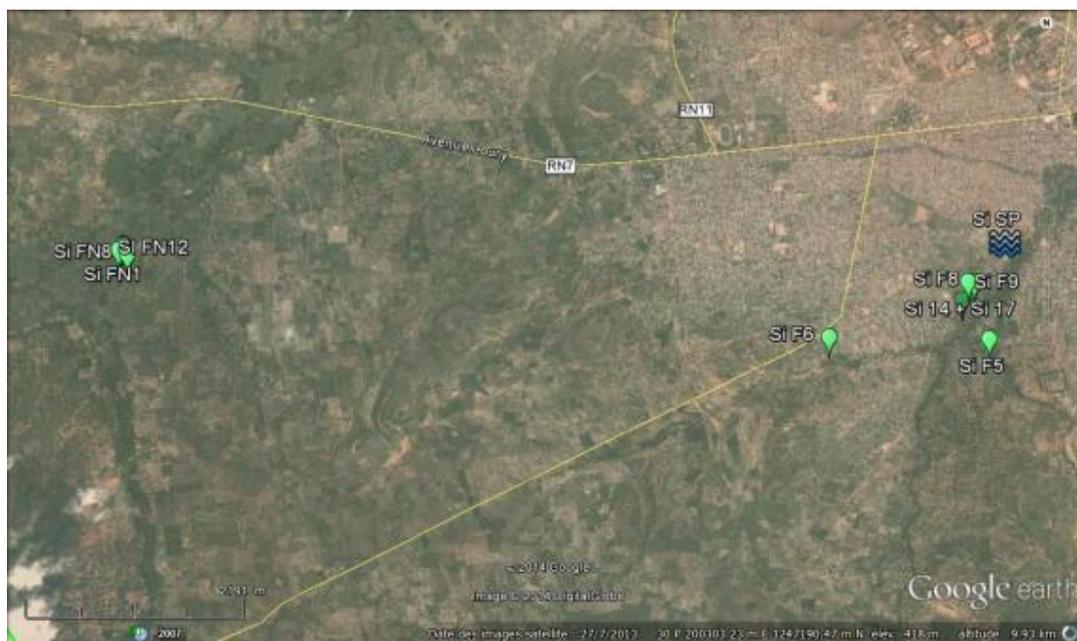


Figure 2: Localisation des 13 forages existants

Ces forages fonctionnent dans la plupart du temps 24h/24 avec des débits d'exploitation variant entre 8 et 70 m³/h. Avec des profondeurs variant de 76 à 370 m, la plupart de ces forages capte les grès de base. Les forages sont relativement près les uns des autres (0,5 à 1 km) et il en résulte une interférence des rabattements qui s'additionnent au niveau des forages (4 à 8 m selon les forages). Le tableau 6 présente les caractéristiques des différents forages.

Tableau 6: Caractéristiques des forages alimentant la station de traitement de Sikasso

| Nom du forage | Profondeur (m) | Débit essais de pompage (m ³ /h) | Type de Pompe installée | Débit d'exploitation (m ³ /h) | Production 2012 (m ³) | Production 2012, moyenne journalière (m ³ /j) |
|---------------|----------------|---|-------------------------|--|-----------------------------------|--|
| F2 | 243 | 72 | SP17-13 | 25 | 243 781 | 668 |
| F3 | 310 | 80 | SP46-6 | 40 | 359 816 | 986 |
| F5* | 316 | 25 | SP17-8 | 9 | 26 640 | 73 |
| F6 | 246 | 48 | SP46-11 | 27 | 224 417 | 615 |
| F8 | 370 | 71 | SP46-7 | 35 | 343 177 | 940 |
| F9 | 267 | | SP14A-18 | 8 | 73 486 | 201 |
| F11 | 85 | 62 | SP17-10 | 11 | 63 714 | 175 |
| F14 | 298 | 71 | SP45-4 | 22 | 156 262 | 428 |
| F17 | 288 | 64 | SP45-4 | 23 | 166 133 | 455 |
| FN1** | 73 | 80 | SP46-9 | 27 | 0 | 0 |
| FN8*** | 99 | | SP30-16 | 23 | 178 881 | 585 |
| FN11 | 76 | 80 | SP95-7N | 70 | 627 476 | 1 719 |
| FN12 | 76 | 80 | SP95-7N | 69 | 586 758 | 1 608 |
| Total | | 733 | | 389 | 3 050 541 | 8 358 |

F5 : peu fonctionnel pendant la saison pluvieuse, à l'arrêt d'octobre 2012 au février 2013

FN1 : opérationnel à partir de février 2013

FN8 à partir du mois de mars 2012, peu fonctionnel en septembre, octobre et novembre

En bleu : les forages situés à Naflébougou, Source (SOMAGEP – Sikasso)

Source : (SOMAGEP 2013)

On constate que le débit maximal d'exploitation de l'ensemble des forages est de 389 m³/h alors que le débit total de pompage est de 733 m³/h. Il y a donc une sous-exploitation de la ressource avec une surexploitation des équipements de pompage. Cela se traduit par le fait que le débit des pompes installées dans chaque forage est inférieur au débit d'exploitation du forage. Cette situation nous conduit à un temps de fonctionnement de chaque pompe très élevé (24h/jour pour certaines pompes). Afin d'assurer un bon fonctionnement des pompes, il serait intéressant d'augmenter le débit d'exploitation de certains débits pour limiter à 20 h/j le temps de marche de chaque pompe. Pour se faire, il faut donc changer certaines pompes pour approximer le débit d'exploitation du forage.

On remarque également que les forages ont une capacité nettement supérieure aux besoins jusqu'à l'horizon du projet. De plus, la production moyenne journalière dépasse largement les consommations moyennes journalières. On estime donc que le rendement global du réseau est actuellement de l'ordre de **65%**. Cette faible valeur nous amène à supposer que le réseau serait *vétuste* conduisant à des pertes en eau sur le réseau, et/ou qu'il y aurait des *branchements illégaux* ou encore des *défauts de comptabilisation* au niveau des compteurs.

III – 2 Caractérisation du réseau d'eau potable de la ville de Sikasso

III – 2.1 Réseau d'adduction

Le réseau d'adduction de la ville de Sikasso est composé du transfert de l'eau brute des forages jusqu'à la station de traitement, et celui de l'eau traitée de la station de traitement vers les réservoirs de stockage et de distribution.

III – 2.1.1 Transport de l'eau brute

Le transport de l'eau brute des forages de Naflébougou se réalise à travers des conduites en PVC 280 mm PN10 vers la station de pompage où il subira un traitement avant d'être refoulé dans les réservoirs.

III – 2.1.2 Station de traitement de l'eau

Le traitement de l'eau est réalisé dans la station de Lafiabougou et consiste principalement à une aération et une chloration. Pendant l'aération, l'eau brute produite est aérée dans deux bâtiments en béton reliés par une passerelle puis divisé en deux parties dirigées chacune vers un aérateur. Une descente de l'eau s'effectue ensuite sur 0,3 m de hauteur et 5,5 m de largeur à travers quatre escaliers. Ce processus permet le dégagement de CO₂ libre en excès (acide carbonique) par évaporation.

Quant au traitement par chloration, il consiste juste à éjecter du chlore dans la conduite juste avant la sortie de l'eau du lieu de traitement. Il est également utilisé avec d'autres produits chimiques avant l'aération afin d'éviter les moisissures.

III – 2.1.3 Production journalière

Le tableau 7 suivant présente la production moyenne journalière de 2007 à 2013. La production moyenne journalière a été multipliée approximativement par 1,29 durant les sept dernières années. En effet, la ville de Sikasso avec son taux d'accroissement de **3%** ainsi que le développement de

plusieurs extensions s’observant dans la ville connaît depuis 2001 un accroissement de la production d’eau traitée. Cependant, la différence significative entre la production (*en moyenne 7 632 m³/j sur les sept dernières années*) et les consommations (*5 429 m³/j en 2013*) ne saurait être expliquée par l’accroissement et l’extension du réseau. Avec un taux de dessert actuel de l’ordre de 34.1%, la consommation moyenne journalière est de l’ordre de 5 429 m³. On remarque que depuis 2007, la production moyenne journalière est nettement supérieure à la consommation moyenne journalière. Cela nous amène à affirmer qu’il y a un véritable problème de rendement dans le réseau. Il devient urgent d’identifier les causes de la faible valeur du rendement du réseau afin de limiter les pertes. Cela passe par des campagnes nocturnes d’identification des fuites d’eau dans le réseau.

Tableau 7: Évolution de la production moyenne journalière de 2007 à 2013

| Sikasso, production journalière moyenne par forage et par an | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
| Année | F2 | F3 | F8 | F11 | F14 | F17 | FN11 | FN12 | F5 | F6 | F9 | FN8 | FN1 | Production moyenne (m3/j) |
| 2007 | 691 | 1121 | 870 | 257 | 654 | 606 | 1757 | 1 627 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 622 |
| 2008 | 588 | 931 | 816 | 325 | 655 | 621 | 1541 | 1 487 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 965 |
| 2009 | 504 | 996 | 802 | 266 | 556 | 534 | 1717 | 1 631 | 154 | 501 | 0 | 0 | 0 | 7 446 |
| 2010 | 603 | 972 | 808 | 241 | 518 | 491 | 1455 | 1 652 | 232 | 645 | 0 | 0 | 0 | 7 617 |
| 2011 | 622 | 1000 | 870 | 225 | 432 | 478 | 1678 | 1 588 | 182 | 671 | 148 | 0 | 0 | 7 895 |
| 2012 | 668 | 986 | 940 | 175 | 428 | 455 | 1719 | 1 608 | 73 | 615 | 201 | 585 | 0 | 8 358 |
| 2013 | 391 | 1028 | 884 | 139 | 484 | 476 | 1655 | 1524 | 63 | 608 | 231 | 654 | 480 | 8 518 |

Les colonnes marquées en bleu concernent des forages de Naflébougou

Les données de 2007 concernent la période à partir du mois de mai

Les forages F5 et F6 sont opérationnelles à partir de mai 2009

Le forage F9 est opérationnel depuis janvier 2011

Les données du mois de septembre 2011 ne concernent que 22 jours

Le forage FN8 est opérationnel depuis mars 2012

Le forage FN1 est opérationnel depuis février 2013

Les données de 2013 concernent la période de janvier à mai

Source : (SOMAGEP 2013)

III – 2.1.4 Station de pompage et refoulement de l’eau traitée

La salle de pompes de refoulement comprend 3 groupes de pompes, correspondant chacun à une zone de pression du réseau de distribution. On y distingue les zones I, II et III. Chaque sous-station dispose d’un réservoir anti-bélier.

