OPTIMISATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE DES SECTEURS E, F ET G DES QUARTIERS LA GLACIERE ET MPISSA À BRAZZAVILLE

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

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Omar M.O.A. KAFFO

Travaux dirigés par :

- **M. Armant Benoît POUABOU MAKAYA (***Ingénieur hydraulicien, Chef de service études et méthodes à la SNDE)*
- **Dr Lawani A. MOUNIROU** (*Enseignant-chercheur à 2IE*)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prénom &NOM

Membres et correcteurs : Prénom & NOM
Prénom & NOM
Prénom & NOM

ANNEE [2014/2015]

DEDICACES

Je dédie ce travail à ma famille

Á toi ma mère Djelikatou ALAO-FARY, qui m'a inculqué le sens du travail bien fait, reçoit le présent travail comme un grain de couronnement de tous tes efforts…

Á mes frères Wahab KAFFO et Farid KAFFO, pour votre soutien…

Merci Seigneur pour toutes ces grâces renouvelées.

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis au terme de mon stage d'adresser mes sincères remerciements à :

- Monsieur le Directeur Général de la SNDE pour sa confiance en m'acceptant à la SNDE pour ce stage ;
- Mes encadreurs : **M. POUABOU MAKAYA Armant Benoît**, Chef de service études et méthodes à la SNDE, **Dr MOUNIROU Lawani Adjadi** Enseignant-chercheur à 2iE pour leur disponibilité, leurs remarques pertinentes et leurs conseils ;
- A l'ensemble du personnel de la SNDE pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur hospitalité ;

Tout le personnel de la SNDE pour leurs collaborations durant la période de stage.

Nous sommes reconnaissants à tout le personnel pédagogique qui a assuré notre formation au sein de la grande famille 2iE.

Nous terminons nos remerciements par l'ensemble des étudiants de la promotion 2014-2015 pour la chaleureuse ambiance crée autour de notre modeste personne tout au long de notre formation.

RESUME

Face aux différentes difficultés rencontrées sur le système AEP de la ville de Brazzaville dont les baisses de pressions et les coupures d'eau fréquentes, l'état congolais a initier un projet de réhabilitation de tout le réseau de distribution de la ville afin d'améliorer les conditions de distribution et de desserte de l'eau potable. C'est le cas du réseau de distribution des secteurs E, F et G faisant l'objet de la présente étude.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés au diagnostic du réseau de distribution des secteurs E, F et G et au site de production du Djoué, 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 et la saturation des conduites datant des années 1954, ainsi que la surexploitation des équipements de pompages installés au niveau de l'exhaure du site de production de Djoué.

Après avoir évalué les besoins en eau actuels de la population au niveau de ces différents secteurs E, F et G, la simulation du réseau sous Epanet a permis de visualiser le fonctionnement actuel du réseau de distribution et faire des propositions en vue d'une meilleure distribution de l'eau dans la zone d'étude. Ces propositions concernent essentiellement le renouvellement des équipements de pompage au niveau de l'exhaure du site de production du Djoué, l'installation d'un suppresseur de pression afin d'assurer une bonne pression aux zones où les pressions sont faibles et la localisation des fuites sur le réseau. La prise en compte de ces solutions permettra ainsi d'optimiser le réseau de distribution de la zone d'étude

Mots Clés :

1. **Adduction d'eau potable**
2. **Réseau de distribution**
3. **Simulation**
4. **Optimisation**
5. **Brazzaville**

ABSTRACT

Faced with various difficulties on the AEP system of the city of Brazzaville which decreases pressure and frequent water cuts, the Congolese state has initiated a project to rehabilitate the entire city's distribution network to improve the conditions of distribution and servicing of drinking water. This is the case of the distribution network areas E, F and G which are the subject of the present study.

In this study, we were interested in the diagnosis of the distribution network areas E, F and G and Djoué production site in order to provide solutions to various problems encountered on the network. This study allowed us to detect problems such as dilapidated and saturation pipes dating back to 1954, and over-exploitation of pumping equipment installed at the mine Djoué production site.

After assessing the current water needs of the population in these different areas E, F and G, the simulation of the network under Epanet allowed to view the current operation of the distribution network and make proposals for better water distribution in the study area. These proposals principally renewal pumping equipment at the dewatering of Djoué production site, installation of a suppressor of pressure to ensure good pressure to areas where pressures are low and the location of leaks in the network. The consideration of these solutions and will optimize the distribution network of the study area

Key Words :

1. **Drinking water supply**
2. **Distribution network**
3. **Simulation**
4. **Optimization**
5. **Brazzaville**

SIGLES ET ABREVIATIONS

2IE : Institut International de l'Eau et de l'Environnement

AEP : Approvisionnement en eau potable

BP : Branchements particuliers

BV : Branchements voisins

CNSEE : Centre National de la Statistique et des Etudes Economiques

CREPA : Centre Régional pour l'Eau potable et l'Assainissement à faible coût

FIT : Front InterTropical

FD : Fonte ductile

IGIP : Ingénieur Conseil en Développement Urbain et Régional

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat

SNDE : Société Nationale de Distribution d'Eau

SIG : Système d'Information Géographique

SOGECO : Société générale d'électricité du congo

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

UCD : Unité compacte dégrémont

SOMMAIRE

DEDICACES ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

SIGLES ET ABREVIATIONS vi

SOMMAIRE vii

LISTES DES TABLEAUX ix

LISTES DES FIGURES ix

LISTES DES PHOTOS ix

I. INTRODUCTION 1

I.1. Contexte et problématique 1

I.1.1. Contexte 1

I.1.2. Problématique 2

I.2. Objectifs de l'étude 2

II. Présentation de la zone d'étude, de la structure d'accueil et méthodologie générale 2

II.1. Présentation de la zone d'étude 2

II.1.1 Caractéristiques du milieu physique 3

II.1.2 Caractéristiques socio-économique 5

II.2. Présentation de la structure d'accueil 11

II.3. Méthodologie générale 12

III. Présentation du réseau d'eau actuel de la ville de Brazzaville 14

III.1 Les sites de productions d'eau potable de la ville de Brazzaville 14

III.1.1 Le site du Djoué 14

III.1.2 Le site de Djiri 18

III.1.3 Les stations de forage 21

III.2 Détermination du point de fonctionnement de chaque pompe au niveau de l'exhaure de l'unité de traitement du Djoué 22

III.3 Contribution des différents sites de production au cours de l'année 2014 26

III.4 Les ouvrages de stockage 27

III.5 Présentation du réseau de distribution de la ville de Brazzaville 28

III.4.1 Description du réseau de distribution de la ville de Brazzaville 28

III.4.2 Etat du réseau de distribution 29

III.6 Schéma synoptique du système d'AEP de la ville de Brazzaville 31

IV. Etude diagnostique de la zone d'étude 31

IV.1 Réseau de distribution des secteurs E, F et G 31

IV.1.1 Présentation du réseau de distribution 31

IV.1.2 Evaluation des pertes d'eau dans le réseau de distribution 32

IV.2 Evaluation des besoins en eau actuel des secteurs E, F et G 33

IV.2.1 Evaluation des besoins en eau domestiques des secteurs E, F et G 33
IV.2.2 Evaluation des besoins en eau non domestiques des secteurs E, F et G 36
IV.3 Evaluation des besoins en eau à l'horizon 2045 37
IV.3.1 Estimation de la population à l'horizon 2045 37
IV.3.2 Evaluation des besoins en eau 38

V. Simulation du fonctionnement actuel du réseau de la zone d'étude 38
V.1 Eléments du modèle 38
V.1.1 Le nœud 39
V.1.2 Demande au nœud 39
V.1.3 Les tronçons 39
V.1.4 Le Réservoir 40
V.2 Présentation de l'outil de simulation utilisé 40
V.3 Simulation du comportement actuel du réseau 43
V.3.1 Simulation à l'heure de pointe 43

VI. Optimisation du réseau et simulation du fonctionnement futur 44
VI.3.1 Mesures d'optimisation 44
VI.1.1 Localisation de fuite 44
VI.1.2 Pose d'un suppresseur (zone de basse pression) 45
VI.3.2 Simulation du fonctionnement futur 47

VII. Conclusion et recommandations 48

Bibliographie 49

LISTE DES ANNEXES 50

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evaluation du taux d'accroissement des arrondissements 6
Tableau 2 : Points d'eau destinés aux autres usages du ménage 8
Tableau 3 : Répartition du standing en fonction du type d'habitations 8
Tableau 4 : Evolution du taux d'accès au réseau pour les trois standings d'habitation (BP)..... 9
Tableau 5 : Evolution du taux des branchements particuliers..... 9
Tableau 6 : Problèmes ressentis 10
Tableau 7 : Rendement de production de l'usine de traitement du Djoué..... 16
Tableau 8 : Rendement de production des UCDs du Djoué..... 17
Tableau 9 : Rendement de production du site de Djiri..... 20
Tableau 10 : Choix des pompes optimales..... 25
Tableau 11 : Contribution des différents sites de production au cours de l'année 2014 26
Tableau 12 : Dotation par habitation en fonction du standing et du mode d'alimentation..... 33
Tableau 13 : Taux de branchement en fonction du standing..... 34
Tableau 14 : Répartition des abonnés en fonction du type de standing et des secteurs 34
Tableau 15 : Ménage par branchement / parcelle 35
Tableau 16 : Besoins domestiques au niveau des secteurs E, F et G 35
Tableau 17 : Evolution globale de la population desservie à l'horizon du projet..... 37
Tableau 18 : Formules de pertes de charge exprimée en mètre colonne d'eau et le débit en .. 41
Tableau 19 : Coefficient de pertes de charges pour certains types de vannes et raccords 42

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : localisation de la zone d'étude 3
Figure 2 : Détermination du point de fonctionnement 22
Figure 3 : Détermination du point de fonctionnement de la pompe refoulant sur la conduite FD 532/500..... 24
Figure 4 : Détermination du point de fonctionnement de la pompe refoulant sur la conduite FD 429/400..... 24
Figure 5 : Détermination du point de fonctionnement de la nouvelle pompe refoulant sur la conduite FD DN500 25
Figure 6 : Détermination du point de fonctionnement de la nouvelle pompe refoulant sur la conduite FD DN400 26
Figure 7 : Répartition des pressions sur l'ensemble du réseau à l'heure de pointe..... 44
Figure 8 : Illustration (Pose suppresseur + zone de basse pression) 45
Figure 9 : Simulation future du réseau 47

LISTES DES PHOTOS

Photo 1 : Prise de pression 13
Photo 2: Répartition de la longueur des conduites en fonction des diamètres 32

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte et problématique

I.1.1. Contexte

Le développement harmonieux de toute économie a toujours et partout été subordonné à la maîtrise de l'eau. L'accès à l'eau potable est un enjeu important dans le monde. Si un Homme peut passer des jours sans électricité et sans nourriture, il est par contre impossible de passer plus de deux jours sans boire.

Comme bon nombre de métropoles africaines, la ville de Brazzaville fait face à une croissance exponentielle de la population et par conséquent des besoins en eau. Malheureusement, cette croissance n'est pas toujours suivie par le développement de certaines infrastructures de base pour promouvoir la croissance économique et sociale afin d'en assurer le bien-être des populations.

Pour le cas de la ville de Brazzaville, l'Etat congolais a consenti d'importants investissements dans la construction des ouvrages de production et de stockage d'eau potable. Cependant, l'accès à l'eau potable des populations demeure un réel problème pour les pouvoirs publics.

Le réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Brazzaville date des années de la construction de la première usine de traitement d'eau potable du Djoué en 1954. Comme on peut le constater, une partie du réseau de par son âge et pour certaines raisons liées à l'environnement, nécessite des actions de réhabilitation, renouvellement, de densification et de correction pour une meilleure desserte en eau des populations.

Dans le but d'appréhender les problèmes sur le réseau de distribution d'eau potable de la ville de Brazzaville, et de rendre son fonctionnement optimal pour l'installation d'un service d'eau durable, une étude diagnostique physique des canalisations et accessoires du réseau dans les zones en difficulté est indispensable. C'est dans ce contexte que les quartiers de Mpissa et la Glacière de l'arrondissement N°2 Bacongo ont été choisis comme zone d'étude afin de bien cerner la problématique pour le compte de la Société Nationale de Distribution d'Eau (SNDE).

I.1.2. Problématique

Les quartiers de Mpissa et la Glacière font partis des plus vieux quartiers de Brazzaville disposant d'un réseau de distribution en eau potable vétuste. Depuis un certain temps, ce réseau qui les desserts connaît des baisses de pression et même des coupures d'eau fréquentes. Certains habitants sont contraints de s'approvisionner en eau à des heures tardives de la nuit. La ville de Brazzaville dispose d'énormes potentialités en ressources en eau exploitables ; théoriquement donc, un problème de desserte d'eau ne devrait pas s'y poser.

I.2. Objectifs de l'étude

L'objectif général de l'étude est d'améliorer les conditions de distribution et desserte de l'eau potable dans les différents secteurs E, F et G des quartiers la Glacière et Mpissa à Brazzaville.

Les objectifs spécifiques visés par ce projet sont les suivants :

- Etablir un diagnostic clair et effectuer une simulation du fonctionnement actuel du réseau ;
- Proposer des mesures d'optimisation et évaluer les besoins en eau à l'horizon 2045 ;
- Effectuer une simulation du fonctionnement futur du réseau ;

II. Présentation de la zone d'étude, de la structure d'accueil et méthodologie générale

II.1. Présentation de la zone d'étude

Brazzaville, la capitale politique et administrative de la République du Congo est située dans le sud du Congo, sur les rives du fleuve Congo, sur la rive nord du Pool Malebo. Ses coordonnés géographiques sont de 4°15'58'' Sud en latitude et 15°16'59'' Est en longitude. Elle s'étend sur une superficie de 263,9 km^2.

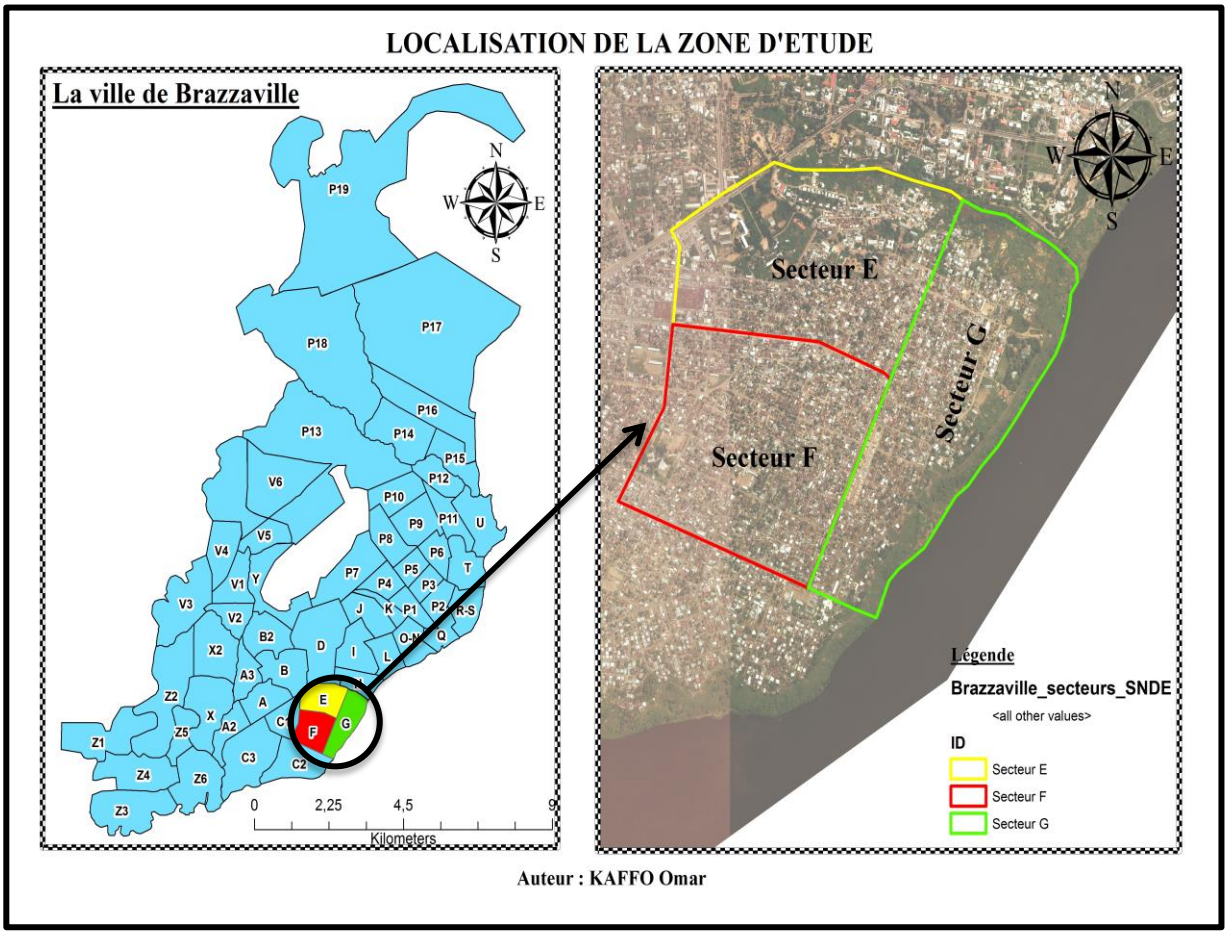


Figure 1 : localisation de la zone d'étude

II.1.1 Caractéristiques du milieu physique

Données climatiques : Les données climatologiques proviennent principalement du rapport de Mr N. Moukolo qui a effectué une analyse des données pluviométriques (moyennes mensuelles) sur 39 années pour Brazzaville. Le climat du Congo est de type équatorial humide, caractérisé par une saison sèche très marquée de 4 à 5 mois (de mai à septembre), et deux saisons de pluies. Celle de février à mai est la plus abondante. La succession des saisons dépend des mouvements du front intertropical (FIT). La température moyenne annuelle est de 25° C avec des écarts de 35°C pendant la saison sèche et 12°C en saison des pluies.