La sous-station refoulant dans la zone I, comprend cinq (05) pompes dont trois (03) fonctionnent simultanément. La zone I est la plus vaste en termes de densité du réseau. Le tableau 8 présente les caractéristiques hydrauliques de chaque pompe.

Tableau 8: Caractéristiques des pompes installées pour le refoulement de l'eau traitée, zone I

| Sous-station de pompage zone I, caractéristiques des pompes installées | | | | |
|---|----------------------|---------------------|------------|------------------|
| | Type | Débit | HMT | Puissance |
| Pompe n° 1 | CR60-50 A-F-A ABBUE | 60m ³ /h | 51,9 m | 15 KW |
| Pompe n° 2 | CR60-50 A-F-A ABBUE | 60m ³ /h | 51,9 m | 15 KW |
| Pompe n° 3 | CR64-3-2 AF-A-E-HQQE | 64m ³ /h | 52,8 m | 15 KW |
| Pompe n° 4 | CR64-3-2 AF-A-E-HQQE | 64m ³ /h | 52,8 m | 15 KW |
| Pompe n° 5 | CR64-3-2-A-F-E EUBE | 64m ³ /h | 54 m | 15 KW |

Source : (SOMAGEP 2013)

Les pompes 1 et 2 sont été installées en 1995 ; les pompes 3, 4 et 5 sont installées en 2002 suite à une première extension du réseau. À l'intérieur du bâtiment de la salle de pompes, la conduite de refoulement est en inox 200 mm, un compteur de 150 mm est monté sur cette première partie de la conduite. Celle-ci continue à l'extérieur en PVC 400mm.

La sous-station refoulant dans la zone II, comprend trois (03) pompes dont deux (02) fonctionnant simultanément. La zone II est moins dense que la première et le tableau 9 présente les caractéristiques hydrauliques de chaque pompe.

Tableau 8: Caractéristiques des pompes installées pour le refoulement de l'eau traitée Zone II

| Sous-station de pompage zone II, caractéristiques des pompes installées | | | | |
|--|------------------------|----------------------|------------|------------------|
| | Type | Débit | HMT | Puissance |
| Pompe n° 1 | CRN64-4-1 A-F-G-V EUBV | 64 m ³ /h | 82,6 m | 22 KW |
| Pompe n° 2 | CRN64-4-1 A-F-G-V EUBV | 64 m ³ /h | 82,6 m | 22 KW |
| Pompe n° 3 | CRN64-4-1 A-F-G-V EUBV | 64 m ³ /h | 82,6 m | 22 KW |

Source : (SOMAPEP 2013)

Ces pompes ont été installées en 2002 dans le cas d'une extension du réseau au profit des pompes 30 m³/h qui assuraient le refoulement d'eau traitée dans la zone II. La conduite de refoulement de la

zone II est en inox 150 mm à l'intérieur du bâtiment, munie d'un compteur de 150 mm ; elle continue à l'extérieur en PVC 315mm.

La sous-station refoulant dans la zone III, comprend deux (02) pompes dont une (01) pompe fonctionnant et l'autre au repos. Le tableau 10 présente les caractéristiques hydrauliques de chaque pompe.

Tableau 9: Caractéristiques des pompes installées pour le refoulement de l'eau traitée Zone III

| Sous-station de pompage zone III, caractéristiques des pompes installées | | | | |
|---|-----------------------|----------------------|------------|------------------|
| | Type | Débit | HMT | Puissance |
| Pompe n° 1 | CR32-5-2 A-F-A-E-EUBE | 32 m ³ /h | 67,4 m | 11 KW |
| Pompe n° 2 | CR 30 80/6 A-F-A BBUE | 30 m ³ /h | 64,8 m | 11 KW |

Source : (SOMAGEP 2013)

La conduite de la zone III est en inox 80 mm à l'intérieur du bâtiment, munie d'un compteur de 50 mm ; elle continue à l'extérieur en PVC 250mm.

La station de traitement et de pompage d'eau claire dispose d'un groupe électrogène de secours de 250 kW.

III – 2.2 Réseau de distribution

Le réseau d'alimentation en eau potable stocke, transporte et distribue l'eau potable depuis les lieux de production jusqu'au robinet des consommateurs. On y retrouve les réservoirs, les conduites, et les accessoires de robinetterie.

III – 2.2.1 Réservoirs

Les réservoirs d'eau sont en général, nécessaires pour pouvoir alimenter convenablement une agglomération en eau potable. Ils sont principalement imposés par la différence entre le débit de captage ou de refoulement d'eau (plutôt constant) et le débit d'eau consommé par l'agglomération (variable en fonction de l'heure de la journée).

Le réservoir est l'accumulation en un point de quantité d'eau pour résoudre un problème technique et/ou économique (coût de l'énergie). Dans les réseaux des pays en développement, sa présence est nécessaire en raison de ses multiples fonctions. Le réservoir est un régulateur de débit entre le régime d'adduction et le régime de distribution. Il est un régulateur de pression en tout point du

réseau en permettant de fournir aux abonnés une pression suffisante et plus ou moins constante, indépendamment de la consommation. Enfin, c'est un élément qui assure le temps de contact nécessaire à l'action des produits de désinfection et d'équilibrage physico-chimique de l'eau, et constitue une réserve utile pour les besoins in situ (lavage des filtres, rinçage des décanteurs) dans les stations de traitement. Bien qu'il soit très souvent difficile et surtout coûteux à construire, il est difficile de lui trouver un substitut complet.

Le réseau de la ville de Sikasso est subdivisé en trois principales zones. La zone I est alimentée par trois (03) réservoirs surélevés. Les zones II et III sont alimentées chacune par un réservoir surélevé. Tous ces réservoirs sont en béton armés. On les retrouve :

- ❖ Sanoubougou 1, Wayerma, et CMDT pour la zone I ;
- ❖ Hamdallaye pour la zone II ;
- ❖ au poste Douane pour la zone III.

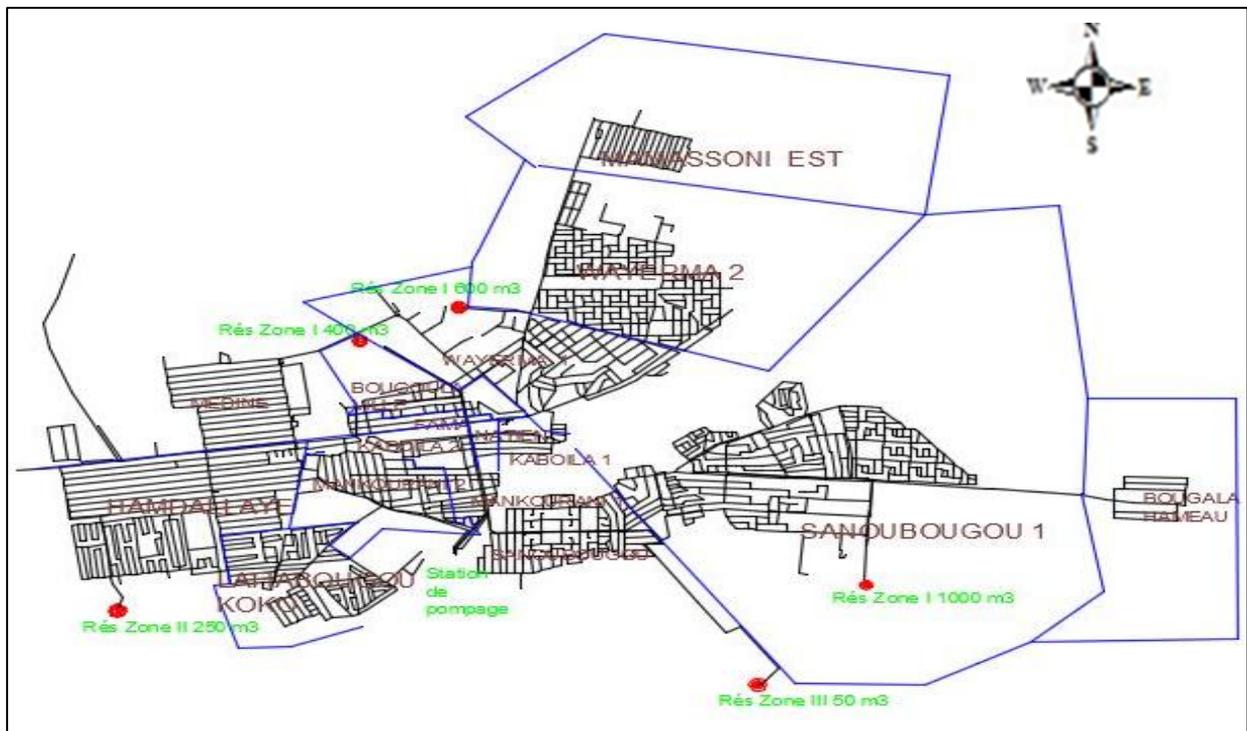


Figure 3: Schéma de localisation des 5 réservoirs

Les caractéristiques techniques des réservoirs existants sont présentées ci-dessous.

Tableau 10: Caractéristiques techniques des réservoirs

| Désignation | Réservoirs Zone 1 | | | Réservoir Zone 2 | Réservoir Zone 3 |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | 1000 m ³ | 600 m ³ | 400 m ³ | 250 m ³ | 50 m ³ |
| Emplacement | Sanoubougou I | Wayerma | CMDT | Hamdallaye | Poste Douane |
| Forme | Circulaire | Circulaire | Circulaire | Circulaire | Carrée |
| Dimension intérieure en m | 18 | 14 | 12 | 10.5 | 5.0 |
| Support intérieur | 6 colonnes | 6 colonnes | Rien | 4 colonnes | Rien |
| Dimension en m | 0,25*0,25 | 0,25*0,25 | | 0,25*0,25 | |
| Cote du radier en m | 392 | 391,88 | 392,8 | 431 | 418 |
| Cote entrée/sortie en m | 391,88 | 391,88 | 392,8 | 430,92 | 418 |
| Cote trop plein en m | 396,3 | 396,3 | 396,3 | 434,09 | 420,17 |
| Cote intérieure plafond en m | 396,45 | 396,48 | | 434,49 | 420,25 |
| Cote vidange en m | 391,88 | 391,88 | 392,8 | 430,92 | 418 |
| Hauteur disponible en m | 4,3 | 4,42 | 3,5 | 3,34 | 2,17 |
| Hauteur totale en m | 4,45 | 4,6 | | 3,49 | 2,25 |
| Volume en m ³ /m | 254,5 | 153,6 | 113,1 | 86,6 | 25 |
| Volume disponible en m ³ | 1094 | 679 | 396 | 289 | 54 |
| Tuyaux entrée/sortie DN mm | 250 | 250 | 250 | 150 | 100 |
| Vidange DN en mm | 100 | 100 | 250 | 100 | 100 |
| Trop plein DN en mm | 250 | 250 | 250 | 150 | 100 |
| Année de construction | 1997 | 1995 | 1965 | 1995 | 1995 |

La capacité maximale des réservoirs est de 2 300 m³. Par rapport à la production moyenne journalière en 2013 qui avoisine 8 518 m³, la capacité utile de ces réservoirs est estimée à **27 %** ; ce taux est inférieur à la moyenne (fixé entre 30 et 33% du Volume journalier). Avec ce taux, des investissements en termes de construction de nouveaux réservoirs sont nécessaires car cela traduit le fait que la production journalière est élevée. Cependant, en ramenant ce taux à la consommation journalière, on obtient **42.35 %**. Ainsi, en réduisant les pertes en eau du réseau, on évitera des investissements dans la construction de nouveaux réservoirs.