Brazzaville est située dans la zone climatique sud (zone tropicale):

- Des précipitations de 800 à 1 800 mm avec une variabilité interannuelle de 15 à 40% ;
- Une saison sèche presque absolue de 150 à 160 jours de mai à septembre ;
- Une saison des pluies d'octobre à mai avec une période inter pluviale en janvier ;

- Une température moyenne annuelle de 21-27°C ;
- Une humidité relative de l'air de 80 à 87% à faible variation saisonnière.

Pluviométrie : La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 1 500 mm. Les intensités sont très fortes sur de courtes durées. La précipitation horaire représente environ 60% de la précipitation journalière. La lame d'eau mesurée à la station de Maya Maya peut être considérée comme représentative pour toute la zone étudiée car les pluies caractérisées comme « orages », très localisées, ne représentent qu'un tiers du décompte annuel. Ils sont de loin inférieurs aux pluies de perturbation de type « tornades » qui sont plus étendues.

Eaux de surface : Le département de Brazzaville a fait l'objet d'une étude hydrologique par l'ORSTOM qui a implanté dès 1950 des stations d'observation et a publié des annuaires hydrologiques des principaux cours d'eau dont le fleuve Congo, la rivière Djiri, la rivière Djoué à Brazzaville et la loémé à Pointe Noire. Dans les années 80, N. Moukolo avait entrepris des jaugeages ponctuels sur la Djoumouna, la Djouari, la Nswelé, la Mambou et la Mfilou.

Le réseau hydrographique du département de Brazzaville comporte :

- Des cours d'eau important comme le fleuve Congo (deuxième fleuve du monde par sa puissance), la rivière du Djoué, la rivière de Djiri et celle de Djouari ;
- Des ruisseaux de la zone périurbaine dont les principaux sont la Djoumouna, la Nswelé et la Mambou ;
- Des marigots d'agglomération : la Tsiémé, la Mfilou, la Mfoa et leurs affluents.

Les eaux de surface dans le département de Brazzaville sont peu minéralisées et du type bicarbonaté calcique.

Géologie : La ville de Brazzaville est située dans le Bas Congo, dans le bassin sédimentaire du fleuve Congo, à la limite entre les Plateaux Batékés et la Cuvette Congolaise. Les plateaux Batékés forment un immense plateau atteignant 700 m d'altitude, subdivisé en plusieurs petits plateaux par des vallées profondes montrant une orientation parallèle aux failles décrochantes NE-SO que l'on retrouve également dans le Bassin Côtier. La formation est en partie recouverte par les alluvions de la Cuvette congolaise.

Hydrogéologie : Dans le département de Brazzaville, on distingue deux aquifères :

- Au nord de la rivière Djoué : une nappe libre contenue dans les colluvions et alluvions du fleuve Congo, les sables du BA1 et les grès tendres du Stanley Pool ;
- Au sud de la rivière Djoué : l'aquifère des sables du BA1 dont la configuration ne permet pas une exploitation industrielle. Ce potentiel limité serait confirmé par le régime irrégulier des cours d'eau alimenté par cette nappe.

Les niveaux caillouteux des quartiers bas de Brazzaville n'ont que peu d'intérêt hydrogéologique. Les grès d'Inkisi ne sont pas fracturés et n'ont pas d'intérêt hydrogéologique.

Les coefficients de transmissivité des terrains sont compris entre 10^{-4} m/s pour les alluvions anciennes du Congo et 10^{-7} m/s pour les sols à forte composante argileuse. Selon les études réalisées, les réserves de la nappe dans le département de Brazzaville peuvent être estimées à 1 100.10^6 m3, dont 990.10^6 m^3 de réserve permanente avec un taux de renouvellement de 10 à 12%. Le taux de renouvellement élevé confirme l'importance de la nappe. Ceci est également confirmé par le régime très régulier des cours d'eau.

II.1.2 Caractéristiques socio-économique

Dans le cadre de l'étude du Plan Directeur pour l'AEP de la ville de Brazzaville, le bureau d'étude SOGECO a réalisé, en novembre 2008 et en collaboration avec CREPA, une enquête quantitative « ménages » pour définir les besoins unitaires et les stratégies les plus appropriées pour une desserte correcte de la population. Le questionnaire comporte des éléments sur les aspects socio-économiques et socio sanitaires. L'accent étant mis sur la capacité et la volonté de payer l'eau ainsi que sur les habitudes de la population concernant l'approvisionnement en eau et son utilisation.

Données démographique : Selon le dernier recensement général de la population et de l'habitation (Demographie de Brazzaville 2007), et dont les résultats provisoires ont été publiés en septembre 2008, la ville de Brazzaville compte une population de 1 375 237 habitants, dont 61% dans les arrondissements périphériques de Makélékélé, Mfilou et Talangai et 39% dans les arrondissements situés au niveau du centre-ville (Bacongo, Poto poto, Moungali et Ouenzé). L'annexe 3 présente la répartition de la population par arrondissement et son évolution au cours des trente dernières décennies.

D'après l'étude menée par le recensement général de la population et de l'habitation (RGPH, 2007), on constate qu'en 30 ans, la population a migré vers les arrondissements périphériques ; la part de la population vivant au centre-ville est passée de 69% en 1974 à moins de 40% en 2007. L'évolution du taux d'accroissement par arrondissement est aussi très représentative de ce phénomène.

Des taux d'accroissements annuels de la population ont été définis par arrondissement en intégrant les densités et la répartition de la population sur les différents arrondissements :

- Les arrondissements de Bacongo, Poto poto et Ouenzé sont saturés et auront un taux d'accroissement égal à 2% ;
- L'arrondissement de Moungali est lui aussi quasiment saturé et connaîtra un taux d'accroissement faible, égal à 1,9% ;
- Les arrondissements périphériques de Talangai, Mfilou et Makélékélé absorberont l'accroissement démographique de Brazzaville qui, connaîtra tout de même un repli déjà amorcé au cours de la dernière décennie.

Le tableau ci-dessous présente l'évolution du taux d'accroissement des arrondissements suivant l'évolution du temps.

Tableau 1 : Evaluation du taux d'accroissement des arrondissements

	1974-1984	**1984-2007**	**2007-2030**
Makélékélé	9%	4%	3,90%
Bacongo	3%	3%	2%
Poto poto	2%	3%	2%
Moungali	3%	3%	1,90%
Ouenzé	4%	3%	2%
Talangai	11%	5%	4,70%
Mfilou	11%	5%	4,90%
Moyenne			**3,06%**

Source : (RGPH 2007)

Enquête quantitative des ménages : En 2007, Selon l'étude menée par (IGIP, Etude du plan directeur Phase II. Vol 1 Propositions pour le plan directeur 2007), 1 229 ménages de Brazzaville ont été enquêtés. Soit environ 0,5 % des ménages. Pour que les résultats puissent être exploités pour la planification du projet d'AEP, l'enquête a été menée par secteur SNDE. 58,5 % des enquêtés étaient des femmes et 13 sur 23 enquêteurs étaient des enquêtrices. Les principaux indicateurs issus de l'enquête sont répertoriés dans l'annexe 1

Taille et structure des ménages : Le recensement des ménages effectué à Brazzaville en 2005 par le CNSEE indique que la ville comptait plus de 200 000 ménages. L'enquête des ménages donne une moyenne de 5,64 habitants par ménage ce qui porterait le nombre de ménages à 243 794. Enfin, l'enquête effectuée par PRIPODE donne 5,5 habitants/ménage.
Selon l'enquête effectuée par IGIP, 5% des ménages sont constitués d'une seule personne, 4% des ménages ont plus de 12 personnes (maximum : 27). 23% des ménages sont dirigés par des femmes.

Approvisionnement en Eau Potable de la ville : Seuls 44% des ménages enquêtés s'approvisionnent en eau potable à partir des branchements (IGIP, Etude du plan directeur Phase II. Vol 1 Propositions pour le plan directeur 2007). Ceci est surtout dû aux fréquentes coupures d'eau qui font que 16% des ménages ont dû chercher leur eau de boissons ailleurs qu'à leur propre BP fonctionnel dans la parcelle : achat d'eau minérale, forage du voisin, etc.
Une part importante de la population s'approvisionne auprès de points d'eau qui livrent une eau de qualité douteuse : sources aménagées (6 %), des forages privés (2 %), ou des puits peu profonds (2 %) ou encore achat d'eau auprès de porteurs d'eau. Les quartiers dépourvus de réseau achètent leur eau (5%) qui leur arrive par citerne, taxis, pousse-pousse ou par porteur.

Des ménages achètent leur eau de boisson et utilisent l'eau de la SNDE pour les autres usages. 8,8 % des ménages raccordés utilisent un autre point d'eau, le plus souvent un puits privé ou une citerne destinée aux autres usages du ménage.
Le tableau ci dessous présente les en fonction du type de points d'eau …

Tableau 2 : Points d'eau destinés aux autres usages du ménage

Autre point d'eau	Effectif	%
Puits privés	76	30,6
Citerne / eau de pluie	69	27,6
Source aménagée	24	9,7
Source non aménagée	11	4,4
Autre	61	24,6
Pas de réponse/ Ne sais pas	7	2,8
TOTAL	248	100

Source : IGIP. (2007)

Sur 3600 raccordements, seuls 1675 ont des compteurs fonctionnels. Les autres en sont soit dépourvus, soit le compteur est hors service. Si les ménages qui n'ont pas de BP sur la parcelle connaissent à peu près le nombre de bidons (jerricans) consommés par jour, les ménages raccordés ne peuvent estimer la leur. Leur compteur étant le plus souvent hors d'usage et sont donc facturés au forfait.

Taux d'accès au réseau : Le taux d'accès au réseau représente le pourcentage de population ayant accès à l'eau potable, que ce soit par branchement privé ou branchement du voisin. D'après l'étude socioéconomique menée dans le cadre de la première phase du plan directeur, le taux d'accès au réseau en 2008 était globalement de 76%.

La SNDE a répertorié les habitations de la ville en fonction du standing. Ci-dessous, le tableau représentant les différents standings en fonction du type d'habitations.

Tableau 3 : Répartition du standing en fonction du type d'habitations

Type de Standing	**Bas standing**	**Moyen standing**	**Haut standing**
Type d'habitations	Cases	Appartements et immeubles	Villa

Source : IGIP. (2007)

Comme indiqué dans la lettre du gouvernement relatif à politique sectorielle de l'Eau et de l'assainissement de 2007, l'objectif était d'assurer une desserte de 90% à l'horizon 2015, 95% en 2020 et 100% en 2025. Le tableau ci-dessous présente l'évolution du taux d'accès au réseau en fonction du type de standing jusqu'à l'horizon 2045.

Tableau 4 : Evolution du taux d'accès au réseau pour les trois standings d'habitation (BP)

	2007	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2045**
Bas standing	75%	83%	90%	95%	100%	100%	100%
Moyen standing	80%	85%	91%	98%	100%	100%	100%
Haut standing	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source : IGIP. (2007)

Taux de branchement particulier : Il était prévu qu'à partir de 2010, 5 000 nouveaux branchements devraient être mis en service annuellement sur toute la ville, tout standing confondu. Son évolution suivant le standing avait été calculée sur la base des hypothèses suivantes:

- Les 5000 nouveaux branchements annuels seront effectués prioritairement sur les habitations haut et moyen standing ;
- Pour le haut standing, le taux de branchement était de 100% dès 2007 ;
- Pour le moyen standing, le taux de branchement évoluera pour atteindre les 100% en 2025 ;
- Pour le bas standing, le taux de raccordement est variable. Le nombre de nouveaux branchements annuels sera de 5000 moins le nombre de nouveaux branchements installés pour les habitations moyen et haut standing.

Ci-dessous le tableau indiquant le taux de branchements particuliers jusqu'à l'horizon 2045.

Tableau 5 : Evolution du taux des branchements particuliers

	2007	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**2045**
Moyen standing	80%	85%	91%	98%	100%	100%	100%
Haut standing	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source : IGIP. (2007)

L'approvisionnement en eau potable est une grande contrainte pour les habitants de Brazzaville, même pour ceux qui sont raccordés à la SNDE (63 % des ménages enquêtés). Les problèmes ressentis par les ménages selon leur point d'approvisionnement en eau potable sont les suivants :

Tableau 6 : Problèmes ressentis

Problèmes	Pourcentage des ménages			
	BP (%)	BV (%)	Autre PE (%)	TOTAL (%)
Mauvais état de l'installation	33	33	34	100
Pas d'eau toute la journée	46	37	17	100
Pas d'eau tous les jours	32	32	36	100
L'eau provoque des maladies	45	31	24	100
Le coût de l'eau	22	40	38	100
Autres problèmes	19	32	49	100
Pas de problème	35	25	40	100

Source : IGIP. (2007)

Les contraintes ressenties par les usagers sont sérieuses. Comme contraintes, nous pouvons citer :

- La pénurie de l'eau

La quasi totalité de la population a, théoriquement, accès à l'eau potable. Mais en pratique, les coupures sont fréquentes et peuvent, dans certains quartiers, durer des jours ou même des semaines. Face à cette situation, la SNDE a institué un « tour d'eau » pour alimenter, autant que peut se faire alternativement tous les quartiers. Les ménages sont donc obligés de stocker l'eau par tous les moyens (citernes équipées ou non d'hydrophores, fûts, etc.). Dans certains quartiers de la ville, les femmes qui sont responsables de l'approvisionnement en eau, doivent se mobiliser entre 1 et 5 h du matin au détriment de leur sommeil. Les quartiers situés à la périphérie, qui se sont développés récemment, sont dépourvus de réseaux et souffrent donc encore plus de la pénurie.

- La qualité de l'eau

La proportion de ceux qui estiment que la qualité de l'eau (du robinet) de la SNDE est

mauvaise est très élevée (70%). 8 % seulement estiment que l'eau est bonne. Les usagers sont conscients que l'eau est polluée pendant le transport, et que l'eau qui sort des robinets n'est plus potable. La fréquence des cas de diarrhées est la même dans les ménages qu'ils soient desservis ou non par la SNDE.