III – 2.2.2 Conduite de distribution

Le réseau de distribution est constitué de 394 km de conduites entièrement en PVC de diamètre variant de 63 à 400mm.

III – 2.2.3 Estimation des pertes du réseau

Elles caractérisent les différentes pertes dues aux insuffisances remarquées dans le réseau. Le tableau 12 suivant, composé à partir de données de la SOMAGEP SA, présente les pertes enregistrées au niveau du réseau pour la période 2008 à 2013.

Tableau 11: Les pertes d'eau du réseau de Sikasso pendant la période 2008 à 2013

| Année | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Moyenne |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Eau traitée (m ³) | 2 487 584 | 2 600 862 | 2 621 360 | 2 694 614 | 2 833 814 | 2 988 993 | 2 704 538 |
| Eau vendue (m ³) | 1 686 061 | 1 818 383 | 1 816 623 | 1 910 353 | 2 081 710 | 2 098 691 | 1 901 970 |
| Pertes réseau (m ³) | 801 523 | 782 479 | 804 737 | 784 261 | 752 104 | 890 302 | 802 568 |
| Pertes réseau (%) | 32.2% | 30.1% | 30.7% | 29.1% | 26.5% | 29.8% | 29.7% |

Source : (SOMAGEP 2013)

Les pertes sont de l'ordre de **30 %** sur l'ensemble de la période, ce qui est un taux élevé. Elles avaient la tendance de diminuer graduellement de 2008 à 2012 mais ont augmenté encore en 2013. Il est à noter que les pertes de 890 302 m³ enregistrées en 2013 correspondent à 2 439.2 m³/j soit un peu plus que 100 m³/h durant 24h par jour. Ceci correspond au débit d'exploitation d'un très bon forage. Face à ce problème il devient très important de proposer une méthode d'identification de campagne de fuite afin de réduire les pertes dans le réseau.

Cette campagne consistera après la phase administrative préparatoire la collecte préalable des informations techniques sur le réseau, à la sectorisation des fuites par campagne nocturne, la pré-localisation des fuites, la localisation ponctuelle des fuites par corrélation acoustique et la rédaction d'un rapport d'étude final.

a) Pré-localisation de fuite

Elle est caractérisée par les mesures de volumes la nuit entre 1h et 4h du matin. Ces volumes sont enregistrés sur un compteur de zone après fermetures successives et à intervalles réguliers (15 à 30 mn) des vannes de sectionnement du secteur analysé. En isolant ainsi chaque ramification du réseau, on quantifie les fuites par tronçons mettant en évidence les parties du réseau les plus affectées.

b) Localisation de fuite

La localisation des fuites consiste à identifier la position exacte de la fuite. Elle peut être réalisée grâce à plusieurs méthodes telles que la quantification ou la méthode selon l'approche acoustique. L'eau sous pression s'échappe par une défectuosité de la conduite générant des vibrations acoustiques. Ces bruits dont la fréquence varie de quelques hertz à quelques kilohertz selon les caractéristiques de la fuite et de la canalisation, se propagent à grande vitesse à la fois sur la

conduite (sur de longues distances) et dans le sol (sur des distances de quelques mètres le long du tracé de la conduite). Il s'agit donc d'écouter, d'enregistrer et d'analyser ces bruits.

Source : (Moussa 2014)

III – 2.2.4 Détermination du point de fonctionnement de chaque pompe

L'existence des pertes d'eau dans le réseau nous a conduites à vérifier le point de fonctionnement de chaque pompe. En effet, le point de fonctionnement d'une pompe refoulant dans un réservoir ou conduite est donné par le point d'intersection de la caractéristique hydraulique de la pompe et celle du réseau.

- ❖ La caractéristique de la pompe étant la hauteur manométrique totale : $HMT = H(Q)$.
- ❖ La caractéristique du réseau étant : $H_g + \Delta H(Q)$, où H_g est la hauteur géométrique (différence des niveaux de refoulement et d'aspiration) et $\Delta H(Q)$ est la perte de charge totale dans la conduite de refoulement et la conduite d'aspiration.

Le point de fonctionnement, M, est alors défini par : $HMT(Q_0) = H_g + \Delta H(Q_0)$ et s'illustre comme suit :

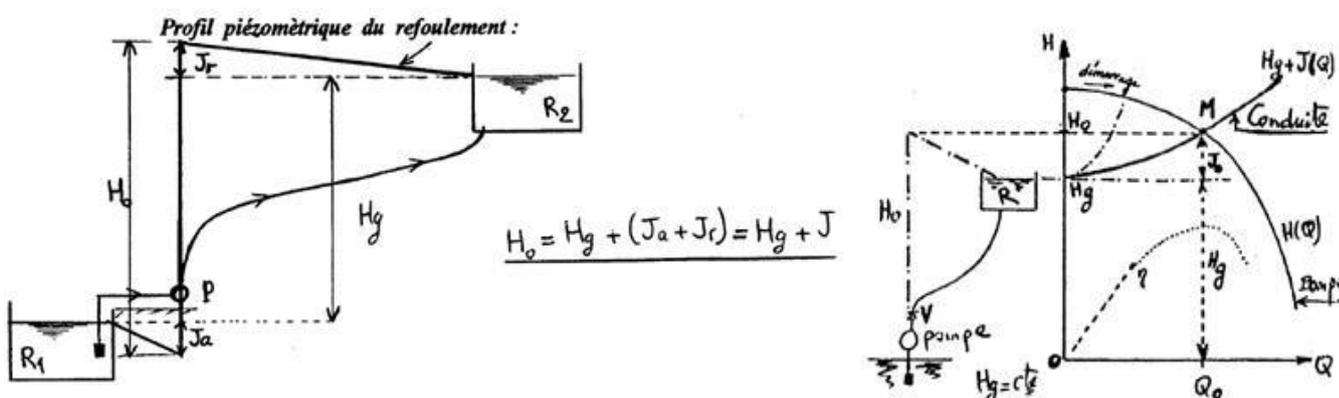


Figure 4: Détermination du point de fonctionnement

Dans la zone I, il y a trois (03) réservoirs dont un réservoir principal et deux réservoirs d'équilibre. On constate qu'il y a un prélèvement en route sur la conduite de refoulement du réservoir principal (refoulement distributif). N'ayant pas les débits à la sortie de la station de refoulement et à l'entrée du réservoir principal, la vérification du point de fonctionnement des pompes alimentant ce

réservoir se fera en considérant comme constant le débit de refoulement sur toute la conduite même si cette hypothèse surestime les pertes de charge de la conduite.

Ne disposant que d'un seul point pour chaque pompe à savoir le débit nominal et la charge nominale, nous avons dû utiliser la technique d'EPANET de construction d'une courbe caractéristique à partir d'un seul point défini par ses conditions nominales. EPANET ajoute deux points supplémentaires à la courbe : son programme suppose que la charge à un débit nul est égale à 133% de la charge nominale. Quand la charge est nulle, le débit est le double du débit nominal. Il traite alors la courbe comme une courbe construite à partir de trois points.

❖ Point de fonctionnement de la zone I

L'alimentation de la zone I se fait à partir de deux (02) conduites de refoulement. La première conduite est alimentée par 2 pompes en parallèle délivrant chacune en conditions nominales $64 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une HMT de 52.8 m. La deuxième conduite est alimentée par une pompe de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une HMT de 51.9 m en conditions nominales. La première conduite est constituée de deux (02) tronçons dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tronçon 1 : PVC 400/361.8 PN10 ; Longueur $L = 476.5 \text{ m}$

Tronçon 2 : PVC 315/285 PN10 ; Longueur $L = 2\,297.5 \text{ m}$

Le graphique suivant illustre le point de fonctionnement de la première conduite.

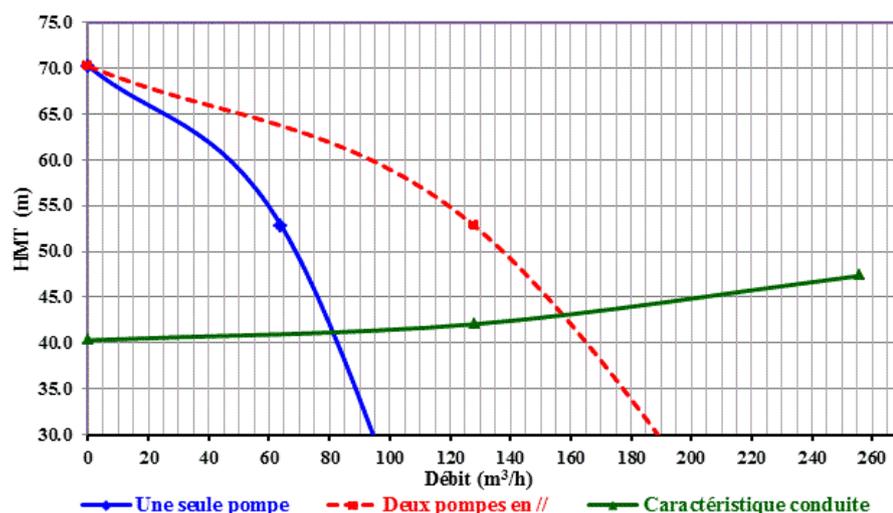


Figure 5: Détermination du point de fonctionnement de la conduite I de la zone I

On remarque qu'au point de fonctionnement le débit refoulé est de l'ordre $160 \text{ m}^3/\text{h}$, ce qui signifie que chaque pompe délivre $80 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une HMT de 43 m environ car les deux pompes sont identiques. Or les conditions nominales de chaque pompe sont ($64 \text{ m}^3/\text{h}$; 52,8 m). Cela correspond

à une augmentation du débit de l'ordre de 25 % et une réduction de la HMT de 18.5%. On pourrait donc dire que les pompes alimentant la première conduite de la zone I sont inadaptées car leur fonctionnement n'est pas optimal (elles fonctionneraient hors de la plage optimale $\pm 10\%$). Ces pompes refouleraient plus qu'il en faut dans le réseau.