Prix de l'eau : Pour un nouvel abonné, le coût de raccordement au réseau SNDE est de l'ordre de 110.000 FCFA, hors fourniture et pose du compteur qui n'est de toute façon pas installé. Il est relativement important puisqu'il représente environ 2 fois le revenu mensuel d'un ménage « pauvre». Le comptage de la consommation ne se fait pas. Les abonnés sont donc pratiquement tous facturés bimestriellement et au forfait selon 3 tranches tarifaires. 88,5% des abonnés par la SNDE sont facturés forfaitairement dans la tranche de consommation de 50 m^3 par bimestre (facture bimestrielle de 12.700 FCFA). Dans les quartiers faiblement alimentés, il peut y avoir des arrangements exceptionnels avec la SNDE et les clients qui sont alors facturés 6.900 FCFA par bimestre.

Capacité et volonté de payer : Dans les priorités des ménages relevées par l'enquête ECOM, l'accès à l'eau potable ne vient qu'en 10ème position. Néanmoins, l'étude COWI constate « l'existence d'une volonté et d'une capacité à payer des ménages pour ce service ». En général, les habitants du centre-ville sont plus disposés à payer, tandis que ceux des quartiers semi urbains de la périphérie disposent de moins de moyens monétaires. L'influence du revenu sur le consentement à payer est manifeste, mais il n'y a pas de grandes disparités entre les arrondissements en ce qui concerne la disposition à contribuer pour disposer d'une meilleure eau. Notre enquête montre que le prix actuel de l'eau de la SNDE n'est pas un obstacle. Plus de 70,0 % ont même déclaré qu'ils seraient prêts à payer plus si la SNDE fournissait un bon service d'eau potable (fiable et de bonne qualité).

II.2. Présentation de la structure d'accueil

La Société Nationale de Distribution d'Eau (SNDE) est une entreprise publique à caractère industriel et commercial. Elle a été créée par la loi 06/67 du 15 juin 1967. Au capital social de 11 449 476 639 FCFA, son siège social est sis avenue du Sergent Malamine, BP 365 à Brazzaville. Elle est immatriculée au Registre du Commerce et du Crédit Mobilier sous le numéro RC 67 B 702. Son objectif est la production et la distribution d'eau potable sur

l'ensemble du territoire de la République du Congo. Cette activité est rendue possible grâce à la réalisation des unités de production (usines et forages), des ouvrages de stockage et des réseaux de distribution installés dans diverses localités de la ville. La SNDE dessert actuellement, en dehors de la ville de Brazzaville et de Pointe-Noire, les localités de Madingo-Kayes, Dolisie, Nkayi, Mossendjo, Madingou, Djambala, Gamboma, Abala, Oyo, Boundji, Owando, Makoua, Ewo, Itoumbi, Ouesso, Sibiti, Epéna, Kinkala, Mossaka et Impfondo. Elle sera bientôt installée à Mouyondzi, Tchikapika, Ntokou.

II.3. Méthodologie générale

Afin d'atteindre les différents objectifs, une approche méthodologique a été adoptée. Elle a consisté à la recherche documentaire, les travaux de terrain, le diagnostic, la simulation du fonctionnement actuel du réseau de distribution de la zone d'étude sous le logiciel EPANET et enfin la simulation du fonctionnement futur du réseau. La rédaction s'est déroulée au fil de l'avancement des travaux du mémoire. A chaque étape nous avons soumis un écrit à l'approbation des différents encadreurs. Dans un premier temps, le rapport contient les étapes franchies pour la réalisation de ces différents travaux effectués, les résultats et ensuite, quelques recommandations apportées.

Recherche documentaire : Cette étape a permis d'élaborer une synthèse bibliographique à partir des documents disponibles à la SNDE concernant le système d'AEP de la ville de Brazzaville et principalement des secteurs concernés dans le cadre de l'étude. Ces documents ont permis d'élaborer le diagnostic, de relever les éléments de dimensionnement et aussi des différents paramètres pouvant faciliter la simulation du réseau. Les documents exploités, ont permis de ressortir les consommations en eau pour ainsi préparer l'analyse technique pouvant servir de pré-dimensionnement. L'acquisition des plans du réseau a permis de modéliser le réseau et d'y faire une simulation.

Travaux de terrain : Une visite au niveau des unités de production a permis de s'imprégner et de valider les informations obtenues au niveau des documents mis à notre disposition par la SNDE. Vu que le réseau ne dispose pas actuellement d'outils de mesure de débit et de

pression au niveau des conduites maitresses, nous avons effectué une prise de pression chez certains abonnés à l'aide d'un manomètre gradué (bars).

Les différentes étapes qui ont permis la prise de mesure sont les suivantes :

- Identification des points critiques sur les axes principaux (quelques abonnés) ;
- Echange avec les abonnés ;
- Identification des robinets externes principalement ceux qui sont dans la cours ;
- Fixation du manomètre au robinet puis ouverture du robinet jusqu'avoir une pression constante sur le manomètre.

Photo 1 : Prise de pression

Diagnostic du fonctionnement actuel du réseau : L'amélioration et la consolidation du réseau d'eau potable existant passe nécessairement par une évaluation de sa performance et un diagnostic, permettant de ressortir les différents problèmes constatés. Compte tenu du manque d'informations à notre disposition, l'approche utilisée pour mieux cerner le fonctionnement du réseau de distribution de la zone d'étude a consisté à décrire le réseau depuis l'usine de traitement jusqu'aux conduites de distribution.

Simulation du réseau de distribution actuel et futur de la zone d'étude : A partir du plan du réseau de la ville de Brazzaville, nous avons extrait le sous réseau des conduites de notre zone d'étude. A partir des besoins journaliers estimés, nous avons calculés pour le jour de pointe, les débits transitant dans chaque conduite en tenant compte du mètre linéaire de chaque conduite par rapport à la longueur du sous réseau alimentant la zone d'étude. 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 par tronçon et des demandes aux différents nœuds :

$$q_i = \frac{Djp}{24 * \Sigma L_i} * L_i$$

Avec :

Djp = la demande du jour de pointe de la zone d'étude ;

Li = la longueur de la conduite i en m ;

Qi : le débit linéaire de la conduite i en m3/s.

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

$$Q_i = \sum q_i$$

La demande de base à chaque nœud devient :

$$Dj = \sum_{i=1} \frac{Qi}{2}$$

Les pertes de charge ont été déterminées suivant la formule de Darcy-Weisbach avec les coefficients de rugosité variant en fonction du type et l'âge de la conduite. Une fois ces données insérer dans le modèle, nous sommes passés à la simulation du fonctionnement du réseau sous différent régime. Les résultats de cette simulation nous ont permis d'identifier les problèmes qui empêchent le bon fonctionnement du réseau. Par la suite, des solutions et des recommandations ont été proposées afin de palier aux différents problèmes que subit le réseau.

III. Présentation du réseau d'eau actuel de la ville de Brazzaville

III.1 Les sites de productions d'eau potable de la ville de Brazzaville

III.1.1 Le site du Djoué

Les premières infrastructures AEP de la ville de Brazzaville datent de 1954 et ont consisté à créer le système issu de Djoué (exhaure, y compris une conduite de refoulement, une usine de traitement de capacité 500 m^3/h) ainsi que le réseau de distribution autour du château les Clairons. De 1975 à nos jours, la capacité de l'exhaure et de l'usine de traitement a été

augmentée (1600 m^3/h). Par la suite, deux UCD ont été installées (2 x UCD 720 m^3/h) afin de renforcer la capacité de production.

L'usine de traitement du Djoué : Situé au sud-ouest de la ville de Brazzaville, la station de pompage d'eau brute desservant l'usine du Djoué est composée de quatre groupes électropompes verticaux dont deux sont au repos en période normale. Chaque pompe débite 800 m^3/h d'où une capacité nominale de production journalière avoisinant les 32 000 m^3 /j en considérant que la durée de pompage journalière est de 20 heures**.** A la sortie de la salle de pompage se trouve un dispositif anti-bélier et deux conduites de refoulement captage-station de traitement dont les caractéristiques respectives : FD DN500 et FD DN400. L'usine de traitement est composée des installations de préparation et de dosage de différents réactifs, de trois décanteurs rectangulaires et une batterie de neuf filtres ouverts de type Aquazur qui sont actuellement dans un état de dégradation avancée. Par processus de clarification, désinfection et d'équilibre du pH, les eaux brutes provenant de l'exhaure sont ainsi traitées et stockées dans une bâche semi-enterrée en béton armé de capacité 2500 m^3.

Une salle de pompage d'eau traitée de capacité nominale opérationnel avoisinant les 30 000 m^3 /j permet ainsi de refouler les eaux traitée vers les réservoirs de distribution à travers des conduites d'adduction. Cette installation comporte :

- Trois groupes électropompes de surface dont deux fonctionnent simultanément en période normale ;
- Un dispositif anti-bélier.

Les UCD du Djoué : Hors mis la station de pompage d'eau brute desservant l'usine du Djoué au niveau de l'exhaure, se trouve une autre station de pompage alimentant les UCD (2 x 720 m^3/h). Cette station est composée de trois groupes électropompes dont deux fonctionnent simultanément et un au repos en période normale. Chaque pompe débite 740 m^3/h d'où une capacité nominale de production journalière avoisinant les 29 600 m^3 /j en considérant que la durée de pompage journalière est de 20 heures**.** A la sortie de la salle de pompage se trouve un dispositif anti-bélier et deux conduites de refoulement captage-station de traitement dont les caractéristiques sont identiques FD DN500 (environ 2 x 370 m).

Au niveau de la station de traitement, se trouve deux UCD (720m^3/h) composées chacune de trois décanteurs lamellaire. Par processus de clarification, désinfection et d'équilibre du pH, les eaux brutes sont ainsi traitées et stockées dans une bâche métallique semi-enterrée de capacité 1500 m^3**.** Une salle de pompage d'eau traitée de capacité nominale opérationnel avoisinant les 28 800 m^3 /j permet ainsi de refouler les eaux traitées vers les réservoirs de distribution. Cette installation comporte :

- Trois groupes électropompes de surface dont deux fonctionnent simultanément en période normale ;
- Deux anti-béliers ;
- Deux compteurs volumétriques.

Le rendement du site a été ainsi établi à partir des eaux captées (avant traitement) et des eaux émises (après traitement). Cela a permis de constater que le site présente certaines anomalies inquiétantes.

Rendement du site du Djoué : Le tableau suivant présente les différents rendements de production de l'usine de traitement Djoué effectué durant l'année 2014.

Tableau 7 : Rendement de production de l'usine de traitement du Djoué

Mois	Eau captée (m^3/j)	Eau emise (m^3/j)	Rendement (%)
Janv.-14	799 554	426 811	53%
Fevr.-14	581 673	261 969	45%
Mars.-14	434 587	179 683	41%
Avril.-14	822 141	350 302	43%
Mai.-14	801 132	527 943	66%
Juin.-14	831 132	556 994	67%
Juil.-14	821 830	556 994	68%
Août.-14	557 866	354 520	64%
Sept.-14	718 698	469 629	65%

Oct.-14	862 394	490 378	57%
Nov.-14	774 573	445 058	57%
Dec.-14	913 136	524 952	57%
Moyenne	**743 226**	**428 769**	**57%**

Nous remarquons que les rendements de production sont en dessous de 90**%** ce qui est inquiétant. Les pertes en eau sont d'une grande ampleur. Notons entre autre que l'usine de traitement du Djoué fait face à un certain nombre de difficultés :

- La vétusté des équipements de production qui datent de plusieurs décennies ;
- Les pannes fréquentes des pompes dues à une maintenance irrégulière ;
- Dégradation des ouvrages de génie civil due à un mauvais entretien ;
- Fuites des eaux à travers les décanteurs et les filtres ;
- La conduite de refoulement d'eau brute traverse une zone urbanisée, certaines habitations étant carrément érigées sur la trajectoire même de la conduite, ce qui est dangereux et rend difficile les travaux de maintenance ;
- Un des filtres est à l'arrêt depuis 2008, ce qui réduit d'autant la capacité de la station ;
- Les autres unités de filtration sont très vétustes, notamment les planchers filtrants en amiante-ciment, ce qui provoque une réduction croissante des performances techniques.
- Aucun dispositif de comptage n'existe, que ce soit sur l'exhaure ou sur le refoulement de l'eau traitée. Les volumes communiqués par la SNDE sont fondés sur les temps de fonctionnement des pompes supposées fonctionner à leur débit nominal, avec les incertitudes que cela engendre puisque les pompes ne sont pas régulièrement étalonnées.

Tableau 8 : Rendement de production des UCDs du Djoué

Mois	Eau captée (m3)	Eau emise (m3)	Rendement (%)
Janv.-14	783 215	683 864	87%
Fevr.-14	787 538	691 004	88%

Mars.-14	816 400	704 853	86%
Avril.-14	721 381	624 662	87%
Mai.-14	686 435	605 230	88%
Juin.-14	752 667	655 372	87%
Juil.-14	873 319	757 042	87%
Aout.-14	917 102	821 394	90%
Sept.-14	832 006	726 826	87%
Oct.-14	805 437	714 892	89%
Nov.-14	640 502	514 816	80%
Dec.-14	430 484	404 329	94%
Moyenne	**753 874**	**657 690**	**84%**

Contrairement à l'usine de traitement du Djoué, le rendement de production des UCD ne nécessite pas d'inquiétude. Rappelons que les UCD du Djoué ont été installés afin de renforcer l'usine de traitement du Djoué. Cependant des travaux de renforcement sont entrain d'être menées afin d'optimiser les UCD du Djoué afin d'obtenir des rendements de production supérieurs à 90%.

III.1.2 Le site de Djiri

L'usine de Djiri a été construite en 1986 avec la capacité de production nominale de 2250 m^3/h. Les besoins en eaux de la ville grandissant, il a donc été décidé d'entreprendre des études et des travaux de réhabilitation de l'usine (Djiri I) et de construction d'une nouvelle unité de traitement (Djiri II) de capacité nominale 5250 m^3/h. Aujourd'hui le site Djiri comprend deux unités de traitements portant ainsi la capacité totale de production à 7500 m^3/h ; en plus de deux UCD (UCD 720 m^3/h et UCD 180 m^3/h).

Les usines de traitement (Djiri I et Djiri II) : Située au nord de la ville de Brazzaville, le site de captage de Djiri est composé d'une prise d'eau brute commune pour les usines d'eau de Djiri I et Djiri II. Au niveau de cette prise d'eau se trouvent deux canaux d'entrée, équipés chacun d'une grille de dégrossissage et d'un dégrilleur fin. On y retrouve aussi un dessableur à quatre compartiments à fonds horizontaux, une station de pompage d'eau brute composée de sept pompes submersibles dont une de secours. Chaque pompe débite 1334 m^3/h d'où une capacité nominale de production avoisinant les 160 080 m^3 /j en considérant que la durée de pompage journalière est de 20 heures.

A l'aide d'une conduite en fonte ductile DN 1200, l'eau brute provenant de la station de pompage est refoulée vers le répartiteur primaire commun aux deux usines d'eau (Djiri I et Djiri II). Du répartiteur primaire l'eau brute est envoyée d'une part vers un répartiteur secondaire (Djiri I) à l'aide d'une conduite de transfert en fonte ductile DN 700 et d'autre part vers des décanteurs lamellaires statiques pour le traitement (Djiri II). Au niveau de la filière de traitement de Djiri II, l'eau brute passe par (04) quatre décanteurs lamellaires statiques et de (08) huit filtres de type Aquazur V. Au niveau de la filière de traitement de Djiri I, l'eau brute quittant le répartiteur secondaire passe par (02) deux décanteurs dynamiques Accelerator et (05) cinq filtres de type Aquazur T. Les eaux traitées de Djiri II sont ensuite transférées dans un réservoir de capacité 4000 m^3 (deux compartiments de 2000 m^3) qui sont par la suite refoulées dans les stations de reprise et celles de Djiri I sont transférées dans un réservoir de capacité 2000 m^3 qui sont aussi refoulées dans les stations de reprise.

Le refoulement des eaux traitées de Djiri II dans les stations de reprise se fait à partir d'une station de pompage d'eau traitée de 5250 m^3/h de capacité, équipée de :

- Deux pompes de 1500 m^3/h de capacité unitaire dont une de secours, pour le refoulement vers la station de reprise Ngamakosso (10 000 m^3) ;
- Quatre pompes de 1250 m^3/h de capacité unitaire dont une de secours, pour le refoulement vers la station de reprise Itatolo (6000 m^3).

Le refoulement des eaux traitées de Djiri I dans les stations de reprise se fait à partir d'une station de pompage d'eau traitée de 2250 m^3/h de capacité, équipée de :

- Trois pompes de 1125 m^3/h de capacité unitaire dont une de secours, pour le refoulement vers la station de reprise Ngamakosso (10 000 m^3);

- Trois pompes d'eau de lavage des filtres de 1125 m^3/h de capacité unitaire dont une de secours.

Les UCD de Djiri : L'exhaure est composée de quatre groupes électropompes dont deux groupes électropompes de capacité nominale 720 m^3/h (une pompe au repos en fonctionnement normal) et de deux autres groupes électropompes de capacité nominale 180 m^3/h (une pompe au repos en fonctionnement normal). Les deux pompes en marche 900 m^3/h d'où une capacité nominale de production journalière avoisinant les 18 000 m^3 /j en considérant que la durée de pompage journalière est de 20 heures**.** A la sortie de la salle de pompes se trouve deux dispositifs anti-béliers et deux conduites de refoulement captage-station de traitement dont les caractéristiques sont :

- PVC DN 500 PN 16 reliant l'exhaure à l'UCD 720 m^3/h ;
- PVC DN 250 PN 16 reliant l'exhaure à l'UCD 180 m^3/h.

Au niveau de la station de traitement, se trouvent deux UCDs (UCD 720m^3/h et UCD 180m^3/h) composées chacune de trois décanteurs lamellaires. Toujours par processus de clarification, désinfection et d'équilibre du pH, les eaux brutes sont ainsi traitées et stockées dans une bâche métallique semi-enterrée de capacité 1000 m^3**.**

Une salle de pompage d'eau traitée de capacité nominale opérationnelle avoisinant les 18 000 m^3 /j permet ainsi de refouler les eaux traitées dans la station de reprise de Soprogi 1 équipée de deux réservoirs métalliques semi-enterrées (1000 m^3 et 500 m^3).

Rendement du site de Djiri : Le tableau ci-dessous présente les rendements de production du site de Djiri.

Tableau 9 : Rendement de production du site de Djiri

Mois	Eau captée (m3)	Eau émise (m3)	Rendement
Janv.-14	3 197 671	3 044 819	95%
Fevr.-14	2 121 599	2 039 755	96%
Mars.-14	2 411 117	2 327 782	97%

Avril.-14	2 596 507	2 439 190	94%
Mai.-14	2 676 108	2 434 053	91%
Juin.-14	2 828 923	1 813 476	64%
Juil.-14	2 828 923	2 111 326	75%
Août.-14	2 928 978	1 573 149	54%
Sept.-14	2 436 441	2 246 232	92%
Oct.-14	2 536 746	2 379 534	94%
Nov.-14	3 119 283	2 485 938	80%
Dec.-14	3 291 503	3 075 010	93%
Moyenne	**2 747 817**	**2 330 855**	**85%**

Nous constatons que pendant les mois de Juin, Juillet et Aout les rendements ont chutés. Cela pourrait s'expliquer par le fait que durant ces mois, des travaux de réhabilitation ont été effectués au niveau de ces différentes unités afin de les rendre plus performantes.
Le site de Djiri contrairement à celui de Djoué ne présente pas trop de faiblesse et donne pour la plupart du temps des rendements qui approchent ou dépassent les 90%.

III.1.3 Les stations de forage

En 2004, neufs forages d'exploitation ont été réalisés par l'entreprise chinoise China Beijing pour le compte de la SNDE dans le cadre de l'alimentation en eau potable de trois quartiers périphériques de Brazzaville. Il s'agit de la station de Massengo, Moukondo et Bikaroua.
Présentement, seule la station de Moukondo est opérationnelle. Les deux autres stations sont hors services d'où ne desservent plus les quartiers Massengo et Bikaroua.

Station de Moukondo : La station de Moukondo est composée de trois forages (F1, F2 et F3) qui sont distants d'environ 400 m chacun. Chaque forage débite près de 100 m^3/h. Le traitement se compose d'une décantation, filtration et chloration, étapes toutes fonctionnelles. Les deux premiers traitements sont nécessaires en raison de la présence de sables fins dans les eaux des forages. Après traitement, l'eau est pompée vers un réservoir semi-enterré de capacité 500 m^3 et alimente le réseau local (Moukondo haut et Moukondo Bas).

III.2 Détermination du point de fonctionnement de chaque pompe au niveau de l'exhaure de l'unité de traitement du Djoué

L'existence des pertes d'eau au niveau de l'usine de traitement du Djoué (η = *57%*) 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 donne 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 : **Hg + ΔH(Q)**, où Hg est la hauteur géométrique (différence dans niveaux de refoulement et d'aspiration) et **ΔH(Q)** est la perte de charge totale dans la conduite de refoulement et la conduite d'aspiration

Le point de fonctionnement, M, est alors définit par : **HMT(Q_0) = Hg + H(Q_0)** et s'illustre comme suit :

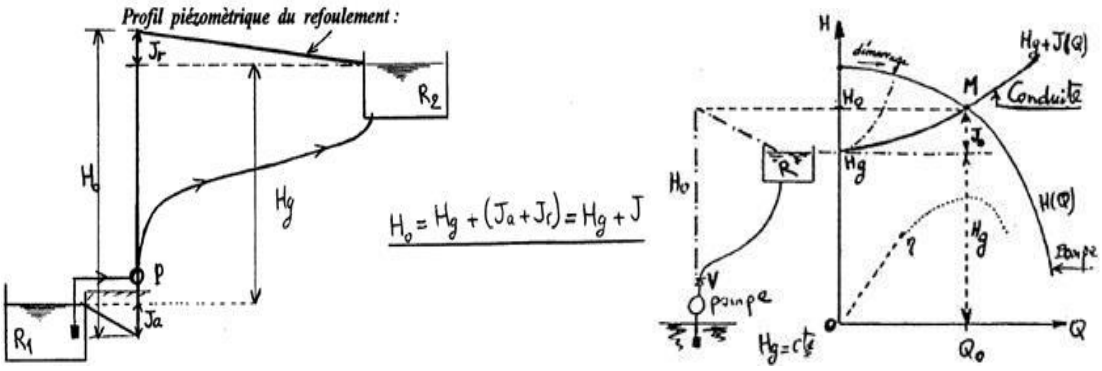


Figure 2 : Détermination du point de fonctionnement

Au niveau de l'exhaure (usine de traitement) du Djoué, se trouve deux pompes verticaux débitant chacune 800 m3/h. Ne disposant que d'un seul point pour chaque pompe à savoir le débit nominal et la charge nominale, nous utiliserons 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.

Les pompes au niveau de l'exhaure refoulent respectivement l'eau brute vers l'usine de traitement à partir de deux conduites FD DN500 et FD DN400. Chaque conduite est alimentée par une pompe délivrant 800 m3/h sous une HNT de 45 m. Les deux conduites sont composées chacune d'un seul tronçon dont les caractéristiques sont les suivants :

- Conduite FD 532/500 ; Longueur 300 m
- Conduite FD 429/400 ; Longueur 300 m

Le graphique ci-dessous montre le point de fonctionnement de la conduite FD 532/500.

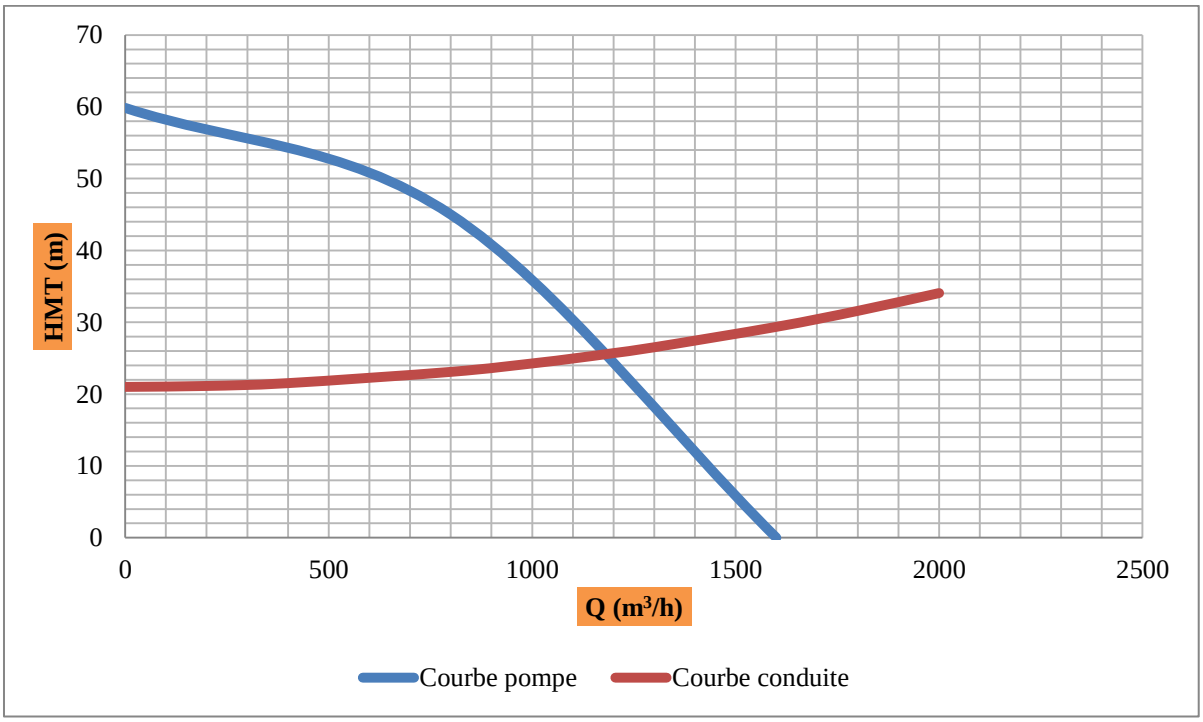


Figure 3 : Détermination du point de fonctionnement de la pompe refoulant sur la conduite FD 532/500

Au point de fonctionnement de cette conduite, on note que le débit est 1 140 m^3/h et une HMT de 25 m. Par rapport aux conditions nominales, on a une augmentation du débit de 42% et une diminution de la HMT de 44,4%. On en conclut que cette pompe fonctionnerait hors de la plage de fonctionnement nominale.

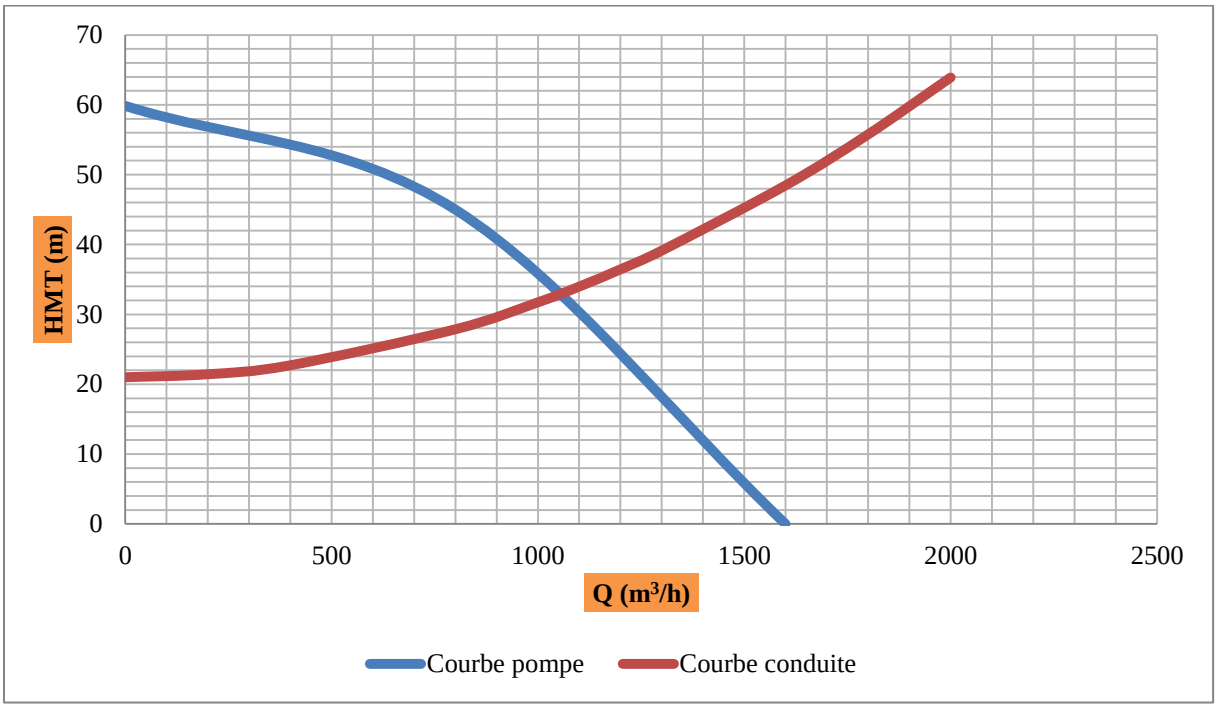


Figure 4 : Détermination du point de fonctionnement de la pompe refoulant sur la conduite FD 429/400

Au point de fonctionnement de cette conduite, on note que le débit est 1 050 m^3/h et une HMT de 32,5 m. Par rapport aux conditions nominales, on a une augmentation du débit de 31,25% et une diminution de la HMT de 28%. On en conclut que cette pompe fonctionnerait hors de la plage de fonctionnement nominale.

Au regard de ce qui précède, nous pouvons déduire que les différentes pompes installées au niveau de l'exhaure du Djoué (usine de traitement) ne refoulent pas au débit souhaité (1 600 m^3/h). Afin de palier à ce problème nous proposons de remplacer les pompes existantes par des pompes optimales :

Tableau 10 : Choix des pompes optimales

Emplacement	Nom du constructeur	Type	Débits (m^3/h)	HMT (m)
Conduite FD DN500	GRUNFOS	NK 250-330	800	25
Conduite FD DN400	GRUNFOS	NK 300-360	800	29,5

Afin de s'assurer que ces pompes refouleront le débit souhaité, nous procéderons à l'étude de leur point de fonctionnement.

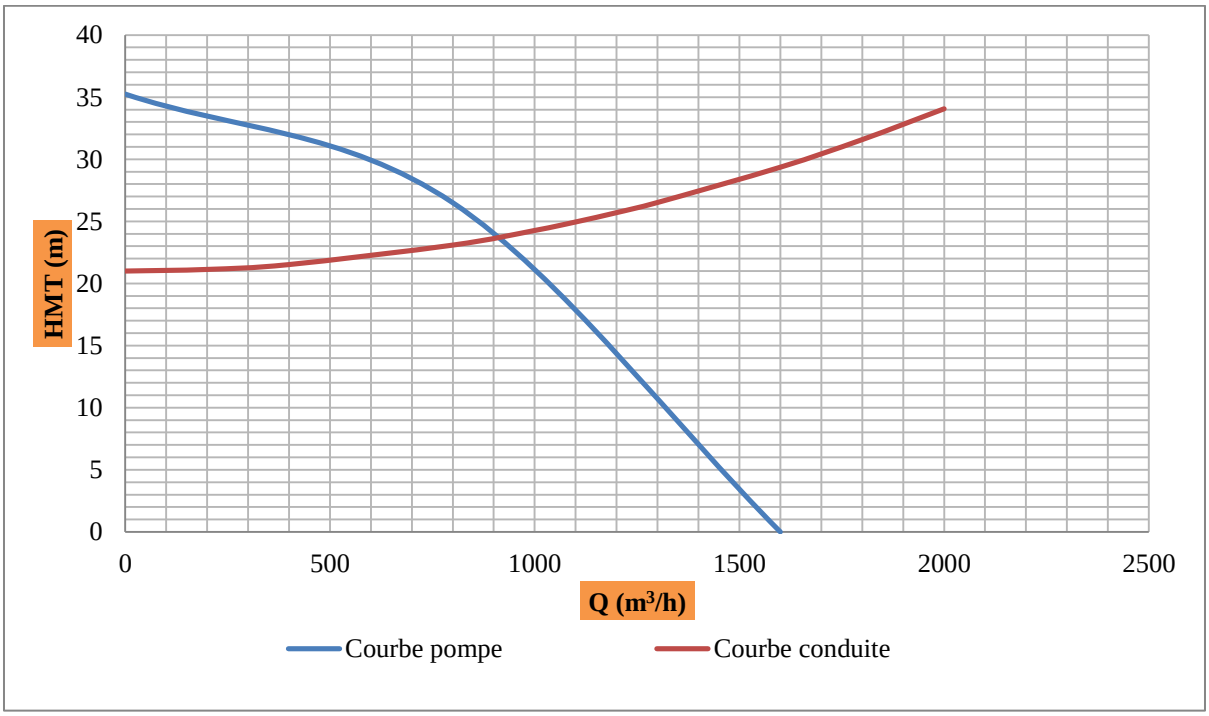


Figure 5 : Détermination du point de fonctionnement de la nouvelle pompe refoulant sur la conduite FD DN500

De ce graphique, on conclut qu'au point de fonctionnement, le débit est de 839,4 m^3/h pour une HMT d'environ 23,3m. Ce point n'est donc pas loin des conditions de fonctionnement nominales. On peut ainsi conclure que cette pompe est adaptée pour refouler au débit souhaité et à une HMT convenable.