La deuxième conduite alimentant la zone I est composée d'un seul tronçon dont les caractéristiques sont les suivantes : PVC 250/226.2 PN10 ; Longueur L = 2 818.5 m. Le graphique ci-dessous montre le point de fonctionnement de la deuxième conduite.

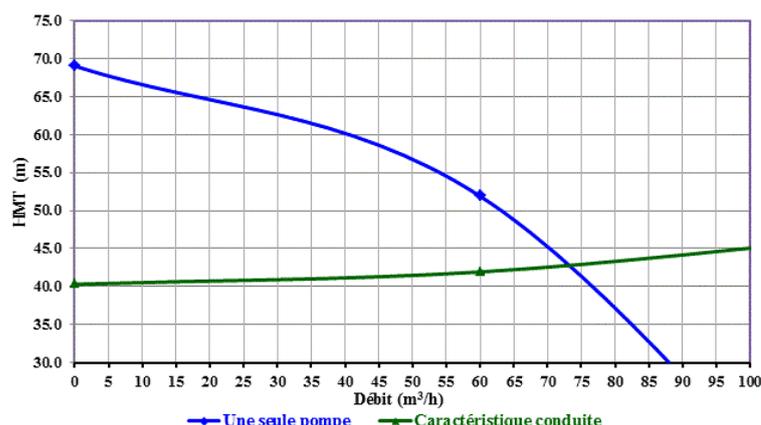


Figure 6: Détermination du point de fonctionnement de la conduite II de la zone I

Au point de fonctionnement de cette conduite, on note que le débit est $74 \text{ m}^3/\text{h}$ et une HMT de 42.8 m. Par rapport aux conditions nominales, on a une augmentation du débit de l'ordre 24% et une réduction de la HMT de 18%. On en conclut que cette pompe fonctionnerait hors de la plage de fonctionnement nominale.

❖ Point de fonctionnement de la zone II

La conduite de refoulement de la zone II est constituée de trois (03) tronçons dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tronçon 1 : conduite PVC 315/285 PN 10 ; Longueur 3070 m

Tronçon 2 : conduite PVC 110/99,4 PN 10 ; Longueur 2036 m

Tronçon 3 : conduite PVC 225/203,4 PN 10 ; Longueur 3070 m

Le graphique ci-dessous présente le point de fonctionnement de la zone II.

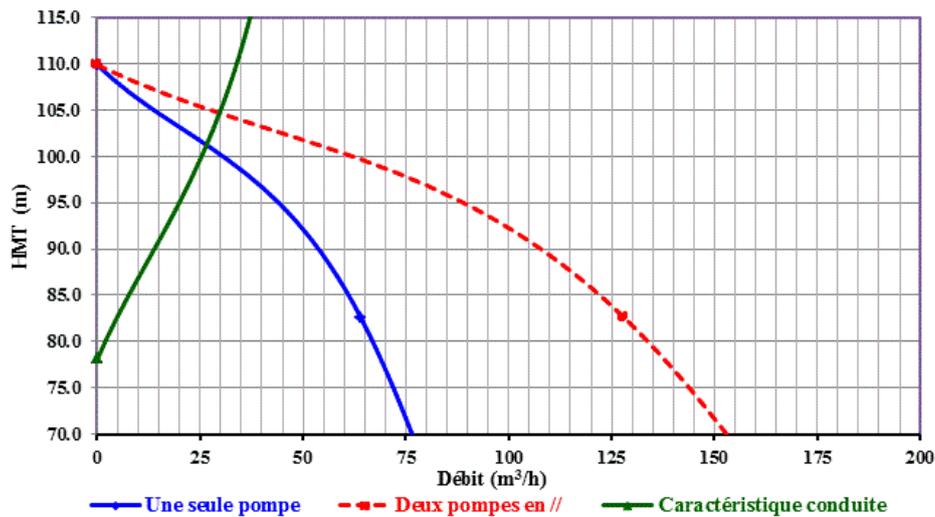


Figure 7: Détermination du point de fonctionnement de la zone II

Au point de fonctionnement, le débit de refoulement est de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ sous une HMT de 105 m. Cela signifie que chaque pompe fournit un débit de $15 \text{ m}^3/\text{h}$. Ces conditions sont très éloignées des conditions nominales : diminution du débit de l'ordre de 77 % et une augmentation de la charge de 27%. On pourrait donc conclure que les pompes alimentant la zone II fonctionnent hors de la place de fonctionnement utile.

Au regard de l'allure de la courbe caractéristique de la conduite, on constate que les pertes de charge sont très élevées. Cela est dû au tronçon de 2 de la conduite dont le diamètre est de 99.4mm. Nous avons repris la détermination du point de fonctionnement de la conduite, en remplaçant le diamètre du tronçon 2 par un diamètre qui fournirait un fonctionnement proche des conditions nominales. Les simulations ont conduit à un diamètre 315/285. Le graphique suivant illustre les résultats.

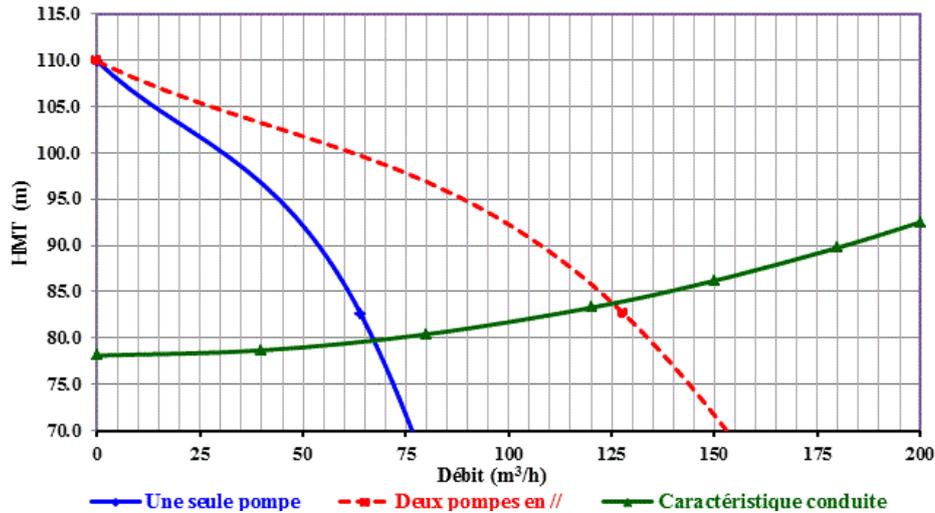


Figure 8: Détermination du point de fonctionnement de la zone II

Avec cette nouvelle conduite du tronçon 2, le point de fonctionnement donne $Q = 125 \text{ m}^3/\text{h}$ et $HMT = 83.75 \text{ m}$, soit $62.65 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque pompe. Par rapport aux conditions nominales, on a une diminution du débit de 2.1 % et une augmentation de la charge de 1.4%.

❖ Point de fonctionnement de la zone III

Il est déterminé grâce au graphique ci-dessous :

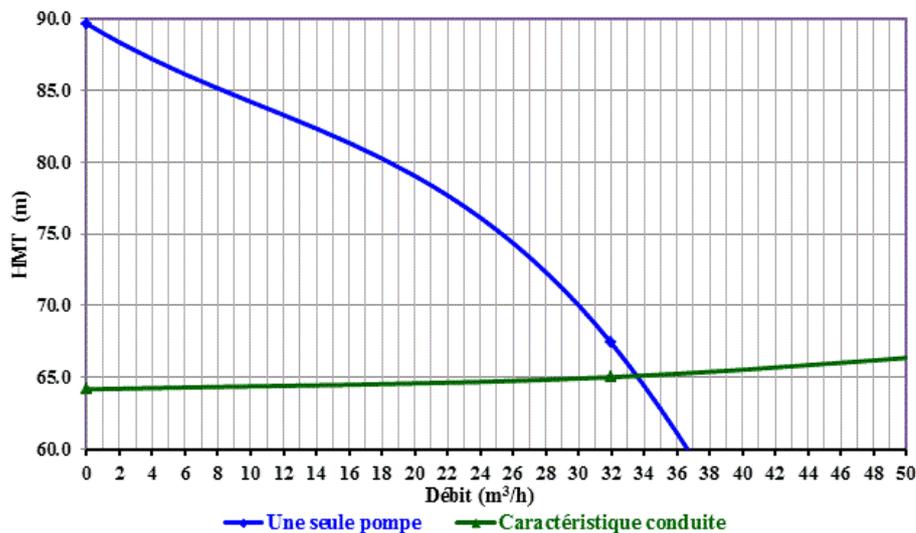


Figure 9: Détermination du point de fonctionnement de la zone III

De ce graphique on conclut qu'au point de fonctionnement, le débit est de $34 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une HMT d'environ 64,5 m. Ce point n'est donc pas loin des conditions de fonctionnement nominales. De plus, sur certains graphiques, précisément ceux des zones I et III, on voit que la courbe

caractéristique de la conduite est pratiquement une droite. Cela signifie que les pertes de charges sont très faibles malgré la valeur de la longueur de refoulement des conduites. La seule raison qui pourrait expliquer la faible valeur des pertes de charge est la valeur du diamètre de chaque conduite. Cependant une vérification de ces diamètres sera faite afin de voir si elles ont été dimensionnées suivant les normes requises en AEP.

III – 2.2.5 Vérification des conditions de vitesse des conduites de refoulement et propositions d'amélioration

La vérification des vitesses dans les conduites est faite pour s'assurer du bon dimensionnement des conduites de refoulement des zones I et III compte tenu de la faiblesse des pertes de charges. Le tableau 13 nous présente donc les résultats des calculs, et montre que les conditions économiques (diamètre et vitesse économique) de chaque conduite de refoulement ne sont pas remplies. En effet, les vitesses réelles dans les conduites de refoulement sont faibles en comparaison des vitesses requises, qui se situent entre 0,6 et 0,85 m/s afin de limiter des risques de dépôts. Ceci pourrait s'expliquer par les grandes dimensions des diamètres des conduites pouvant occasionner des dépôts.

Nous avons donc calculé pour chaque conduite le diamètre qui aurait pu être installé pour obtenir un fonctionnement optimal et des conditions de vitesses économiques. Les valeurs obtenues sont présentées ci-dessous.

Tableau 12: Vérification des conditions économiques des conduites de refoulement de la zone I et III

| Désignation | Zone I | | Zone III |
|--|--------------|--------------|--------------|
| | Conduite 1 | Conduite 2 | |
| Débit Q de refoulement (m ³ /s) | 0.046 | 0.020 | 0.009 |
| Diamètre D de refoulement (m) | 0.3618 | 0.2262 | 0.285 |
| Vitesse réelles V de refoulement (m/s) | 0.44 | 0.51 | 0.15 |
| Vérification de la vitesse économique | Non vérifiée | Non vérifiée | Non vérifiée |
| Diamètre de refoulement souhaitable | 0.285 | 0.1808 | 0.1266 |
| Nouvelle Vitesse V (m/s) | 0.71 | 0.80 | 0.75 |
| Vérification de la vitesse économique | vérifiée | vérifiée | vérifiée |
| Célérité de l'onde de choc c (m/s) | 382.5 | 382.5 | 383.5 |
| Surpressions et dépression engendrées (m) | ± 27.86 | ± 31.02 | ± 29.38 |
| Rapport $\Delta H/H$ | 0.279 | 0.31 | 0.294 |

La célérité de l'onde de choc est calculée avec la formule suivante :

$$c = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{D}{e} \frac{\varepsilon}{E}}}$$

Où

ρ : la masse volumique du fluide ;

ε = module d'élasticité de l'eau ($2 \cdot 10^9$ [Pa] à 25°C) ;

E : module d'élasticité d'une conduite en PVC (Module de *Young*) ($3 \cdot 10^9$ [Pa]) ;

D : diamètre intérieur de la conduite en m;

e : épaisseur de la conduite en m.

Le démarrage et/ou l'arrêt d'une pompe étant une perturbation rapide, alors la surpression est

donnée par : $\Delta H = \pm \frac{cV_0}{g}$ avec V_0 la vitesse de l'écoulement du régime permanent.

Un diagnostic de chaque réservoir anti-bélier doit être effectué afin de s'assurer que la classe de pression proposée peut supporter les surpressions et dépressions susceptibles d'être observées sur le réseau.

Dans un souci de contribution à l'amélioration des performances du réseau, au cas où chaque conduite de refoulement des zones I et III ne pourrait être remplacée, nous proposons de diminuer la roue des pompes existantes afin de réduire leur débit de refoulement ou l'installation des pompes à vitesse variable. La réduction des débits de refoulement permettrait de limiter considérablement les pertes d'eau observée sur le réseau.

IV – Modélisation du réseau de distribution de Sikasso

IV – 1 Éléments du modèle

IV – 1.1 Les nœuds

Le nœud point de rencontre de plusieurs conduites dans un réseau peut signifier un départ d'antenne, un changement de diamètre ou une desserte d'abonnés. La modélisation d'un nœud est un point caractérisé par :

- ❖ La cote au sol du point représenté ;
- ❖ Le nombre des abonnés les plus proches rattachés au nœud, qui représente aussi un volume journalier de consommation ;
- ❖ La répartition journalière des consommations du groupe d'abonnés.

IV – 1.2 Demande au nœud

Le réseau de distribution de Sikasso est un réseau maillé comme la plupart des réseaux semi-urbains et urbains d'Afrique de l'Ouest.

Dans un réseau maillé, la maille permet le bouclage et l'isolement d'un tronçon sans perturbation de la distribution sur le reste du réseau. Suivant la demande, l'eau se répartit dans l'un ou l'autre sens ; ce qui assure une certaine sécurité dans la distribution.

Cette répartition consiste à :

- ❖ Ramener les consommations linéaires en consommations ponctuelles aux nœuds à raison de $\frac{Q_{en\ route}}{2}$ à chaque extrémité du tronçon ;
- ❖ Ramener les consommations de tous les nœuds du secteur au nœud de départ de chaque secteur ;
- ❖ Appliquer aux nœuds de départ de chaque secteur la répartition provisoire et arbitraire des débits en respectant la loi d'équilibre des nœuds : somme de débits arrivant à un nœud = somme des débits qui en partent + somme des débits prélevés à ce nœud ;

Le réseau est calculé sur la base des débits de l'heure de pointe.

IV – 1.3 Les tronçons

Les tronçons représentent les canalisations entre deux nœuds du réseau et sont caractérisés par :

- ❖ Leur longueur
- ❖ Leur diamètre intérieur
- ❖ Leur rugosité
- ❖ Leur service en route

IV – 1.4 Le Réservoir

C'est un nœud particulier de charge fixée et où le niveau de charge fluctue entre deux limites hautes et basses. Il est aussi caractérisé par :

- ❖ La cote au sol
- ❖ La cote du radier et celui du trop-plein
- ❖ Le type d'alimentation (par le fond ou par suverse)

IV – 2 Présentation de l’outil de simulation utilisé

L’outil de simulation utilisé est le logiciel EPANET. En effet, EPANET est un outil de modélisation du comportement d'un réseau maillé de distribution ou de transport d'eau sous pression. Il constitue une aide à la décision pour le dimensionnement et la gestion d'un réseau de distribution ou d'adduction d'eau potable.

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression.

Un réseau étant un ensemble de tuyaux, nœuds (nœuds de demande), pompes, vannes, bâches et réservoirs, EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l’origine de l’eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l’usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'applications dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples : définition d’un programme de prélèvement d'échantillons, calibrage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance. EPANET offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple :

- alterner l'utilisation de sources dans un système de plusieurs sources ;
- modifier le régime de pompage ou de vidange et de remplissage des réservoirs ;
- préciser l’usage des stations de traitement secondaires en réseau ;
- planifier l'entretien et le remplacement de certains tuyaux. La capacité hydraulique de simulation d’EPANET se résume comme suit :
 - La taille du réseau étudié est illimitée. Pour calculer les pertes de charge linéaires, il dispose des formules de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach, et de Manning-Strickler ;
 - Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux joints, aux tés, aux clapets etc ;
 - Il peut modéliser des pompes à vitesse variable et peut calculer l'énergie consommée par une pompe ;
 - Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti-retour, des vannes de contrôle de pression, des vannes d'arrêt, etc ;
 - Les réservoirs peuvent avoir n'importe quelle forme (le diamètre peut varier avec l’altitude) ;

- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre. Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (arroseuses par exemple) ;
- Le fonctionnement du réseau peut être dirigé par des commandes simples, qui sont par exemple horodatées ou qui dépendent du niveau d'un réservoir ou des commandes élaborées plus complexes.

Les tableaux suivant présentent les différentes types de formule que l'on peut utiliser pour le calcul des pertes de charges des tuyaux remplis d'eau sur EPANET ainsi que les coefficients de pertes de charge singulières pour certains types de raccords.

Tableau 13: Formule des pertes de charge en mètre de colonne d'eau et débit en m³/s

| <i>Formule</i> | <i>Coefficient de Résistance (A)</i> | <i>Exposant du débit (B)</i> |
|---|--|----------------------------------|
| Hazen-Williams | $10,64 C^{-1.852} d^{-4.871} L$ (4) | 1.852 |
| Darcy-Weisbach | $0.0826 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$ (5) | 2 |
| Chezy-Manning | $10,3 n^2 d^{-5.33} L$ (6) | 2 |
| Explication des symboles : C = coefficient de rugosité de Hazen-Williams ϵ = coefficient de rugosité de Darcy-Weisbach (m) f = facteur de friction (dépend de ϵ , d, et q) n = coefficient de rugosité de Manning d = diamètre du tuyau (m) L = longueur du tuyau (m) q = débit (m ³ /s) | | |

Source : (Manuel d'utilisation d'Epanet s.d.)

Tableau 14: Coefficient de pertes de charges pour certains types de vannes et raccords

| <i>JOINTS</i> | <i>COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE SINGULIÈRE</i> |
|--|---|
| Vanne à boule, entièrement ouverte | 10.0 |
| Vanne à battant, entièrement ouverte | 5.0 |
| Clapet anti-retour à battant, entièrement ouvert | 2.5 |
| Vanne, entièrement ouverte | 0.2 |
| Coude de petit rayon | 0.9 |
| Coude de rayon moyen | 0.8 |
| Coude de grand rayon | 0.6 |
| grand de 45 degrés | 0.4 |
| grand de 180 degrés | 2.2 |
| Té Standard – flux droit | 0.6 |
| Té Standard – flux dévié | 1.8 |
| Entrée brusque | 0.5 |
| Sortie brusque | 1.0 |

Source :(Manuel d'utilisation d'Epanet s.d.)

IV – 3 Simulation du fonctionnement actuel

La simulation du comportement du réseau actuel nous permet d'identifier les débits circulant dans chaque conduite avec les pressions au niveau de chaque nœud. Elle met en évidence les zones de faibles ou fortes vitesses ainsi que de faibles ou fortes pressions. Cette simulation nous permet de visualiser les différentes variations en fonctions des paramètres que nous offre le logiciel afin de mieux analyser le fonctionnement du réseau et si possible proposer un meilleur service à la population. La simulation du réseau s'est fait en régime permanent. Elle présente le fonctionnement du réseau en situation de consommation de pointe horaire.

La figure 10 nous présente les résultats de la simulation actuelle mettant en œuvre les pressions aux nœuds du réseau ainsi que les vitesses dans les différentes conduites du réseau.