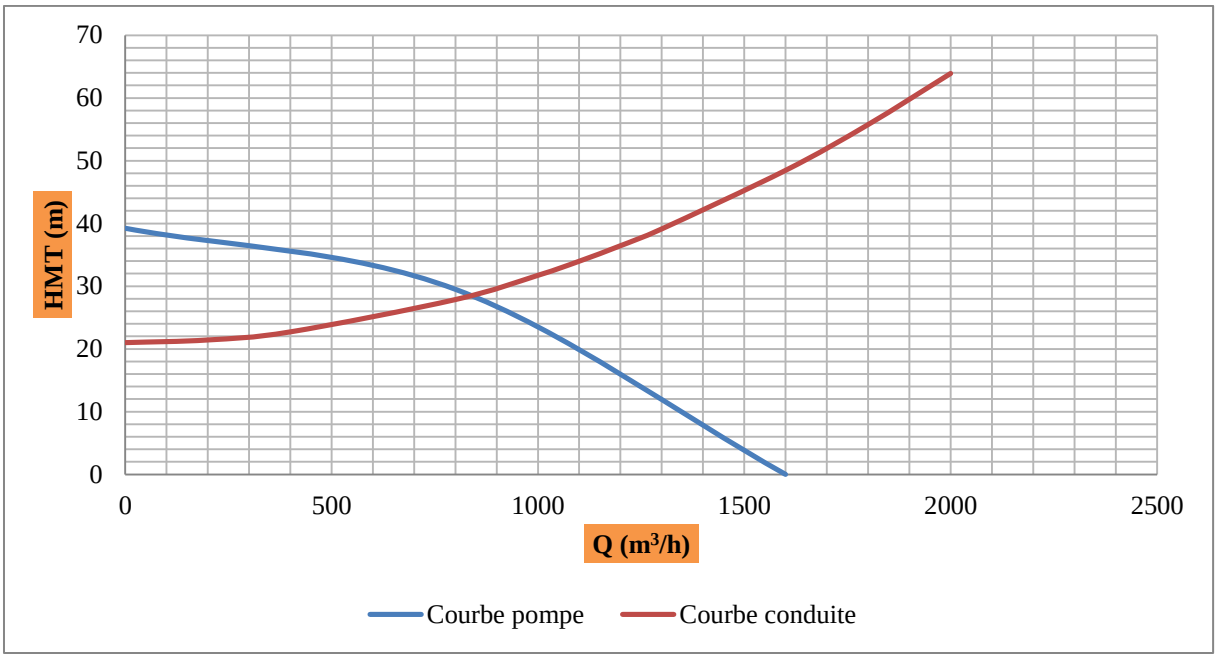


Figure 6 : Détermination du point de fonctionnement de la nouvelle pompe refoulant sur la conduite FD DN400

De ce graphique, il en ressort le même constat que celui du précédent graphe. Au point de fonctionnement, le débit est de 820 m^3/h pour une HMT d'environ 29,15 m. On peut ainsi conclure que cette pompe est adaptée pour refouler au débit souhaité et à une HMT convenable

III.3 Contribution des différents sites de production au cours de l'année 2014

L'eau traitée est majoritairement produite à partir de Djiri (67,4%) suivi du Djoué (31,45%) et de la station de Moukondo qui est cependant négligeable du fait de sa faible capacité de production (1,15%). Le tableau ci-dessous récapitule la contribution des différents sites de production au cours de l'année 2014.

Tableau 11 : Contribution des différents sites de production au cours de l'année 2014

Mois	Site du Djoué (m^3)	Site de Djiri (m^3)	Station de Moukondo(m^3)
Janv.-14	1 110 675	3 044 819	51 040
Fevr.-14	952 973	2 039 755	46 278

Mars.-14	884 536	2 327 782	48 912
Avril.-14	974 964	2 439 190	51 870
Mai.-14	1 133 173	2 434 053	48 720
Juin.-14	1 212 366	1 813 476	44 000
Juil.-14	1 314 036	2 111 326	46 500
Août.-14	1 175 914	1 573 149	46 320
Sept.-14	1 196 455	2 246 232	21 229
Oct.-14	1 205 270	2 379 534	24 116
Nov.-14	959 874	2 485 938	19 631
Dec.-14	929 281	3 075 010	28 428
Moyenne	**1 087 460**	**2 330 855**	**39 754**

III.4 Les ouvrages de stockage

La capacité totale des ouvrages de stockage du système AEP de la ville est estimée à 39 300 m^3, réparties de la façon suivante :

- Châteaux d'eau : Patte d'oie (4 000 m^3) ; Ngangouoni (2 500 m^3).
- Réservoirs semi-enterré : Ngamakosso (10 000 m^3) ; Itatolo (6 000m^3) ; Soprogi I (1 500m^3) ; Soprogi II (3 500 m^3) ; Sadelmi (5000 m^3) ; Ndouo (1 250 m^3) ; Mayanga (3 000 m^3) ; Ngampoko (300 m^3) et Boukiero (2 250 m^3).

Tous ces ouvrages sont en béton armé sauf les réservoirs de Soprogi I qui sont métalliques (acier galvanisé). La capacité de stockage actuelle (39 300 m^3) représente une réserve de stockage de 5h / jour de pompage, soit 25% de la capacité de production journalière.

III.5 Présentation du réseau de distribution de la ville de Brazzaville

III.4.1 Description du réseau de distribution de la ville de Brazzaville

La topographie de la ville de Brazzaville comprend un plateau au Sud et une basse plaine au Nord. La ville est située entre les cotes 230 et 500 m NGC, soit une dénivelée totale de 270 m. Malgré cette morphologie accidentée, le réseau AEP actuel de la ville de Brazzaville n'est pas sectorisé en étage de distribution. En effet, la plupart des réservoirs de stockage sont by pass et seuls les réservoirs Ngangouoni et Ngamakosso sont fonctionnels.

Le réseau de distribution est alimenté par les usines de Djiri au nord-est et par les usines du Djoué au sud-ouest. En fonctionnement normal, ce réseau fonctionne pour la plupart du temps en refoulement-distribution entre les usines du sud-ouest (Djoué) et en distribution pure à partir du réservoir semi-enterré de Ngamakosso. L'approvisionnement et la distribution se fait donc directement en refoulement à partir des deux usines de traitement et d'une station de forages. La distribution principale à partir de Djoué est assurée par deux conduites FD DN 500. L'une s'arrête au niveau du château d'eau de Ngangouoni, l'autre continue vers le château d'eau et se ramifie en FD DN 500 vers la Patte d'Oie. Le réseau sud-ouest présente plusieurs mailles principales de diamètre allant de 200 à 500 mm. La distribution principale à partir de Ngamakosso est assurée à travers une conduite FD DN800 qui se divise en deux branches au niveau des secteurs P14/P15 : une branche en DN 800/600 part vers le nord-ouest jusqu'au château d'eau de la Patte d'Oie tandis que l'autre en DN 800/600 part vers le sud-ouest, créant ainsi une grande maille principale entourant les arrondissements de Ouenzé, Poto-Poto et une partie de Bacongo et Moungali.

Des conduites de distribution secondaire (100 < DN < 200) sont branchées sur ces conduites, et constituent à leur tour des antennes et des mailles.

Sur les 3 réseaux des quartiers périphériques alimentés par les forages, le refoulement se fait sur des conduites maîtresses FD DN 200 et FD DN 250 rarement maillées.

Le réseau de distribution d'eau de la ville de Brazzaville est long environ de 1 031 Km tous diamètres confondus :

- 135 Km de conduites primaires (DN > 200) ;
- 223 Km de conduites secondaires (100<DN<200);

- 673 Km de conduites tertiaires (DN < 100) ;
- le réseau compte vannes, ventouses et vidanges.

Les matériaux des conduites sont en fonte grise, fonte ductile, PVC et acier galvanisé.

III.4.2 Etat du réseau de distribution

Depuis un bon nombre d'années, la SNDE s'attache à résoudre les problèmes de fuites et procéder à quelques extensions pour des diamètres nominaux inférieurs à 160 mm. Le plan de vannage général existant n'est pas mise à jour. L'emplacement des vannes est généralement bien connu par le personnel exploitant, mais il se pose souvent des problèmes au niveau de la gestion de ces équipements si bien que l'état de la position ouverte et fermée est quelque fois inconnue et l'accès à ces équipements n'est pas toujours garanti (habitation, recouvrement par bitumage ou autre). Par ailleurs, il faut noter sur le réseau, l'existence de deux types de vannes (vanne à ouverture à gauche et vanne à ouverture à droite) ce qui complique l'exploitation. Le principal défaut que l'on peut noter sur ce réseau est l'absence de ventouses aux points hauts et de vidanges aux points bas. Cette situation favorise l'accumulation de l'air aux points hauts créant des perturbations au niveau de la distribution.

Le manque de vidange entraîne des dépôts au niveau des points bas ce qui augmente l'entartrage en ces points et par conséquent les pertes de charges. Outre son insuffisance structurelle, le réseau de distribution de la ville de Brazzaville est sujet à deux phénomènes (la vétusté des canalisations et les problèmes d'érosion). Sur les conduites primaires, peu de points d'érosion ont été aperçus excepté le cas déjà évoqué des 2 conduites de refoulement de Djoué, et la conduite FD DN 800 au départ de Ngamakosso. Les conduites primaires ne sont généralement pas trop exposées puisqu'elles sont posées le long des voies de communication principales le plus souvent asphaltées. Cependant, ces conduites posées dans les années 1950 sont sujettes aujourd'hui à des problèmes de vétusté et de saturation.

Sur le réseau secondaire, la situation est différente. En effet, d'une part, les ruelles où passent certaines canalisations ne sont pas toujours asphaltées et sont sous équipées des ouvrages d'assainissements. L'érosion causée par le ruissellement des eaux sauvages expose les conduites au jour et les rendent vulnérables au phénomène de casses. D'autre part, pour les

diamètres inférieurs à 150mm, les premiers tuyaux posés entre 1950 et le milieu des années 1970 sont en fonte grise, donc relativement cassants et affectés par des phénomènes de corrosion et d'entartrage induisant la réduction de la section et donc une augmentation des pertes de charge. Les conduites de ce type doivent être réhabilitées ou renouvelées, d'autant plus que la situation continuera à se détériorer aussi longtemps que la pression dans le réseau sera renforcée.

Pour le réseau tertiaire (DN < 100mm), le constat est identique sauf que, les tuyaux PVC récents sont en bon état contrairement aux canalisations en fonte grise et en acier galvanisé posées lors des premières décennies de fonctionnement du réseau. Cette analyse qualitative est renforcée par les statistiques de la SNDE sur les fuites. Les interventions se font sur des petits diamètres et très rarement sur les conduites maîtresses. Par ailleurs, il faut noter que :

- certaines conduites se retrouvent en pleine voie par suite de rectification ou d'aménagement de la voirie, ce qui rend particulièrement difficile toute intervention ;
- d'autres se retrouvent d'un seul coté de la ruelle, ce qui oblige les branchements à la traverser et rend coûteuse et délicate toute intervention sur ces dernières ;
- en raison de la faible densité du réseau, des extensions en DN 63 ou moins sont réalisés sur les conduites de diamètre 250 ou plus, ce qui augmente les risques de fuites.

Concernant les équipements hydromécaniques du réseau, leur état général est également préoccupant. En effet :

- certaines vannes sont bloquées alors que d'autres ne sont plus étanches même si la pression reste faible. Ainsi lors de la casse, il est difficile d'isoler uniquement les tronçons affectés. La SNDE est donc obligée dans ces cas-là d'étendre la coupure pour avarie, soit d'interrompre la distribution sur plusieurs secteurs, soit carrément de différer la réparation qui nécessiterait l'arrêt complet de la production sur la ligne concernée ;
- l'accessibilité à ces équipements n'est pas toujours garantie puisque certains regards ont été recouverts au moment du revêtement des chaussées ;
- certains regards ne sont plus munis de couvercles, ce qui représente un facteur d'insécurité vis-à-vis de l'exploitation du réseau ;

- au niveau des vidanges et des ventouses, la grande majorité se retrouve bloquée en raison d'un déficit de maintenance pendant une longue période.

III.6 Schéma synoptique du système d'AEP de la ville de Brazzaville

Le schéma synoptique du système d'AEP de la ville de Brazzaville est présenté en Annexe 5

IV. Etude diagnostique de la zone d'étude

La ville de Brazzaville compte neuf (09) arrondissements parmi lesquels se trouve l'arrondissement de Bacongo représentant notre zone d'étude. Avec une population estimée à 374 739 habitants (RGPH, 2007), l'arrondissement de Bacongo fait partir des arrondissements les plus vieux de la ville de Brazzaville.

Dans le souci d'une meilleure gestion de sa clientèle (gestion de proximité), la SNDE a décidé de répartir ses abonnés par secteurs et agences, indépendamment de la répartition administrative et cadastrale de la ville de Brazzaville. En effet, suivant la répartition de la SNDE, la ville de Brazzaville compte 7 agences et un point de vente regroupant chacun un certain nombre de secteurs. En ce qui concerne l'agence de Bacongo, elle gère 16 secteurs parmi lesquels on retrouve les secteurs E, F et G couvrant les quartiers Mpissa et la Glacière objet de la présente étude.

Limité au Nord par L'avenue Matsoua, au Sud par l'avenue L'OUA, à l'Est par l'avenue Nkouka Batéké et à l'Ouest par l'avenue des 3 francs, le secteur E dispose d'une superficie de 97 ha. Le secteur F (103 ha) quand à lui, est limité au Nord par l'avenue Simon Kimbangou, au Sud par l'avenue Matsoua, à l'Est par l'avenue Nkouka Batéké et à l'Ouest par l'avenue des 3 francs. Le secteur G (110 ha) est limité au Nord par l'avenue Simon Kimbangou, au Sud par l'avenue de Brazza, à l'Est par l'avenue des 3 francs et à l'Ouest par l'avenue de la corniche. La superficie globale des secteurs E, F et G est estimée à 310 ha.

IV.1 Réseau de distribution des secteurs E, F et G

IV.1.1 Présentation du réseau de distribution

Le réseau de distribution de la zone d'étude va du château d'eau de Ngangouoni (réservoir d'équilibre) et couvre les secteurs E, F et G de l'arrondissement de Bacongo. Ce réseau est

long de plus de 22 Km, estimation faite en se limitant aux conduites primaires et secondaires. Les conduites tertiaires quant à elle sont pour la majorité constituées de diamètre 50 mm en galva très vétuste. La photo 2 et l'annexe 8 (dont les données ont été obtenues à l'aide du SIG) nous donnent les longueurs des différentes conduites de diamètre ≥100 mm du réseau de distribution.

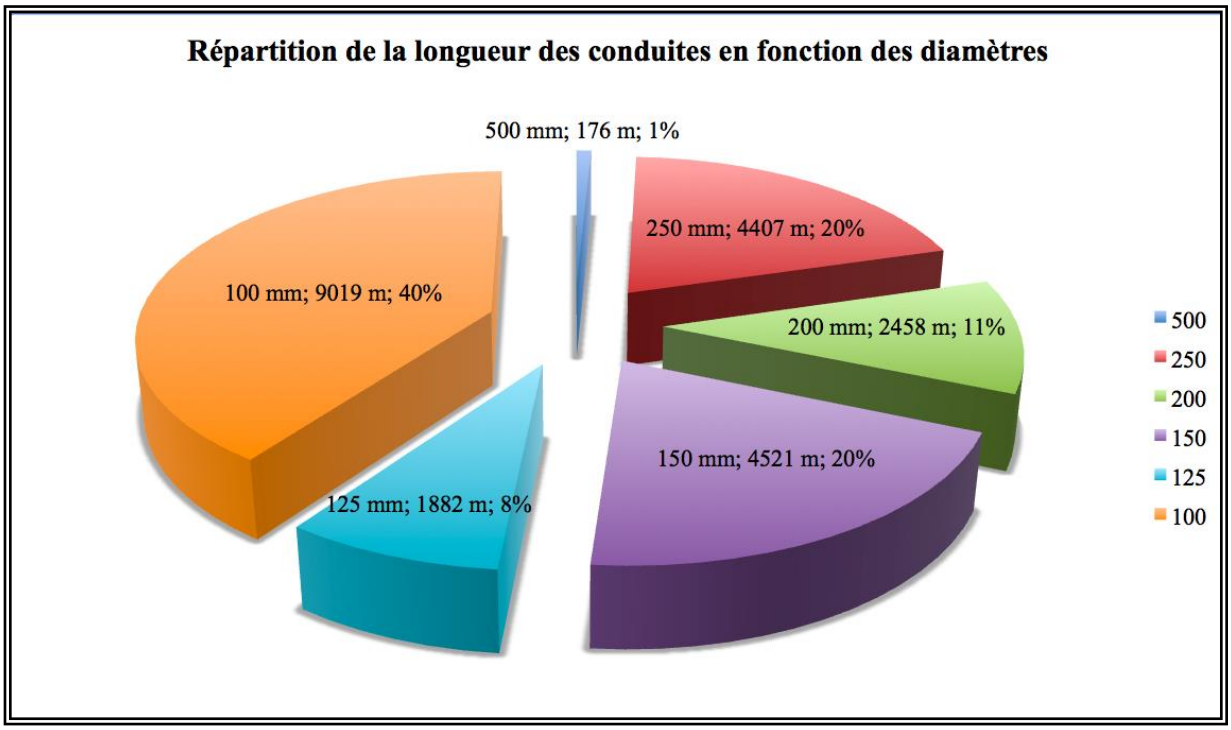


Photo 2: Répartition de la longueur des conduites en fonction des diamètres

Le réseau dispose d'un certain nombre d'équipements hydromécaniques (vannes de sectionnement, ventouses, purges d'air etc.) dont quelques-uns sont encore opérationnels. Cependant, on a pu observer une insuffisance de maintenance de ses équipements. Outre cette insuffisance, le réseau fait face à un certain nombre de problèmes :

- L'absence d'un plan de comptage adéquat ce qui entraine des pertes en volumes d'eau non comptabilisés ;
- La vétusté et la saturation de certaines conduites ;
- Des coupures d'eau intempestives.

IV.1.2 Evaluation des pertes d'eau dans le réseau de distribution

Les pertes dans le réseau sont dues à un manque d'étanchéité au niveau de joints de canalisation favorisant ainsi les fuites d'eau dans le réseau, mais aussi à des tuyaux

défectueux du réseau public de distribution d'eau potable. Toutefois, les pertes dans les résidences, dues à un usage abusif ou à une plomberie défectueuse, ne sont pas comptabilisées dans les pertes mais plutôt dans la consommation domestique. Les pertes sont difficiles à déterminer de façon précise. L'ensemble des fuites sur le réseau de distribution varie suivant le type des tuyaux, leur vétusté, la nature de terrain et la qualité de l'entretien. Dans le cas de notre zone d'étude, les pertes au niveau du réseau de distribution seront estimées à 30% d'où un rendement qui est égal à 70%.

IV.2 Evaluation des besoins en eau actuel des secteurs E, F et G

Pour faciliter le calcul des besoins actuels et futurs, l'évolution de la population a été calculée par secteur et agence SNDE. L'agence desservant les secteurs E, F et G est celui de Bacongo. L'annexe 6 présente l'évolution de la population par secteur au niveau de l'agence SNDE de Bacongo. En 2014, l'agence de Bacongo comptait 19 810. Les secteurs E, F et G regroupent 18 % de l'ensemble des abonnés comptabilisés au niveau de l'agence de Bacongo soit 3 643 abonnés avec une population totale estimée à 64 338 habitants.

IV.2.1 Evaluation des besoins en eau domestiques des secteurs E, F et G

La consommation intègre la consommation domestique et la consommation non domestique. Quant à la consommation non domestique, elle peut-être décomposée en 3 catégories : commerces et artisanats, administrations et industries. Des critères de conception ont été adoptés pour ces différentes catégories.

Consommation domestique : La consommation domestique se décompose elle-même en classe de standing et mode d'accès au réseau. On distingue trois types de standing ; haut, moyen et bas standing répartis en fonction du type de branchement ; privé (BP) et voisin (BV). La dotation par habitant en fonction du standing et du mode d'alimentation est résumée dans le tableau ci-dessous. Nous avons considéré que la dotation n'évoluera pas au cours du temps.

Tableau 12 : Dotation par habitation en fonction du standing et du mode d'alimentation

Dotation en eau (l/hab/j)		
Bas standing	BV	30
	BP	50
Moyen standing	BV	50
	BP	70
Haut standing	BP	150

La consommation des ménages représente plus de 90% de la consommation de la zone d'étude. Elle se décompose elle-même en classe de standing et mode d'accès au réseau. On distingue trois types de standing ; haut, moyen et bas standing répartis en fonction du type du mode d'accès au réseau ; branchement privé (BP) et branchement voisin (BV).

Il a été relevé en 2014, le taux de branchement en fonction du standing

Tableau 13 : Taux de branchement en fonction du standing

Taux de branchements		**2014**
Bas standing	BV	10%
	BP	90%
Moyen standing	BV	9%
	BP	91%
Haut standing	BP	100%

En 2014, selon les statistiques effectuées par la SNDE, le nombre de branchement (BP et BV) répertorié au niveau des abonnés était de **3 643** dont 3 433 branchements pour le bas standing, 106 branchements pour le moyen standing et 104 pour celui du haut standing.

Tableau 14 : Répartition des abonnés en fonction du type de standing et des secteurs

Standing	Secteur E		Secteur F		Secteur G		Total
Bas standing	BV	73	BV	162	BV	108	**3433**
	BP	659	BP	1455	BP	976	
Moyen standing	BV	5	BV	4	BV	1	**106**
	BP	49	BP	35	BP	12	
Haut standing	BP	41	BP	23	BP	40	**104**
Total	**827**		**1 679**		**1 137**		**3643**

La SNDE considère qu'un branchement qu'il soit particulier ou voisin dessert 6 personnes c'est-à-dire qu'un ménage à Brazzaville compte en moyenne 6 habitants. Notons qu'en fonction du standing, sont dénombrés les ménages.

Tableau 15 : Ménage par branchement / parcelle

Ménage par branchement / parcelle	**2014**
Bas standing	3
Moyen standing	2
Haut standing	1

Ainsi, on dénombre en fonction du standing :

- Bas standing : 18 habitants ;
- Moyen standing : 12 habitants ;
- Haut standing : 6 habitants.

Dans le cadre de cette étude, la consommation en eau domestique pour cette même année est estimée à 3 146,46 m3/j répartie de la manière suivante :

- Secteur E : 713,58 m^3/j ;
- Secteur F : 1 449,48 m^3/j ;
- Secteur G : 983,4 m^3/j.

Tableau 16 : Besoins domestiques au niveau des secteurs E, F et G

Besoins domestiques	**Secteur E (m^3/j)**	**Secteur F (m^3/j)**	**Secteur G (m^3/j)**	**Total (m^3/j)**

Bas standing	632,52	1396,98	936,72	**2966,22**
Moyen standing	44,16	31,8	10,68	**86,64**
Haut standing	36,9	20,7	36	93,6
Total (m^3/j)	**713,58**	**1449,48**	**983,4**	**3146,46**

IV.2.2 Evaluation des besoins en eau non domestiques des secteurs E, F et G

La consommation non domestique quant à elle se décompose suivant certains critères qui sont les suivants : la consommation au niveau des administrations, des commerces, artisanat et des petites industries. Suivant ces critères, certains paramètres ont été établis afin d'évaluer les besoins en eau non-domestique futur.

La consommation des commerces et artisanat étant mal connue, nous avons considéré qu'elle représentera **10%** de la consommation domestique répartie sur l'ensemble des secteurs.

La consommation des administrations sera considérée comme étant égale à **3%** de la consommation domestique. Cette consommation a été repartie sur les secteurs à forte concentration des administrations.

A Brazzaville, la consommation industrielle concerne essentiellement de petites industries réparties de manière diffuse sur toute la ville. La consommation de cette catégorie est estimée à **2%** de la consommation domestique.

La présente étude a estimé les besoins en eau non domestiques pour l'année 2014 à **471,97 m3/j** réparties comme suit :

- Secteur E : 107,04 m^3/j ;
- Secteur F : 217,42 m^3/j ;
- Secteur G : 147,51 m^3/j.

Besoins en eau non domestiques	**Secteur E (m^3/j)**	**Secteur F (m^3/j)**	**Secteur G (m^3/j)**	**Total (m^3/j)**
Commerce et artisanat	71,36	144,95	98,34	**314,65**
Administrations	21,41	43,48	29,5	**94,39**
Petite industrie	14,27	28,99	19,67	**62,93**
Total (m^3/j)	**107,04**	**217,42**	**147,51**	**471,97**

De tout ce qui précède, la demande moyenne en eau de la zone d'étude peut être estimée à **3 618,43 m^3/j** répartie comme suit :

- Secteur E : 820,62 m^3/j ;
- Secteur F : 1 666,9 m^3/j ;
- Secteur G : 1 130,91 m^3/j.

IV.3 Evaluation des besoins en eau à l'horizon 2045

IV.3.1 Estimation de la population à l'horizon 2045

L'agence de Bacongo compte au total 16 secteurs. Certains secteurs se retrouvent entre l'arrondissement de Bacongo et l'arrondissement de Makélékéle. La population actuelle regroupée au niveau des secteurs E, F et G a été estimée à 64 338 habitants. Pour nos estimations futures, nous utiliserons la formule de progression géométrique en considérant un taux de croissance de **2%** à partir de 2014. La formule de l'accroissement géométrique est la suivante :

$$P_n = P_0\,(1+a)^n$$

P_n : Population après n année ;

P_0 : Population initiale ;

a : Taux d'accroissement annuel ;

n : Nombre d'année à partir du recensement considéré

Nous en déduisons dans le tableau suivant l'évolution globale de la population de la zone d'étude

Tableau 17 : Evolution globale de la population desservie à l'horizon du projet

Population	2014	2020	2025	2035	2045
Secteur E	14 070	15 836	17 475	21 281	25 915
Secteur F	29 712	33 441	36 903	44 939	54 726
Secteur G	19 908	22 406	24 726	30 111	36 668
Total	**63 690**	**71 682**	**79 104**	**93 331**	**117 309**

Nous retiendrons qu'en 2045, la population desservie dans la zone d'étude est estimée à **117 309 habitants**. Cette population sera utilisée pour évaluer les besoins en eau à l'échéance du projet.

IV.3.2 Evaluation des besoins en eau

Nous avons considéré que les consommations spécifiques réparties en fonction du standing n'évolueront pas au cours du temps jusqu'à l'échéance du projet. Le taux de branchement évoluant au fil du temps, la SNDE considère qu'en 2045, il n'y aura plus de branchement voisin quel qu'en soit le type de standing. Les besoins en eau domestiques à l'horizon 2045 sont estimés à 6 026 m^3/j et répartis comme suit :

- Secteur E : 1 365 m^3/j ;
- Secteur F : 2 778 m^3/j ;
- Secteur G : 1 883 m^3/j.

Les besoins en eau non domestiques à l'horizon 2045 sont estimés à **903,9** m^3/j et répartis comme suit :

- Secteur E : 204,75 m^3/j ;
- Secteur F : 416,7 m^3/j ;
- Secteur G : 282,45 m^3/j.

De tout ce qui précède, les besoins en eau à l'horizon 2045 peuvent être estimés à **6 929,9** m3/j. Cette demande est repartie sur les différents secteurs E, F et G de la façon suivante :

- Secteur E : 1 569,75 m3/j ;
- Secteur F : 3 195,7 m3/j ;
- Secteur G : 2 165,45 m3/j.

V. Simulation du fonctionnement actuel du réseau de la zone d'étude

V.1 Eléments du modèle

V.1.1 Le nœud

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, ce qui représente aussi un volume journalier de consommation ;
- La répartition journalière des consommations du groupe d'abonnés.

V.1.2 Demande au nœud

Le réseau de distribution des secteurs E, F et G est un réseau maillé comme la plupart des réseaux semi-urbains et urbains de l'Afrique centrale.

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 certaines sécurité dans la distribution. Cette répartition consiste à :

- Ramener les consommations linéaires en consommations ponctuelles au nœud 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 ;

Rappelons que le réseau est calculé sur la base des débits de l'heure de pointe.

V.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.

V.1.4 Le Réservoir

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

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

V.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 le 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. 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 EPANET se résume comme suit :

- La taille du réseau étudié est illimitée. Pour calculer les pertes de charge linéaire, il dispose des formules de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach, et de Manning-Strickler ;
- Il inclut les pertes de charge singulière aux coudes, aux joints, aux tés, aux clapets etc ;
- Il peut modéliser les 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 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 deux tableaux ci-dessous, représentent respectivement les différents 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 charges singulières pour certains types de raccords.

Tableau 18 : Formules de pertes de charge exprimée en mètre colonne d'eau et le débit en m^3/h.

Formule	*Perte de charge totale (A)*	*Exposant du débit (B)*
Hazen-Williams	$10{,}674\ C^{-1.852}\ d^{-4.871}\ L$	1.852
Darcy-Weisbach	$0.0827\ f(\varepsilon,d,q)\ d^{-5}\ L$	2
Chezy-Manning	$10{,}294\ n^{2}\ d^{-5.33}\ L$	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 : (EPANET 2.0 Manuel de l'utilisateur)

Tableau 19 : Coefficient de pertes de charges pour certains types de vannes et raccords

JOINTS	*COEFFICIENTS DE PERTE DE CHARGE SINGULIÈRE*
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 EPANET (version francaise), L. A. Rossman 2003, L. A. Rossman 2003, Armand 2012, Direction Nationale 2010, Direction Nationale 2010)

V.3 Simulation du comportement actuel du réseau

La simulation du comportement actuel permet ainsi 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 permet de visualiser les différents variations en fonction des paramètre que offre le logiciel afin de mieux analyser le fonctionnement du réseau et si possible proposer un meilleur service à la population. Rappelons qu'un calage a été au préalable effectué grâce aux mesures prise sur le terrain afin de rapprocher au maximum les données du logiciel à celles observées sur le terrain. La simulation du réseau s'est faite à l'heure de pointe.

V.3.1 Simulation à l'heure de pointe

Elle permet d'analyser le fonctionnement du réseau en situation de consommation moyenne. On peut ainsi par la suite conclure sur la capacité du réseau à desservir la population avec les exigences requises.

Résultats et interprétations : Nous notons globalement des pressions comprises entre 0 – 20m (soit 0 – 2 bars). La majorité des points possèdent des pressions inférieurs à 1 bars ce qui justifient que ces points rencontrent des problèmes de desserte en eau. La figure ci-dessous présente un aperçu des nœuds du réseau ; les points en rouge représentant les nœuds non alimentés en eau et sur lesquels nous pouvons lire les valeurs des pressions.

Conclusion : le fonctionnement du réseau actuel, en période de pointe, ne permet pas de satisfaire tous les abonnés de la zone d'étude à une pression convenable.

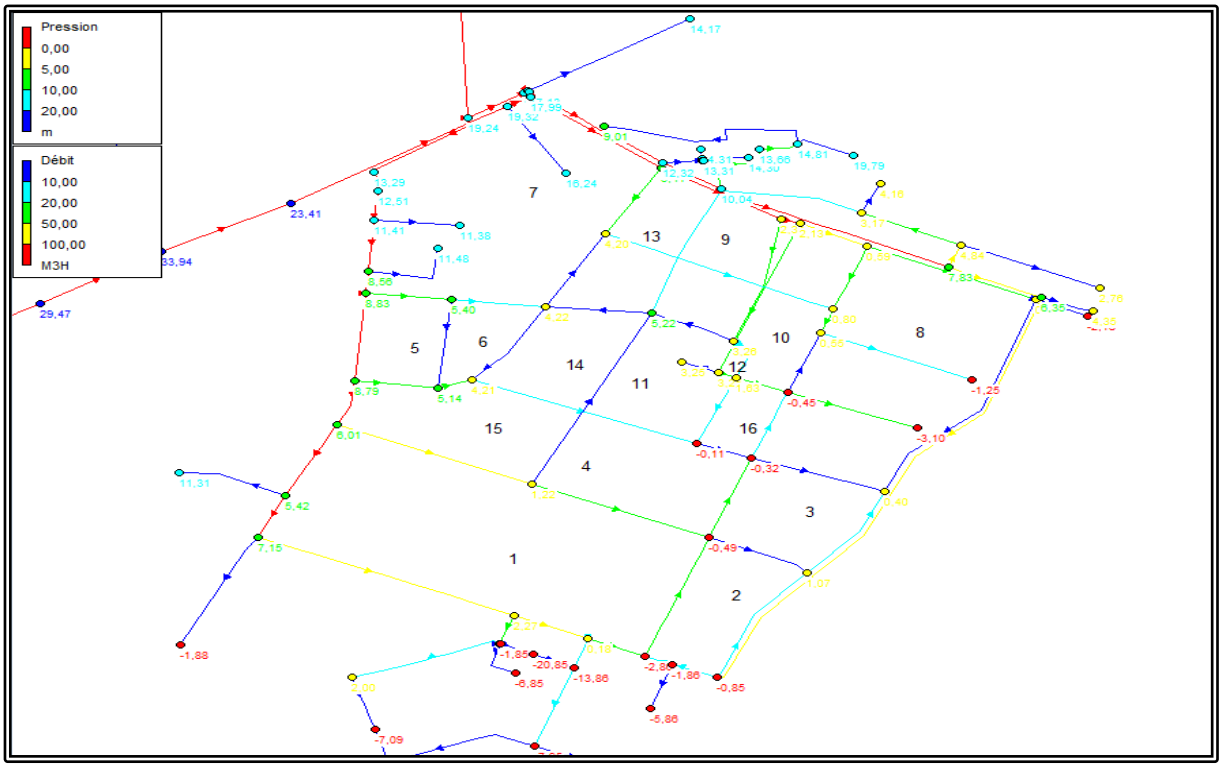


Figure 7 : Répartition des pressions sur l'ensemble du réseau à l'heure de pointe

VI. Optimisation du réseau et simulation du fonctionnement futur

VI.3.1 Mesures d'optimisation

Le diagnostic et la simulation du réseau nous ont permis d'observer et de relever des insuffisances dans le fonctionnement du réseau étudié. Cette partie de notre travail nous permettra de proposer quelques actions à entreprendre en vue d'optimiser ce réseau en tenant compte de l'évolution dans le temps des besoins en eau sur toute la durée du projet. Les solutions que nous proposerons doivent tenir compte du réseau existant. Dans le souci de desserte des abonnés actuels, aucune partie du réseau ne peut être abandonnée à l'issue de notre étude.

VI.1.1 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 OUEDRAOGO 2008)

VI.1.2 Pose d'un suppresseur (zone de basse pression)

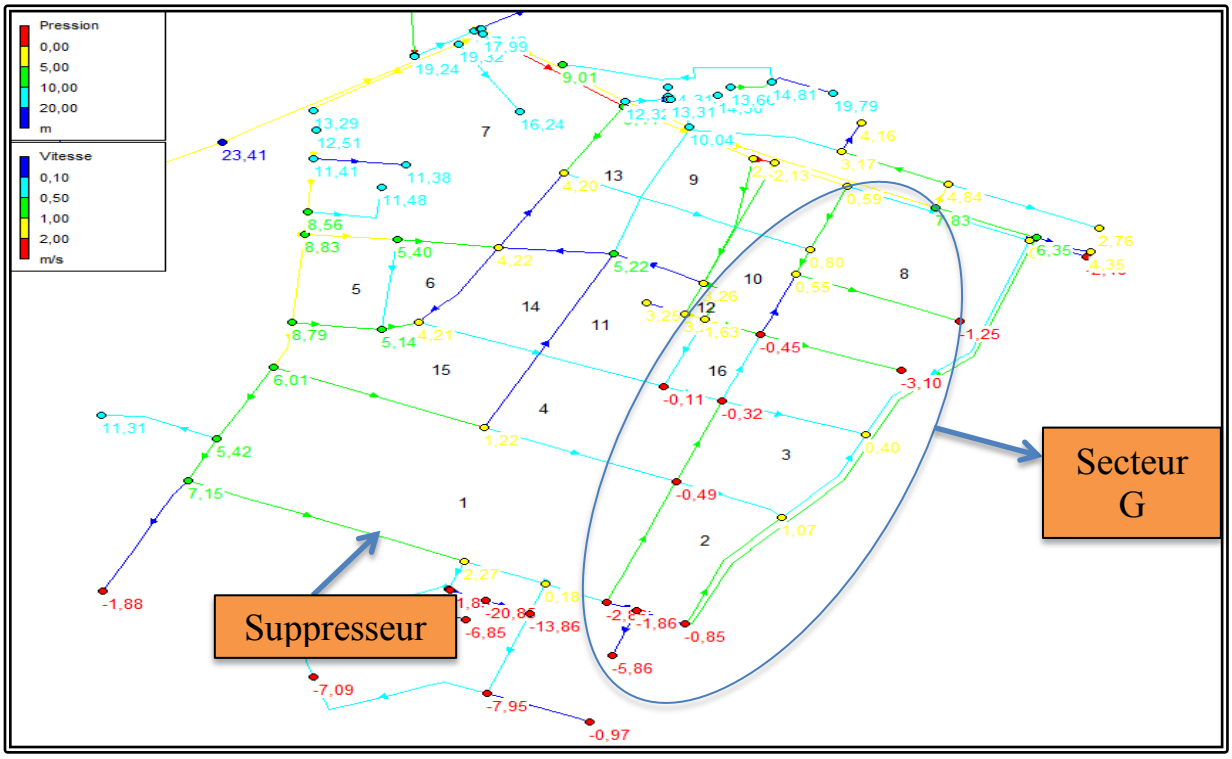


Figure 8 : Illustration (Pose suppresseur + zone de basse pression)

Afin de satisfaire les zones de basse pression notamment situées au niveau du secteur G, nous recommandons l'installation d'un suppresseur de pression à l'entrée de la zone de forte altitude. Les paramètres du suppresseur ($Q_{refoulé}$ - HMT) ont été choisis respectivement en fonction du débit transitant la conduite où l'on compte installer le suppresseur et les pression que l'on veut atteindre afin de permettre aux abonnés se trouvant dans les zones de basse pressions (< 0mCE) d'être desservis à tout instant (y compris l'heure de pointe). Afin de s'assurer d'une bonne répartition des pressions, nous sommes passés à la simulation du fonctionnement actuel du réseau tout en intégrant le suppresseur sur le réseau. La figure 9 nous donne un aperçu de cette simulation.

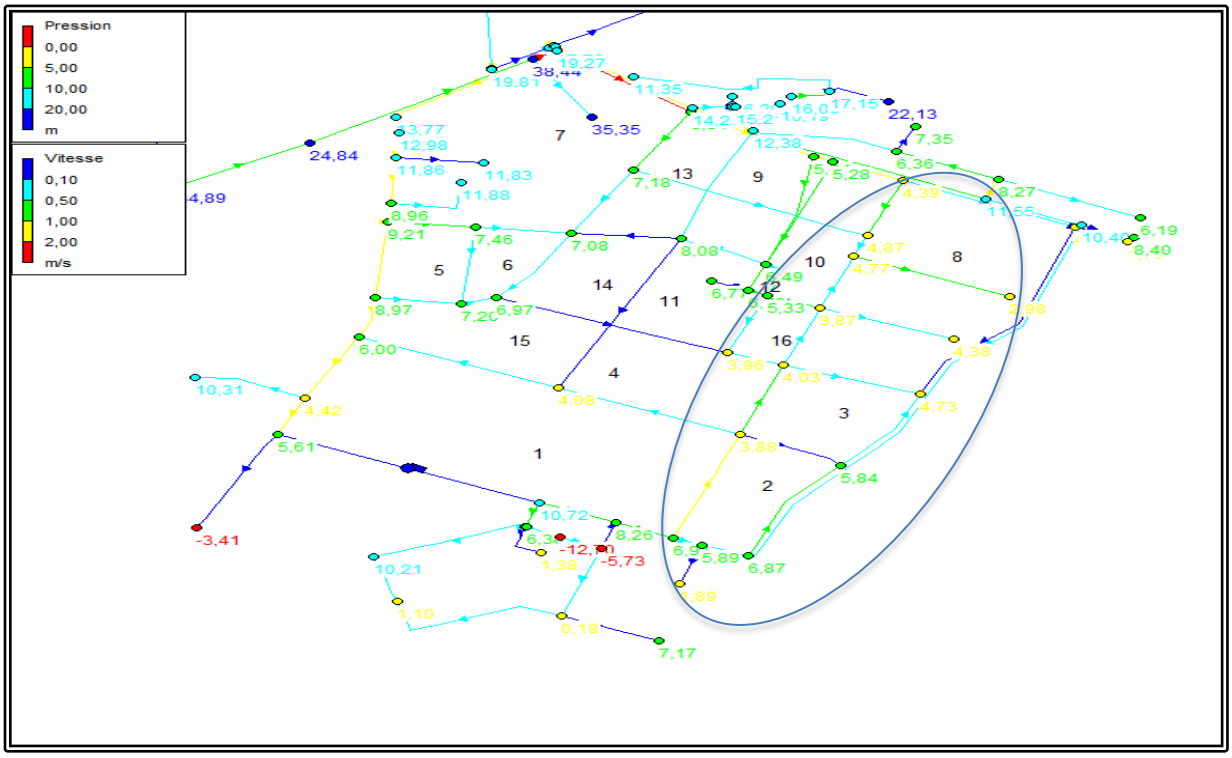


Figure 9 : Simulation du fonctionnement actuel du réseau + suppresseur

En installant le suppresseur, nous pouvons remarquer un changement net au niveau des zones de basse pression c'est à dire que les nœuds ayant une couleur rouge précédemment passent à une couleur jaunâtre (0mCE – 5mCE). Cependant, ce point d'installation reste provisoire et ne pourra être confirmé qu'après une campagne de mesure de pressions et de débits sur le terrain.

Afin de s'assurer que le suppresseur installé puisse tenir à l'horizon 2045, nous avons ainsi simulé le modèle du réseau tout en intégrant les besoins à l'horizon 2045.

VI.3.2 Simulation du fonctionnement futur

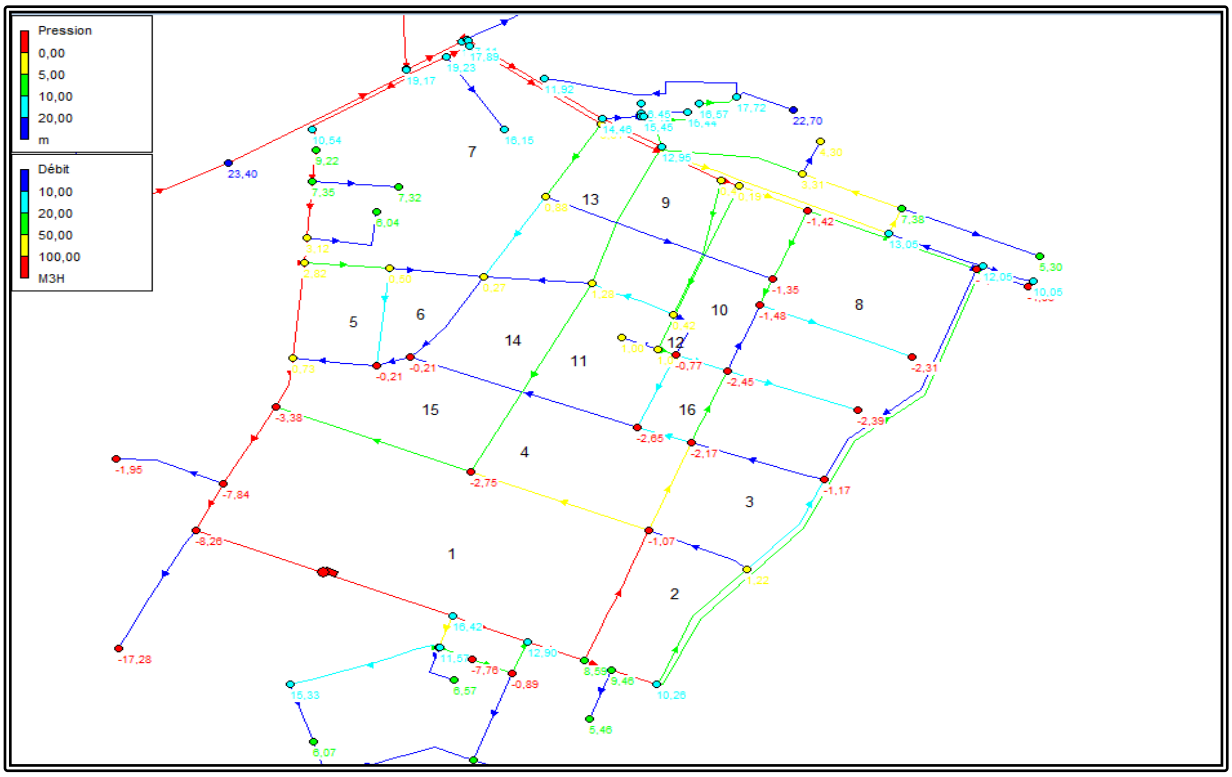


Figure 10 : Simulation future du réseau

Comme on peut le constater sur la figure 10, le suppresseur en place ne pourra pas repartir les pressions convenablement à l'horizon du projet. Les nœuds ayant des pressions inférieures à 0 bars croient ce qui pourrait ainsi causer d'avantage problèmes dans la zone d'étude. Afin de résoudre le problème, nous préconisons ainsi l'installation d'un nouveau compresseur au fil du temps afin de pouvoir répartir comme il se doit des pressions admissible sur le réseau.

VII. Conclusion et recommandations

À l'issue de cette étude dont le thème a porté sur l'optimisation du réseau de distribution des secteurs E, F et G des quartiers la Glacière et Mpissa de l'arrondissement de Bacongo à Brazzaville, nous pouvons dire que ce travail a été très intéressant et indispensable dans la mesure où il a permis de faire des propositions afin d'améliorer les conditions de desserte des abonnés de la zone d'étude. Les deux pompes refoulant les eaux brutes de caractéristiques (**Q_n = 800 m^3/h ; HMT = 45 m**) vers l'unité de traitement du Djoué ont été remplacés par des pompes optimales de caractéristiques respectives : (**Q_n = 800 m^3/h ; HMT = 25 m** et **Q_n = 800 m^3/h ; HMT = 29,5 m**). Quant au réseau de distribution de la zone d'étude, la simulation du réseau sous Epanet a permis de ressortir les zones d'ombres. Comme nous l'avons constaté, au niveau du secteurs les pressions sont très faibles (inférieurs à 0 bars). Pour pouvoir résoudre ce problème, nous avons ainsi proposés d'installer un suppresseur au niveau de la conduite maitresse desservant cette zone de basse pression, ce qui a permis de rehausser les pressions à un niveau tout au moins admissible. Cependant, il serait judicieux d'étendre cette étude sur l'ensemble des secteurs du réseau de distribution de la ville de Brazzaville afin d'harmoniser les solutions. Malgré les efforts fournis et l'attention particulière accordée à ce travail afin d'arriver aux résultats qui épousent au mieux le contexte, nous reconnaissons que beaucoup reste à faire. Ainsi, nous faisons à la SNDE les recommandations suivantes:

- Une réhabilitation de l'usine de traitement du Djoué ;
- Une campagne de relève mensuelle chez les abonnés ;
- Une réhabilitation de tout le réseau tertiaire de la zone d'étude ;
- Des campagnes nocturnes de fuites pour la réduction d'eau dans le réseau ;
- Veiller à la bonne qualification du personnel et les former, en vue d'une bonne maintenance

Bibliographie

IGIP. Alimentation en eau potable de la ville de Brazzaville Vol.1: Propositions pour le plan directeur. Etude du plan directeur, Brazzaville: Delegation Generale des Grands Travaux, 2009.

Rossman, Lewis A. EPANET 2.0 Manuel de l'utilisateur. Paris, 2003.

Armand, POUABOU. «Rapport travaux de rehabilitation du reseau AEP de la ville de Brazzaville.» Brazzaville, 2012.

Direction Nationale, hydraulique. Politique Nationale de l'Eau. Brazzaville, 2010.

RGPH. «Demographie de Brazzaville.» 2007.

Water aid Brazzaville. «Plan sectoriel de developpement de l'arrondissement de Bacongo.» 2007.

IGIP. «Etude du plan directeur Phase II. Vol 1 Propositions pour le plan directeur.» Brazzaville, 2007.

Zoungrana, Denis. Cours d'approvisionnement en eau potable. Ouagadougou, 2003.

Moussa OUEDRAOGO. Gestion technique des reseaux d'eau sous pression : recherche de fuite. OUAGADOUGOU, 2008.

Mar, Lamine. Ecoulement en charge. Ouagadougou, 2003.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Indicateurs principaux issus de l'enquête 51
Annexe 2 : Sources d'approvisionnement en eau potable 52
Annexe 3 : Evolution et répartition de la population par arrondissement 53
Annexe 4 : Récapitulatif des abonnés par agence SNDE de la ville de Brazzaville (2014) ... 53
Annexe 5 : Schéma synoptique du système AEP de la ville de Brazzaville 54
Annexe 6 : Evolution de la population par secteur au niveau de l'agence de Bacongo 55
Annexe 7 : Répartition de la population au niveau des secteurs E, F et G en fonction du type de standing 56
Annexe 8 : Réseau de distribution des secteurs E, F et G (Zone d'étude) 57
Annexe 9 : Répartition de la longueur des conduites en fonction des diamètres 58
Annexe 10 : Consommations en eau domestiques à l'horizon 2045 58
Annexe 11 : Consommations en eau non domestiques à l'horizon 2045 58

Annexe 1 : Indicateurs principaux issus de l'enquête

Indicateurs	
Données démographiques	
Nombre d'habitants à Brazzaville en 2007	1 375 000
Nombre de ménage à Brazzaville	243 000
Effectif moyen du ménage	5,64
Nombre moyen de ménages/ parcelle	2,88
Nombre de parcelles	84 667
Propriétaire résident sur la parcelle	66%
Données économiques	
Revenu mensuel d'un ménage	Autour de 100 000 FCFA
Personnes vivant sous le seuil de la pauvreté	42%
Personnes occupées dans le secteur informel	78%
Approvisionnement en eau	
Nombre de BP	64 000
Nombre de BP actifs	47 000
Taux de raccordement avec BP	75%
Taux de raccordement avec BP actifs	50 à 55,5%
Taux de ménages qui consomment l'eau de la SNDE (BP dans parcelle ou chez voisin)	75,8%

Personne pour lesquels l'AEP constitue un problème	86%
Eau consommée	18,74 l/j/hab
D'accord avec facturation par volume	58,8%

Source : (IGIP, Etude du plan directeur Phase II. Vol 1 Propositions pour le plan directeur 2007)

Annexe 2 : Sources d'approvisionnement en eau potable

Source d'approvisionnement	Effectif	Pourcentage (%)
Pas de réponse	59	4,8
Robinet dans la parcelle	546	44,4
Robinet du voisin	386	31,4
Puits privés	23	1,9
Vendeurs d'eau	61	5
Source aménagée	71	5,8
Source non aménagée	3	0,2
Autre	45	3,7
Forage	26	2,1
Eau minérale	5	0,4
Eau de pluie	4	0,3
TOTAL	1229	100

Source : (IGIP, Etude du plan directeur Phase II. Vol 1 Propositions pour le plan directeur 2007)

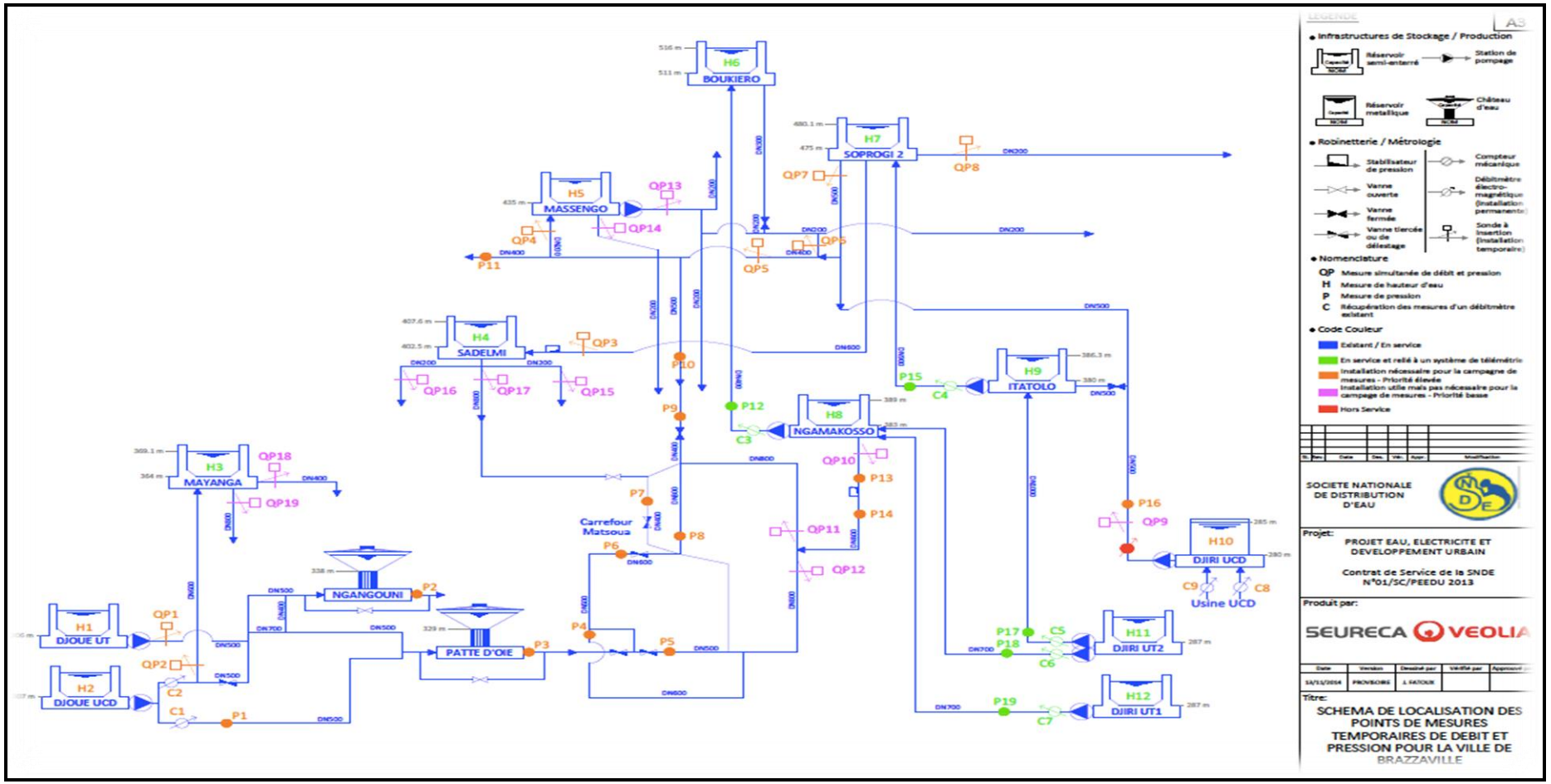
Annexe 3 : Evolution et répartition de la population par arrondissement

Arrondissement	Population [hab.]			Répartition [%]		
	1974	1984	2007	1974	1984	2007
Makélékélé	45 957	107 524	298 687	14%	18,4%	21,7%
Bacongo	39 892	55 047	98 898	12,1%	9,4%	7,2%
Poto poto	58 028	69 056	93 133	17,7%	11,8%	6,8%
Moungali	56 617	79 703	167 015	17,2%	13,6%	12,1%
Ouenzé	73 465	109 268	182 175	22,4%	18,7%	13,2%
Talangai	35 539	106 020	338 470	10,8%	18,1%	24,6%
Mfilou	18 944	59 194	196 859	5,8%	10,1%	14,3%
Total	**328 442**	**585 812**	**1 375 237**	**100%**	**100%**	**100%**

Annexe 4 : Récapitulatif des abonnés par agence SNDE de la ville de Brazzaville (2014)

		Bas standing	Moyen standing	Haut standing
Récapitulatif par agence SNDE	Bacongo	18 693	408	709
	Bikaroua	4 428	38	325
	Centre-ville	5 563	822	511
	Kinsoundi	11 955	59	275
	Moukondo	6 643	141	300
	Moungali	6 129	594	922
	Ouenze	12 175	417	919
	Talangaï	17 891	179	1 025
	Total	**83 476**	**2 658**	**4 985**

Annexe 5 : Schéma synoptique du système AEP de la ville de Brazzaville



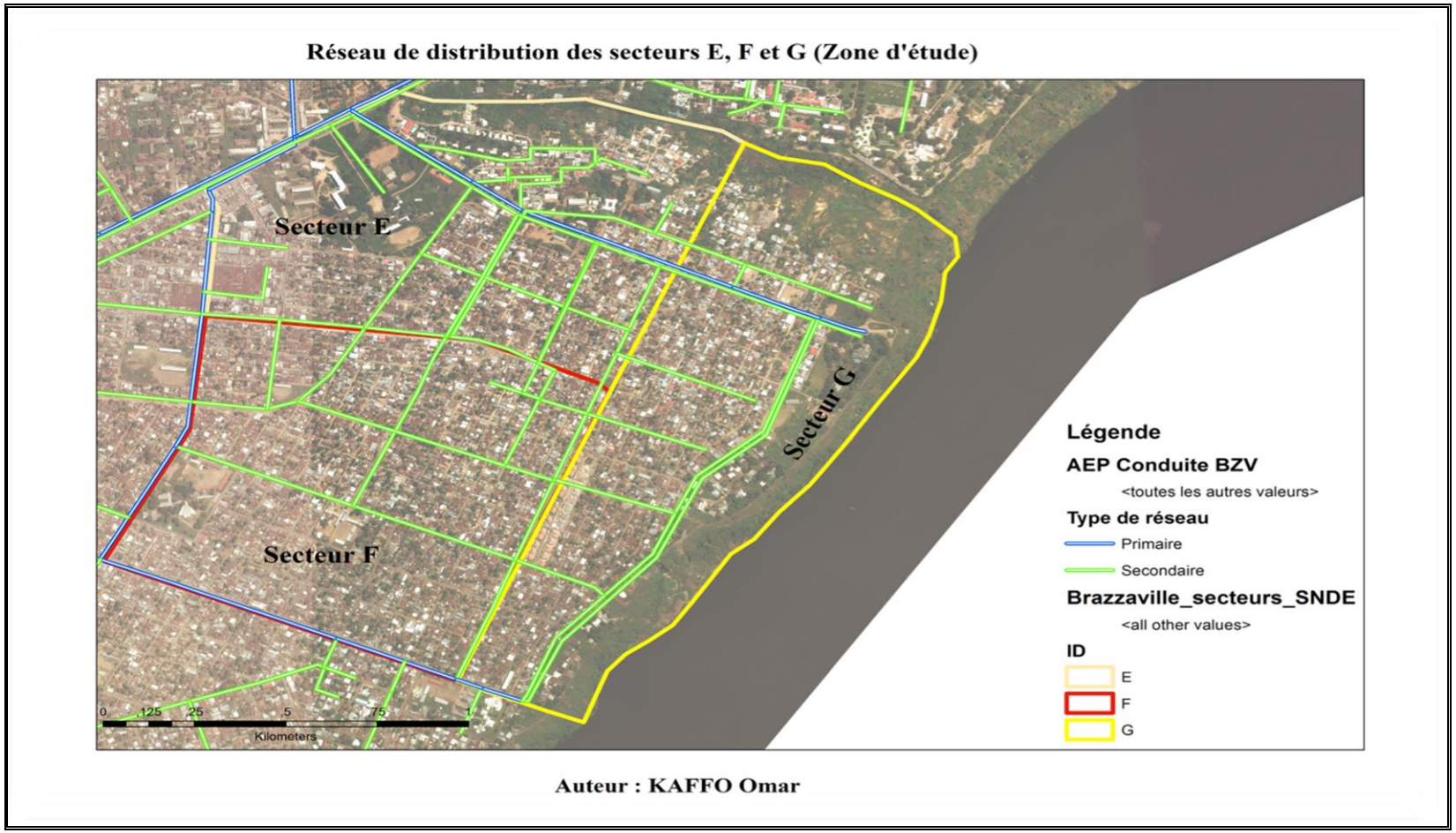
Annexe 6 : Evolution de la population par secteur au niveau de l'agence de Bacongo

Secteur	Population		
	2007	2010	2014
A	13 373	14 999	16 608
A2	10 586	11 874	13 147
B	13 946	15 642	17 320
C1	11 076	11 565	11 441
C2	27 206	27 288	25 080
C3	28 349	31 796	35 207
E	12 373	12 410	14 070
F	18 751	18 807	29 712
G	16 094	16 143	19 908
Z1	27 645	31 007	34 333
Z2	38 509	43 192	47 825
Z3	15 346	17 212	19 058
Z4	15 790	17 710	19 609
Z5	8 657	9 709	10 751
Z6	16 446	18 446	20 424
Z7	48 641	54 556	40 246
Total	**322 787**	**352 356**	**374 739**

Annexe 7 : Répartition de la population au niveau des secteurs E, F et G en fonction du type de standing

Secteurs	Type de standing	Nbre abonnés	Nbre hab/parcelle	Population (hab)
Secteur E	Bas standing	732	18	13 176
	Moyen standing	54	12	648
	Haut standing	41	6	246
Total (Secteur E)				**14 070**
Secteur F	Bas standing	1 617	18	29 106
	Moyen standing	39	12	468
	Haut standing	23	6	138
Total (Secteur F)				**29 712**
Secteur G	Bas standing	1 084	18	19 512
	Moyen standing	13	12	156
	Haut standing	40	6	240
Total (Secteur G)				**19 908**

Annexe 8 : Réseau de distribution des secteurs E, F et G (Zone d'étude)



Annexe 9 : Répartition de la longueur des conduites en fonction des diamètres

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Total longueur (m)
500	176	**22 464**
250	4 407	
200	2 458	
150	4 521	
125	1 882	
100	9 019	

Annexe 10 : Consommations en eau domestiques à l'horizon 2045

Besoins domestiques	**Secteur E (m^3/j)**	**Secteur F (m^3/j)**	**Secteur G (m^3/j)**	**Total (m^3/j)**
Bas standing	1213	2680	1797	**5690**
Moyen standing	84	60	20	**164**
Haut standing	68	38	66	**172**
Total (m^3/j)	**1365**	**2778**	**1883**	**6026**

Annexe 11 : Consommations en eau non domestiques à l'horizon 2045

Besoins en eau non domestiques	**Secteur E (m^3/j)**	**Secteur F (m^3/j)**	**Secteur G (m^3/j)**	**Total (m^3/j)**
Commerce et artisanat	136,5	277,8	188,3	**602,6**
Administrations	40,95	83,34	56,49	**180,78**
Petite industrie	27,3	55,56	55,56	**120,52**
Total (m^3/j)	**204,75**	**416,7**	**282,45**	**903,9**