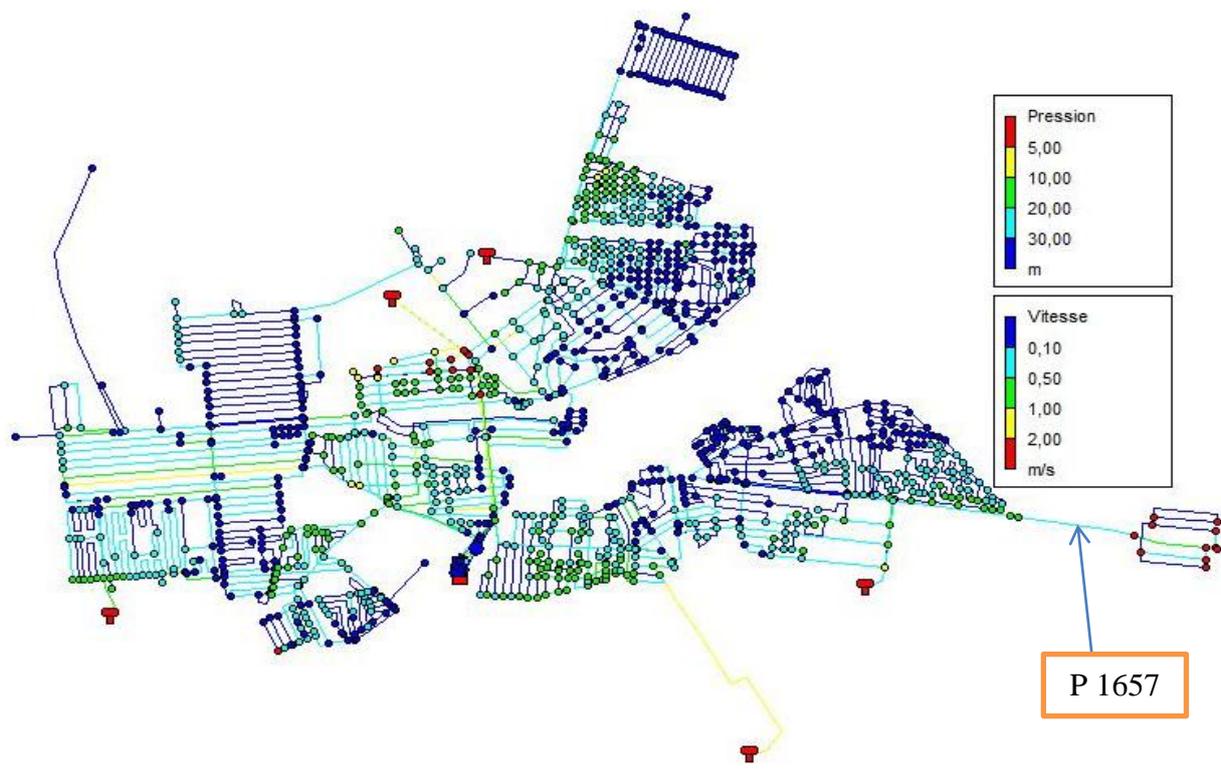


Figure 10: Simulation actuelle du réseau de distribution de Sikasso

On note globalement des pressions de 0 à 40m (0 à 4bars). Certains nœuds ont des pressions négatives voir nuls, ce qui peut s'expliquer par l'absence d'approvisionnement en eau dans ces zones. Ses nœuds sont principalement situés dans les quartiers Bougoula Ville et Bougoula Hameau. Ces nœuds sont colorés en rouge, et représentent les nœuds les mal desservis par le réseau. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que ces différentes zones soient situées respectivement en haute altitude ou éloignées des réservoirs d'alimentation. Quant aux vitesses au niveau des conduites, elles sont généralement faibles dans la plupart des zones ce qui pourrait justifier les pressions élevés dans le réseau

IV – 3.1 Résultats et propositions d'amélioration

Afin de satisfaire les zones dont les pressions sont négatives (Bougoula Ville ; Bougoula Hameau), nous recommandons l'installation d'un surpresseur de pression à l'entrée de la zone de forte altitude ou éloignées du réservoir de distribution, et d'un réducteur de pression à l'entrée de la zone des basses altitudes. Au niveau de Bougoula Hameau, le surpresseur sera installé sur la conduite

P1657 après le nœud N1191. Le réseau étant maillé au niveau de Bougoula Ville, le point d'installation du surpresseur sera identifié lors des campagnes nocturnes de mesure de pression.

V – Conclusion

Les objectifs principaux de cette étude ont été d'établir un diagnostic du réseau de distribution de la ville de Sikasso, de modéliser son fonctionnement en 2013, afin de pouvoir dégager des failles dans le but d'y apporter des solutions à court et à long terme. Ils ont tous été atteints.

Grâce à cette étude nous avons pu constater des problèmes de pertes d'eau très élevées dans le réseau, la surexploitation des équipements, ainsi que le mauvais fonctionnement des pompes. En effet au niveau du refoulement nous avons pu constater que la plus part des pompes de refoulement principalement dans la zone I et II fonctionnaient hors de leur plage nominale. Grâce à l'élaboration de leur point de fonctionnement on remarque par exemple dans la zone I au niveau de la conduite I une augmentation du débit de 25% et une diminution de la HMT de 18,5% alors qu'il est toléré une variation de 10%. Ces variations au niveau du fonctionnement des pompes seraient surtout dues aux faibles pertes de charge engendrées par la conduite de refoulement des différentes pompes avec comme hypothèse de départ un débit constant le long de la conduite de refoulement. Ce problème pourrait également être à l'origine des pertes élevées dans le réseau.

Face à ces problèmes des propositions ont été faites au niveau de la distribution comme le changement de certaines conduites ou le changement de certaines pompes. Afin d'adapter nos pompes par rapport à notre réseau nous pouvons faire le choix de changer nos conduites de refoulement par des conduites de diamètre optimale respectant la vitesse requise en AEP ou de changer nos pompes par les pompes à débit variable qui reste la solution réaliste du fait qu'il n'engendrera pas beaucoup de perturbation dans l'approvisionnement continu de l'eau à la population.

Une simulation du fonctionnement du réseau en 2013 fut ensuite faite afin de voir par rapport aux données recueillies et les constats réalisés sur le terrain, si elle traduit la réalité. Cette simulation traduit effectivement la réalité du terrain. Elle nous a surtout permis de voir les zones de faible pression comme Bougoula Hameau et Bougoula Ville, de constater la faible vitesse dans la plus part des conduites du réseau d'où les pertes de charges faibles dans les conduites.

Cette étude nous a principalement permis de mieux cerner le fonctionnement des réseaux de distribution dans les pays en voie de développement comme le Mali, le fonctionnement des pompes dans ses réseaux mais également de pouvoir trouver des solutions adéquates pour l'amélioration du réseau de distribution comme celui de la ville de Sikasso.

Bibliographie

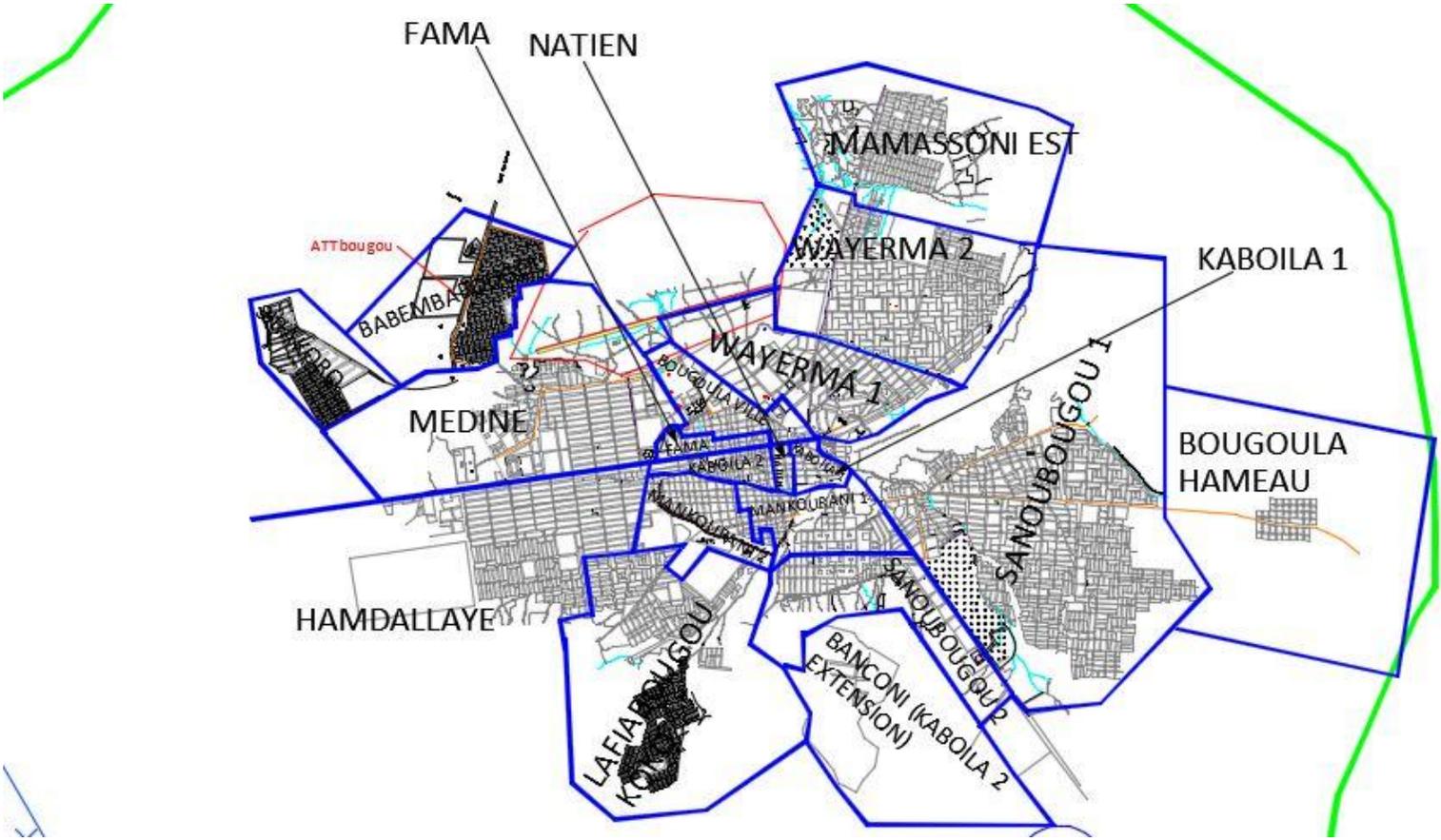
1. 2iE - SODECI. «Critères d'accès à l'eau de consommation et à l'assainissement.» 2014.
2. A., MOUNIROU Lawani. *Cours AEP*. 2015.
3. BIEUPOUDE. *Pompes et Stations de pompage*. s.d.
4. Ibrahima, DIEDHOU. «Conception du système approvisionnement en Eau Potable des parcelles aménagés de la SONATUR.» 2004.
5. ILBOUDO, Payibém. «Contribution à l'amélioration des performances du réseau D'AEP de la zone de distribution 05 de Bobo Dioulasso.» 2013.
6. LAWANI, Mounirou. Dans *Essentiel d'hydraulique générale*. 2014.
7. l'eau, Agence de. *Guide rédactionnel Diagnostic des systèmes d'alimentation en eau potable*. Strasbourg, 2004.
8. *Manuel d'utilisation d'Epanet*. s.d.
9. Mounirou, LAWANI. *Essentiel de l'hydraulique en charge*. Ouagadougou, s.d.
10. Moussa, OUEDRAOGO. *Gestion technique des réseaux d'eau sous pression: Recherche de fuites*. 2014.
11. PADS-PROSEA. «Programme d'Appui Dano-Suédois au Programme Sectoriel Eau et Assainissement 2010 – 2014 (PADS – PROSEA).» 2010-2014.
12. PROMISAM. «Plan de sécurité alimentaire.» Sikasso, 2007-2011.
13. SOLA, Georges. «Alimentation en eau potable.» MALI, 1986.
14. SOMAGEP. «Les données.» Sikasso, 2013.
15. SOMAPEP. Sikasso, 2013.
16. USAID, Direction Nationale de l'Hydraulique et. «Rapport d'activité.» 2012.
17. Zoungrana, Denis. *Cours d'approvisionnement en eau potable*. Ouagadougou, 2003.

18. Sites internet

1. <http://www.oocities.org>.
2. <http://omathosikasso.blogspot.com>

ANNEXES

ANNEXE I : Présentation des localités



ANNEXE II : Besoins domestiques

| Année \ Quartier | 2013 | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------|----------------------|------|----------------------|------|-------------|-----------------------|-------|-----------------------|
| | Population 2013 | Population desservie | | Cons unit (l/pers/j) | | Taux croiss | Demande en eau (m3/j) | | Demande en eau (m3/j) |
| | | BP | BF | BP | BF | | BP | BF | |
| Bougala Hameau | 6054 | 202 | 1213 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 10,24 | 21,23 | 31,47 |
| Sabalibougou | 1035 | 0 | 0 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Bougala Ville | 7311 | 3557 | 45 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 180,34 | 0,79 | 181,13 |
| Fama | 3523 | 1422 | 31 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 72,10 | 0,54 | 72,64 |
| Hamdallaye | 30163 | 19402 | 216 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 983,68 | 3,78 | 987,46 |
| Lafiabougou koko | 12336 | 5080 | 60 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 257,56 | 1,05 | 258,61 |
| Kaboila1 | 2387 | 737 | 65 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 37,37 | 1,14 | 38,50 |
| Kaboila2 | 4839 | 2631 | 80 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 133,39 | 1,40 | 134,79 |
| Mamassoni | 13860 | 1155 | 629 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 58,56 | 11,01 | 69,57 |
| Mankourani 1 | 8589 | 5255 | 155 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 266,43 | 2,71 | 269,14 |
| Natien | 1810 | 473 | 21 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 23,98 | 0,37 | 24,35 |
| Mankourani 2 | 8658 | 5591 | 313 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 283,46 | 5,48 | 288,94 |
| Médine | 19520 | 8657 | 657 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 438,91 | 11,50 | 450,41 |
| Babemba | 10108 | 827 | 387 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 41,93 | 6,77 | 48,70 |
| Ziembougou | 1420 | 0 | 0 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sanoubougou | 39400 | 4000 | 169 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 202,80 | 2,96 | 205,76 |
| Bankoni | 10918 | 158 | 649 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 8,01 | 11,36 | 19,37 |
| Sanoubougou 2 | 14170 | 3216 | 91 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 163,05 | 1,59 | 164,64 |
| Sirakoro | 1017 | 37 | 0 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 1,88 | 0,00 | 1,88 |
| Wayema 1 | 11076 | 5252 | 101 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 266,28 | 1,77 | 268,04 |
| Qtier Administratif | 1240 | 916 | 9 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 46,44 | 0,16 | 46,60 |
| Wayema 2 | 20675 | 5958 | 272 | 50,7 | 17,5 | 0,03 | 302,07 | 4,76 | 306,83 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|------|----|------|------|---------|--------|---------|
| Total ville | 230109 | 74526 | 5163 | 0 | 0 | 0 | 3778,47 | 90,35 | 3868,82 |
| Banankoni | 381 | 4 | 145 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,16 | 2,54 | 2,70 |
| Domogo Diassa | 460 | 0 | 0 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Flazambougou | 446 | 12 | 12 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,48 | 0,21 | 0,69 |
| Kamalé Sirakoro | 3760 | 88 | 1354 | 40 | 17,5 | 0,03 | 3,52 | 23,70 | 27,22 |
| Koulsandougou | 1239 | 0 | 36 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,63 | 0,63 |
| Longorola | 857 | 0 | 541 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 9,47 | 9,47 |
| Makan Diassa | 1316 | 0 | 28 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,49 | 0,49 |
| Nankoun Diassa | 1119 | 4 | 262 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,16 | 4,59 | 4,75 |
| Mamabougou | 318 | 2 | 0 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,08 | 0,00 | 0,08 |
| Missirikoro | 1313 | 0 | 0 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sirakoro Tiemokola | 382 | 0 | 234 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 4,10 | 4,10 |
| Yerelombougou | 733 | 0 | 400 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 7,00 | 7,00 |
| Yerlon Ziera | 834 | 0 | 519 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 9,08 | 9,08 |
| Zamblara | 912 | 25 | 308 | 40 | 17,5 | 0,03 | 1,00 | 5,39 | 6,39 |
| Zanabougou | 1231 | 0 | 17 | 40 | 17,5 | 0,03 | 0,00 | 0,30 | 0,30 |
| Total Pop villageoise | 15301 | 135 | 3856 | 0 | 0 | 0 | 5,40 | 67,48 | 72,88 |
| Total | 245410 | 74661 | 9019 | 0 | 0 | 0 | 3783,87 | 157,83 | 3941,70 |

ANNEXE III : Besoins non domestiques

| 2013 | | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|------|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Quartier | Moyens consommateurs | | | | Gros consommateurs | | Demande en eau(m3/j) |
| | Population 2013 | Population desservie | | Demande en eau(m3/j) | Demande en eau(m3/j) | Demande en eau(m3/j) | |
| | | Taux desserte | | | | | |
| Bougala Hameau | 6054 | 0,14 | 848 | 4 | | 0 | 4 |
| Sabalibougou | 1035 | 0,14 | 145 | 0 | | 0 | 0 |
| Bougala Ville | 7311 | 0,14 | 1024 | 25 | Centre de santé de référence | 281 | 306 |
| | | | | | DR DSES | | |
| | | | | | Gouvernorat : bureaux | | |
| | | | | | DR TP | | |
| | | | | | DR CMDT | | |
| | | | | | Boulangerie Koné S. | | |
| | | | | | Camp Gendarmerie | | |
| | | | | | IPEG Classes | | |
| | | | | | Commissariat de police | | |
| | | | | | Lycée | | |
| | | | | | Corps des gardes | | |
| Fama | 3523 | 0,14 | 493 | 10 | | 0 | 10 |
| Hamdallaye | 30163 | 0,14 | 4223 | 139 | Camp militaire Tiéba | 43 | 182 |
| Lafiabougou koko | 12336 | 0,14 | 1727 | 36 | Hôpital Régional | 214 | 250 |
| | | | | | Commissariat 2E | | |
| | | | | | Station de traitement SOMAGEP | | |
| Kaboila1 | 2387 | 0,14 | 334 | 5 | Palais de Justice | 41 | 46 |
| | | | | | DR Jeunesse | | |

| | | | | | | | |
|---------------------|--------|------|------|-----|--------------------------|-----|------|
| Kaboila2 | 4839 | 0,14 | 677 | 19 | | 0 | 19 |
| Mamassoni | 13860 | 0,14 | 1940 | 10 | | 0 | 10 |
| Mankourani 1 | 8589 | 0,14 | 1202 | 38 | | 0 | 38 |
| Natien | 1810 | 0,14 | 253 | 3 | | 0 | 3 |
| Mankourani 2 | 8658 | 0,14 | 1212 | 41 | | 0 | 41 |
| Médine | 19520 | 0,14 | 2733 | 63 | Stade Babemba Traoré | 230 | 293 |
| | | | | | SGE S Trypano | | |
| | | | | | École Inf. Santé | | |
| | | | | | Salle Lamissa Bengaly | | |
| | | | | | Hôtel Saoudiata | | |
| Babemba | 10108 | 0,14 | 1415 | 7 | | 0 | 7 |
| Ziembougou | 1420 | 0,14 | 199 | 0 | | 0 | 0 |
| Sanoubougou | 39400 | 0,14 | 5516 | 29 | DR Douanes | 17 | 46 |
| | | | | | Air de lavage D. Dembélé | | |
| Bankoni | 10918 | 0,14 | 1529 | 3 | | 0 | 3 |
| Sanoubougou 2 | 14170 | 0,14 | 1984 | 23 | DNH | 17 | 40 |
| Sirakoro | 1017 | 0,14 | 142 | 0 | | 0 | 0 |
| Wayema 1 | 11076 | 0,14 | 1551 | 38 | BCEAO | 51 | 89 |
| | | | | | SOTELMA : Bureau | | |
| | | | | | Promotion de la femme | | |
| | | | | | Boulangerie Koné | | |
| | | | | | Prison civile | | |
| | | | | | DR Impôts | | |
| Qtier Administratif | 1240 | 0,14 | 174 | 7 | | 0 | 7 |
| Wayema 2 | 20675 | 0,14 | 2895 | 43 | IFM | 34 | 77 |
| Total ville | 230109 | | | 543 | | 928 | 1471 |
| Banankoni | 381 | 0,2 | 76 | 1 | | | 1 |
| Domogo Diassa | 460 | 0,2 | 92 | 0 | | | 0 |
| Flazambougou | 446 | 0,2 | 89 | 0 | | | 0 |

| | | | | | | |
|-----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|------|
| Kamalé Sirakoro | 3760 | 0,2 | 752 | 5 | | 5 |
| Koulsandougou | 1239 | 0,2 | 248 | 0 | | 0 |
| Longorola | 857 | 0,2 | 171 | 2 | | 2 |
| Makan Diassa | 1316 | 0,2 | 263 | 0 | | 0 |
| Nankoun Diassa | 1119 | 0,2 | 224 | 1 | | 1 |
| Mamabougou | 318 | 0,2 | 64 | 0 | | 0 |
| Missirikoro | 1313 | 0,2 | 263 | 0 | | 0 |
| Sirakoro Tiemokola | 382 | 0,2 | 76 | 1 | | 1 |
| Yerelombougou | 733 | 0,2 | 147 | 1 | | 1 |
| Yerlon Ziera | 834 | 0,2 | 167 | 2 | | 2 |
| Zamblara | 912 | 0,2 | 182 | 1 | | 1 |
| Zanabougou | 1231 | 0,2 | 246 | 0 | | 0 |
| Total Pop villageoise | 15301 | | | 14 | 0 | 14 |
| Total | 245410 | | | 557 | 928 | 1485 |

ANNEXE III : Récapitulatif de la demande en eau

| 2013 | | | |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Demande en eau domestique | Demande en eau non domestique | Demande en eau totale (m3/j) |
| Quartier | | | |
| Bougala Hameau | 31 | 4 | 35 |
| Sabalibougou | 0 | 0 | 0 |
| Bougala Ville | 181 | 306 | 487 |
| Fama | 73 | 10 | 83 |
| Hamdallaye | 987 | 182 | 1169 |
| Lafiabougou koko | 259 | 250 | 509 |
| Kaboila1 | 39 | 46 | 85 |
| Kaboila2 | 135 | 19 | 154 |
| Mamassoni | 70 | 10 | 80 |
| Mankourani 1 | 269 | 38 | 307 |
| Natien | 24 | 3 | 27 |
| Mankourani 2 | 289 | 41 | 330 |
| Médine | 450 | 293 | 743 |
| Babemba | 49 | 7 | 56 |
| Ziembougou | 0 | 0 | 0 |
| Sanoubougou | 206 | 46 | 252 |
| Bankoni | 19 | 3 | 22 |
| Sanoubougou 2 | 165 | 40 | 205 |
| Sirakoro | 2 | 0 | 2 |
| Wayema 1 | 268 | 89 | 357 |
| Qtier Administratif | 47 | 7 | 54 |
| Wayema 2 | 307 | 77 | 384 |
| Total dem ville | | | 5340 |
| | | | |

| | | | |
|-----------------------|------|------|------|
| Banankoni | 3 | 1 | 4 |
| Domogo Diassa | 0 | 0 | 0 |
| Flazambougou | 1 | 0 | 1 |
| Kamalé Sirakoro | 27 | 5 | 32 |
| Koulsandougou | 1 | 0 | 1 |
| Longorola | 9 | 2 | 11 |
| Makan Diassa | 0 | 0 | 0 |
| Nankoun Diassa | 5 | 1 | 6 |
| Mamabougou | 0 | 0 | 0 |
| Missirikoro | 0 | 0 | 0 |
| Sirakoro Tiemokola | 4 | 1 | 5 |
| Yerelombougou | 7 | 1 | 8 |
| Yerlon Ziera | 9 | 2 | 11 |
| Zamblara | 6 | 1 | 7 |
| Zanabougou | 0 | 0 | 0 |
| Total dem villageoise | 73 | 14 | 87 |
| Total | 3942 | 1485 | 5427 |

ANNEXE IV : Caractéristiques de quelques conduites à différents endroits du réseau

| ID Arc | Noeud1 | Noeud2 | Longueur | Diamètre | Rugosité |
|--------|--------|--------|----------|----------|----------|
| p1 | n1 | n2 | 165 | 203.4 | 0.01 |
| p2 | n3 | n4 | 86 | 144.6 | 0.01 |
| p3 | n4 | n5 | 307 | 81.4 | 0.01 |
| p4 | n5 | n6 | 73 | 57 | 0.01 |
| p5 | n6 | n7 | 87 | 58 | 81.4 |
| p6 | n4 | n8 | 78 | 144.6 | 0.01 |
| p7 | n9 | n10 | 1071 | 144.6 | 0.01 |
| p8 | n11 | n3 | 306 | 57 | 0.01 |
| p9 | n12 | n11 | 69 | 57 | 0.01 |
| p10 | n11 | n5 | 87 | 57 | 0.01 |
| p11 | n12 | n6 | 87 | 57 | 0.01 |
| p12 | n13 | n12 | 100 | 57 | 0.01 |
| p13 | n13 | n7 | 88 | 57 | 0.01 |
| p14 | n14 | n15 | 118.6 | 57 | 0.01 |
| p15 | n16 | n17 | 76.98 | 57 | 0.01 |
| p16 | n18 | n19 | 530.4 | 57 | 0.01 |
| p17 | n20 | n21 | 684.2 | 81.4 | 0.01 |
| p18 | n20 | n22 | 942 | 57 | 0.01 |
| p19 | n18 | n23 | 845.5 | 57 | 0.01 |
| p20 | n23 | n22 | 262.9 | 57 | 0.01 |
| p21 | n19 | n23 | 146.6 | 57 | 0.01 |
| p22 | n16 | n24 | 138.5 | 57 | 0.01 |
| p23 | n24 | n18 | 61.96 | 57 | 0.01 |
| p24 | n25 | n20 | 182.4 | 81.4 | 0.01 |
| p25 | n25 | n24 | 70.25 | 57 | 0.01 |
| p26 | n14 | n26 | 54.19 | 57 | 0.01 |
| p27 | n15 | n27 | 54.79 | 81.4 | 0.01 |
| p28 | n27 | n26 | 120 | 57 | 0.01 |
| p29 | n26 | n28 | 55.54 | 57 | 0.01 |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-------|-------|------|
| p30 | n28 | n16 | 125.9 | 57 | 0.01 |
| p31 | n27 | n29 | 56.03 | 81.4 | 0.01 |
| p32 | n29 | n17 | 41.95 | 81.4 | 0.01 |
| p33 | n29 | n28 | 121.4 | 57 | 0.01 |
| p34 | n30 | n31 | 32.17 | 57 | 0.01 |
| p35 | n30 | n32 | 101.4 | 57 | 0.01 |
| p36 | n33 | n34 | 168.4 | 67.8 | 0.01 |
| p37 | n35 | n36 | 70.71 | 81.4 | 0.01 |
| p38 | n36 | n37 | 75.15 | 81.4 | 0.01 |
| p39 | n38 | n39 | 71.26 | 81.4 | 0.01 |
| p40 | n39 | n40 | 71.44 | 81.4 | 0.01 |
| p41 | n36 | n39 | 745.9 | 57 | 0.01 |
| p42 | n41 | n42 | 217.7 | 57 | 0.01 |
| p43 | n41 | n43 | 71.55 | 81.4 | 0.01 |
| p44 | n43 | n30 | 157.2 | 81.4 | 0.01 |
| p45 | n42 | n44 | 265.1 | 57 | 0.01 |
| p46 | n44 | n31 | 71.99 | 57 | 0.01 |
| p47 | n42 | n45 | 74.73 | 57 | 0.01 |
| p48 | n45 | n43 | 70.73 | 57 | 0.01 |
| p49 | n37 | n46 | 88.52 | 81.4 | 0.01 |
| p50 | n46 | n41 | 85.12 | 81.4 | 0.01 |
| p51 | n46 | n47 | 107.3 | 57 | 0.01 |
| p52 | n48 | n37 | 137.3 | 57 | 0.01 |
| p53 | n33 | n49 | 152 | 57 | 0.01 |
| p54 | n50 | n51 | 99.52 | 57 | 0.01 |
| p55 | n45 | n44 | 191.5 | 57 | 0.01 |
| p56 | n52 | n53 | 5096 | 57 | 0.01 |
| p57 | n54 | n55 | 377.4 | 99.4 | 0.01 |
| p58 | n55 | n56 | 75.9 | 144.6 | 0.01 |
| p59 | n56 | n57 | 76.45 | 144.6 | 0.01 |
| p60 | n57 | n58 | 79.14 | 144.6 | 0.01 |
| p61 | n58 | n59 | 74.19 | 144.6 | 0.01 |
| p62 | n60 | n61 | 142.6 | 99.4 | 0.01 |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-------|-------|------|
| p63 | n57 | n62 | 1015 | 81.4 | 0.01 |
| p64 | n62 | n61 | 264.8 | 57 | 0.01 |
| p65 | n56 | n63 | 1013 | 81.4 | 0.01 |
| p66 | n62 | n63 | 74 | 57 | 0.01 |
| p67 | n59 | n64 | 152.2 | 203.4 | 0.01 |
| p68 | n65 | n66 | 462.7 | 99.4 | 0.01 |
| p69 | n8 | n67 | 116 | 144.6 | 0.01 |
| p70 | n67 | n9 | 124 | 144.6 | 0.01 |
| p71 | n60 | n68 | 11.17 | 144.6 | 0.01 |
| p72 | n68 | n69 | 789.4 | 57 | 0.01 |
| p73 | n68 | n70 | 81.18 | 144.6 | 0.01 |
| p74 | n70 | n71 | 77.14 | 144.6 | 0.01 |
| p75 | n71 | n72 | 78.45 | 144.6 | 0.01 |
| p76 | n72 | n73 | 71.67 | 144.6 | 0.01 |
| p77 | n73 | n74 | 77.61 | 144.6 | 0.01 |
| p78 | n75 | n76 | 186.9 | 81.4 | 0.01 |
| p79 | n69 | n77 | 85.99 | 203.4 | 0.01 |
| p80 | n77 | n78 | 67.37 | 203.4 | 0.01 |
| p81 | n70 | n77 | 789.2 | 57 | 0.01 |
| p82 | n71 | n78 | 790.6 | 57 | 0.01 |
| p83 | n72 | n79 | 791.9 | 57 | 0.01 |
| p84 | n73 | n80 | 790.8 | 57 | 0.01 |
| p85 | n81 | n82 | 75.82 | 226.2 | 0.01 |
| p86 | n82 | n83 | 79.95 | 144.6 | 0.01 |
| p87 | n84 | n85 | 77.93 | 144.6 | 0.01 |
| p88 | n85 | n86 | 73.19 | 144.6 | 0.01 |

ANNEXES V : Évaluation et Projection de la demande

| Désignation | | Quantité | | |
|---|------------------------|----------|--------|--------|
| | | 2013 | 2020 | 2030 |
| Consommations domestiques | | | | |
| Branchement particulier (BP) | | | | |
| Population urbaine desservie (hbts) | | 74527 | 108656 | 182531 |
| Population villageoise desservie (hbts) | | 135 | 7546 | 24338 |
| Population desservie (hbts) | | 74662 | 116202 | 206869 |
| Consommation spécifique (l/pers/j) | Périphérie urbaine | 50,7 | 50,7 | 50,7 |
| | Périphérie villageoise | 40 | 40 | 40 |
| Consommation urbaine (m3/j) | | 3779 | 5509 | 9254 |
| Consommation villageoise (m3/j) | | 5,4 | 301,84 | 973,52 |
| Consommation totale BP (m3/j) | | 3784 | 5811 | 10228 |
| Borne fontaine (BF) | | | | |
| Population urbaine desservie (hbts) | | 5162 | 12073 | 40563 |
| Population villageoise desservie (hbts) | | 3855 | 9055 | 24338 |
| Population desservie (hbts) | | 9017 | 21128 | 64901 |
| Consommation spécifique (l/pers/j) | Périphérie urbaine | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| | Périphérie villageoise | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| Consommation urbaine (m3/j) | | 90 | 211 | 710 |
| Consommation villageoise (m3/j) | | 67 | 158 | 426 |
| Consommation totale BF (m3/j) | | 158 | 370 | 1136 |
| Consommation domestique totale (m3/j) | | 3942 | 6180 | 11364 |

ANNEXES VI : Chronogramme du stage

| Activités | Mois | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Février | | | | Mars | | | | Avril | | | | Mai | | | | Juin | | | |
| | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ |
| Revue bibliographique | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Collecte de données et d'informations générales sur la ville de Sikasso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diagnostic du fonctionnement actuel du réseau de la ville de Sikasso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prise en main du logiciel EPANET et mise en place du réseau sous EPANET | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modélisation du réseau de distribution d'eau potable de la ville de Sikasso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Synthèse globale du stage Élaboration du devis quantitatif et estimatif des travaux à réaliser | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rédaction du mémoire technique | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |