



**PROPOSITION D'UN PLAN DE SECTORISATION ET
D'UNE EXTENSION DU SYSTEME D'ALIMENTATION
EN EAU POTABLE DE LA VILLE D'ATAKPAME (TOGO)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES**

Présenté et soutenu publiquement le 06 Juillet 2017 par

Anders Jordane VISSIENNON

Dirigé par : **Monsieur Bèga Urbain OUEDRAOGO** **Monsieur Gilbert CHABI**
Ingénieur de l'Équipement Rural Ingénieur Hydraulicien
DESS Génie Sanitaire IGIP Afrique Bénin
Enseignant en AEPA à 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Angelbert Chabi BIAOU

Membres et correcteurs : Mr Moussa OUEDRAOGO
Mr Moussa Diagne FAYE

Promotion [2015-2016]



DEDICACE

Je dédie ce travail :

- ❖ A mon père Apollinaire VISSIENNON pour son soutien et ses conseils durant mon cursus universitaire ;
- ❖ A ma mère Huguette MEDENOU pour son soutien et ses bénédictions à mon égard ;
- ❖ A mon frère et ma sœur Cédric et Armelle

REMERCIEMENTS

Après avoir rendu grâce à Dieu, nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Nous voudrions remercier particulièrement :

- Monsieur Edmond NASSALA, Directeur Général d'IGIP Afrique Bénin pour m'avoir permis de faire mon stage dans son prestigieux bureau d'études ;
- Monsieur Gilbert CHABI, Ingénieur Hydraulicien IGIP Afrique Bénin pour son encadrement tout au long de cette étude ;
- Monsieur Bèga OUEDRAOGO, pour sa disponibilité et ses précieux conseils afin de parvenir à des résultats satisfaisants ;
- Madame Tiphaine GUILLET, Chef de Mission Adjoint du projet PEAT1, pour son soutien permanent à l'élaboration de ce document
- Tout le personnel de l'ATI, de la TdE et de la Mairie d'Atakpamé pour leurs collaborations durant la période de stage ;
- A l'ensemble du corps professoral de 2iE pour l'enseignement de qualité dispensé durant toutes ces années d'études ;
- Ainsi qu'à l'ensemble des camarades de promotion.

RESUME

Dans la ville d'Atakpamé, les difficultés liées au système d'alimentation en eau potable sont importantes. La ville dispose d'un relief très accidenté avec des altitudes comprises entre 220 et 430 mètres, caractéristiques qui affectent la configuration du réseau et sa production d'eau potable.

L'objet de cette étude est d'améliorer le service en eau du réseau qui présente un mauvais rendement d'exploitation de l'ordre de 68% dû aux nombreuses casses qu'il subit, en outre plusieurs quartiers importants ne bénéficient pas de la desserte en eau. Un travail de récolement est donc à réaliser compte tenu des pressions afin de rendre le réseau d'eau étagé suivi de son extension dans les quartiers non desservis.

Le diagnostic que nous avons mené dans le cadre de cette étude nous a permis de constater une mauvaise desserte en eau au niveau des différents réservoirs de la ville qui disposent chacun un sous réseau de distribution. Après avoir évalué les besoins en eau actuels de la population, la modélisation du réseau sous Epanet et sa simulation ont permis de constater une communication entre les sous réseaux de distribution qui engendre de fortes pressions dans les zones basses de la ville et qui sont à l'origine des dommages observés dans le réseau.

La restructuration du réseau à travers une sectorisation a permis d'améliorer les conditions de pression en obtenant des sous réseaux distincts et un service étagé grâce à la mise en place des réservoirs d'étagement. Tout de même, l'installation de réducteurs de pressions et d'équipements métrologiques au niveau des réservoirs et des secteurs est nécessaire pour optimiser la bonne gestion du réseau. Par ailleurs, 7690 mètres ont été dimensionner dans les quartiers en voie d'extension pour l'horizon du projet 2025 en vue d'augmenter le taux de raccordement au réseau d'eau dans la ville d'Atakpamé.

Mots clés :

- Desserte
- Sectorisation
- Extension
- Modélisation
- Equipements

ABSTRACT

In the city of Atakpamé, difficulties associated with the drinking water supply system are significant. The city has a very rugged relief with heights between 220 and 430 meters, characteristic that affects the configuration of the network and its production of drinking water.

The aim of this study is to improve the water supply of the network, which has a poor operating efficiency of 68% due to many breakages it suffers, and several important districts do not benefit from the Water supply. A work of proofing is therefore to be carried out taking into account the pressures to make the water network staggered followed by its extension in the unserved areas.

The diagnosis that we carried out in this study allowed us to identify certain dysfunctions in the different reservoirs of the city, each of which has a distribution network. After assessing the current water needs of the population, the modeling of the Epanet network and its simulation revealed a communication between the distribution sub-networks that generates high pressure in the lower areas of the city and are originally of the damage observed in the network.

The restructuring of the network through a sectorisation has made it possible to improve the pressure conditions by obtaining separate sub-networks and a step-by-step service thanks to the installation of the staging tanks. However, the installation of pressure reducers and metrological equipment at the level of tanks and sectors is necessary to optimize the good management of the network. In addition, 7690 meters have been dimensioned in the neighborhoods being extended for the 2025 project horizon in order to increase the rate of connection to the water network in the city of Atakpamé.

Key words :

- Serving
- Sectorization
- Extension
- Modelization
- Equipment

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP :	Alimentation en Eau Portable
ATI	Assistant Technique International
BF :	Borne Fontaine
BP :	Branchement Particulier
BTP :	Bâtiments et Travaux Publics
IGIP :	Ingenieur Gesellschaft für International Planungsaufgaben
MER :	Ministère de l'Equipement Rural
PEAT-1 :	Projet Eau et Assainissement au Togo phase 1
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAFEGE :	Une filiale de SUEZ Environnement (Ingénieurs Conseils)
SP-EAU :	Société de Patrimoine Eau et Assainissement en milieux urbain et semi urbain
TdE :	Togolaise des Eaux
UEC :	Unités d'Exécution et de Coordination

SOMMAIRE

<i>Dédicace</i>	<i>i</i>
<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Résumé</i>	<i>ii</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>iv</i>
<i>Sommaire</i>	<i>v</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>viii</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>ix</i>
I. Introduction	1
I.1. Contexte	1
I.2. Problématique	2
II. Objectifs de l'Etude	2
III. Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude	2
III.1. Présentation de la structure d'accueil	2
III.2. Présentation de la zone d'étude	3
III.2.1. La situation géographique	3
III.2.2. Le climat.....	4
III.2.3. La topographie.....	4
III.2.4. La démographie.....	5
III.2.5. Aspects institutionnels de l'AEP	6
IV. Méthodologie	7
V. Etude diagnostique de la zone d'étude	8
V.1. Présentation du réseau d'AEP de la ville	8
V.1.1. Le captage	8
V.1.2. Traitement et production	10

V.1.3.	Adduction et refoulement.....	12
V.1.4.	Le stockage.....	13
V.1.5.	Le réseau de distribution	14
V.1.6.	Consommation en eau	15
V.1.7.	Rendement du réseau	16
V.2.	Evaluation des besoins en eau actuels et futurs du réseau	18
V.2.1.	Développement démographique.....	18
V.2.2.	Estimation du taux de raccordement	19
V.2.3.	Estimation des besoins en eau.....	21
VI.	<i>Simulation du fonctionnement actuel du réseau</i>	21
VI.1.	Paramètres d'entrée du modèle	21
VI.2.	Simulation du comportement actuel du réseau	26
VI.2.1.	Calage du modèle	27
VI.2.2.	Présentation du fonctionnement du réseau.....	28
VI.2.3.	Fonctionnement des réservoirs.....	29
VII.	<i>Optimisation du fonctionnement du réseau</i>	30
VII.1.	Isolement des sous réseaux de chaque réservoir	30
VII.2.	Sectorisation.....	34
VII.3.	Proposition des équipements métrologiques du réseau	35
VII.3.1.	Réservoirs.....	35
VII.3.2.	Sous réseaux de distribution.....	36
VIII.	<i>Extension du réseau de distribution et simulation du réseau futur</i>	37
VIII.1.	Evaluation des besoins en eau	38
VIII.2.	Dimensionnement des conduites d'extension.....	38
VIII.2.1.	Détermination des débits des tronçons.....	38

VIII.2.2. Dimensionnement des diamètres des conduites	40
VIII.2.3. Mode de pose des conduites	41
<i>Conclusion et Recommandation</i>	43
<i>Annexes</i>	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Démographie de la ville d'Atakpamé	5
Tableau 2: Production moyenne des sites de production d'eau du réseau.....	12
Tableau 3: Réservoirs du réseau d'AEP	13
Tableau 4: Consommation en eau potable par catégorie d'abonné	15
Tableau 5: Estimation des pertes dans le réseau	17
Tableau 6: Rendement du réseau	18
Tableau 7 : Evolution du taux de raccordement.....	20
Tableau 8: Paramètres d'entrée des réservoirs.....	22
Tableau 9: Caractéristiques des conduites	23
Tableau 10: Calcul des pertes de charge des différentes pompes	25
Tableau 11: Paramètres d'entrée des pompes.....	25
Tableau 12: Fluctuation horaire sur le réseau	26
Tableau 13: Secteur de distribution d'eau du réseau d'AEP de la ville d'Atakpamé	34
Tableau 14: Equipements de mesure aux réservoirs	35
Tableau 15: Besoins en eau des zones d'extension	38
Tableau 16: Récapitulatif des débits	39
Tableau 17: Dimensionnement des diamètres des conduites.....	40
Tableau 18: Calcul des pressions dans les conduites d'extension.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation géographique de la ville d'Atakpamé.....	4
Figure 2: Pluviométrie moyenne de 2010 à 2015	4
Figure 3: Délimitation des quartiers de la ville d'Atakpamé.....	6
Figure 4: Réseau d'Alimentation en Eau Potable de la ville d'Atakpamé	8
Figure 5: Prise d'eau à Irobo.....	9
Figure 6: Prise d'eau à Glélou	10
Figure 7:Schéma de production d'eau du réseau	11
Figure 8: Production d'eau	11
Figure 9: Schéma synoptique du réseau de stockage d'eau dans la ville d'Atakpamé	14
Figure 10: Répartition des catégories de branchements.....	16
Figure 11: Répartition des consommations par catégorie de branchements	16
Figure 12: Comparaison des données de calage de pressions.....	27
Figure 13:Simulation à 19h.....	28
Figure 14: Courbes de remplissage des réservoirs	29
Figure 15:Sectionnement et affectation de certaines conduites du sous réseau R4 au sous réseau R7	31
Figure 16: Affectation du réseau de distribution de Djama Tomegbe au sous réseau R6	31
Figure 17: Simulation du réseau à 19h pour vérification.....	32
Figure 18: Schéma d'illustration du rôle des réservoirs d'étagement.....	33
Figure 19: Schéma standard d'installation d'équipements de mesure	37
Figure 20: Principe de pose des canalisations.....	42

I. INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable tant en milieu urbain que rural reste un défi pour le Togo et malgré une grande disponibilité potentielle en ressources en eau, le pays rencontre des difficultés à mobiliser ses ressources pour satisfaire les besoins essentiels des populations. La longue crise socio-politique subie par le pays et le manque d'investissements pour le secteur de l'eau potable et de l'assainissement se traduisent par un important retard dans le développement des infrastructures de services de base d'eau et d'assainissement.

Le Gouvernement du Togo et l'Union européenne ont convenu de la programmation du 11^{ème} Fonds Européen de Développement (PIN 2014-2020) dont un des secteurs principaux de concentration est l'eau et l'assainissement. Les interventions prévues pour ce secteur de concentration porteront sur des investissements collectifs d'adduction d'eau potable, d'assainissement collectif et domestique, de mise en place de réseaux de collecte, de tri et de traitement des déchets, en ciblant particulièrement les couches les plus pauvres et vulnérables.

En 2014, SAFEGE a établi un rapport de formulation qui décrit d'une façon générale pour les cinq Chefs-lieux de Région (Tsévié, Atakpamé, Sokodé, Kara et Dapaong) les objectifs, le cadre institutionnel et la situation de départ. Sur la base de certains critères et en commun accord avec les partenaires, les centres d'Atakpamé et Dapaong ont été choisis pour la première phase du projet PEAT-1 (Projet Eau et Assainissement au Togo phase 1).

La ville d'Atakpamé est située dans la région des Plateaux du Togo, précisément dans la préfecture de l'Ogou dont elle est le chef-lieu et distante de la capitale Lomé de 164 km.

I.1. Contexte

La ville est située aux confins de la grande plaine du Mono, au point de rencontre du plateau et des montagnes et son relief est montagneux. Constitué d'un vaste massif incliné au Nord et à l'Est, il offre sur ses rebords occidental et méridional, un aspect abrupt et difficilement pénétrable car les déclivités y sont assez accentuées. A l'Est, le massif est beaucoup plus doux et donne l'aspect des collines qui s'étagent progressivement vers la plaine. La ville d'Atakpamé est blottie au cœur du massif et est située du côté de la faille nord dans un abri naturel. Les pentes sont très accentuées, variant entre 20% et 40% avec des altitudes comprises entre 430m et 220m. De ce fait, l'érosion est très forte, rendant des rues impraticables.

I.2. Problématique

Le système d'alimentation en eau potable de la ville est composé de cinq réservoirs au sol, installés à différentes altitudes dans la ville et desservant chacun un sous-réseau de distribution d'eau. L'ensemble du réseau de distribution présente une complexité due à la communication des sous-réseaux et donnant lieu à des pressions allant de 1,5 bar à 20 bars. Le réseau ne présente qu'un seul étage de pression, il subit dès lors de nombreuses casses et présente un mauvais rendement d'exploitation de l'ordre de 68%.

Par ailleurs, la ville est en forte extension et plusieurs quartiers ont un taux de desserte en eau très faible.

II. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

❖ Objectif général

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'amélioration de manière durable de la desserte en eau potable de la ville d'Atakpamé par une restructuration du réseau d'eau potable.

❖ Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- ✓ Faire un Diagnostic des installations d'AEP ;
- ✓ Élaborer des solutions techniques et/ou organisationnelles pour l'amélioration des conditions de desserte en eau ;
- ✓ Mener une étude technique détaillée d'une ou des solutions techniques ;

III. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ÉTUDE

III.1. Présentation de la structure d'accueil

IGIP-Afrique Sarl est un bureau d'études et d'ingénieur conseil qui intervient dans les secteurs de l'Eau, de l'Assainissement et des Bâtiments et Travaux Publics (BTP). Il représente une filiale à 100% de la société IGIP (Ingenieur Gesellschaft für Internale Planungsaufgaben) basé en Allemagne.

IGIP-Afrique Bénin qui a succédé à l'Agence IGIP-Cotonou depuis 1999, se trouve à Cotonou

au Bénin et est à vocation régionale. Le bureau intervient dans plusieurs domaines à savoir :

- ✓ Hydraulique urbaine et rurale : alimentation en eau potable en zones urbaines et rurales, assainissement, drainage, hydrologie ;
- ✓ Aménagements et infrastructures en zones urbaines et rurales : voirie urbaine, voirie rurale, bâtiments, aménagements hydro-agricole ;
- ✓ Assistance au développement – appui institutionnel ;
- ✓ Formation professionnelle ;
- ✓ Études d'impact environnemental.

Dans le cadre du Projet Eau Potable et Assainissement au Togo Phase 1 (PEAT-1) financé par l'Union Européenne (UE), IGIP Afrique Bénin, en groupement avec IGIP, a pour mission d'effectuer les différentes études du projet dans les villes d'Atakpamé et Dapaong en tant qu'Assistant Technique International (ATI). L'équipe d'ATI comprend :

- Un chef de Mission, qui veillera à la coordination générale des travaux avec la collaboration des Unités d'Exécution et de Coordination(UEC) ;
- Deux experts juniors, qui interviendront dans les deux villes, avec pour charge de veiller aux sujets techniques traitant des schémas de travaux d'eau potable et d'assainissement ainsi que du suivi des travaux ;
- Des experts sectoriels seniors, appelés à intervenir ponctuellement dans les domaines de compétences eau et assainissement.

III.2. Présentation de la zone d'étude

III.2.1. La situation géographique

La ville d'Atakpamé est située dans la région des Plateaux du Togo et précisément dans la Préfecture de l'Ogou dont elle est le chef-lieu et distante de la capitale Lomé de 164 km. Elle est la cinquième ville du pays par sa population après Lomé, Sokodé, Kara et Kpalimé.

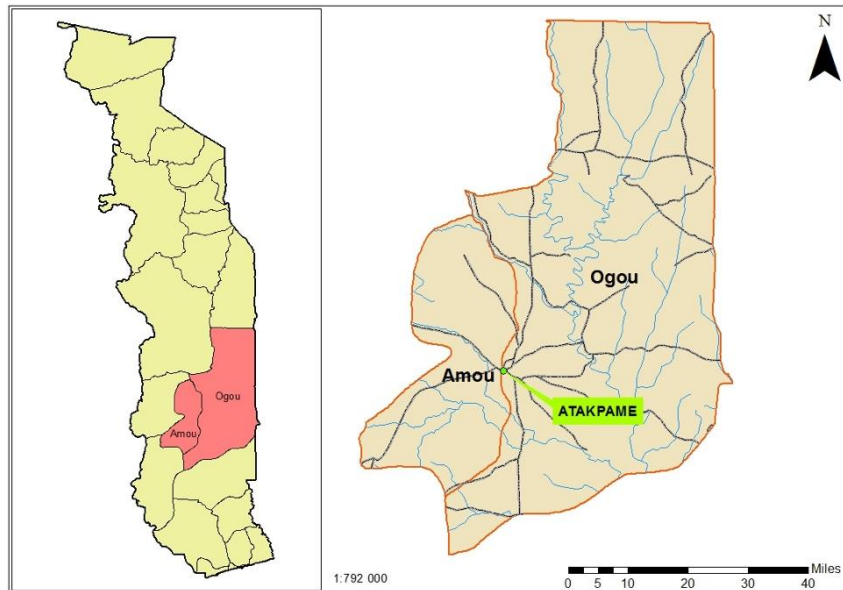


Figure 1: Localisation géographique de la ville d'Atakpamé

III.2.2. Le climat

Atakpamé possède un climat de savane avec hiver sec. Les précipitations sont beaucoup plus importantes du mois de Mai au mois d'Octobre. Sur l'année, la température moyenne à Atakpamé est de 26.4°C et la météo affiche une précipitation moyenne d'environ 1271,5mm de 2010 à 2015.

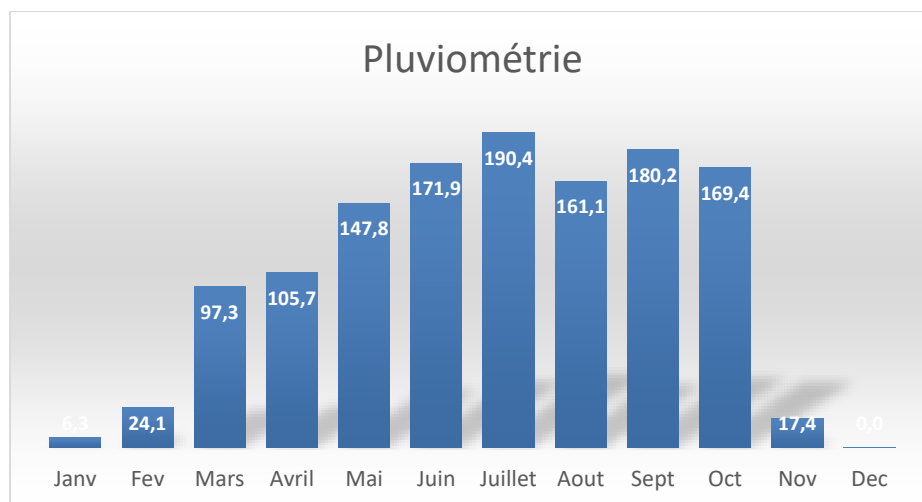


Figure 2: Pluviométrie moyenne de 2010 à 2015

III.2.3. La topographie

La ville est située aux confins de la grande plaine du Mono, au point de rencontre du plateau et des montagnes et son relief est montagneux. Elle est blottie au cœur du massif et est située du

côté de la faille nord dans un abri naturel. Les pentes sont très accidentées, variant entre 20% et 40% avec des cotes fluctuant entre 220m et 430m. De ce fait, l'érosion est accentuée, rendant des rues impraticables.

III.2.4. La démographie

Le premier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de la ville d'Atakpamé a été effectué en 1959 suivi de 3 autres réalisés en 1970, 1981 et 2010. Le nombre d'habitants relevé au cours de ces différents recensements ainsi que leur taux de croissance est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: Démographie de la ville d'Atakpamé

Années	1959	1970	1981	2010
Population	9500	16800	24377	69261
Taux d'accroissement (%)	-	5,32	3,44	3,67

Soit un taux d'accroissement moyen annuel de 3,97% entre 1959 et 2010.

La ville d'Atakpamé est constituée de plusieurs quartiers dont certains datent depuis les années 70 avec une densité de population constante. L'accroissement de la population a par contre lieu dans les zones périphériques de la ville et spécialement dans les quartiers tels que Sada, Agbonou Campement, Agbonou Kamina, Agbonou koéroma, Agbonou kpota comme le présente la vue aérienne ci-dessous fait avec le logiciel GoogleEarth. Selon le rapport de la phase 2 du Plan Directeur d'Assainissement de la ville d'Atakpamé (octobre 2015), les différents quartiers de la ville sont classés en cinq zones :

- Zones anciennes centrales
- Zones péricentrales
- Zones périphériques densifiées
- Zones en cours de densification
- Zones d'extension

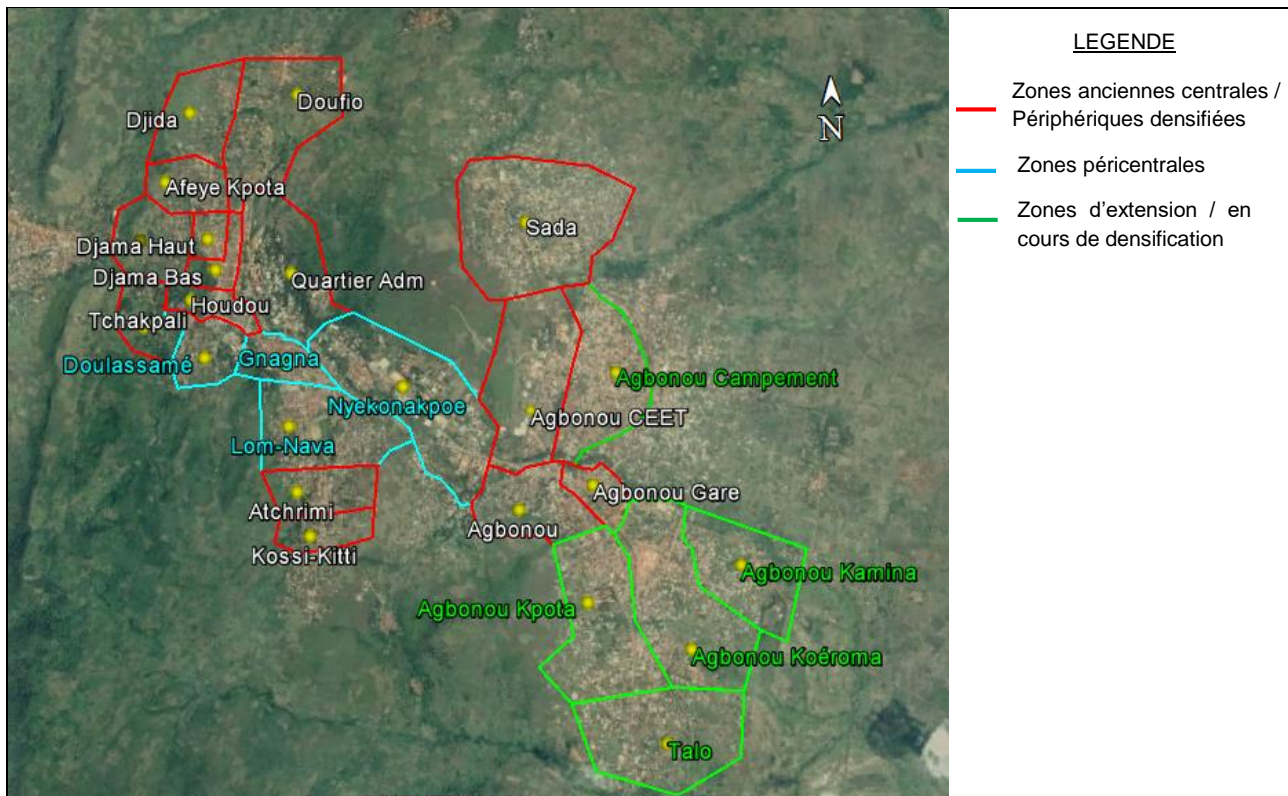


Figure 3: Délimitation des quartiers de la ville d'Atakpamé

III.2.5. Aspects institutionnels de l'AEP

Selon le quatrième recensement de novembre 2010, Atakpamé compte 69 261 habitants. Actuellement nous pouvons estimer sur la base d'un taux d'accroissement de 3,97%(Tableau 1), une population de 90 960 habitants en 2017. Atakpamé est donc considérée comme une ville secondaire à moyenne consommation avec une population comprise entre 10 000 et 100 000 habitants. La gestion et l'exploitation du service public d'eau potable dans la ville sont confiées à la Togolaise des Eaux (TdE) exerçant ses fonctions sur la base d'un contrat d'Affermage avec l'Etat représenté par le Ministère de l'Équipement Rural (MER).

Le MER comporte sous sa tutelle deux entreprises publiques :

- Un concessionnaire, SP-EAU (Société de Patrimoine Eau et Assainissement en milieux Urbains et semi-Urbains)
- Un fermier, la TdE

Le concessionnaire (SP-EAU) est tenu d'acquiescer, de réaliser tous les ouvrages, installations et autres travaux, nécessaires à la production et à la distribution d'eau potable, à l'assainissement collectif sur le périmètre de la concession, pour permettre au Fermier (TdE) d'assurer au Service

public de l'eau et au Service public de l'assainissement collectif un fonctionnement permanent, continu et régulier, garantir la production, le transport et la distribution d'une eau potable de bonne qualité et à une bonne pression.

IV. METHODOLOGIE

Afin d'atteindre les différents objectifs, une approche méthodologique a été adoptée. La méthodologie adoptée s'articule autour des points suivants :

- ✓ collecte de données et synthèse documentaire
- ✓ enquête sur le terrain pour la collecte de données complémentaires ;
- ✓ élaboration d'un diagnostic du réseau sur la base de l'analyse des informations collectées ;
- ✓ simulation du fonctionnement actuel du réseau de distribution de la zone d'étude sous le logiciel EPANET ;
- ✓ simulation du fonctionnement futur du réseau ;
- ✓ et proposition d'amélioration et recommandations.

La collecte des données et la synthèse documentaire ont permis de recueillir principalement les données sur le modèle hydraulique de réseau de la ville d'Atakpamé réalisé courant 2015 et financé par l'Union Européenne. Aussi nous avons obtenu le fichier plan ainsi que les documents sur les études et travaux récents liés au réseau d'AEP. Ces documents ont permis d'élaborer le diagnostic, de relever les éléments de dimensionnement et les différents paramètres pouvant faciliter la simulation du réseau.

Les visites effectuées sur le terrain nous ont permis d'avoir des entretiens avec les chefs des projets en charge de l'eau et quelques responsables du bureau, de faire des relevés sur site et d'obtenir des informations sur les ouvrages hydrauliques.

L'amélioration et la restructuration 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 analyser le réseau depuis l'usine de traitement jusqu'aux conduites de distribution et d'analyser leur fonctionnement.

V. ETUDE DIAGNOSTIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

V.1. Présentation du réseau d'AEP de la ville

La ville d'Atakpamé est alimentée en eau à partir de deux prises en eau de rivière à savoir la rivière d'Ofè et celle d'Amou. La rivière d'Ofè est située dans le village Irobo à environ 18km de la ville et celle d'Amou est localisée dans le village de Glélou à 20km environ de la ville. Ces eaux captées sont ensuite traitées et transportées dans la ville par un système d'adduction gravitaire depuis Irobo et par un refoulement depuis Glélou avec un service en route dans les villages voisins comme Bakpèté, Hihéatro, Elavagnon, Ebeva et Témédja (Figure 4). Une fois dans la ville, la distribution de l'eau est assurée par 5 réservoirs situés dans différents quartiers à différentes altitudes.

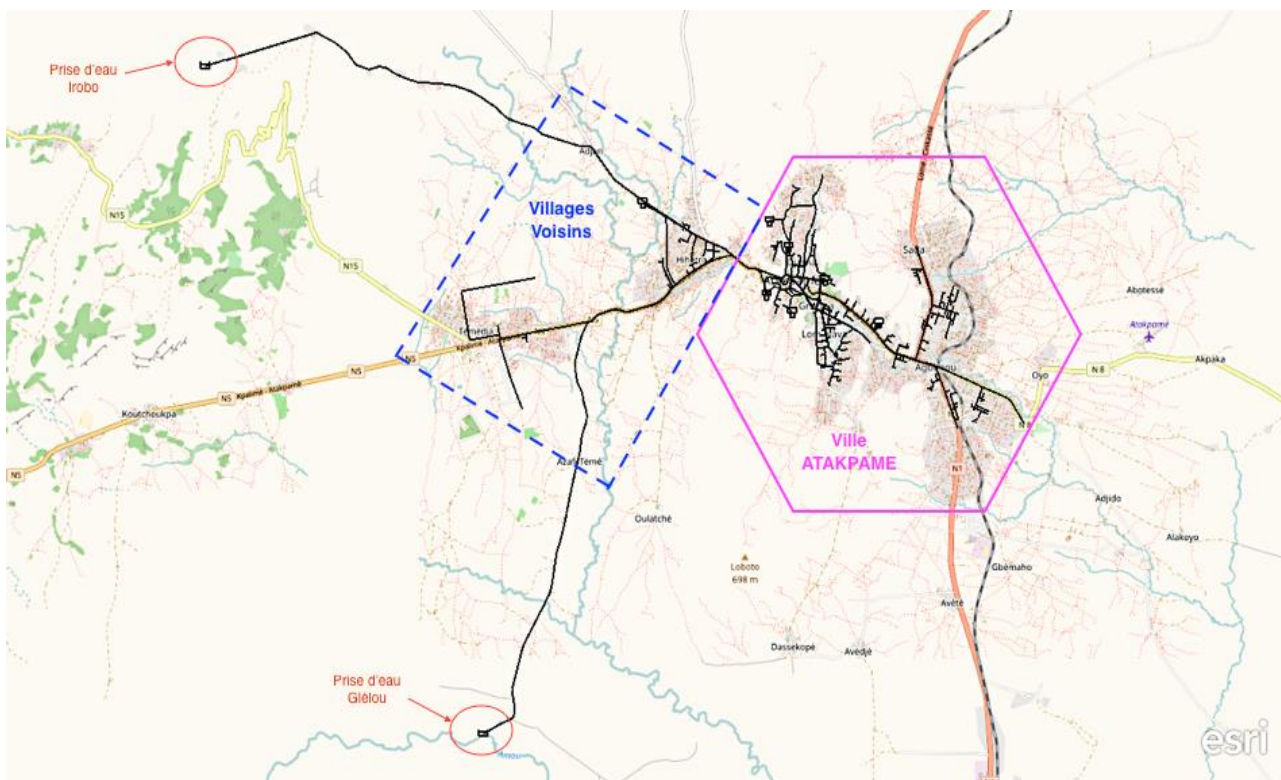


Figure 4: Réseau d'Alimentation en Eau Potable de la ville d'Atakpamé

V.1.1. Le captage

La ville d'Atakpamé est desservie par un réseau d'AEP disposant de deux systèmes de captage situés dans la région d'Amlamé. Une prise dans la rivière d'Irobo et une autre dans la rivière de Glélou.

Le captage de l'eau dans la rivière d'Irobo se fait grâce à une digue de rétention disposant d'un déversoir et d'une chambre de prise. Le déversoir de la digue assure une charge hydraulique au niveau de la chambre de prise et se charge aussi de l'évacuation du supplément d'eau. La conduite de prise est à une altitude de 475m et l'écoulement se fait de manière gravitaire de la chambre de prise à la station de traitement sur une distance de 500m via une conduite en fonte de diamètre 300 mm.



Figure 5: Prise d'eau à Irobo

L'ouvrage présente un état de dégradation bien avancé, notamment au niveau des surfaces de béton en contact avec l'eau de la retenue. Par ailleurs, des fuites d'eau sont observées sur plusieurs endroits :

- Fuites d'eau au point de contact de l'ouvrage avec les rochers ;
- Fuites d'eau au niveau des parois des chambres de captage et de vidange ;
- Fuites d'eau sous la digue et au niveau des gabions.

Ces fuites sont faibles dans la période d'étiage mais augmentent dans la période de crue. Elles sont susceptibles de se développer avec l'augmentation de la charge hydraulique dans la chambre de captage.

A Glérou le captage de l'eau s'effectue au moyen d'une pompe immergée flottante car elle est assemblée à deux fûts qui fluctuent le niveau de pompage compte tenu de la variation du niveau de l'eau dans la rivière d'Amou. Le pompage se fait dans un réservoir de prise située à 20m environ de la rivière.

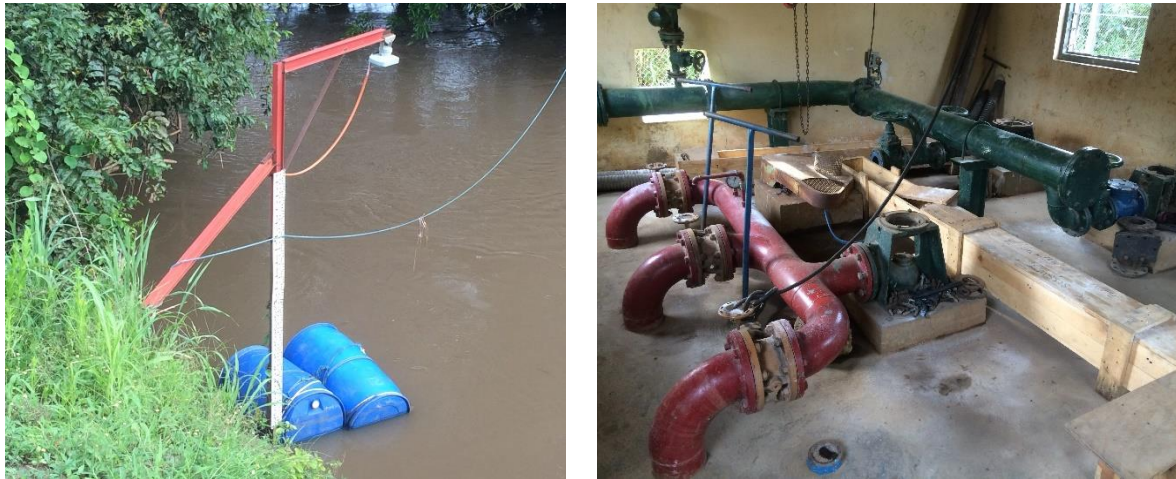


Figure 6: Prise d'eau à Glélou

Le captage de Glélou est la ressource la plus importante pour satisfaire les besoins en eau de la ville d'Atakpamé et ses environs. Le recours à cette ressource est indispensable, particulièrement dans les périodes d'étiage, mais elle est limitée par la capacité et l'état de ses installations (pompes, source d'énergie, etc.). La TdE enregistre régulièrement des pannes du groupe électrogène au niveau de la station. Un arrêt de production au niveau de cette ressource crée des désagréments à cause de l'interruption du service d'eau aux populations.

V.1.2. Traitement et production

L'eau brute des deux captages est traitée par deux stations de traitement. L'eau du captage d'Irobo est traitée sur place par une station de traitement réalisée à 500m de la prise. L'eau brute de Glélou est traitée dans le village de Bakpètè situé à 13km de Glélou et à 4km d'Atakpamé. Chacune des stations dispose de système de floculation, de décantation, de filtration et de chloration qui se chargent du traitement de l'eau brute. Le principe de filière de traitement physico-chimique conventionnelle constituée d'une coagulation et floculation par agitation hydraulique, d'une décantation lamellaire et d'une filtration rapide à niveaux d'eau variables est celui mis en place. Le débit de traitement nominal visé (30 m³/h sur le site d'Irobo, 50 m³/h sur le site de Bakpètè) a été scindé en deux filières de traitement identique de capacité nominale, pour un fonctionnement en secours mutuel (entretien, maintenance).

Le site de Irobo a été réalisé en 1950 et présente une dégradation avancée et celui de Bakpètè en 1989 et est moyennement dégradé. La différence entre ces deux systèmes de production se trouve au niveau du transfert de l'eau traitée qui se fait par gravité d'Irobo à Atakpamé et par refoulement de Bakpètè vers des réservoirs situés dans la ville (Figure 7).

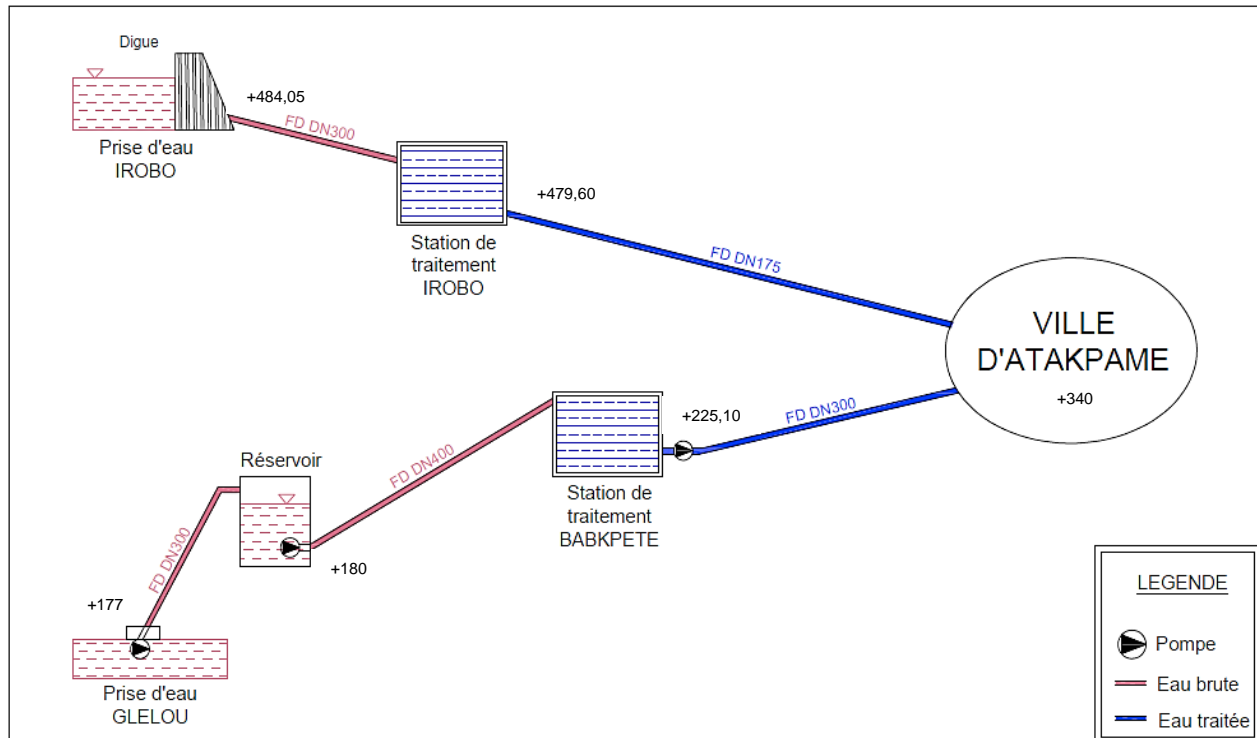


Figure 7: Schéma de production d'eau du réseau

Selon les rapports d'activités de la TdE, la production moyenne journalière en eau potable dans les deux centres au cours des trois dernières années (2014, 2015, 2016) se présente comme suit :

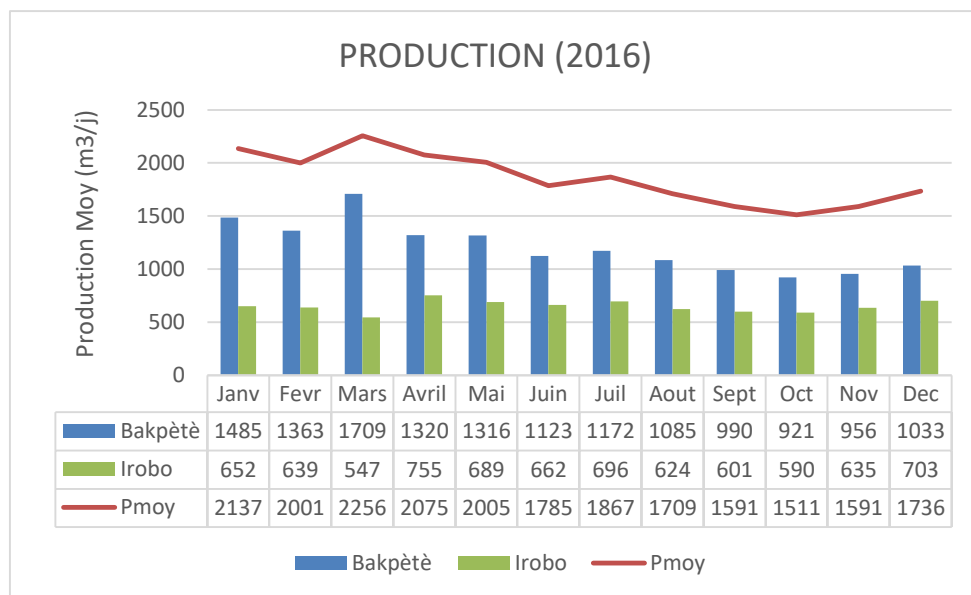


Figure 8: Production d'eau

De ce tableau on note donc une production moyenne de 1855 m³/j au niveau des stations de traitement en 2016, soit une production de 1209 m³/j à Bakpète et 649 m³/j sur le à Irobo.

V.1.3. Adduction et refoulement

Deux systèmes d'adduction assurent donc le transport de l'eau des différentes sources à la ville d'Atakpamé (Figure 7).

De Irobo à la ville d'Atakpamé, le transport de l'eau est assuré par une conduite en fonte ductile DN175 qui transporte l'eau brute de la prise à la station de traitement de manière gravitaire puis l'eau potable de la station à la ville toujours avec un écoulement gravitaire.

Ce système de production/refoulement a été construit dans les années 1950 avec une capacité maximale de l'ordre de 50 m³/h, soit environ 1 200 m³/j pour 24h de production gravitaire.

A Glélou le transport de l'eau est assuré par :

- Une conduite en fonte ductile DN400 et une station de pompage qui refoule l'eau brute de Glélou à Bakpèté ;
- Une conduite en fonte ductile DN300 et une station de pompage qui refoule l'eau traitée de Bakpèté à Atakpamé. Ce refoulement assure un service en route dans les villages tels que Hihiatro, Elavagnon, Ebéva et Témédja.

Ce système de production/refoulement a été réalisé dans le cadre du dernier « grand » projet financé par le Danemark en 1989 avec une capacité maximale de l'ordre de 120 m³/h, soit environ 2 760 m³/j pour 23h de pompage par jour.

La production moyenne journalière des différents sites de production se récapitule dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Production moyenne des sites de production d'eau du réseau

Sites	Année de pose	Longueur (m)	Prod moy	Q (m ³ /s)	D (mm)	V (m/s)
Irobo	1950	14 438	649,30	0,008	175	0,31
Glélou	1989	13 300	1 254,85	0,015	400	0,12
Bakpèté	1989	3 220	1 206,10	0,014	300	0,20

De cette analyse, on note que les conduites de refoulement des sites de Glélou et de Bakpèté ne respectent pas les conditions de vitesse car elles sont inférieures aux vitesses recommandées ($0,3 < V(\text{m/s}) < 0,6$) ce qui peut entraîner des dépôts dans la conduite et ne favorise pas un auto curage de cette dernière.

V.1.4. Le stockage

Le système d'AEP de la ville est composé de 5 réservoirs au sol et d'un brise charge (BC) qui est en fait un réservoir de faible volume installé à l'intermédiaire d'un réservoir principal à l'amont devant desservir une zone à une altitude trop basse à l'aval. Les réservoirs sont installés à différentes altitudes dans la ville et desservent chacun un sous-secteur de distribution d'eau.

Tableau 3: Réservoirs du réseau d'AEP

Réservoir	Quartier	Capacité	Zradier
R2	BAKPETE	1000	219,2
R3	TCHAKPALI	500	307,26
R4	DJAMA	500	378,62
R5	DOULASSAME	200	396,29
R6	AFEYE KPOTA	140	427,86
R7	QUARTIER ADM	500	357,39
R8 (brise charge)	NYEKONAKPOE	10	313,74
TOTAL		2850	-

La conduite d'adduction d'eau potable venant d'Irobo alimente de manière gravitaire les réservoirs R4 et R7 (Figure 9). Le réservoir R4 à son tour dispose d'une station de relevage qui refoule l'eau au réservoir R6, par contre le réservoir R7 assure un écoulement gravitaire dans le réservoir R8 qui représente en réalité un bassin de brise charge.

L'eau venant de Glélou et passant par Bakpète pour traitement est refoulée dans le réservoir R3 qui à son tour dispose de deux stations de relevage d'eau ; une du réservoir R3 vers R7 et l'autre du réservoir R3 vers R4 et R5. Le refoulement de l'eau dans le réservoir R5 se fait manuellement par un jeu de vanne qui isole son sous-secteur de celui de R4.

L'adduction d'eau potable venant d'Irobo dessert donc 2 réservoirs (R4, R7) alors que celle venant de Glélou dessert 3 réservoirs (R4, R5, R7) dont les deux desservis par Irobo. Ainsi, en cas de déficit d'eau au niveau de la production d'Irobo dans les réservoirs R4 et R7, le réservoir R3 renforcera la desserte en eau de ces derniers.

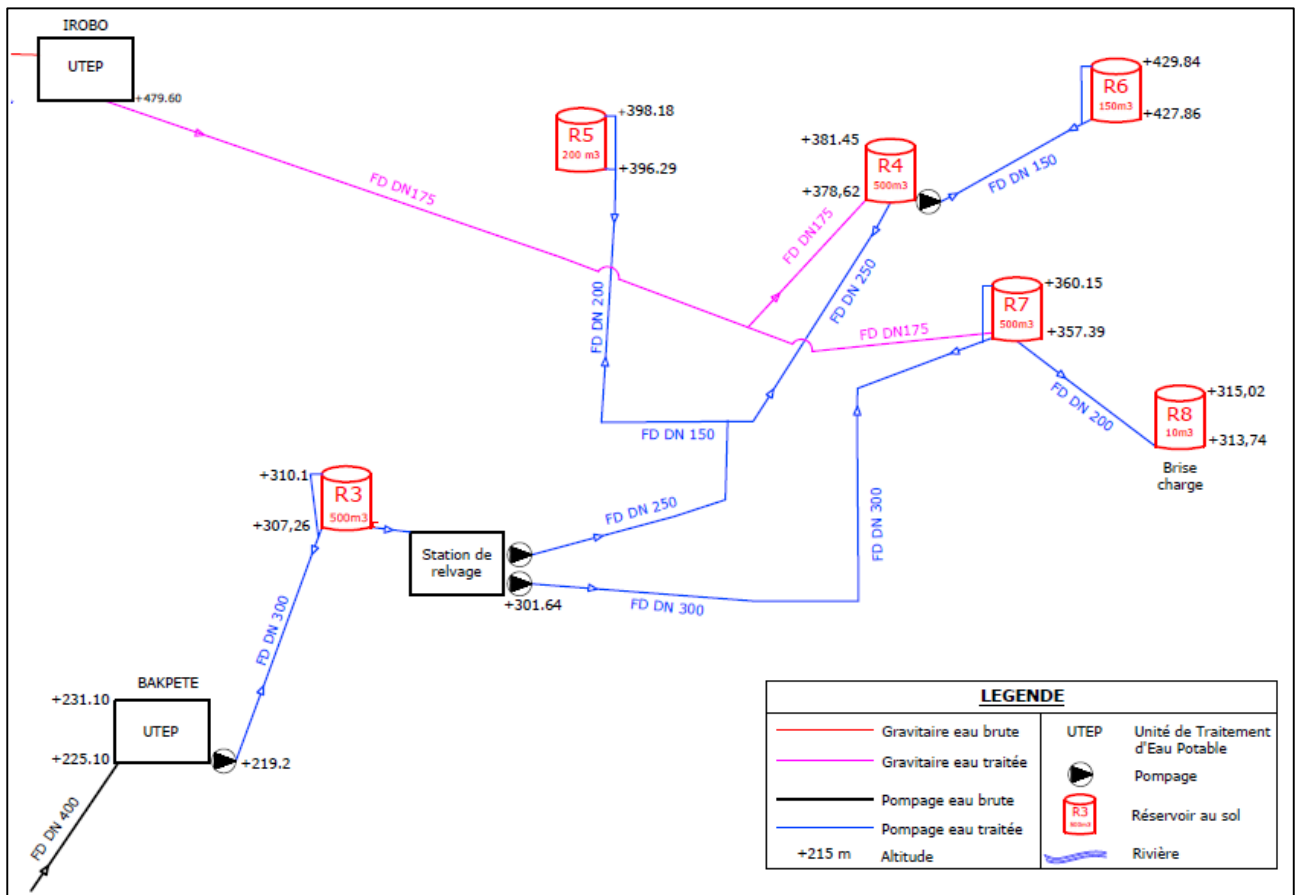


Figure 9: Schéma synoptique du réseau de stockage d'eau dans la ville d'Atakpamé

Le système de stockage du réseau présente tout de même quelques difficultés. D'après les informations reçues des exploitants du réseau et par constat sur le terrain, le réservoir R7 communique souvent avec celui de R4. On constate une augmentation du niveau d'eau dans le réservoir R7 alors que le pompage se fait uniquement vers le réservoir R4. De plus, aucun des réservoirs n'est équipé de compteur fonctionnel pour mesurer les apports d'eau. Seul les stations de relevage (Glélou, Bakpète, Tchakpali) disposent de débitmètre volumétrique pour évaluer la production et le refoulement de l'eau dans le réseau.

V.1.5. Le réseau de distribution

L'ensemble du réseau de distribution présente une complexité due à la communication des sous-réseaux. Sa configuration est mixte (maillée et ramifiée) avec des conduites connectées en boucle dans certaines zones et des ramifications aux conduites principales (Annexe I).

Les conduites d'adduction d'eau des réservoirs assurent pour la plupart un refoulement distributif compte tenu de la densification des concessions dans la ville. Elles sont considérées

comme des conduites principales avec des diamètres variant entre DN300 et DN80. Le diamètre des conduites secondaires est compris entre DN100 et PVC Ø75 et celui des conduites tertiaires varie entre PVC Ø 75 et Ø 40.

La couverture du réseau AEP dans les anciens quartiers de la ville d'Atakpamé est bien remarquable (Annexe I) avec une faible existence du réseau dans les quartiers tels que Sada, Agbonou (Campement, Kpota, Kamina, Koéroma), Talo, qui sont des zones d'extension ou en cours de densification (Figure 3). Ces zones nécessitent une densification du réseau. La complexité particulière du réseau de distribution est l'enregistrement de nombreuses pertes en eau dues à de fortes pressions dans les zones basses. Nous allons étudier ces problèmes dans le réseau de distribution et proposer des solutions afin d'améliorer les conditions de desserte.

V.1.6. Consommation en eau

Le réseau d'AEP dispose de 4 catégories de points de livraison élaborée par la TDE :

- ✓ Branchement Particulier (BP)
- ✓ Borne Fontaine (BF)
- ✓ Administration (Admin)
- ✓ TDE

Sur la base de ces types de branchements, la TDE évalue le nombre d'abonnés et la consommation de chaque type de branchement. La consommation spécifique d'eau par catégorie de branchement au cours de l'année 2016 se présente dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4: Consommation en eau potable par catégorie d'abonné

Mois	NOMBRE D'ABONNES & VOLUME D'EAU CONSOMMEE								TOTAL	
	Branchement Privé		Borne Fontaine		Administration		TDE			
	Nombre	Conso (m3)	Nombre	Conso (m3)	Nombre	Conso (m3)	Nombre	Conso (m3)	Nombre	Conso (m3)
Janv	989	27632	84	8678	82	10711	4	133	1159	47154
Fev	1011	31049	84	10403	96	9685	4	156	1195	51293
Mars	1025	30134	84	10662	99	14982	4	296	1212	56074
Avril	1025	26117	86	9305	99	9626	4	213	1214	45261
Mai	1033	16588	86	4266	101	9690	4	113	1224	30657
Juin	1045	15222	86	3296	103	13214	4	58	1238	31790
Juillet	1053	15725	86	3089	101	11924	4	110	1244	30848
Aout	1063	15944	86	2915	101	12971	4	127	1254	31957
Sept	1072	15136	86	2792	101	11916	4	143	1263	29987
Oct	1076	13610	86	2391	101	11718	4	148	1267	27867
Nov	1090	24315	86	5565	101	12766	4	143	1281	42789
Dec	1103	24643	86	5886	101	13756	4	208	1294	44493
Conso Moy (m3/mois)	21342,92		5770,67		11913,25		154,00		39180,83	

La consommation en eau mensuelle au niveau des branchements particuliers est à suivre de près car elle représente environ 55% de la consommation totale sur le réseau d'eau de la ville. Nous notons aussi un total de 1294 branchements en 2016 dont 85% sont privés, 8% sont pour les administrations, 7% sont liés aux bornes fontaines et un nombre négligeable de branchement (4) appartient à la TDE.

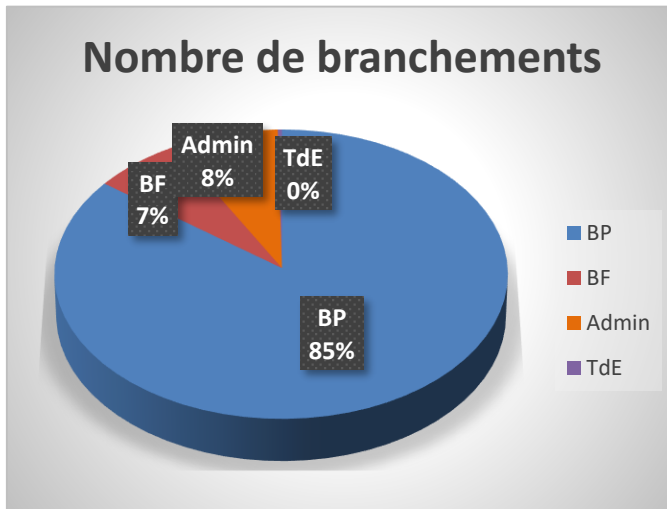


Figure 10: Répartition des catégories de branchements

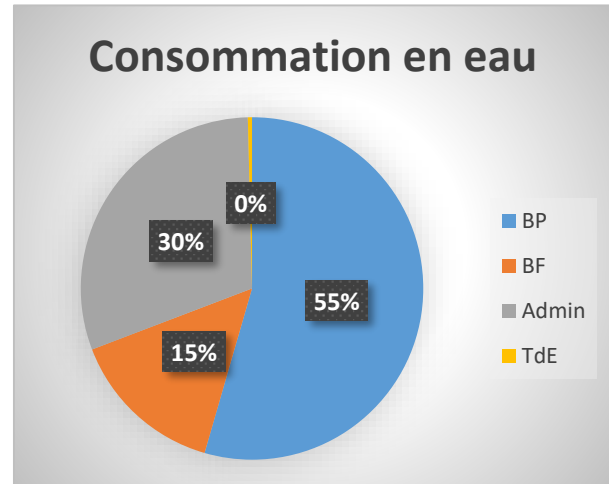


Figure 11: Répartition des consommations par catégorie de branchements

V.1.7. Rendement du réseau

Selon les cahiers d'activités mensuelles de la TdE (Annexe II), le réseau d'AEP subit de nombreuses casses et présente des pertes en eau considérables et un mauvais rendement. L'estimation des pertes d'eau dans le réseau a été faite en faisant la différence entre le comptage de l'eau brute au niveau des différentes sources et le volume d'eau refoulé pour obtenir les pertes au niveau des stations de traitement. Les pertes dans le réseau de distribution ont été estimées en retirant le volume d'eau relevé sur les compteurs des consommateurs de la quantité d'eau refoulée aux différents réservoirs. Le tableau suivant présente les différentes pertes en eau et le rendement du réseau au cours de l'année 2016.

Tableau 5: Estimation des pertes dans le réseau

Mois	Volume d'eau (m3)			Estimation des pertes d'eau (m3)		
	Production	Refolement	Consommation	Station traitement	Eaux non facturées	Total
Janv.	66240	65122	47154	1118	17968	19086
Fév.	62040	61700	51293	340	10407	10747
Mars	64880	64029	56074	851	7955	8806
Avril	64320	63343	45261	977	18082	19059
Mai	60160	58975	30657	1185	28318	29503
Juin	55340	54403	31790	937	22613	23550
Juillet	56010	55071	30848	939	24223	25162
Aout	52980	52360	31957	620	20403	21023
Sept.	49325	48850	29987	475	18863	19338
Oct.	45330	44846	27867	484	16979	17463
Nov.	49325	48850	42789	475	6061	6536
Déc.	52080	50423	44493	1657	5930	7587

$$Perte_{\text{Station traitement}} = V_{\text{Production}} - V_{\text{Refolement}}$$

$$Perte_{\text{Eaux non facturées}} = V_{\text{Refolement}} - V_{\text{Consommation}}$$

Avec : $V_{\text{Production}}$ => Quantité d'eau brute captée à l'exhaure

$V_{\text{Refolement}}$ => Quantité d'eau traitée refoulée vers les réservoirs

$V_{\text{Consommation}}$ => Quantité d'eau consommée relevée au compteur des abonnés

Les eaux non facturées regroupent les pertes techniques où l'eau produite est non consommée et les pertes administratives où l'eau produite est consommée mais non facturée.

Les pertes techniques sont liées aux :

- fuites et aux branchements sur le réseau de distribution ;
- débordements des réservoirs engendrés par un dysfonctionnement d'un robinet flotteur qui fait couler l'eau par le trop-plein d'un réservoir

Les pertes administratives renferment les interventions d'entretien tels que les purges et rinçages des conduites après pose ou réparation, l'ouverture des vannes de vidange, le nettoyage

des réservoirs.

Il est vrai que la méthode utilisée par l'exploitant n'est pas la plus efficace pour estimer les pertes dans le réseau mais elle reste la seule disponible actuellement cause au manque d'équipements métrologiques aux réservoirs et dans le réseau de distribution. Les fuites dans le réseau ne sont donc pas détectables au plus tôt afin d'intervenir efficacement sur la maintenance du réseau. Sur la base du tableau on peut estimer un rendement global moyen annuel de 68%, ce qui montre le mauvais état du réseau malgré les multiples interventions d'entretien au niveau des conduites.

$$r_{Production} = \frac{V_{Refoulement}}{V_{Production}} * 100$$

$$r_{Distribution} = \frac{V_{Consommation}}{V_{Refoulement}} * 100$$

$$r_{Global} = \frac{V_{Consommation}}{V_{Production}} * 100$$

Tableau 6: Rendement du réseau

Mois	Rendement (%)			Mois	Rendement (%)		
	Production	Distribution	Global		Production	Distribution	Global
Janv.	98,31	72,41	71,19	Juil.	98,32	56,01	55,08
Fév.	99,45	83,13	82,68	Aout	98,83	61,03	60,32
Mars	98,69	87,58	86,43	Sept.	99,04	61,39	60,79
Avril	98,48	71,45	70,37	Oct.	98,93	62,14	61,48
Mai	98,03	51,98	50,96	Nov.	99,04	87,59	86,75
Juin	98,31	58,43	57,44	Déc.	96,82	88,24	85,43

V.2. Evaluation des besoins en eau actuels et futurs du réseau

V.2.1. Développement démographique

Avec un taux d'accroissement démographique de 3,7% en 2010 à Atakpamé, sur la base des résultats des recensements de la population, le développement démographique a été projeté à l'horizon 2025 (horizon de notre étude). L'estimation a été faite en tenant compte de la densification des habitants dans les différentes zones de couverture du réseau d'AEP qui renferme les différents quartiers de la ville et les villages environnants (Annexe III).

Selon de Plan Directeur d'Assainissement (PDA) de la ville d'Atakpamé, la croissance démographique de la ville et des villages compris dans le périmètre d'adduction se compose :

- de l'accroissement naturel de la population,
- du taux d'immigration vers la région
- et une partie de l'accroissement est aussi à imputer au déclin des conditions de vie dans les zones stagnantes de la ville suite à la vétusté des ouvrages existants (bâtiments, caniveau, dalots, etc ...) qui entraîne une dispersion de la population du centre vers les périphéries.

On doit s'attendre à une densification constante de la population pour la zone urbaine centrale d'Atakpamé, tandis que la densité démographique des quartiers périphériques et des banlieues sera plus basse. Nous estimons que le taux d'accroissement de la ville d'Atakpamé évoluera de façon décroissante, et pour nos estimations, nous avons retenu dans la zone AEP les taux suivants :

- 3,4% de 2010 à 2016 ;
- 3% de 2016 à 2020
- 2,8% de 2020 à 2025.

La population est donc estimée à 122 285 habitants en 2020 pour une densité de 55 habitants par hectare et à 140 095 en 2025 pour une densité de 63 habitants par hectare (Annexe III).

V.2.2. Estimation du taux de raccordement

La méthode utilisée est une méthode analytique qui consiste à analyser séparément les différents paramètres conditionnant la demande (population, plan d'urbanisme, activités industrielles, consommation unitaire etc.). La prévision est toujours difficile, aléatoire et le fait d'utiliser une méthode analytique pour évaluer les besoins en eau ne donne pas une garantie totale contre toute insuffisance.

L'estimation de la desserte fournie par la TdE, part de la répartition des différentes catégories de branchement dans les quartiers de la ville d'Atakpamé et les villages voisins (Annexe IV).

Le dernier recensement estime une taille moyenne du ménage à 5 personnes dans la région des plateaux sachant qu'une concession contient en moyenne 2,4 ménages. La plupart des ménages n'ont pas les moyens de payer les dépenses liées à un branchement particulier. Environ le quart des ménages souhaitent un branchement particulier tandis qu'environ deux tiers préfèrent soit

partager un branchement avec les autres familles de la concession, soit avoir accès à une borne fontaine. Dans le cas de notre étude, nous considérons qu'une concession abonnée au réseau regroupe 12 usagers.

En utilisant les volumes facturés en 2016 par la TdE et une estimation de la population desservie par le système d'AEP dans la même année, nous obtenons un taux de desserte et la consommation spécifique pour 2016.

Tableau 7 : Evolution du taux de raccordement

		2016	2018	2020	2022	2025
ATAKPAME	Evolution taux de raccordement	21,9%	22,0%	30,0%	33,0%	38,0%
	Evolution population raccordée	23 780	25 368	36 686	42 697	53 236
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,)	Evolution taux de raccordement	3,0%	5,0%	7,0%	9,0%	10,0%
	Evolution population raccordée	3 216	5 766	8 560	11 645	14 010
Total Zone AEP	Evolution taux de raccordement	24,9%	27,0%	37,0%	42,0%	48,0%
	Evolution population raccordée	26 996	31 134	45 245	54 341	67 246

La population desservie obtenue en 2016 est de 26 996 habitants pour une population totale de la zone AEP de 108 407 habitants, soit un taux de desserte de 25% dont 22% dans les zones urbaines et 3% dans les zones rurales. De 2018 à 2020, nous prévoyons un fort taux de raccordement (10%) suite à l'impact du projet PEAT1 à travers la subvention de 800 branchements particuliers dans la ville d'Atakpamé.

Sur l'ensemble du réseau exploité par la TdE, 256 115 m³ d'eau ont été distribués aux branchements privés au cours de l'année 2016, pour une population estimée à 13 236 habitants, soit une consommation moyenne spécifique de 53l/jour/habitant aux BP. Aux bornes fontaines, 69 248 m³ d'eau sont consommés avec une population estimée à 13 760 habitants, soit une consommation moyenne spécifique de 14l/jour/habitant aux bornes fontaine.

La consommation spécifique (toutes catégories de consommation incluses) est de l'ordre de 35l/jour/habitant à raison de 470 170 m³ en 2016 pour 36 568 habitants. La TdE a estimé par contre en 2015 une consommation spécifique toute catégorie de consommation incluse à

30l/jour/habitant.

V.2.3. Estimation des besoins en eau

En fonction de l'évolution du taux de raccordement, nous estimons les besoins en eau à 3 563 m³/j en 2025 pour une population desservie de 67 246 habitants dont :

- Ville d'Atakpamé : 2 887 m³/j
- Villages voisins : 676 m³/j

La demande en eau étant la somme des besoins en eau et des différentes pertes dans le réseau, on estime une demande moyenne de 3 959 m³/j en 2025 pour un rendement du réseau de 90% suite à l'impact du projet PEAT1 avec une dotation spécifique de 53l/jour/habitant au BP et 14l/jour/habitant au BF (Annexe V).

VI. SIMULATION DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DU RESEAU

VI.1. Paramètres d'entrée du modèle

EPANET modélise un système de distribution d'eau comme un ensemble d'arcs reliés à des nœuds. Les arcs représentent les conduites, ou des pompes ou des vannes de contrôle. Les nœuds représentent des points de demande, des réservoirs ou des bâches (Annexe VI). Le modèle réalisé est une actualisation de la modélisation du réseau de 2014 obtenue auprès de l'exploitant. Le réseau d'Atakpamé est établi sur 109 755,25 mètres de conduite et dispose de 6 réservoirs (Tank), 5 pompes et 2 sources d'eau.

❖ Les nœuds de demande

La détermination des demandes aux nœuds commence d'abord par le calcul des débits max instantanés. Pour cela on procède à la détermination des populations desservies par zone et par quartier compte tenu de leur nombre d'abonné. Ensuite à l'évaluation des besoins en eau avec l'utilisation de la catégorie de branchement et la consommation spécifique des abonnés (Annexe X). La demande en eau étant la somme des besoins en eau plus les pertes, on ajoutera les pertes aux besoins en eau obtenus en se basant sur le rendement du réseau. On obtient le débit maximum en faisant le produit de la demande et du coefficient de pointe journalier (1,4).

Parmi les différents sous réseaux de distribution, ceux des réservoirs R6 et R8 disposent d'une configuration ramifiée tandis que les autres réservoirs R4, R5 et R7 ont un réseau mixte (maillé et ramifié). Afin d'affecter les demandes à chaque nœud, on procède à :

- La détermination du débit qui transite dans chaque tronçon,
- Ramener les consommations linéaires en consommations ponctuelles au nœud à raison de la moitié du débit en route (Q en route) /2) à chaque extrémité du tronçon,
- Appliquer aux nœuds la répartition des débits en respectant la loi d'équilibre des nœuds : somme de débits entrants = somme des débits sortants + somme des débits prélevés à ce nœud,
- Ramener les consommations de tous les nœuds du secteur au nœud de départ de chaque sous réseau (le premier nœud après le réservoir).

❖ Les réservoirs

Le niveau d'eau dans les réservoirs doit rester entre les niveaux minimaux et maximaux. EPANET arrête la sortie d'eau si le réservoir est à niveau minimal et arrête l'arrivée s'il est à son niveau maximal.

Le tableau ci-dessous présente les données de base des différents réservoirs intervenants dans le stockage de l'eau potable du réseau.

Tableau 8: Paramètres d'entrée des réservoirs

Réservoir	Z _{radier}	Diamètres	h _{max}	h _{min}	h _{mit}
R2	219,2	16,9	4,46	0,00	1,00
R3	307,26	15	2,83	0,00	1,00
R4	378,62	15	2,83	0,15	0,8
R5	396,29	11,6	1,89	0,00	0,8
R6	427,86	9,5	1,98	0,00	0,8
R7	357,39	15,2	2,76	0,00	0,8
R8	313,74	3,2	1,28	0,00	0,5

❖ Les conduites

La formule utilisée dans le paramétrage des options hydrauliques de simulation du modèle est celle de Darcy-Weisbach en raison de ses résultats qui sont plus proches de la réalité dans un vaste domaine de variation de l'écoulement. De plus, la formule de Hazen-Williams est une formule empirique et ne tient pas compte de la viscosité du liquide et ne s'applique qu'à l'eau,

sans additif. Elle ne considère pas non plus la température ni la densité de l'eau, et suppose une température d'environ 15°C (Bonneville, 2006).

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des différents diamètres de conduite présents dans le réseau.

Tableau 9: Caractéristiques des conduites

Diamètre intérieur	Matériau	Coefficient de Darcy-Weisbach	Diamètre	Matériau	Coefficient de Darcy-Weisbach
33	Acier	0,03	103,6 (Ø110)	PVC	0,0015
40	Acier	0,03	150	Fonte	0,25
60	Acier	0,03	152 (Ø160)	PVC	0,0015
57 (Ø63)	PVC	0,0015	175	Fonte	0,25
69 (Ø75)	PVC	0,0015	200	Fonte	0,25
80	Fonte	0,25	250	Fonte	0,25
84 (Ø90)	PVC	0,0015	300	Fonte	0,25
100	Fonte	0,25	400	Fonte	0,25

❖ Les pompes

L'AEP de la ville d'Atakpamé fonctionne grâce aux capacités de refoulement de 5 pompes. Afin de simuler leur fonctionnement dans le modèle il est nécessaire de connaître la pression contre laquelle les pompes doivent travailler pour refouler l'eau dans les réservoirs. Cette pression est appelée la Hauteur Manométrique totale et est calculée comme suit :

$$HMT = H_{géo} + \Delta P + \sum \Delta H$$

Avec ; $H_{géo}$: La hauteur géométrique qui est la différence d'élévation entre le niveau statique du liquide à aspirer et celui du liquide au refoulement

ΔP : La différence de pression entre le réservoir amont et le réservoir aval

$\sum \Delta H$: L'ensemble des pertes de charges linéaire et singulière présent dans les conduites de refoulement.

Les pertes de charges linéaires (ΔH) ont été calculé avec la formule de Darcy-Weisbach et les pertes de charges singulières sont estimées à 10% de ΔH :

$$\Delta H = \frac{8\lambda L Q^2}{g\pi^2 D^5}$$

Pour un écoulement turbulent et dans la zone de transition, Colebrook et White ont proposé une formule pour le calcul du facteur de rugosité λ . Cette formule traduit bien les résultats expérimentaux aussi bien en tuyaux lisses qu'en tuyaux rugueux. Le facteur de rugosité λ est fonction de $(K/D, Re)$ et nécessite un calcul itératif à cause de sa forme implicite en λ :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{K}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right]$$

Avec K : la dimension des aspérités de la paroi de la conduite

D : le diamètre de la conduite (m)

$\frac{K}{D}$: La rugosité relative

Re : le nombre de Reynolds caractérise l'écoulement (Laminaire ou turbulent): $Re = \frac{UD}{\nu}$

U : la vitesse de l'eau dans la conduite (m^2/s)

ν : la viscosité cinématique de l'eau (m^2/s)

Dans le cas de notre étude nous supposons que l'eau est à une température de $20^\circ C$ et sa viscosité cinématique est de $\nu = 1,007 \cdot 10^{-6} m^2/s$ et $K = 3,5 \cdot 10^{-3}$ pour les vieilles conduites en fontes (Bonvin, 2016). Les différentes pompes sont désignées par :

- P1 : refoulement de Glélou à R2 (Bakpèté)
- P2 : refoulement de R2 à R3
- P3-A : refoulement de R3 à R4 et R5
- P3-B : refoulement de R3 à R7
- P4 : refoulement de R4 à R6

Le tableau ci-dessous présente le calcul des pertes de charge et la détermination des hauteurs manométrique de chaque pompe en fonction du débit.

Tableau 10: Calcul des pertes de charge des différentes pompes

Tronçons	Glélou-R2	R2-R3	R3- R5&R4	R3-R7	R4-R6
L(m)	13234	3191	1520	1820	894
D (mm)	400	300	200	300	200
Q (m3/s)	0,018	0,014	0,004	0,009	0,0012
k	3,50E-03	3,50E-03	3,50E-03	3,50E-03	3,50E-03
v	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06
Re	56897	57332	27766	38821	7591
K/D	0,0088	0,0117	0,0175	0,0117	0,0175
cible	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	0,037	0,041	0,048	0,041	0,051
ΔH	1,29	0,82	0,36	0,22	0,02
ΔH_s	0,13	0,08	0,04	0,02	0,00
$\Sigma \Delta H$	1,42	0,90	0,40	0,24	0,02

Tableau 11: Paramètres d'entrée des pompes

Pompes	P1	P2	P3-a	P3-b	P4
Hgéomax	70,00	105,00	94,00	53,07	49,09
ΔP	4,46	2,83	1,89	2,76	2,07
$\Sigma \Delta H$	1,42	0,90	0,40	0,24	0,02
Q (m3/h)	64,80	48,97	15,81	33,16	4,32
HMT	75,88	108,73	96,29	56,06	51,18

❖ Les bâches infinies

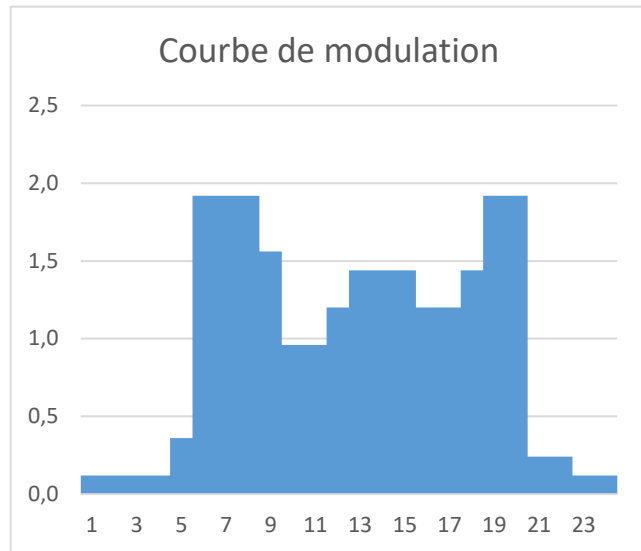
Pour représenter les rivières, nous avons utilisé les bâches en prenant une charge totale de 500m à la source d'Irobo et 185m à la source de Glélou.

❖ Durée des pointes et leur intensité

La détermination des pointes de consommation revêt une importance capitale dans la modélisation du réseau de distribution. Son utilisation permet d'apprécier le comportement global du réseau sur une période donnée. La courbe de modulation est un ensemble de multiplicateurs qui sont appliqués à une valeur de base pour lui permettre d'évoluer au cours du temps. Selon les statistiques d'exploitation de la TDE en 2016, le coefficient de pointe horaire est de 1,92 et la fluctuation horaire de consommation dans le réseau est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12: Fluctuation horaire sur le réseau

Horaire	Coeff	Horaire	Coeff
0_1	0,1	12_13	1,4
1_2	0,1	13_14	1,4
2_3	0,1	14_15	1,4
3_4	0,1	15_16	1,2
4_5	0,4	16_17	1,2
5_6	1,9	17_18	1,4
6_7	1,9	18_19	1,9
7_8	1,9	19_20	1,9
8_9	1,6	20_21	0,2
9_10	1	21_22	0,2
10_11	1	22_23	0,1
11_12	1,2	23_24	0,1



Dans le cas de notre étude où nous utilisons le logiciel EPANET, cela revient à faire une simulation sur 24h avec des intervalles de temps de 1 heure. On constate deux périodes de pointe allant de 6h à 8h et de 18h à 20h dont le coefficient multiplicateur interprète une majoration de la demande moyenne de 90%. Pendant la nuit de 22h à 4h l'activité est presque inexistante, la consommation se réduit considérablement et les pointes minimales sont fixées à 10% de la demande. On assignera donc une courbe de modulation à intervalle de temps constant de 1 heure à l'ensemble des demandes aux nœuds. Durant cette période la valeur de la demande au nœud ne change pas et reste égale au produit de la demande de base et du multiplicateur assigné à cette période.

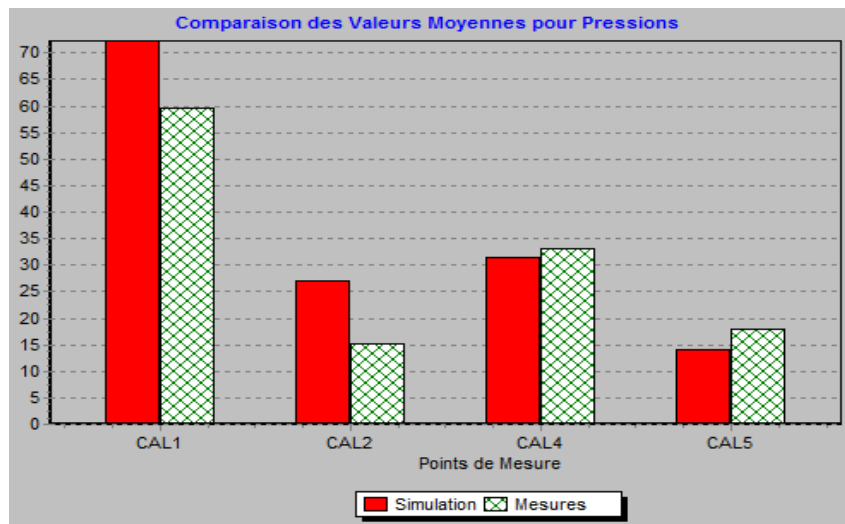
VI.2. Simulation du comportement actuel du réseau

Le réseau existant a été modélisé et la simulation de son fonctionnement avec le logiciel EPANET présente l'état des nœuds et des conduites pendant toutes les heures de la journée. Elle met en évidence les zones de faibles ou fortes vitesses ainsi que de faibles ou fortes pressions. Cette simulation permet de visualiser les différentes variations en fonction des paramètres qu'offre le logiciel afin de mieux analyser le fonctionnement du réseau et de proposer une meilleure exploitation.

Nous présenterons en premier le rapport de calage du modèle qui renseigne en partie sur la fiabilité du modèle hydraulique car il constitue le principal outil d'analyse du réseau.

VI.2.1. Calage du modèle

Une campagne de mesure de pression a été organisée par l'Assistance Technique Internationale (ATI) avec les agents de la TdE. Au cours de cette campagne, six Visio tambour manomètre ayant une plage de mesure de pression de 0 à 6 bars sont utilisés sur une période de dix jours. Ils ont été installés dans les quartiers Hiheatro, Atchrimi, Sada, Doufio, Doulassame et Djama Tomegbe. Des perturbations se sont produites au cours de cette période suite à l'arrêt de la production d'eau à l'usine de Glélou pendant trois jours. Après la campagne de mesures de la pression, les données recueillies ont été analysées et il s'est avéré que seuls quatre points de mesure de la pression sont exploitables. Il s'agit des données CAL1, CAL2, CAL4 et CAL5 des quartiers respectifs Hiheatro, Atchrimi, Doufio et Sada. Après insertion de ces données dans le modèle, les résultats de comparaison donnent :



Statistiques de Calage pour Pressions

Point-Mesure	Nombre Obs	Moyen Obs	Moyen Sim	Erreur Moy	Dév Stand
CAL1	24	59,72	72,29	12,576	13,154
CAL2	24	15,10	26,93	13,865	14,146
CAL4	24	33,19	31,41	1,774	1,793
CAL5	21	18,00	14,02	3,982	3,990
Réseau	93	31,94	36,88	8,181	10,036

Corrélation entre Valeurs Moyennes: 0,948

Figure 12: Comparaison des données de calage de pressions

Selon les statistiques du calage des pressions, on note une erreur moyenne de 8,18 mCe pour une mesure moyenne d'observation de pression de 31,94 mCe. Notre modèle présente alors une

erreur de l'ordre de 25% et est donc fiable à 75%. Avec le graphique de comparaison des valeurs moyennes de pression, on pourra se fier aux résultats des quartiers Doufio et Sada liés aux données CAL4 et CAL5 et se méfier des résultats des quartiers Hiheatro et Atchrimi liés aux données CAL1 et CAL2.

VI.2.2. Présentation du fonctionnement du réseau

Suite à une simulation du modèle pendant 24h, nous présenterons les résultats aux heures de pointes (19h) où le fonctionnement du réseau est intensif. Nous nous sommes intéressés aux zones critiques du réseau qui ne respectent pas les conditions de pression de desserte d'eau dans la ville. Les conditions de pression minimale de service doivent être comprises entre 1 et 6 bars.

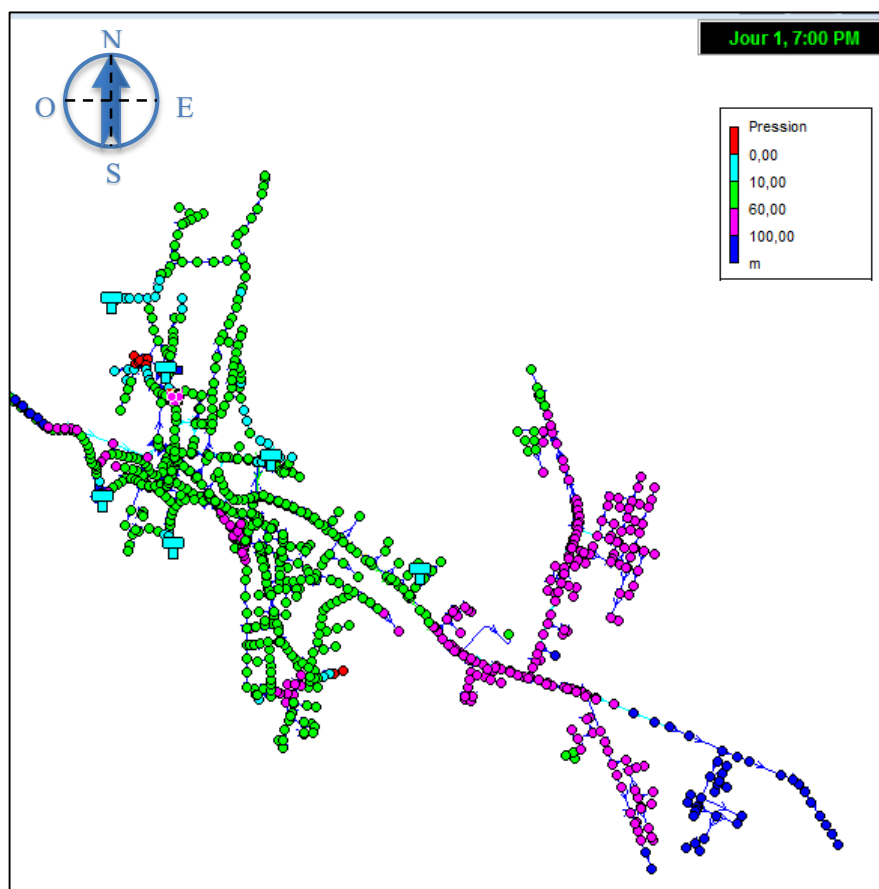


Figure 13: Simulation à 19h

On observe de fortes pressions de l'ordre de 14bars dans les conduites d'adduction d'Irobo et des pressions de 3bars dans celui de Glélou. Aussi dans les différents quartiers de la ville, on constate que les pressions sont admissibles (1 à 6 bars) dans les quartiers au centre de la ville mais vers les périphéries comme, les quartiers d'Agbonou et de Sada (zone Sud-Est) les

pressions sont fortes. Ces quartiers (Agbonou, Sada) sont en principe desservis par le réservoir R7 par l'intermédiaire du réservoir brise charge R8, ainsi les pressions observées devraient être normalement beaucoup plus faibles. Il y a donc un problème de desserte du réservoir R7, on suppose qu'il y a une communication entre le sous réseau R8 avec un autre réservoir situé à une plus grande altitude que cette dernière. Ces zones sont susceptibles d'avoir des fissures sur les conduites qui engendreront des pertes d'eau dans le réseau.

On note aussi qu'à Djama Tomegbe (Nord-Ouest), on relève des pressions faibles sur une zone desservie par le réservoir R4.

Au centre de la ville deux zones desservies par le réservoir R5 présentent de fortes pressions. Pendant les heures de faibles consommations, le réseau de distribution est soumis à de fortes pressions de plus de 10bars à ces zones, ce qui peut engendrer des casses sur les conduites surtout sur les plus vieilles.

VI.2.3. Fonctionnement des réservoirs

Après l'étude sur le réseau en général, nous nous intéressons au comportement des principaux réservoirs de distribution R3, R4, R5, R6, R7. Les courbes de remplissage des différents réservoirs se présentent dans la figure ci-dessous.

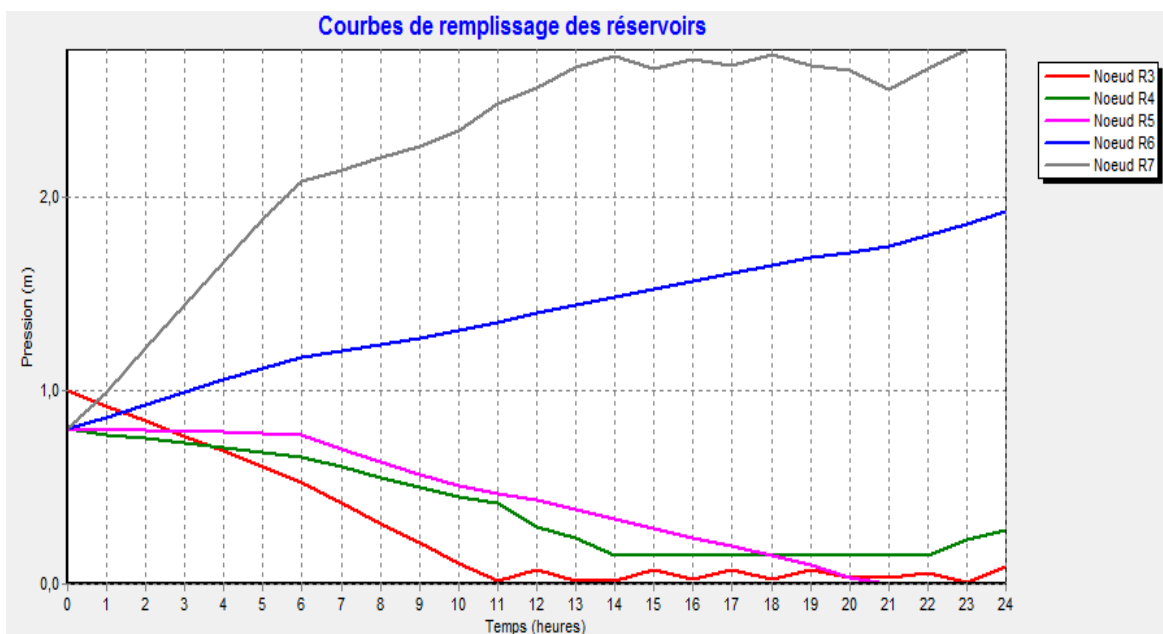


Figure 14: Courbes de remplissage des réservoirs

La simulation du réseau montre que les réservoirs R7 et R6 se remplissent tout au long de la

journee contrairement au reservoirs R3, R4, R5 qui se vident pendant cette periode. R3 est le distributeur d'eau des reservoirs R4, R5, R7, sa sollicitation se remarque par son niveau d'eau quasiment bas a partir de 11h. Le reservoir R4 se vide entierement a 14h et ne reprend le remplissage qu'a 22h ; il est aussi tres sollicite tout comme le reservoir R5 qui se vide a 20h et ne presente presque pas de periode de remplissage dans la journee. Nous constatons ainsi que l'eau produite n'est pas entierement consommee et une incoherence du fonctionnement du reservoirs R7 qui est en fait un reservoir tres sollicite avec une grande zone de couverture et la variation du niveau d'eau est relativement faible au cours de la journee.

Cette situation indique une mauvaise desserte de l'eau par les reservoirs a travers leur sous reseau de distribution respectif, il est donc necessaire de sectoriser convenablement le reseau de distribution en procedant a une reaffectation de certaines zones de distribution dans les differents reservoirs en tenant compte de leur capacite et de la pression de service.

VII. OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU

VII.1. Isolement des sous reseaux de chaque reservoir

Suite a une analyse des differents sous reseaux, et dans le but d'etablir une plage de pression dans ces derniers, des reaffectations de conduites ont ete effectuees au niveau de certains noeuds. Ainsi, nous avons constate une communication entre le reseau de distribution de R4 et celui de R7 et R8. Etant donne que la difference d'altitude entre les reservoirs R4 et R7 est de l'ordre de 20 metres, et de 65 metres entre R4 et R8, avec R4 le reservoir le plus en hauteur, on constate un grand apport d'eau dans le reservoir R7 qui devrait etre le plus sollicite a cause de sa desserte a travers le brise charge R8. Ce qui justifie le constat sur le remplissage anormal du reservoir R7 sur le terrain. Le reservoir R4 prend donc en charge la desserte en eau dans le reseau de distribution de R7 et R8 a travers les conduites de communication et devient le reservoir le plus sollicite. La communication entre le reservoir R4 et la distribution du reservoir R7 est la cause des pressions elevees dans les quartiers de Sada et Agbonou (Figure 19).

Pour pallier a ce probleme, trois conduites ont ete detectees et sectionnees dans le quartier Nyekonakpoe. Ces conduites sont en fait des bypass dont deux communiquent avec le sous reseau de R7 et une qui communique avec le sous reseau de R8. De plus, une reaffectation des conduites de distribution de R4 dans le quartier Nyekonakpoe a ete faite sur le reseau de R7 dans le quartier administratif afin de reduire les pressions a l'aval (au quartier d'Agbonou Keta).

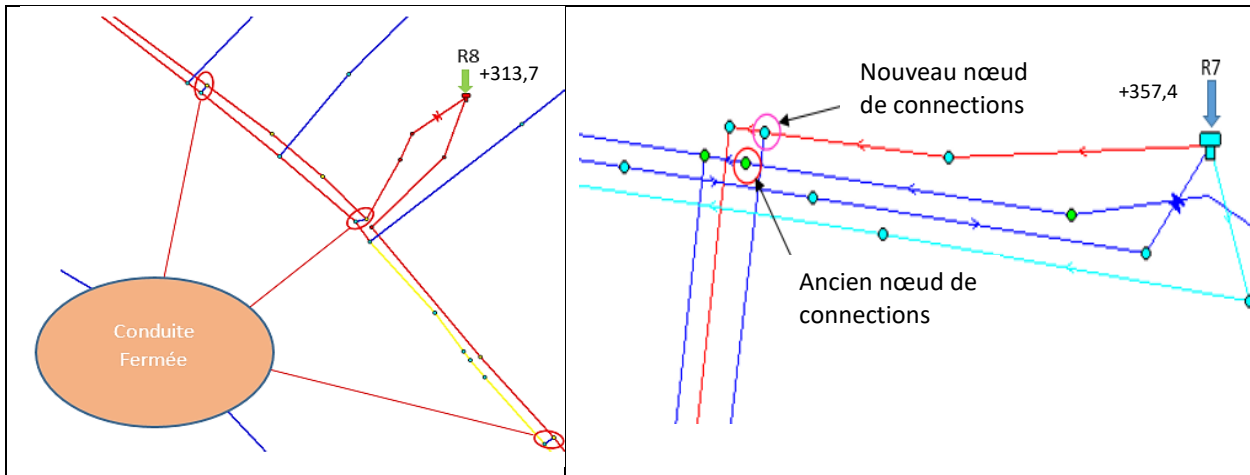


Figure 15: Sectionnement et affectation de certaines conduites du sous réseau R4 au sous réseau R7

A Djama Tomegbe le souci de faible pression a été résolu en connectant les conduites de desserte du quartier au sous réseau de distribution du réservoir R6 car une partie de ces conduites présente une altitude supérieure au réservoir R4.

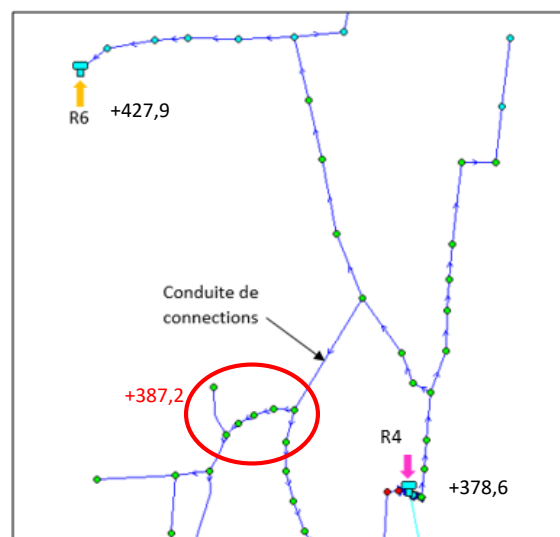


Figure 16: Affectation du réseau de distribution de Djama Tomegbe au sous réseau R6

❖ Vérification

La simulation du réseau après le travail de récolement effectué montre que le sectionnement des conduites communicantes entre les sous réseaux de distribution a amélioré les conditions de pressions de service dans les quartiers de Sada et d'Agbonou (Campement, CEET, Keta) mais présente tout de même quelques imperfections dues aux reliefs très accidentés de ce dernier. C'est le cas des quartiers d'Agbonou Kamina et Koeroma (Zone Sud-Est) qui se trouvent à une altitude basse par rapport au réservoir brise charge R8. Le nœud le plus haut dans ces zones

présente une différence d'altitude de l'ordre de 60 mètres par rapport au réservoir R8 et le nœud le plus bas une différence de l'ordre de 87 mètres.

Certaines zones du sous réseau R5 affichent aussi des pressions maxi de l'ordre de 7,1 bars dans les quartiers de Kossi Kitti et Gnagna (centre de la ville).

Les nœuds de Djama Tomegbe (Nord-Ouest) précédemment connecté au réservoir R4 présentent de fortes pressions suite à son affectation au sous réseau R6.

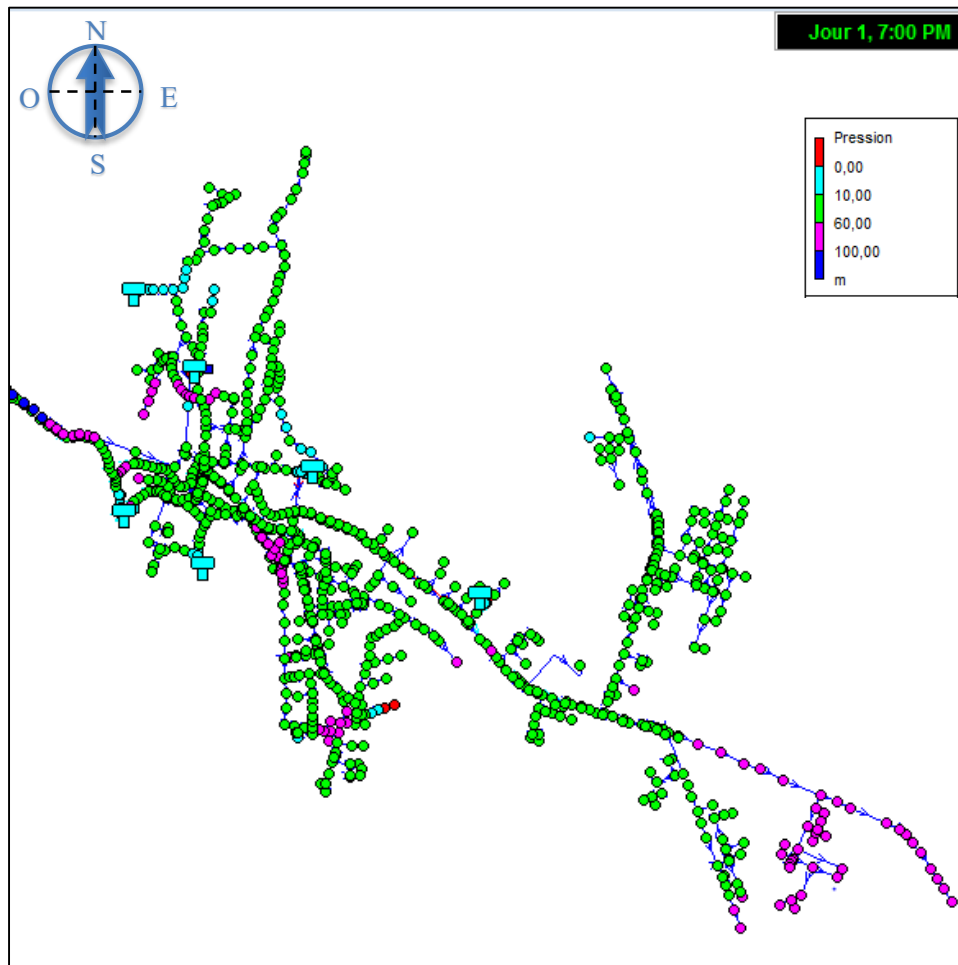


Figure 17: Simulation du réseau à 19h pour vérification

❖ Proposition de solution

Afin de remédier aux problèmes de fortes pressions dans les différentes zones énumérées ci-dessus, nous proposons :

- Réservoirs d'égagement : réaliser de mini réservoirs de 10m³ dans les sous réseaux de R6 et de R7, plus précisément en amont des quartiers Djama Tomegbe et Agbonou

Kamina et Koeroma. Ces réservoirs joueront le même rôle de brise charge du réservoir R8.

- Réducteur de pressions : installer un réducteur de pressions à l'amont des zones de fortes pressions dans les sous réseau SR3 et SR5

Le brise charge à installer au niveau du sous réseau de distribution de R6 sera nommé R9 et permettra de scinder le sous réseau de R6 en deux étages de pressions. Celui du sous réseau de R7 sera nommé R10 et en plus du brise charge R8 nous donnera un sous réseau de R7 en trois étages de pression.

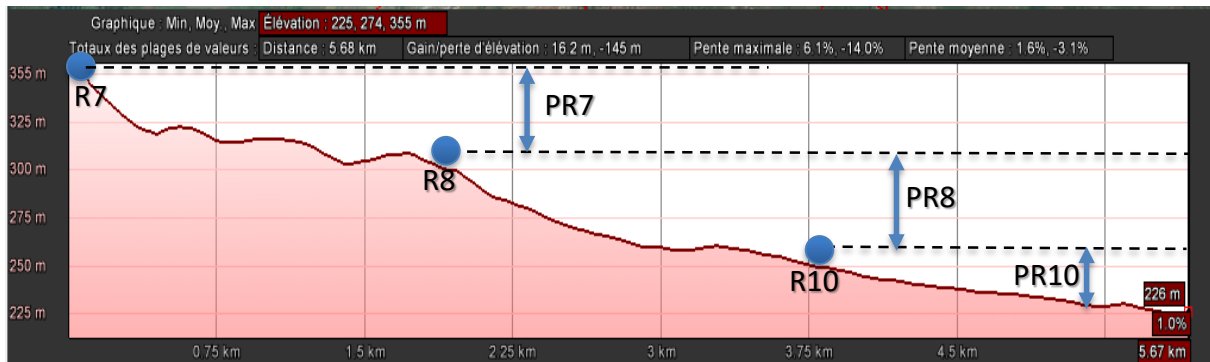


Figure 18: Schéma d'illustration du rôle des réservoirs d'étagement

Le fonctionnement du système d'étagement proposé est tel que la pression créée par le réservoir R7 dans le réseau de distribution s'annule au niveau du brise charge R8 donnant donc un 1^{er} niveau de pressions. Le réservoir R8 va engendrer de nouvelles pressions dans le réseau qui s'annuleront à nouveau dans le brise charge R10 (2^{em} niveau de pressions) et ce dernier réduira considérablement les pressions à l'aval du réseau de distribution (3^{em} niveau de pression).

❖ Implantation des réservoirs d'étagement

La côte du radier d'un réservoir dépend essentiellement du besoin minimal de pression des installations situées à l'aval de l'ouvrage. Ce dernier doit assurer la pression de service au point hydrauliquement le plus défavorisé en pression tant qu'il délivre un débit d'eau (ZOUNGRANA, 2003).

Concernant les deux réservoirs à installer dans le réseau, la pression minimale souhaitée est de 10mCe.

La côte minimale du radier est donnée par la formule : $Z_{min} = ZTN_{aval} + P_{min} + \sum \Delta H$

Le calcul de la pression à l'aval de la conduite est : $P_{aval} = Max(ZR_{min}) - ZTN_{aval} - \sum \Delta H$

Le choix définitif de la côte du radier est le maximum de Z_{min} qui sera comparé à la côte TN de l'emplacement du réservoir afin de déterminer si le réservoir sera au sol ou surélevé.

Le Réservoir R9 sera installé à une côte de 397,24m et R10 à une côte de 307,78m. Les différents calculs pour l'implantation des côtes des brises charges R9 et R10 se présentent en Annexe VII.

VII.2. Sectorisation

A la suite des études du fonctionnement du réseau, aux réaffectations de certaines conduites au niveau des nœuds et à l'aménagement du réseau à travers les différentes solutions proposées ci-dessus, nous obtenons un réseau avec des pressions convenables (Annexe VIII) et les sous réseaux sont distincts l'un de l'autre. Ainsi, le réseau se compose de 5 sous réseaux (secteurs de distribution) affectés chacun à un réservoir. Leur identifiant, dénomination, zones d'influence et plage de pression se présente dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13: Secteur de distribution d'eau du réseau d'AEP de la ville d'Atakpamé

ID	Dénomination		Plages de pressions (mCe)	Zones d'influence
SR3	Sous Réseau R3		11 - 58	Témédja, Hihiatro, Elavagnon, Tchakpali, Ebéva
SR4	Sous Réseau R4		6 - 58	Djama Haut, Djama Bas, Quartier Administratif, Grand marché
SR5	Sous Réseau R5		4 - 57	Doullassamé, Grand marché, Gnagna, Lom-nava, Atchrimi, Kossi-kitti
SR6	SR6A	Sous Réseau R6 A	5 - 52	Afeye Kpota, Djida, Doufio,
	SR6B	Sous Réseau R6 B	10 - 45	Djama Tomegbe
SR7	SR7	Sous Réseau R7	10 - 56	Grand marché ; Gnagna, Lom-nava, Atchrimi ; Nyekonakpoe
	SR8A	Sous Réseau R8 A	8 - 57	Sada ; Agbonou (Campement, CEET, Gare)
	SR8B	Sous Réseau R8 B	10-57	Agbonou (Kamina, Koéroma, Kpota)

Les sous réseaux SR4, SR5, SR7 ont en commun certains quartiers comme zone d'influence. Nous proposons donc des sous-secteurs au niveau de chaque sous réseau de distribution qui pourront être suivi par des équipements métrologiques (Annexe XIII).

VII.3. Proposition des équipements métrologiques du réseau

La sectorisation consiste en effet à diviser le réseau d'AEP en plusieurs « sous-réseaux » appelés secteurs pour lesquels le suivi des débits mis en distribution est effectué par comptage des débits entrants et sortants. Elle offre la possibilité d'obtenir des données à des échelles spatiales et temporelles plus fines, ce qui facilite la recherche et la localisation des fuites et permet une hiérarchisation des actions à mettre en œuvre (ABDELBAKI, 2014). Mais on constate que les seuls appareils de comptage présents dans le réseau de la ville d'Atakpamé se trouvent au niveau des stations de pompage. Aucun des réservoirs n'est équipé de compteur fonctionnel pour mesurer les apports d'eau et les différents sous réseaux ne disposent pas d'appareils de mesure qui simplifieront le contrôle du flux d'eau dans les tronçons de conduite.

Toutes les communications ouvertes avec les ouvrages (stations de pompage, réservoirs, ...) et avec des secteurs voisins doivent être équipées de comptage. Lorsque l'eau peut potentiellement circuler dans les deux sens, les comptages doivent être à double sens. Les éventuels ouvrages de stockage interne au secteur doivent également être équipés de comptages (Renaud et al., 2012). Alors, nous proposons certains équipements au niveau des réservoirs et des sous réseaux de distribution.

VII.3.1. Réservoirs

Pour assurer la répartition du débit tel que prévu dans la conception générale du système à Atakpamé, il est prévu la mise en place des vannes régulatrices de débits d'entrée dans les réservoirs R4 et R7. L'eau en provenance d'Irobo sera ainsi répartie grâce à ces vannes qui limiteront le débit d'entrée dans les réservoirs R4 et R7. Deux dispositifs de mesure de débit à l'entrée des réservoirs sont donc proposés et un à la sortie.

Tableau 14: Equipements de mesure aux réservoirs

Position	Entrée		Sortie
Équipements	<ul style="list-style-type: none"> - Régulateur de débit - Longueur conduite amont et aval - Compteur - Clapet anti-retour - Robinet vanne - Cône réducteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Longueur conduite amont et aval - Clapet anti-retour - Compteur - Robinet vanne - Cône réducteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Longueur conduite amont et aval - Clapet anti-retour - Compteur - Robinet vanne - Cône réducteur
Réservoirs	R4, R7	R3, R4, R5, R6, R7	

Les conditions de mesure sont idéales lorsque l'écoulement de l'eau est stabilisé par les longueurs de conduites amont et aval. Il est recommandé une longueur de conduite amont 10 fois le diamètre de la conduite ($L_{\text{amont}} = 10 \times \text{DN}$) ; et une longueur de conduite aval 2 fois le diamètre de la conduite ($L_{\text{aval}} = 2 \times \text{DN}$). (Justin and OUEDRAOGO, 2009). Mais compte tenu de la grandeur du diamètre de certaines conduites au niveau des réservoirs, nous proposons un stabilisateur d'écoulement avant l'appareil de comptage afin d'éviter de grandes longueurs de conduite amont.

Le compteur installé sera un compteur mécanique dont l'organe de mesure cumule les quantités d'eau qui le traverse (totalisateur). Il sera muni d'un clapet anti-retour installé au côté aval dont le rôle est d'assurer une protection contre les retours d'eau.

Les dispositifs de comptage au niveau des différents réservoirs sont présentés en Annexe XII

VII.3.2. Sous réseaux de distribution

Le comptage du transport d'eau dans les différents sous réseaux permettra de détecter les fuites dans le réseau. Il est donc nécessaire d'installer des débitmètres électromagnétiques compte tenu de l'importance des diamètres, de la réversibilité des débits et des mesures ponctuelles ou temporaires à faire. La configuration standard des équipements pour le contrôle du flux d'eau véhiculé dans les secteurs comprend :

- 2 longueurs de conduite (amont et aval) : pour stabiliser l'écoulement avant et après la mesure ; Elles doivent valoir chacune une longueur de 5 fois le diamètre de la conduite ($L_{\text{amont/aval}} = 5 \times \text{DN}$) ;
- 2 robinets vannes : pour isoler le comptage du réseau et permettre le remplacement de l'appareil de mesure en cas de panne ;
- 2 cônes réducteurs : le diamètre de l'appareil de mesure étant en général inférieur aux diamètres des conduites, les cônes servent de pièces adaptatrices lors de la pose de l'appareil ;
- 1 débitmètre volumétrique constitué d'un capteur pour une mesure du débit sous forme de signal électrique et d'un convertisseur pour la conversion du signal électrique en valeur numérique.(Gironde, 2013)

L'ensemble de ces équipements sera protégé par un regard bien sécurisé afin d'éviter leur manipulation par la population.

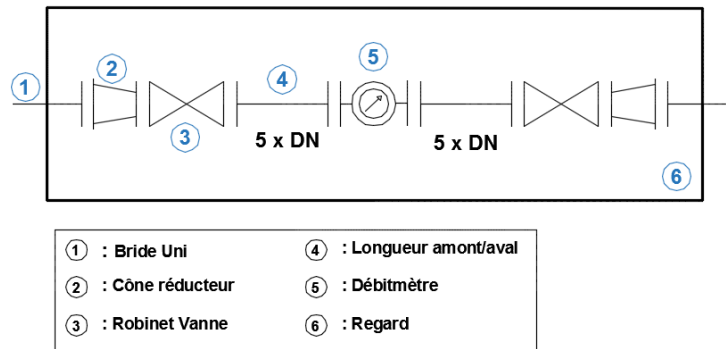
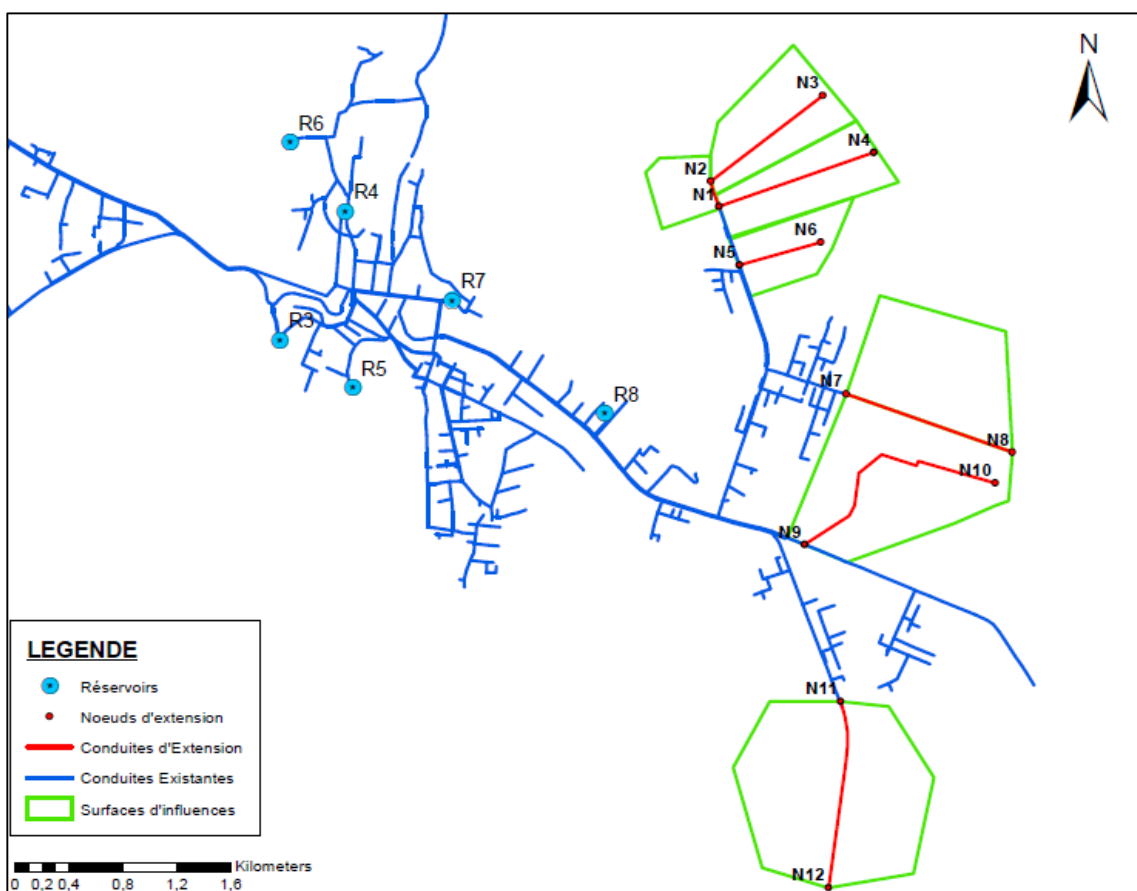


Figure 19: Schéma standard d'installation d'équipements de mesure

VIII. EXTENSION DU RESEAU DE DISTRIBUTION ET SIMULATION DU RESEAU FUTUR

L'un des objectifs de cette étude est l'augmentation de taux de desserte dans la ville d'Atakpamé. Pour ce faire, des extensions doivent être effectuées dans les zones de faibles densifications du réseau. Les quartiers périphériques tels que Sada, Agbonou campement et Talo sont les zones retenues pour étendre le réseau vu l'accroissement de la population qui a lieu dans ces quartiers.



VIII.1. Evaluation des besoins en eau

Les besoins en eau seront évalués à l'horizon du projet 2025 conformément aux termes de références. Selon nos estimations, le taux de raccordement au réseau à l'horizon du projet est prévu à 48% soit 38% dans la ville d'Atakpamé et 10% dans les villages voisins. La projection à l'horizon 2025 de la densification des différents quartiers de la ville nous permet d'estimer une population de 49 habitants par hectare dans le quartier de Sada ; 89 habitants par hectare à Agbonou campement et 36 habitants par hectare à Talo.

En fonction de la dotation spécifique de chaque catégorie de branchement, on estime les besoins en eau du réseau d'extension compte tenu de la surface d'influence des différentes conduites. Les besoins en eau de pointe sont le produit des besoins en eau moyen et du coefficient de pointe journalier ($Q_{pj} = Q_{jm} * C_{pj}$). La quantité d'eau qu'il faudra transiter dans ces conduites est résumée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 15: Besoins en eau des zones d'extension

Tronçon	Longueur (m)	Surface d'influence (m ²)	Nombre d'habitant/ hectare	Nombre d'habitant	Population à desservir	Besoin en eau moyen (m ³ /j)	Besoin en eau de pointe (m ³ /j)
N1-N2	218	214118	49	1049	398	19,440	27,216
N2-N3	1050	593909	49	2910	1106	53,948	75,528
N1-N4	1220	561076	49	2748	1044	50,940	71,316
N5-N6	626	356543	49	1746	664	32,371	45,319
N7-N8	1309	930287	89	8321	3162	154,247	215,946
N9-N10	1847	1283006	89	11475	4361	212,730	297,822
N11-N12	1422	1660473	36	6056	2301	112,271	157,180
TOTAL	7690	5599412	61	34305	13036	635,948	890,327

VIII.2. Dimensionnement des conduites d'extension

VIII.2.1. Détermination des débits des tronçons

Il existe deux cas de calcul des débits lors du dimensionnement des conduites d'un réseau de distribution :

- Cas des dessertes ponctuelles : lorsque les points de prélèvement sont bien localisés et suffisamment distants les uns des autres ;
- Cas des dessertes réparties : lorsque les prélèvements se font généralement à de faibles débits à des points suffisamment rapprochés. Les points de prélèvement ne peuvent être considérés comme des limites de tronçons.

Dimensionner ces tronçons en prenant en compte la totalité du débit linéairement réparti serait les sur dimensionner. Ne pas du tout les prendre en compte reviendrait à sous dimensionner les tronçons. Il faut alors trouver un débit fictif (débit de dimensionnement). Le calcul des débits fictifs dans les tronçons commence de l'aval vers l'amont (B. U. OUEDRAOGO, 2005).

$$Q_{Fictif} = 0,55Q_{entrant} + 0,45Q_{sortant}$$

Avec : $Q_{Sortant} \Rightarrow$ les débits prélevés à l'aval

$$Q_{Entrant} \Rightarrow Q_{route} + Q_{sortant}$$

$$Q_{route} \Rightarrow \text{les débits répartis sur la conduite } Q_{route} = \frac{Besoins_{jp} * C_{ph}}{24 * 3600}; \text{ avec } C_{ph} = 1,92$$

La desserte de l'eau par les conduites d'extension dans les différents quartiers se fera suivant une desserte répartie. La distribution doit assurer les besoins de l'heure de pointe qui est égale au produit du besoin en eau au jour de pointe (890,33 m³/j) et du coefficient de pointe horaire ; soit un débit de pointe horaire de 1709,43 m³/h réparti sur l'ensemble des conduites d'extension comme suit :

Tableau 16: Récapitulatif des débits

Tronçon	Q entrant (l/s)	Q route (l/s)	Q sortant (l/s)	Q fictif (l/s)
N1-N2	3,868	0,605	3,263	3,596
N2-N3	1,678	1,678	0	0,923
N1-N4	1,585	1,585	0	0,872
N5-N6	1,007	1,007	0	0,554
N7-N8	4,799	4,799	0	2,639
N9-N10	6,618	6,618	0	3,640
N11-N12	3,493	3,493	0	1,921

VIII.2.2. Dimensionnement des diamètres des conduites

Pour dimensionner les canalisations d'un réseau à créer, on recherchera le diamètre qui transitera le débit demandé avec une vitesse $V = 1 \text{ m/s}$.

Le réseau est calculé avec les débits de l'heure de pointe et doit remplir les conditions de vitesse à savoir : les vitesses admissibles vont de 0,3 à 1,2 m/s. Des vitesses élevées traduisent de faibles diamètres donc des pertes de charge élevées. Les vitesses comprises entre $0,8 \leq V \leq 1 \text{ m/s}$ sont dites vitesses économiques. Les diamètres choisis doivent être de 63mm au minimum.

Tableau 17: Dimensionnement des diamètres des conduites

Tronçon	Longueur (m)	Q fictif (l/s)	Dthéo (mm)	DN (mm)	ep (mm)	Dint (mm)	V (m/s)
N1-N2	218	3,596	67,66	110	7,1	95,8	0,50
N2-N3	1050	0,923	34,28	63	5	53	0,42
N1-N4	1220	0,872	33,31	63	5	53	0,40
N5-N6	626	0,554	26,56	63	5	53	0,25
N7-N8	1309	2,639	57,97	110	5,9	98,2	0,35
N9-N10	1847	3,640	68,08	110	7,1	95,8	0,50
N11-N12	1420	1,921	49,46	90	5	80	0,38

Nous pouvons estimer les pressions à la sortie des conduites d'extension en considérant un niveau d'eau de 1 mètre dans les brises charges. Les conduites ont pour aspérité $K = 10^{-4} \text{ mm}$ vu leur état neuf ; la viscosité relative de l'eau à 20°C est égale à $1,007 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. La formule de perte de charge linéaire (ΔH) utilisée est celle de Darcy Weisbach et les pertes de charge singulières sont estimées à 10% de ΔH .

Les réservoirs qui desservent les différentes conduites sont :

Réservoirs	Zradier (m)	H _{Rmax} (m)
R8	313,74	315,02
R10	307,78	309,06

Tableau 18: Calcul des pressions dans les conduites d'extension

Tronçon	N1-N2	N2-N3	N1-N4	N5-N6	N7-N8	N9-N10	N11-N12
Longueur (m)	218	1050	1220	626	1309	1847	1420
Q fictif (l/s)	3,596	0,923	0,872	0,554	2,639	3,640	1,921
Dthéo (mm)	89,95	45,57	44,29	35,30	77,06	90,50	65,75
DN (mm)	110	63	63	50	110	110	90
K (m)	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04	1,00E-04
v (m2/s)	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06	1,007E-06
Re	41332	18527	17494	14007	30338	41840	26989
K/D	0,0009	0,0016	0,0016	0,0020	0,0009	0,0009	0,0011
λ	0,024	0,029	0,030	0,032	0,026	0,024	0,027
Cible	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\Delta H(m)$	0,354	2,193	2,295	1,607	1,203	3,064	1,957
$\sum \Delta H(m)$	0,389	2,412	2,525	1,768	1,323	3,370	2,153
Zaval (m)	301,20	266,40	263,60	265,10	244,30	245,50	235,10
Hamont (m)	313,78	313,78	313,78	314,23	313,66	274,38	294,33
Haval (m)	313,39	311,37	311,26	312,46	312,34	271,01	292,18
Pstat (mCe)	13,82	48,62	51,42	49,92	70,72	63,56	73,96
Pdyn (mCe)	12,19	44,97	47,66	47,36	68,04	25,51	57,08

Avec :

$H_{amont} = H_R - \sum \Delta H_{R-amont}$: Charge hydraulique au nœud amont de la conduite

$H_{aval} = H_{amont} - \sum \Delta H_{amont-aval}$: Charge hydraulique au nœud aval de la conduite

$P_{stat} = H_{Rmax} - Z_{aval}$: Pression hydrostatique

$P_{dyn} = H_{aval} - Z_{aval}$: Pression dynamique

La simulation du réseau à l'horizon 2025 en prenant en compte son extension dans les quartiers non desservis montre un service satisfaisant en ce qui concerne les pressions dans les sous réseau de distribution (Annexe XI).

VIII.2.3. Mode de pose des conduites

Le type de matériau choisi pour les conduites est le PVC PN16 à cause des pressions hydrostatiques inférieure à la pression nominale de 160 mCe dans les conduites d'extension, et aussi pour être à l'abri des dégâts engendrés par des surpressions qui pourraient se produire suite à une mauvaise exploitation du réseau par les exploitants. Les conditions du terrain ne

sont pas trop agressives et en effet, le PVC est une catégorie de canalisation thermoplastique c'est-à-dire qu'il peut se déformer à chaud et après refroidissement, il conserve la forme qui lui a été donnée. De plus, il reste insensible à la corrosion dans le temps, tant externe qu'interne, sans dégradation, ni oxydation d'aucune sorte.

Pour des mesures de sécurité et de commodité, les conduites seront toutes enterrées aux extrémités des routes afin d'éviter l'encombrement des voies de communication ou leur écrasement par les charges trop lourdes. Aussi pour être suffisamment protégée contre les chocs et les détériorations causés par le trafic, les conditions atmosphériques, la conduite sera posée avec une hauteur de couverture de 80 cm minimum (Annexe XIV). Ce qui évitera du coup le réchauffement de l'eau et l'ensoleillement des conduites qui pourrait leur être préjudiciable.

La pose comprendra :

- Lit de pose d'une épaisseur de 10 cm en dessous de la conduite, en sable de carrière concassé ;
- L'enrobage d'une épaisseur de 20 cm au-dessus de la conduite, en sable de carrière concassé et mise en place d'un grillage avertisseur bleu.
- Les remblais sont systématiquement effectués avec des matériaux d'apport ou des déblais en place.

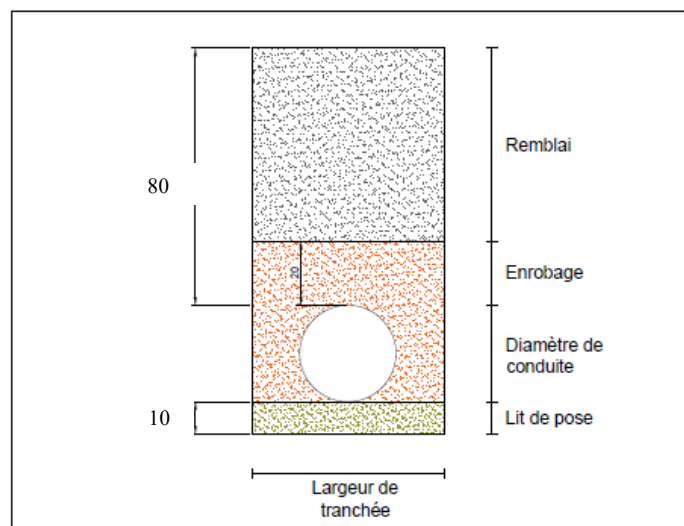


Figure 20: Principe de pose des canalisations

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Ce travail a consisté à mettre en place des actions méthodologiques qui permettront d'améliorer les conditions d'accès des habitants de la ville d'Atakpamé au réseau d'eau potable. À la suite du diagnostic du réseau, il ressort que compte tenu du relief très accidenté de la ville, une mauvaise structuration du réseau pourrait provoquer de fortes pressions dans les zones basses et engendrer des dégâts sur le réseau. Des opérations de réhabilitation sont donc indispensables pour corriger ces problèmes de pressions à travers une sectorisation du réseau. De plus, les difficultés d'accès au réseau liées à la faible couverture du réseau existant dans les quartiers en voie d'extension pourront s'améliorer avec l'installation des conduites dans ces différents quartiers que nous avons dimensionnés à l'horizon 2025.

Les résultats de la sectorisation montrent l'existence des conduites communicatrices entre les sous réseaux de distribution. La mise en place des vannes de sectionnement au niveau de ces conduites et l'affectation de certaines conduites au réservoir idéale en altitude, nous permet de réduire les pressions et d'avoir des réseaux de distribution étagés. Toute fois les zones qui ne présentent pas les pressions de services (1 à 6 bars), l'installation des réducteurs de pressions a été fait en amont afin d'éviter une détérioration des conduites. Une simulation du réseau à l'horizon du projet (2025) nous permet de confirmer une restructuration satisfaisante du réseau et de ressortir un réseau sectorisé en 4 sous réseaux (SR4, SR5, SR6, SR7) dont deux sont étagés (SR6 et SR7). Le sous réseau SR6 présente deux (2) étages SR6-A et SR6-B et le sous réseau SR7 est constitué de trois (3) étages à savoir SR7, SR8-A et SR8-B.

L'un des objectifs capitaux de la sectorisation est la mesure de manière permanente des volumes d'eau mis en distribution dans le réseau afin de permettre aux exploitants de déceler la présence de fuite et d'améliorer le rendement du réseau. Cependant, le réseau existant ne dispose pas d'appareil de comptage aux différents endroits stratégiques (réservoirs, nœuds de distribution). Il est donc prévu des installations d'équipements métrologiques aux différents réservoirs de stockage d'eau de la ville et aux nœuds de distribution principaux de chaque secteur du réseau.

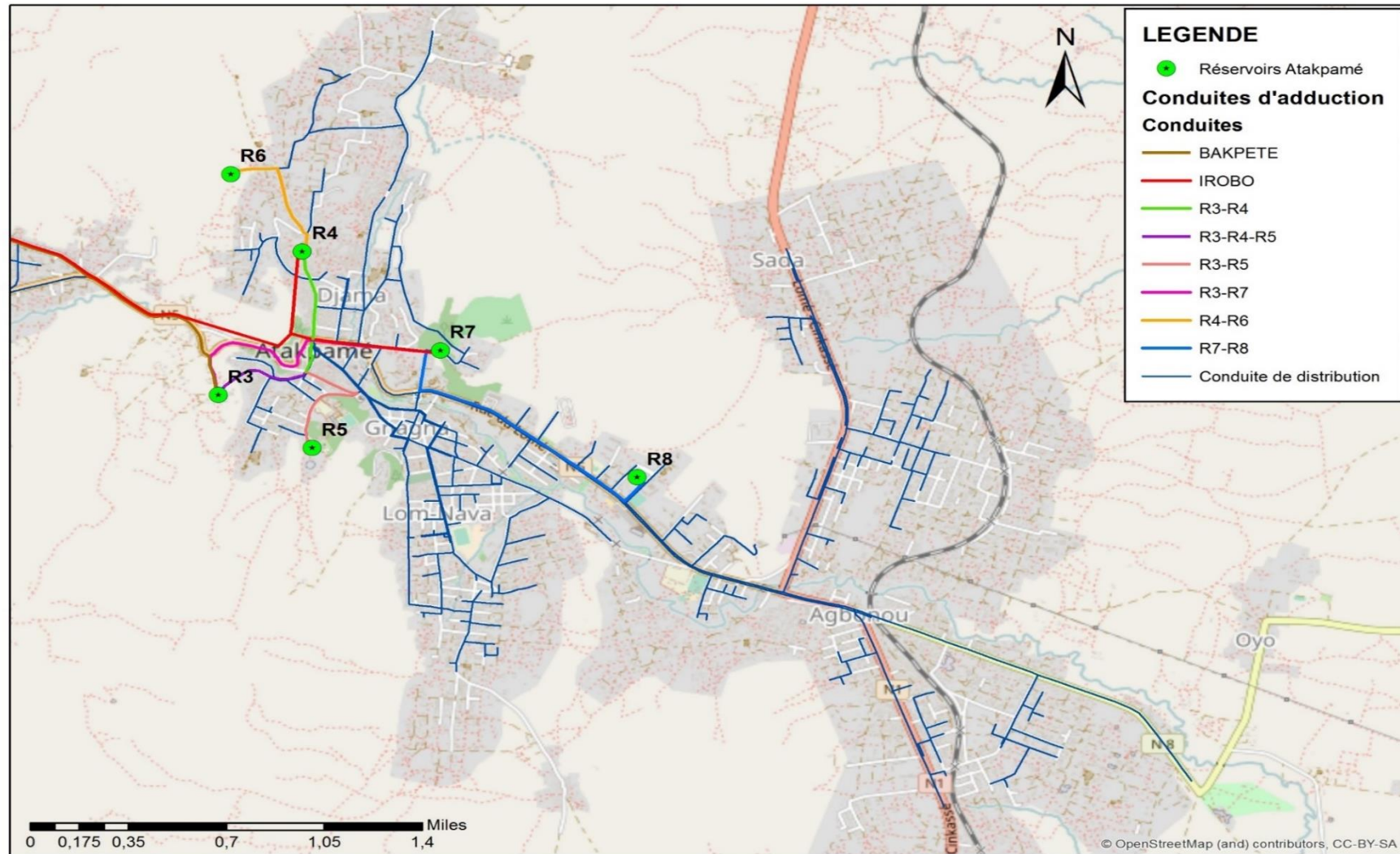
Bibliographie

- ABDELBAKI, C., 2014. Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG - Cas du Groupement Urbain de Tlemcen -.
- BONNEVILLE, J.-P., 2006. L'hydraulique appliquée aux installations d'extinction : la protection des bâtiments contre l'incendie. Presses inter Polytechnique.
- BONVIN, J., 2016. Modélisation des réseaux en charge AEP.
- GIRONDE, 2013. Conception et réalisation d'une sectorisation.
- Justin, B., OUEDRAOGO, M., 2009. Renforcement de l'AEP de la ville de KAYA à partir du lac DEM : Gestion et maintenance des installations.
- Lewis A. ROSSMAN, 2003. EPANET 2.0 Manuel de l'Utilisateur.
- OUEDRAOGO, B.U., 2005. Ouvrages constitutifs des systèmes d'AEP/ Adductions, réservoirs, distribution.
- ZOUNGRANA, D., 2003. Cours d'Approvisionnement en Eau Potable.

ANNEXES

Annexe I: Réseau de distribution d'eau potable de la ville d'Atakpamé	46
Annexe II :Extrait rapport mensuel d'activités de la TDE (Décembre)	47
Annexe III: Estimation de la population à l'horizon 2025	48
Annexe IV: Répartition des abonnés sur l'ensemble du réseau.....	50
Annexe V: Estimation des besoins en eau actuels et futurs de la zone AEP	51
Annexe VI: Présentation du logiciel EPANET et ses paramètres d'entrée	53
Annexe VII: Calcul d'implantation des réservoirs d'étagement.....	56
Annexe VIII: Simulation du réseau étagé	62
Annexe IX: Vue en plan des secteurs du réseau d'Atakpamé.....	63
Annexe X: Demande en eau par quartier	64
Annexe XI:Simulation du fonctionnement du réseau futur	66
Annexe XII: Equipements de mesure aux réservoirs	67
Annexe XIII: Schémas des nœuds des équipements de mesure de débit et du réseau d'extension	69
Annexe XIV: Profil en long des conduites d'extension.....	70

Annexe I: Réseau de distribution d'eau potable de la ville d'Atakpamé



Annexe II : Extrait rapport mensuel d'activités de la TDE (Décembre)

SOCIÉTÉ TOGOLAISE DES EAUX
DIRECTION PRODUCTION ET EXPLOITATION SUD
DÉPARTEMENT EXPLOITATIONAGENCE D'ATAKPAMÉ
MOIS DE MARS

ACTIVITES DES agences										PAGE 5			
TB-EX -04 AGENCE	MOIS	EXERCICE					EMISSION		DESTINATION				
	MARS	2 016					AGENCE DE ATAKPAMÉ		DPE-SUD				
										DATE: 10/04/2015		DATE	
6 - RENDEMENT DES RESEAUX													
PERIODE	VOLUME D'EAU EN M ³			RENDEMENT EN %			ESTIMATION DES PERTES D'EAU EN M ³						
	PRODUITE	REFOULEE	DISTRIB.	PROD.	DISTRIB.	GLOBAL	STATION TRAIT.	CASSE ET ENTR.	CHASSES	AUTRES	TOTAL	%	
Du 16 Février 2016 au 15 mars 2015	64 880	64 029	56 074	99	88	86	851	7 955			8 806	14%	
7- CONSOMMATION SPECIFIQUE D'EAU PAR CATEGORIE DE BRANCHEMENT													
CATEGORIE	PRIVES	ADMINISTRATIFS		BORNES FONTAINES	ENSEMBLE								
		ADM.	TdE										
CONSOMMATION	30 134	14 982	296	10 662	56 074								
NBRE. DE BRCHTS	1 025	99	4	92	1 220								
VOLUME MOYEN	29	151	74	116	46								
8 -STATISTIQUES SUR LES RESERVOIRS DE DISTRIBUTION													
RESERVOIRS D'EAU						ROBINETS A FLOTTEUR							
N°	NBRE.	DATE MISE EN SERVICE	CAPACITE	ETAT ACTUEL: BON OU FUITE	DATE DERNIER ENTRETIEN	MARQUE	TYPE	DIAMETRE	ETAT ACTUEL	DATE DERNIER ENTRETIEN			
R3(Tchakpali)	1		500	Bon	30/10/2014	BAYARD		250	Mauvais	31/10/2008			
R4(Djama Météo)	1		500	Bon	04/08/2014	BAYARD		150	Mauvais	10/03/2010			
R5(St Albert)	1		150	Bon	24/02/2016	BAYARD		150	Bon	20/11/2013			
R6(Djama Kpota)	1		225	Bon	22/05/2014	BAYARD		150	Bon	22/05/2013			
R7(Prefecture)	1		500	Bon	29/10/2013	BAYARD		150	Bon	03/03/2013			
R8(Plan)	1		10	Bon	03/07/2013	BAYARD		150	Bon	27/06/2013			

le 10 avril 2016
Le Chef d'Agence,



Annexe III: Estimation de la population à l'horizon 2025

		RGPH 2010			Projection 2016		Projection 2020		Projection 2025	
		Surface (m ²)	Population	Densité (hab/ha)	Population	Densité (hab/ha)	Population	Densité (hab/ha)	Population	Densité (hab/ha)
ZONE AEP		22 121 400	88 659	40	108 457	49	122 285	55	140 095	63
VILLE ATAKPAME	AFEYE KPOTA	557 400	2 522	45	3 100	56	3 489	63	4 045	73
	AGBONOU KETA	1 195 000	4 660	39	6 363	53	7 231	61	8 383	70
	AGBONOU (campement)	2 059 800	7 914	38	11 766	57	14 714	71	18 423	89
	AGBONOU CEET	495 500	982	20	1 139	23	1 233	25	1 361	27
	AGBONOU GARE	210 000	4 000	190	4 142	197	4 142	197	4 142	197
	AGBONOU KAMINA & KOEROMA	1 646 800	3 735	23	5 605	34	7 143	43	8 859	54
	AGBONOU KPOTA	1 338 700	5 336	40	7 569	57	9 556	71	11 851	89
	ATCHRIMI	318 800	3 767	118	4 159	130	4 328	136	4 549	143
	DJAMA TOMEGBE	218 900	462	21	552	25	591	27	621	28
	DJAMA	203 300	3 850	189	3 987	196	3 987	196	3 987	196
DJIDA	308 700	1 222	40	1 417	46	1 534	50	1 693	55	

	DOULASSAME	308 900	2 353	76	2 729	88	2 953	96	3 261	106
	GNAGNA	268 200	4 482	167	4 641	173	4 641	173	4 641	173
	HOUDOU	193 000	2 562	133	2 653	137	2 653	137	2 653	137
	KOSSI KITTI	746 000	1 295	17	1 592	21	1 723	23	1 902	26
	LOM NAVA	1 044 400	10 572	101	10 947	105	10 947	105	10 947	105
	NYEKONAKPOE	673 700	1 402	21	1 723	26	1 902	28	2 100	31
	QUARTIER ADM	259 700	120	5	124	5	126	5	126	5
	SADA	2 179 700	4 500	21	6 753	31	8 445	39	10 675	49
	TALO	1 550 000	3 525	23	4 333	28	4 877	31	5 653	36
	TOTAL VILLE ATAKPAME	15 776 500	69 261	44	85 294	54	96 216	61	109 874	70
VILLAGES VOISINS	DOUFIO	1 214 400	1 856	15	2 216	18	2 494	21	2 892	24
	ELAVAGNON	347 800	1 265	36	1 510	43	1 700	49	1 971	57
	HIHEATRO	3 155 200	10 840	34	12 944	41	14 568	46	16 888	54
	TCHAKPALI	327 500	910	28	1 087	33	1 223	37	1 418	43
	TEMEDJA	1 300 000	4 527	35	5 405	42	6 084	47	7 053	54
	TOTAL VILLAGES VOISINS	6 344 900	19 398	31	23 162	37	26 069	41	30 221	48

Annexe IV: Répartition des abonnés sur l'ensemble du réseau

		BP	BF	Admin	TDE	TOTAL
ZONE AEP		1103	86	101	4	1294
VILLE ATAKPAME	AFEYE KPOTA	23	4	1	0	
	AGBONOU KETA	46	3	2	0	
	AGBONOU (campement)	74	2	0	0	
	AGBONOU CEET	50	2	9	0	
	AGBONOU GARE	35	2	1	0	
	AGBONOU KAMINA & KOEROMA	44	3	4	0	
	AGBONOU KPOTA	69	4	1	0	
	ATCHRIMI	36	1	1	0	
	DJAMA TOMEGBE	19	2	0	0	
	DJAMA	52	10	2	0	
	DJIDA	5	1	0	0	
	DOULASSAME	69	7	1	0	
	GNAGNA	47	10	6	0	
	HOUDOU	62	4	3	0	
	KOSSI KITTI	27	2	0	0	
	LOM NAVA	150	14	9	0	
	NYEKONAKPOE	74	3	26	1	
	QUARTIER ADM	54	0	26	2	
SADA	13	2	1	0		
TALO	7	1	0	0		
TOTAL VILLE ATAKPAME		956	77	93	3	1129
VILLAGES VOISINS	DOUFIO	6	1	1	0	
	ELAVAGNON	9	1	0	0	
	HIHEATRO	116	4	5	1	
	TCHAKPALI	1	1	0	0	
	TEMEDJA	15	2	2	0	
TOTAL VILLAGES VOISINS		147	9	8	1	165

Annexe V: Estimation des besoins en eau actuels et futurs de la zone AEP

	2016	2018	2020	2022	2025	
Raccordement domestiques: branchements particuliers et bornes fontaines						
Evolution Taux de raccordement						
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,....)	3%	5%	7%	9%	10%	
ATAKPAME	22%	22%	30%	33%	38%	
TOTAL ZONE AEP	25%	27%	37%	42%	48%	
Evolution Population raccordée						
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,....)	3216	5766	8560	11645	14010	
ATAKPAME	23780	25368	36686	42697	53236	
TOTAL ZONE AEP	26996	31134	45245	54341	67246	
Consommations domestiques : branchements particuliers et bornes fontaines						
Branchements particuliers						
Villages voisins (Hiheatro, Temedja,....)	<i>Consommation unitaire</i>	94	244	259	343	371
ATAKPAME		607	733	1 167	1 371	1 708
TOTAL ZONE AEP (m³/j)	<i>53 L/jour/hb</i>	702	978	1 426	1 714	2 079
Borne Fontaine						
Villages voisins (Hiheatro, Temedja,....)	<i>Consommation unitaire</i>	20	16	51	71	97
ATAKPAME		170	159	203	232	290
TOTAL ZONE AEP (m³/j)	<i>14 L/jour/hb</i>	190	175	253	304	387

Consommation totale des abonnés domestiques		(m³/j)	891	1 153	1 679	2 018	2 466
Consommations commerciales, industrielles et services publics							
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,....)	(Hiheatro, % des conso abonnés domestique (BP+BF))	51	116	138	184	208	
ATAKPAME		346	397	609	714	889	
TOTAL ZONE AEP (m³/j)	44,5%	397	513	747	898	1 097	
Besoin en eau							
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,....)		165	376	448	599	676	
ATAKPAME		1 123	1 290	1 978	2 317	2 887	
TOTAL ZONE AEP (m³/j)		1 288	1 666	2 426	2 916	3 563	
Consommation totale l/s							
Villages voisins (Hiheatro, Temedja, Bakpete,....)		1,91	4,35	5,18	6,93	7,83	
ATAKPAME		13,00	14,93	22,90	26,82	33,41	
TOTAL ZONE AEP		14,91	19,28	28,08	33,75	41,24	
Rendement du réseau	%	68%	72%	80%	85%	90%	
Coefficient de pointe journalier k'	k = 1,4	-	1,4	1,4	1,4	1,4	
Demande en eau moyens journaliers	m ³ /j	1 894	2 314	3 033	3 431	3 959	
Demande en eau de point	<i>k*Vol conso / rdt reseau</i> m ³ /j	2 652	3 239	4 246	4 803	5 543	

Annexe VI: Présentation du logiciel EPANET et ses paramètres d'entrée

I. Présentation de Epanet

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. C'est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitative de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression, Ce logiciel est distribué gratuitement par l'E.P.A. (U.S. Environmental Protection Agency) depuis le mois de septembre 1993.

Il calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples :

- définition d'un programme de prélèvement d'échantillons,
- calage 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 :

- Alternier 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 de modélisation hydraulique d'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. (Lewis A. Rossman, 2003).

II. Composants physiques

1. Nœuds de demande

Les nœuds de demande sont des points du réseau où les arcs se rejoignent. Ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent également ne pas avoir de débit. Les données d'entrée minimales exigées pour les nœuds de demande sont :

- l'altitude au-dessus d'un certain plan de référence (habituellement le niveau de la mer),
- la demande en eau (débit prélevé sur le réseau),
- la qualité initiale de l'eau

2. Réservoirs

Les réservoirs sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau stocké peut varier au cours du temps. Les données de base sont :

- L'altitude du radier,
- Le diamètre,
- Les niveaux initial, minimal et maximal de l'eau.

3. Conduites

Les conduites sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à l'autre. EPANET suppose que tous les tuyaux sont pleins à tout instant. L'eau s'écoule de l'extrémité qui a la

charge hydraulique la plus élevée (altitude + pression, ou énergie interne par poids d'eau) à celle qui a la charge hydraulique la plus faible. Les données de base pour les conduites sont :

- Les nœuds initiaux et finaux ;
- Le diamètre ;
- La longueur ;
- Le coefficient de rugosité (pour déterminer la perte de charge) ;
- L'état (ouvert, fermé, ou avec un clapet anti-retour).

Les principales valeurs calculées dans la simulation sont : le débit ; la vitesse d'écoulement ; la perte de charge.

La perte de charge ou charge hydraulique perdue à cause du frottement de l'eau avec les parois des conduites peut être calculée en utilisant une de ces trois formules : (Hazen-Williams ; Darcy-Weisbach ; Chezy-Manning).

4. Pompes

Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique. Les principaux paramètres d'entrée pour une pompe sont ses nœuds d'aspiration et de décharge et sa courbe caractéristique (la combinaison des charges hydrauliques et des débits que la pompe peut fournir à sa vitesse nominale).

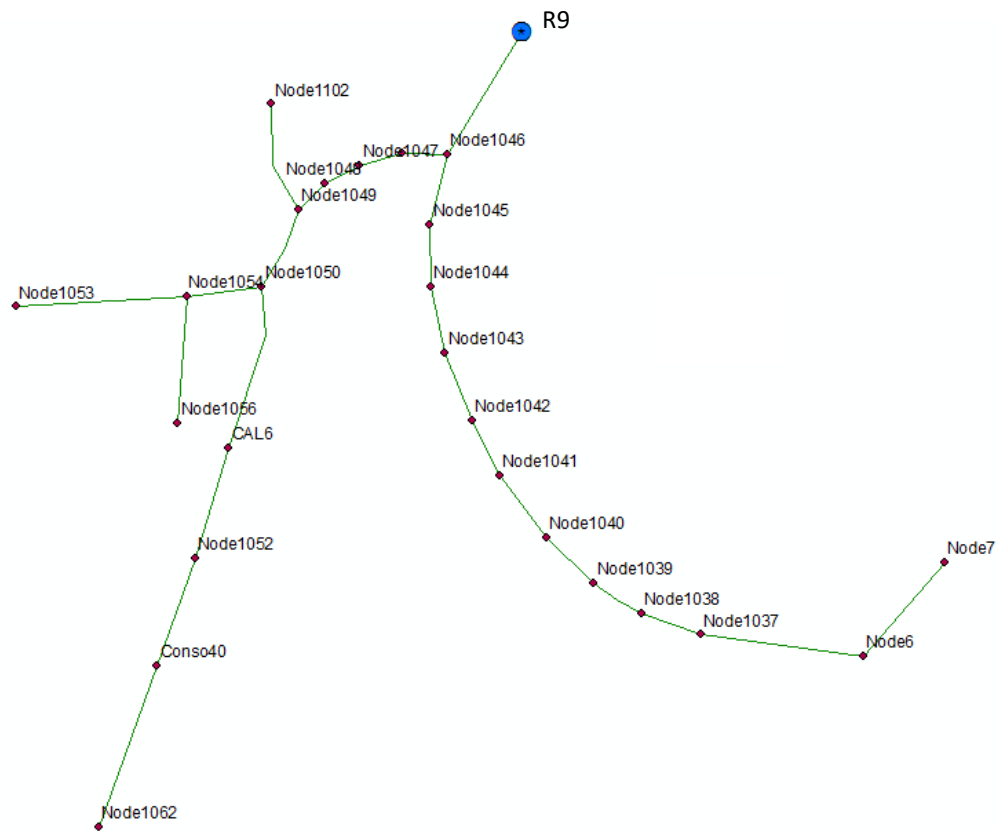
La courbe caractéristique d'une pompe représente le rapport entre la charge et le débit qu'une pompe peut fournir à sa vitesse nominale. Dans les systèmes de pompage, la charge fait référence tant à la pompe qu'au système de pompage. La hauteur à laquelle la pompe peut refouler l'eau est appelée la hauteur de charge de la pompe et est mesurée en mètre colonne d'eau (mCe). La charge requise pour surmonter toutes les pertes de charges dans la conduite pour un débit donné est appelée hauteur de charge du système.

5. Les bâches infinies

Ce sont des nœuds représentant une source externe de capacité infinie. Elles sont utilisées pour modéliser les éléments tels que les lacs, les rivières, les couches souterraines ou les arrivées de réseaux extérieurs. Les données de base pour une bâche sont la charge totale et la qualité de l'eau. Par contre aucune propriété n'est calculée au cours de la simulation car elle représente un élément frontière du réseau et ses données de base ne sont pas affectées par la simulation.

Annexe VII: Calcul d'implantation des réservoirs d'étagement

Calcul de la côte du réservoir R9



$$P_{min} = 10 \text{ mcE}$$

$$Z_{min} = ZTN_{aval} + P_{min} + \sum \Delta H$$

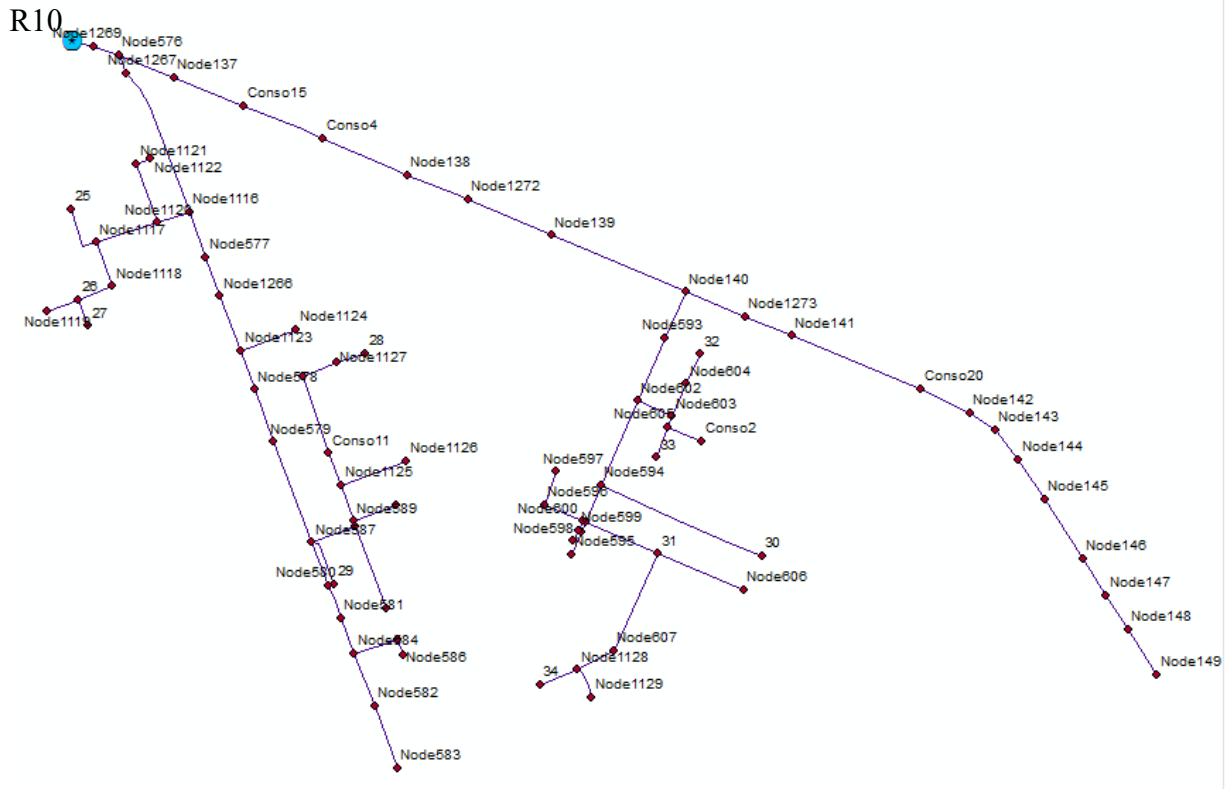
$$P_{aval} = \text{Max}(ZR_{min}) - ZTN_{aval} - \sum \Delta H$$

$$Z_{Radier_{min}} = \text{MAX}(Z_{min})$$

ID	Nœud amont	Nœud aval	Longueur	Diamètre	Q (m3/h)	$\Delta H(m)$	$\Sigma\Delta H (m)$	Zaval	Pmin	Zmin	Paval
2756	Node1046	Node1045	54,82	80	0,55	0,002	0,002	384,98	10	394,982	12,259
2755	Node1045	Node1044	24,02	80	0,77	0,001	0,001	379,5	10	389,501	17,739
2754	Node1044	Node1043	37,36	80	0,87	0,002	0,003	377,22	10	387,223	20,018
2753	Node1043	Node1042	46,24	80	1,01	0,004	0,004	374,24	10	384,244	22,996
2752	Node1042	Node1041	44,28	80	1,15	0,004	0,005	370,68	10	380,685	26,555
2751	Node1041	Node1040	36,24	80	1,28	0,004	0,005	367,65	10	377,655	29,585
2750	Node1040	Node1039	41,4	80	1,41	0,006	0,006	365,24	10	375,246	31,994
2749	Node1039	Node1038	41,85	80	1,52	0,007	0,007	363,93	10	373,937	33,303
2748	Node1038	Node1037	24,36	80	1,63	0,004	0,005	362,81	10	372,815	34,425
2975	Node1037	Node6	88,28	80	0,73	0,004	0,004	357,55	10	367,554	39,686
2416	Node6	Node7	69,07	81,4	0,11	0,000	0,000	359,64	10	369,640	37,600
2746	Node1302	Node1047	32,14	80	1,35	0,004	0,005	383,41	10	393,415	13,826
2744	Node1047	Node1048	51,89	80	1,25	0,006	0,007	381,35	10	391,357	15,884
2745	Node1048	Node1049	18,87	80	1,19	0,002	0,002	380,58	10	390,582	16,658
2659	Node1049	Node1102	65,92	60	0,06	0,000	0,000	387,24	10	397,240	10,000
2743	Node1049	Node1050	42,95	80	1,01	0,003	0,004	376,19	10	386,194	11,716
2740	Node1050	Node1054	50,25	80	0,36	0,001	0,001	377,33	10	387,331	10,579
2739	Node1054	Node1053	98,51	80	0,09	0,000	0,000	377,91	10	387,910	10,000
2737	Node1054	Node1056	48,05	67,8	0,04	0,000	0,000	369,15	10	379,150	10,000
2741	Node1050	CAL6	101,64	80	0,47	0,002	0,002	366,9	10	376,902	30,338
2742	CAL6	Node1052	65,8	80	0,32	0,001	0,001	361,2	10	371,201	10,000
2718	Node1052	Conso40	64,85	67,8	0,21	0,001	0,001	355,41	10	365,411	41,829
2717	Conso40	Node1062	97,74	67,8	0,09	0,000	0,000	342,63	10	352,630	10,000

Côte TN château(m)	396
Côte radier :ZR(m)	397,24
Hauteur sous-cuve(m)	1,24
Pression minimal (mCe)	10

Calcul de la côte du réservoir R10



$$P_{min} = 10 \text{ mcE}$$

$$Z_{min} = ZTN_{aval} + P_{min} + \sum \Delta H$$

$$P_{aval} = Max(ZR_{min}) - ZTN_{aval} - \sum \Delta H$$

$$Z_{Radier_{min}} = MAX(Z_{min})$$

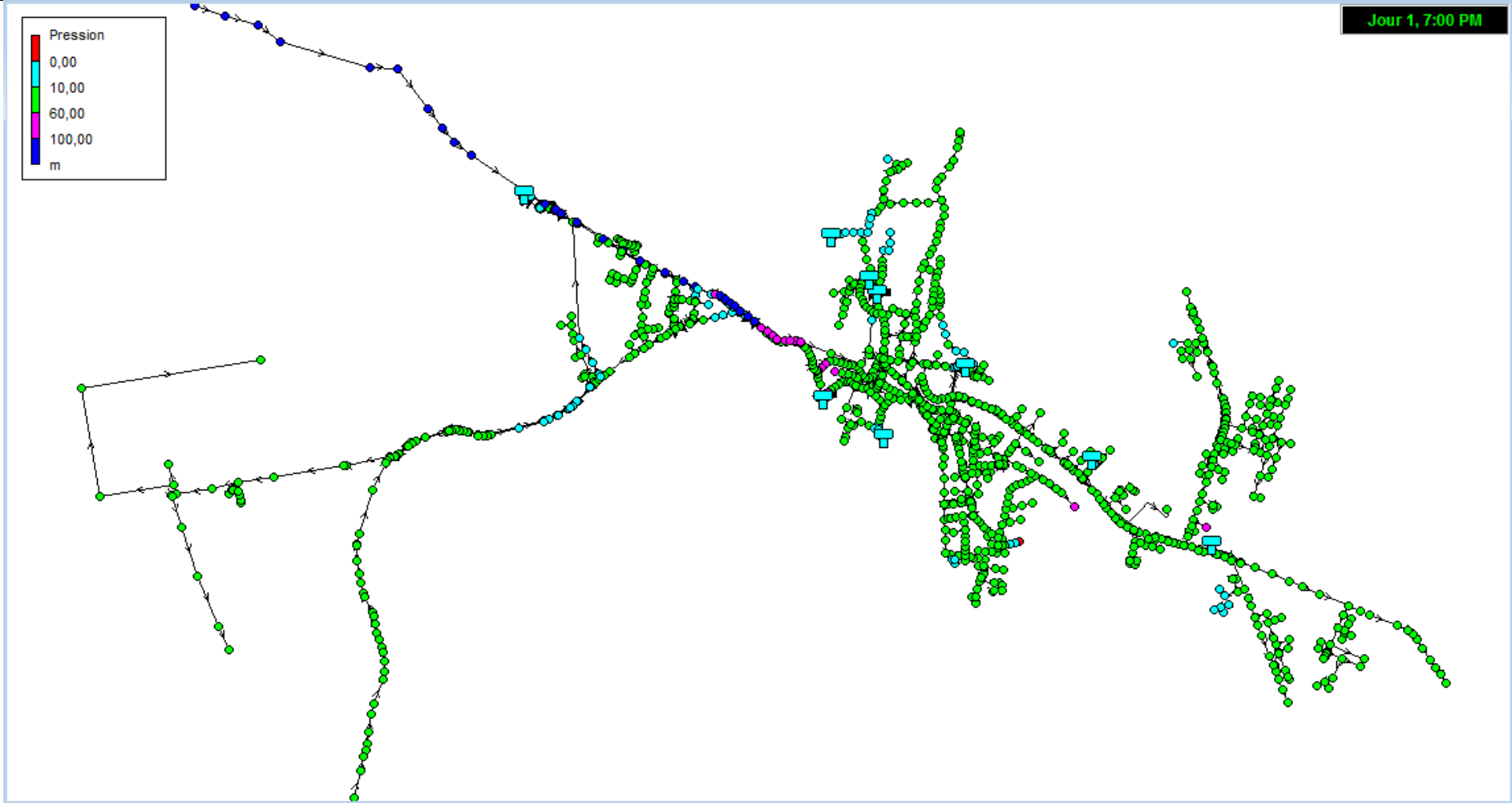
ID	Nœuds amont	Nœuds aval	Longueur	Diamètre	Q (m3/h)	$\Delta H(m)$	$\Sigma\Delta H (m)$	Zaval	Pmin	Zmin	Paval
2460	Node1117	25	73,25	81,4	0,1	0,000	0,000	277,4	10	287,400	30,384
2458	Node1118	26	79,66	67,8	0,58	0,004	0,004	297,78	10	307,784	10,000
2459	26	27	83,83	200	0,1	0,000	0,000	297,78	10	307,780	10,000
2457	Node1127	28	100,22	67,8	0,1	0,000	0,000	260	10	270,000	47,780
2456	Node587	29	99,54	67,8	0,14	0,000	0,000	263	10	273,000	44,780
2455	Node594	30	324,94	67,8	0,26	0,004	0,004	252	10	262,004	55,776
2454	Node608	31	152,12	99,6	1,07	0,003	0,004	254	10	264,004	53,777
2453	Node604	32	69,25	67,8	0,06	0,000	0,000	251	10	261,000	56,780
2452	Node605	33	48,12	67,8	0,04	0,000	0,000	254	10	264,000	53,780
2451	Node1128	34	70,14	99,6	0,08	0,000	0,000	253	10	263,000	54,780
1780	Node591	Conso11	94,24	67,8	0,5	0,003	0,004	267,3	10	277,304	40,477
2278	Node137	Conso15	102,69	147,6	8,4	0,015	0,017	254,25	10	264,267	53,514
1762	Node605	Conso2	66,48	81,4	0,05	0,000	0,000	253,85	10	263,850	53,930
2275	Node141	Conso20	269,46	147,6	1,36	0,001	0,002	251,59	10	261,592	56,189
2272	Conso15	Conso4	112,54	147,6	8,1	0,015	0,017	250,63	10	260,647	57,134
2641	Node576	Node1112	12,65	150	17,62	0,012	0,013	258,15	10	268,163	49,618
2645	Node1269	Node1113	67,36	150	17,81	0,041	0,046	259,48	10	269,526	48,255
1796	Node1267	Node1116	263,14	100	7,86	0,206	0,226	265,59	10	275,816	41,964
2637	Node1120	Node1117	115,43	81,4	1,05	0,007	0,007	277,4	10	287,407	30,373
2636	Node1117	Node1118	88,23	67,8	0,68	0,006	0,006	279,29	10	289,296	28,484
2635	26	Node1119	68,05	67,8	0,17	0,000	0,000	297,78	10	307,780	10,000
2638	Node1116	Node1120	70,21	81,4	1,49	0,008	0,009	269,73	10	279,739	11,090
2634	Node1120	Node1121	123,13	67,8	0,13	0,000	0,000	268,13	10	278,130	12,698
2633	Node1121	Node1122	28,16	67,8	0,03	0,000	0,000	266,15	10	276,150	14,679
1795	Node1266	Node1123	44,82	100	5,23	0,021	0,023	270,4	10	280,423	10,406

2632	Node1123	Node1124	105,95	67,8	0,29	0,001	0,002	262,95	10	272,952	17,877
1779	Conso11	Node1125	126,81	67,8	0,98	0,015	0,017	266,34	10	276,357	14,472
2631	Node1125	Node1126	93,89	67,8	0,17	0,001	0,001	263,22	10	273,221	17,608
2630	Node591	Node1127	60,73	67,8	0,29	0,001	0,001	261,86	10	271,861	18,968
2629	Node607	Node1128	84,37	99,6	0,4	0,000	0,000	236,54	10	246,540	44,288
2628	Node1128	Node1129	64,9	99,6	0,08	0,000	0,000	239,15	10	249,150	41,679
1793	Node577	Node1266	80,82	100	5,29	0,034	0,038	267,85	10	277,888	12,941
1797	Node576	Node1267	39,56	100	8,64	0,050	0,054	259,4	10	269,454	21,374
2642	Node1112	Node1269	27,51	150	17,68	0,021	0,023	258,7	10	268,723	22,106
2270	Node138	Node1272	126,16	147,6	7,14	0,013	0,015	245,57	10	255,585	35,244
2274	Node140	Node1273	57,38	147,6	1,96	0,001	0,001	236,85	10	246,851	43,978
2271	Conso4	Node138	229,27	147,6	7,63	0,026	0,029	256,68	10	266,709	24,120
2276	Node1272	Node139	165,62	147,6	6,74	0,015	0,017	250,78	10	260,797	30,032
2273	Node139	Node140	249,27	147,6	5,82	0,017	0,019	257,68	10	267,699	23,130
2277	Node1273	Node141	208,17	147,6	1,75	0,002	0,002	255,41	10	265,412	25,417
2647	Node137	Node576	132,03	147,6	8,72	0,020	0,022	257,91	10	267,932	22,896
1794	Node1116	Node577	147,26	100	5,49	0,062	0,069	267,31	10	277,379	13,450
1792	Node1123	Node578	22,31	80	4,68	0,029	0,032	270,16	10	280,192	10,637
1785	Node578	Node579	133,87	80	4,5	0,117	0,129	270,7	10	280,829	10,000
1791	Node587	Node580	10,77	80	1,05	0,001	0,001	265,71	10	275,711	10,571
1787	Node580	Node581	142,44	80	0,89	0,006	0,007	260,81	10	270,817	15,465
1790	Node584	Node582	113,3	80	0,27	0,001	0,001	251,1	10	261,101	25,182
1789	Node582	Node583	67,23	80	0,08	0,000	0,000	248,31	10	258,310	27,972
1788	Node581	Node584	67,07	80	0,66	0,002	0,002	257,46	10	267,462	18,820
1784	Node584	Node585	63,25	81,4	0,13	0,000	0,000	255,31	10	265,310	20,972
1783	Node585	Node586	25,96	67,8	0,03	0,000	0,000	253,96	10	263,960	22,322
1786	Node579	Node587	228,55	80	4,18	0,166	0,182	266,1	10	276,282	10,000

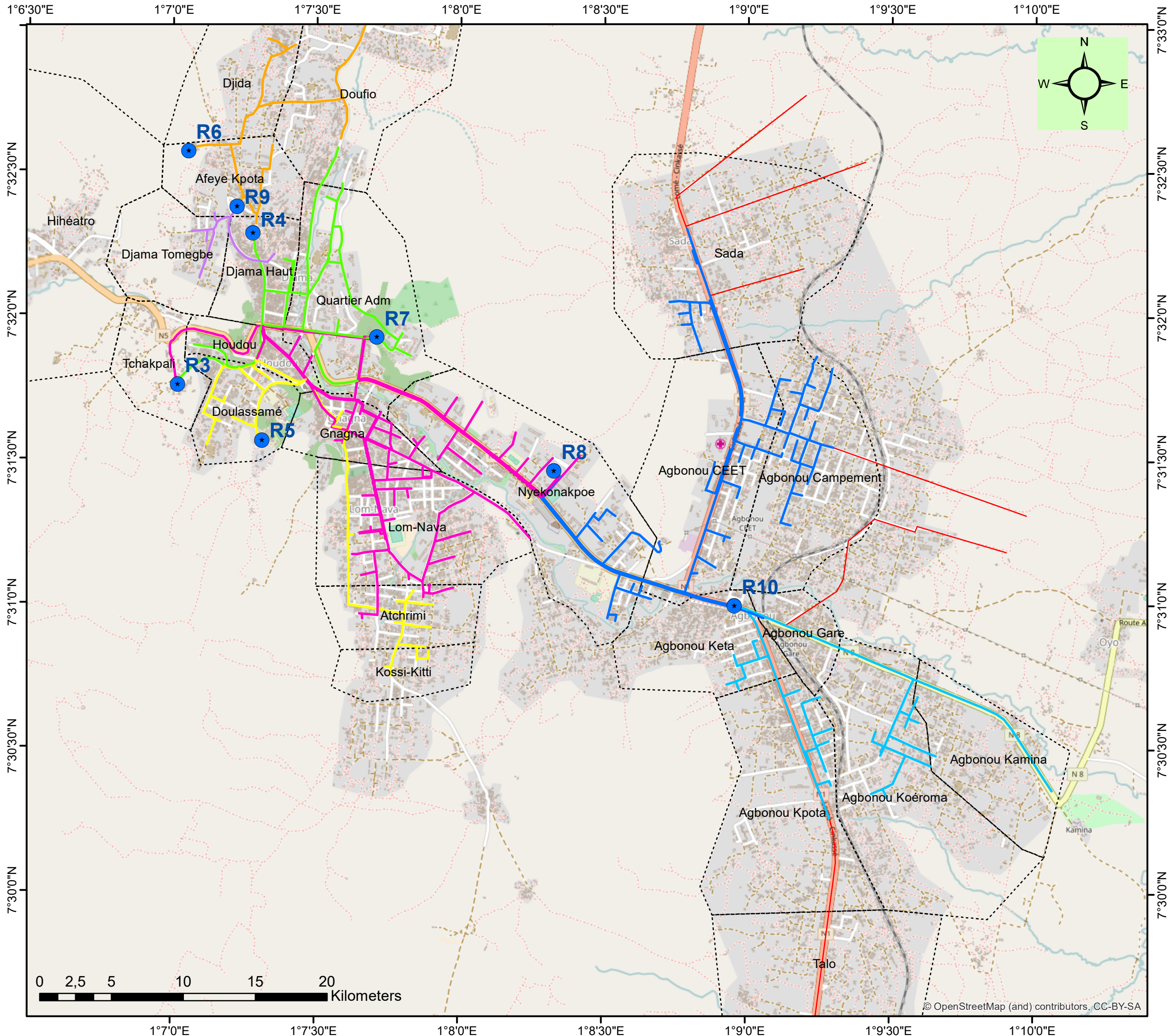
1777	Node589	Node588	11,7	67,8	2,01	0,008	0,009	264,23	10	274,239	10,360
1782	Node587	Node588	84,5	81,4	2,61	0,026	0,028	264,57	10	274,598	10,000
1778	Node1125	Node589	70,52	67,8	1,69	0,024	0,026	264,57	10	274,596	10,000
1781	Node589	Node590	81,53	67,8	0,12	0,000	0,000	261,96	10	271,960	10,000
1776	Node588	Node592	213,6	67,8	0,24	0,002	0,002	255,9	10	265,902	12,598
1775	Node140	Node593	154,31	99,6	3,28	0,026	0,028	252,24	10	262,268	16,232
1771	Node602	Node594	185,85	99,6	2,4	0,017	0,019	257,81	10	267,829	10,671
1773	Node601	Node595	45,31	99,6	0,04	0,000	0,000	257,93	10	267,930	10,570
1768	Node600	Node596	67,12	67,8	0,15	0,000	0,000	250,32	10	260,320	18,180
1770	Node596	Node597	61,1	81,4	0,05	0,000	0,000	250,3	10	260,300	18,200
1769	Node599	Node598	21,19	67,8	0,02	0,000	0,000	258,25	10	268,250	10,250
1766	Node601	Node599	10,3	67,8	0,29	0,000	0,000	258,26	10	268,260	10,240
1767	Node599	Node600	21,59	67,8	0,23	0,000	0,000	258,22	10	268,220	10,280
1774	Node608	Node601	21,54	99,6	0,39	0,000	0,000	258,5	10	268,500	10,000
2499	Node593	Node602	57,94	99,6	3,11	0,010	0,011	254,31	10	264,321	12,371
1764	Node604	Node603	47,93	67,8	0,15	0,000	0,000	253,45	10	263,450	13,241
1765	Node602	Node603	69,86	67,8	0,47	0,002	0,003	253,45	10	263,453	13,239
1763	Node603	Node605	23,41	67,8	0,2	0,000	0,000	253,87	10	263,870	12,821
1760	31	Node606	172,88	99,6	0,14	0,000	0,000	250,87	10	260,870	15,821
1761	31	Node607	166,67	99,6	0,58	0,001	0,001	256,69	10	266,691	10,000
1772	Node594	Node608	61,29	99,6	1,66	0,003	0,003	248,91	10	258,913	10,000

Côte TN château(m)	304
Côte radier :ZR(m)	307,78
Hauteur sous-cuve(m)	3,78
Pression minimal (mCe)	10

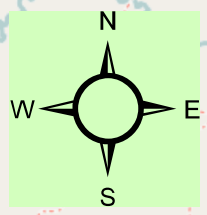
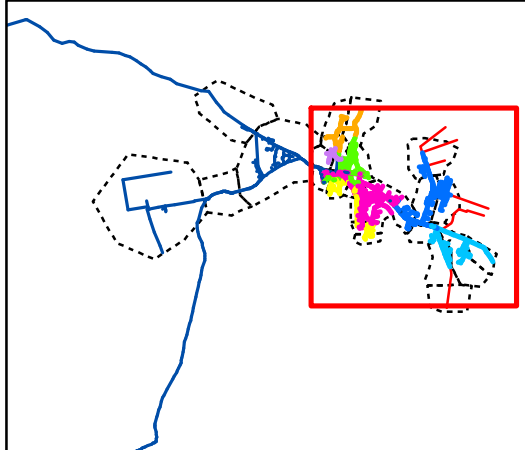
Annexe VIII: Simulation du réseau étagé



Annexe IX: Vue en plan des secteurs du réseau d'Atakpamé

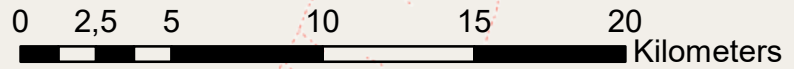


SOUS RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE DE LA VILLE D'ATAKPAME



LEGENDE

- ★ Réservoirs
- Sous réseaux**
- SR4
- SR5
- SR6-A
- SR6-B
- SR7
- SR8-A
- SR8-B
- Limites quartiers



Dessiné par: Anders Jordane VISSIENNON

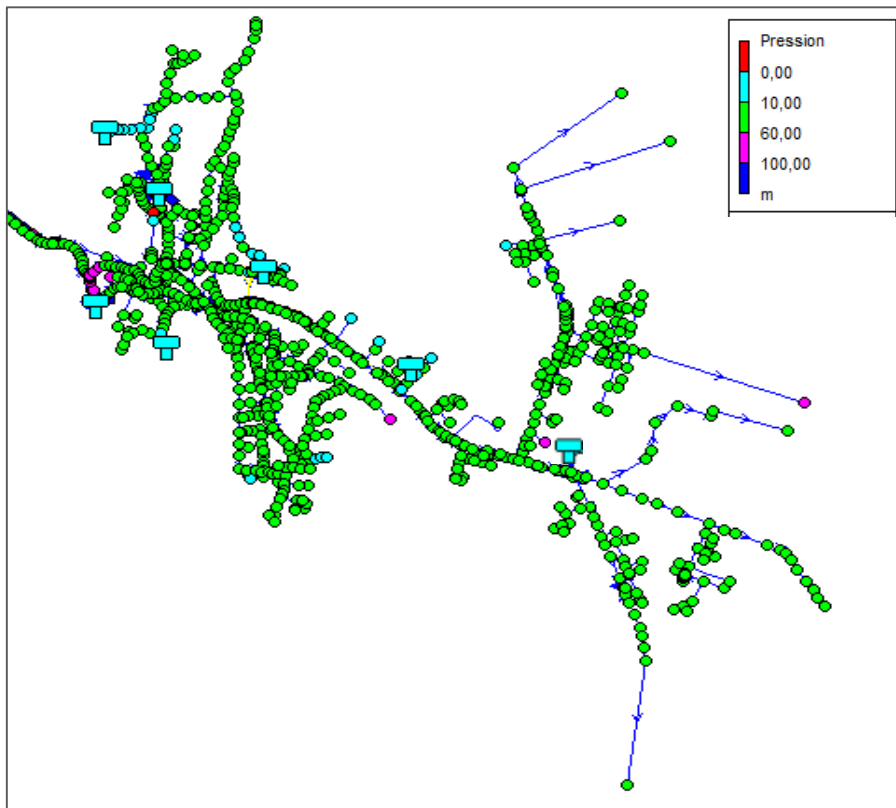
© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

Annexe X: Demande en eau par quartier












	Population desservie	Besoin en eau (m3/j)	Demande en eau (m3/j)	Demande de pointe	Réservoir de desserte
ZONE AEP	26996	1288,067	1894,217	2651,903	-
AFEYE KPOTA	916	33,900	49,853	69,794	R6
AGBONOU KETA	1032	51,847	76,245	106,743	R4; R8
AGBONOU (campement)	1208	74,389	109,395	153,153	R8
AGBONOU CEET	920	52,332	76,959	107,743	R8
AGBONOU GARE	740	38,547	56,687	79,361	R8
AGBONOU KAMINA & KOEROMA	1020	50,928	74,894	104,851	R8
AGBONOU KPOTA	1468	76,175	112,022	156,830	R8
ATCHRIMI	752	39,466	58,038	81,253	R5; R7
DJAMA TOMEGBE	548	23,843	35,063	49,088	R4
DJAMA	2224	79,695	117,198	164,077	R4; R7
DJIDA	220	7,786	11,450	16,029	R6
DOULASSAME	1948	85,746	126,098	176,537	R4; R5
GNAGNA	2164	75,100	110,441	154,617	R5; R7
HOUDOU	1384	69,741	102,561	143,585	R4; R5; R7
KOSSI KITTI	656	32,114	47,226	66,116	R5
LOM NAVA	4064	184,359	271,116	379,562	R5; R7
NYEKONAKPOE	1380	78,498	115,439	161,614	R4; R7; R8
QUARTIER ADM	648	49,627	72,981	102,173	R4; R7

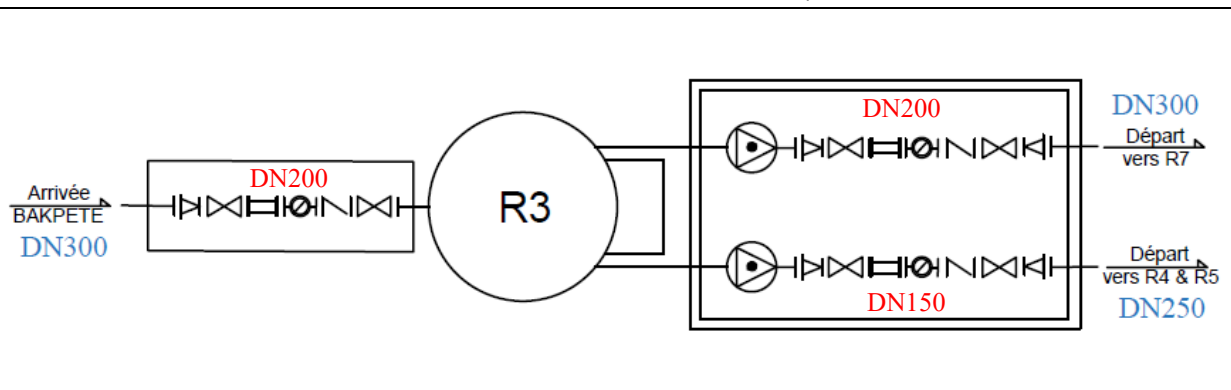
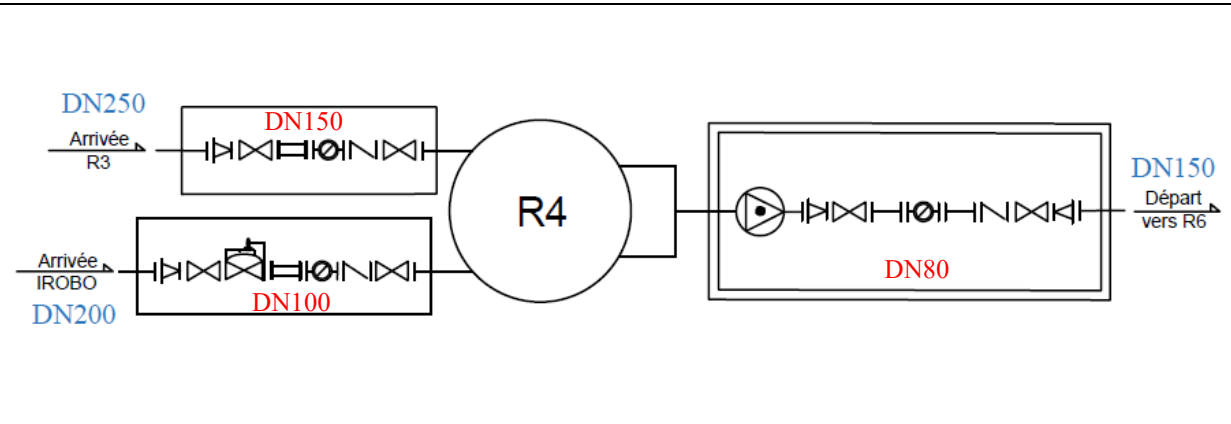
SADA	488	19,247	28,305	39,627	R8
TALO	0	0,000	0,000	0,000	-
TOTAL ATAKPAME	23780	1123,337	1651,967	2312,753	-
DOUFIO	232	8,705	12,801	17,921	R6
ELAVAGNON	268	11,462	16,856	23,598	R3
HIHEATRO	2032	119,369	175,542	245,759	R3
TCHAKPALI	172	4,110	6,044	8,461	R3; R4; R7
TEMEDJA	512	21,085	31,008	43,411	R3
TOTAL VILLAGES	3216	164,730	242,250	339,150	-

Annexe XI: Simulation du fonctionnement du réseau futur



Annexe XII: Equipements de mesure aux réservoirs

 : Robinet vanne	 : Régulateur de débit	 : Réservoir au sol
 : Clapet anti retour	 : Stabilisateur d'écoulement	 : Station de pompage
 : Compteur	 : Pompe de surface	 : Regard
 : Longueur amont/aval	 : Cône à brides	

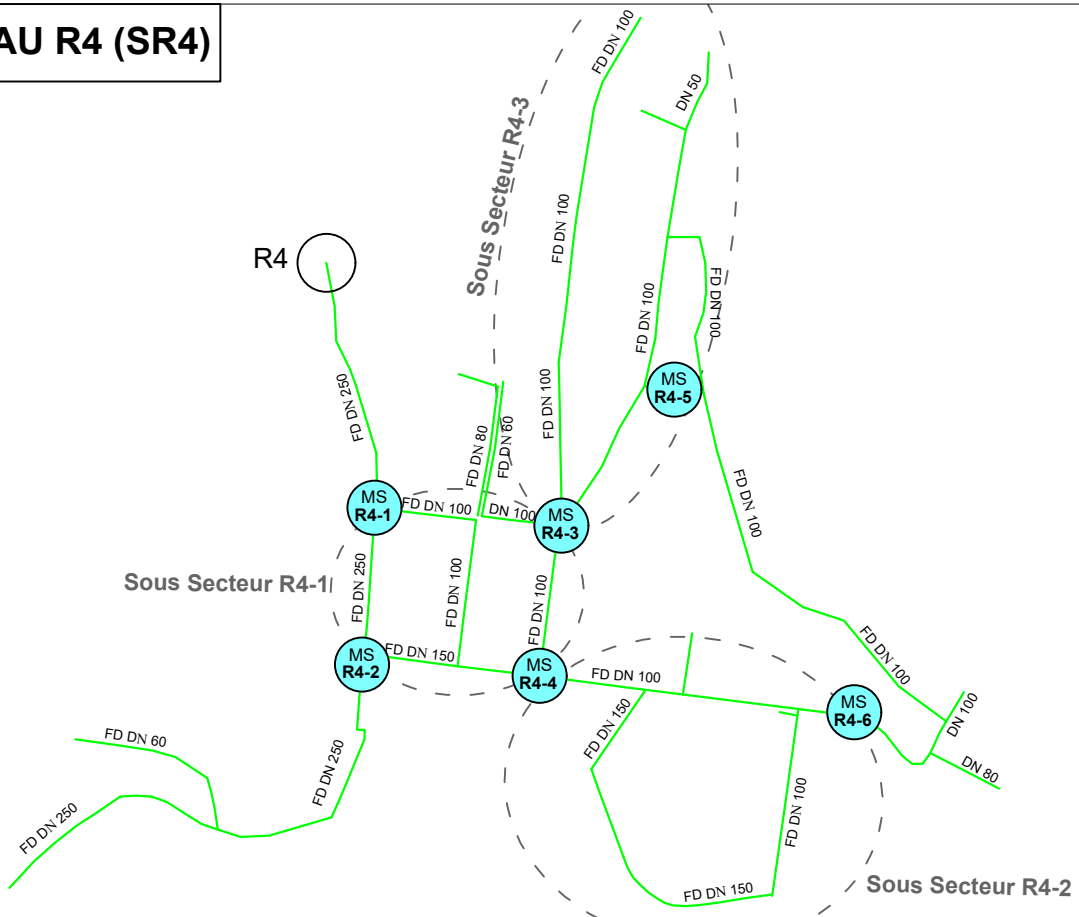
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Cône réducteur DN300/200</td> <td>2 Cônes réducteurs DN300/200</td> </tr> <tr> <td>1 Compteur DN200</td> <td>2 Cônes réducteurs DN250/150</td> </tr> <tr> <td>1 Stabilisateur DN200</td> <td>1 Compteur DN200</td> </tr> <tr> <td>2 Robinets Vannes DN200</td> <td>1 Compteur DN150</td> </tr> <tr> <td>1 Clapet Anti-retour DN200</td> <td>1 Stabilisateur DN200</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Stabilisateur DN150</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 Robinets Vannes DN200</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 Robinets Vannes DN150</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Clapet Anti-Retour DN200</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Clapet Anti-Retour DN150</td> </tr> </tbody> </table>	Entrée	Sortie	1 Cône réducteur DN300/200	2 Cônes réducteurs DN300/200	1 Compteur DN200	2 Cônes réducteurs DN250/150	1 Stabilisateur DN200	1 Compteur DN200	2 Robinets Vannes DN200	1 Compteur DN150	1 Clapet Anti-retour DN200	1 Stabilisateur DN200		1 Stabilisateur DN150		2 Robinets Vannes DN200		2 Robinets Vannes DN150		1 Clapet Anti-Retour DN200		1 Clapet Anti-Retour DN150		
Entrée	Sortie																								
1 Cône réducteur DN300/200	2 Cônes réducteurs DN300/200																								
1 Compteur DN200	2 Cônes réducteurs DN250/150																								
1 Stabilisateur DN200	1 Compteur DN200																								
2 Robinets Vannes DN200	1 Compteur DN150																								
1 Clapet Anti-retour DN200	1 Stabilisateur DN200																								
	1 Stabilisateur DN150																								
	2 Robinets Vannes DN200																								
	2 Robinets Vannes DN150																								
	1 Clapet Anti-Retour DN200																								
	1 Clapet Anti-Retour DN150																								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Entrée</th> <th>Sortie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Cône réducteur DN250/150</td> <td>2 Cônes réducteurs DN150/80</td> </tr> <tr> <td>1 Cône réducteur DN200/100</td> <td>1 Compteur DN80</td> </tr> <tr> <td>1 Compteur DN150</td> <td>2 Robinets Vannes DN80</td> </tr> <tr> <td>1 Compteur DN100</td> <td>1 Clapet Anti-Retour DN80</td> </tr> <tr> <td>1 Stabilisateur DN150</td> <td>1 Longueur amont DN80 (L=0,8m)</td> </tr> <tr> <td>1 Stabilisateur DN100</td> <td>1 Longueur avale DN80 (L=0,25m)</td> </tr> <tr> <td>1 Régulateur de débit DN100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 Robinets Vannes DN150</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 Robinets Vannes DN100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 Clapet Anti-Retour DN150</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 Clapet Anti-Retour DN100</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Entrée	Sortie	1 Cône réducteur DN250/150	2 Cônes réducteurs DN150/80	1 Cône réducteur DN200/100	1 Compteur DN80	1 Compteur DN150	2 Robinets Vannes DN80	1 Compteur DN100	1 Clapet Anti-Retour DN80	1 Stabilisateur DN150	1 Longueur amont DN80 (L=0,8m)	1 Stabilisateur DN100	1 Longueur avale DN80 (L=0,25m)	1 Régulateur de débit DN100		2 Robinets Vannes DN150		2 Robinets Vannes DN100		1 Clapet Anti-Retour DN150		1 Clapet Anti-Retour DN100	
Entrée	Sortie																								
1 Cône réducteur DN250/150	2 Cônes réducteurs DN150/80																								
1 Cône réducteur DN200/100	1 Compteur DN80																								
1 Compteur DN150	2 Robinets Vannes DN80																								
1 Compteur DN100	1 Clapet Anti-Retour DN80																								
1 Stabilisateur DN150	1 Longueur amont DN80 (L=0,8m)																								
1 Stabilisateur DN100	1 Longueur avale DN80 (L=0,25m)																								
1 Régulateur de débit DN100																									
2 Robinets Vannes DN150																									
2 Robinets Vannes DN100																									
1 Clapet Anti-Retour DN150																									
1 Clapet Anti-Retour DN100																									

Proposition d'un plan de sectorisation et d'une extension du système d'Alimentation en Eau Potable de la ville d'Atakpamé (Togo)

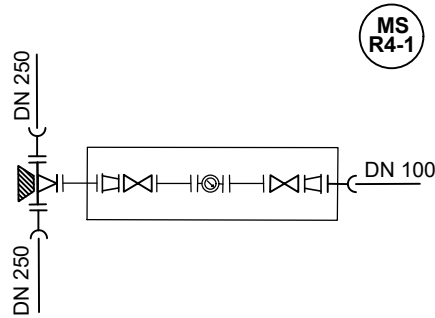
	<p>Entrée</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Cônes réducteur DN200/100 1 Compteur DN100 2 Robinets Vannes DN100 1 Clapet Anti-Retour DN100 1 Stabilisateur DN100 	<p>Sortie</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 Cônes réducteurs DN200/100 1 Compteur DN100 2 Robinets Vannes DN100 1 Clapet Anti-Retour DN100 1 Stabilisateur DN100
	<p>Entrée</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Cône réducteur DN150/80 1 Compteur DN80 2 Robinets Vannes DN80 1 Clapet Anti-Retour DN80 1 Longueur amont DN80 (L=0,8m) 1 Longueur avale DN80 (L=0,25m) 	<p>Sortie</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 Cônes réducteurs DN150/80 1 Compteur DN80 2 Robinets Vannes DN80 1 Clapet Anti-Retour DN80 1 Longueur amont DN80 (L=0,8m) 1 Longueur avale DN80 (L=0,25m)
	<p>Entrée</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Cône réducteur DN300/200 1 Cône réducteur DN200/100 1 Compteur DN200 1 Compteur DN100 1 Stabilisateur DN200 1 Stabilisateur DN100 1 Régulateur de débit DN100 2 Robinets Vannes DN200 2 Robinets Vannes DN100 1 Clapet Anti-Retour DN200 1 Clapet Anti-Retour DN100 	<p>Sortie</p> <ul style="list-style-type: none"> 2 Cônes réducteurs DN300/200 1 Compteur DN200 2 Robinets Vannes DN200 1 Clapet Anti-Retour DN200 1 Stabilisateur DN200

**Annexe XIII: Schémas des nœuds des équipements de mesure de
débit et du réseau d'extension**

SOUS RESEAU R4 (SR4)

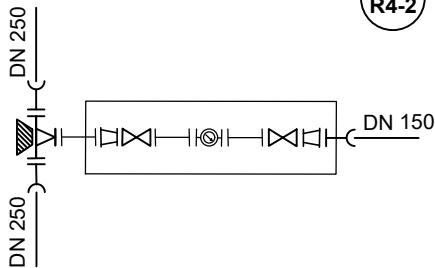


- 1 Té réduit DN250/100
- 1 Débitmètre DN60
- 2 BE DN250
- 1 BE DN100
- 2 RV DN60
- 2 Réducteurs DN100/60
- 1 Manchette DN100
- 2 Manchettes DN60



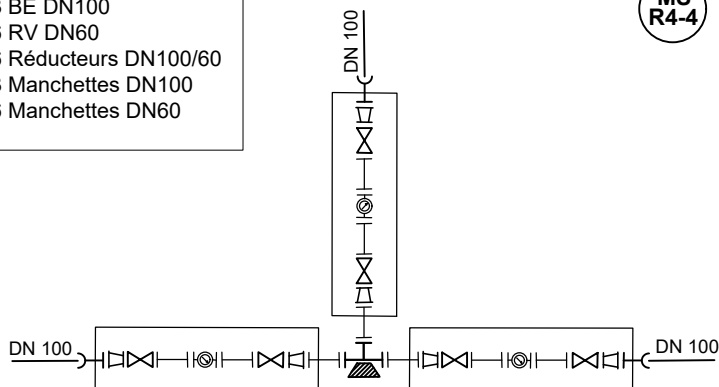
MS R4-1

- 1 Té réduit DN250/150
- 1 Débitmètres DN80
- 2 BE DN250
- 1 BE DN150
- 2 RV DN80
- 2 Réducteurs DN150/80
- 1 Manchette DN150
- 2 Manchettes DN80

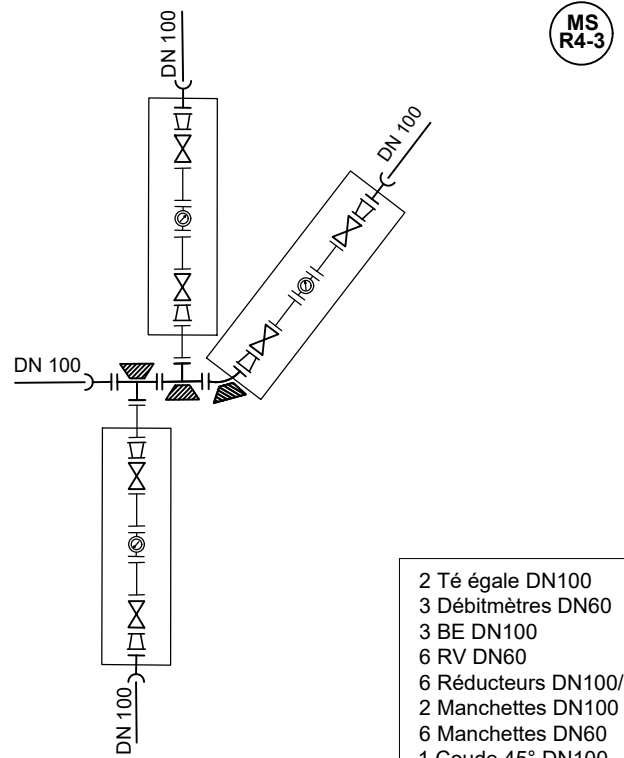


MS R4-2

- 1 Té égale DN100
- 3 Débitmètres DN60
- 3 BE DN100
- 6 RV DN60
- 6 Réducteurs DN100/60
- 3 Manchettes DN100
- 6 Manchettes DN60



MS R4-4

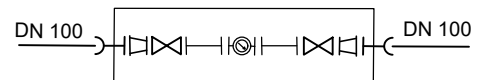


MS R4-3

- 2 Té égale DN100
- 3 Débitmètres DN60
- 3 BE DN100
- 6 RV DN60
- 6 Réducteurs DN100/60
- 2 Manchettes DN100
- 6 Manchettes DN60
- 1 Coude 45° DN100

- 2 BE DN100
- 2 RV DN60
- 2 Réducteurs DN100/60
- 1 Débitmètre DN60
- 2 Manchettes DN60

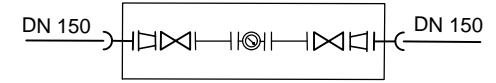
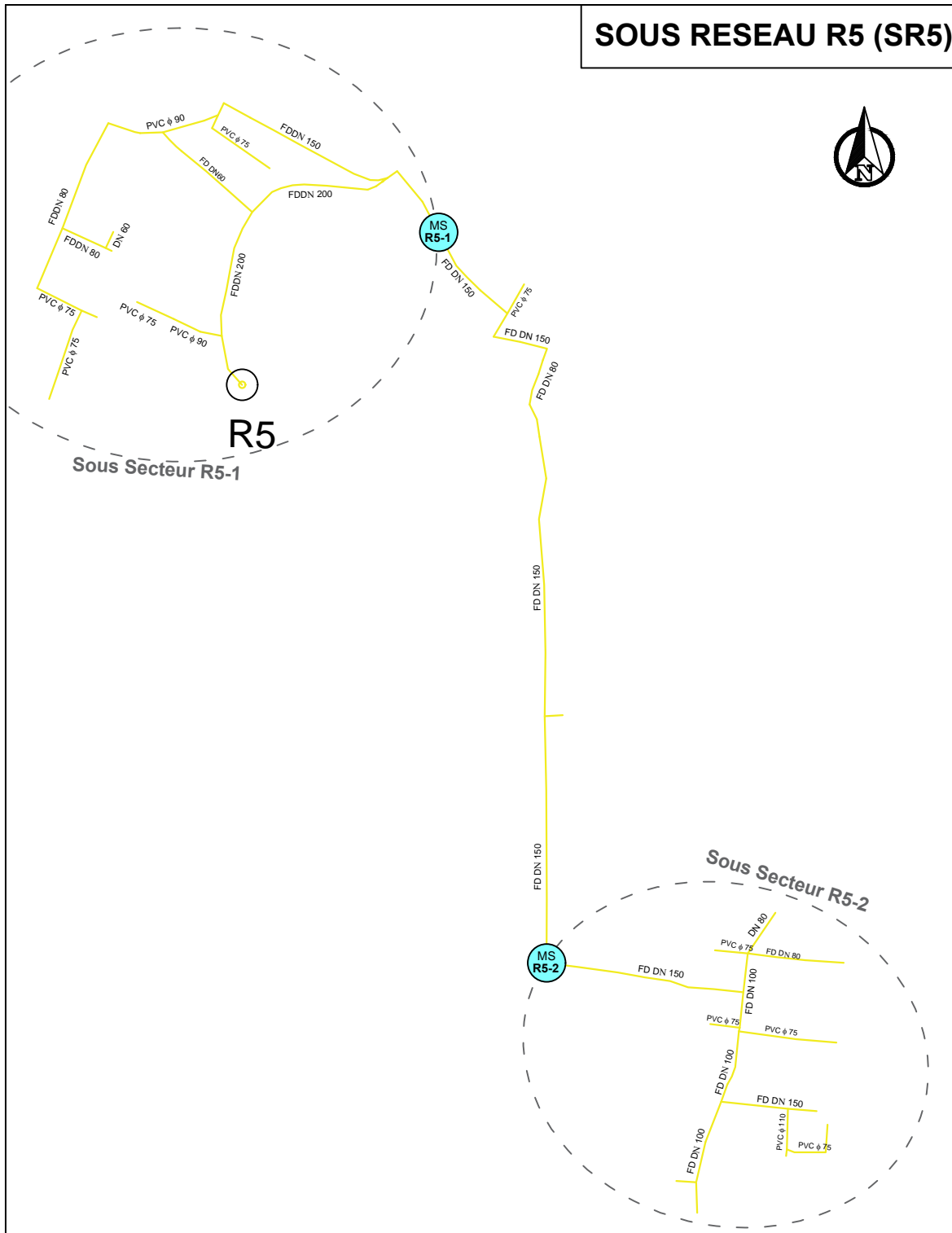
MS R4-5 MS R4-6



Dénomination
 BE: Bride Emboîtement
 DN: Diamètre Nomimal
 RV: Robinet Vanne

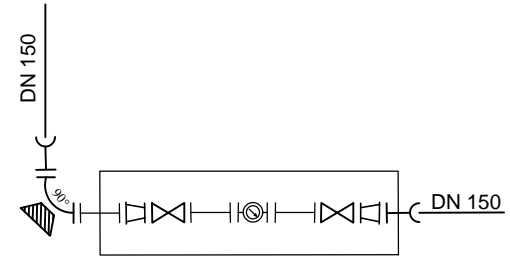
SOUS RESEAU R5 (SR5)

MS
R5-1



- 2 BE DN150
- 2 Réducteurs DN150/80
- 1 Débitmètre DN80
- 2 RV DN80
- 2 Manchettes DN80

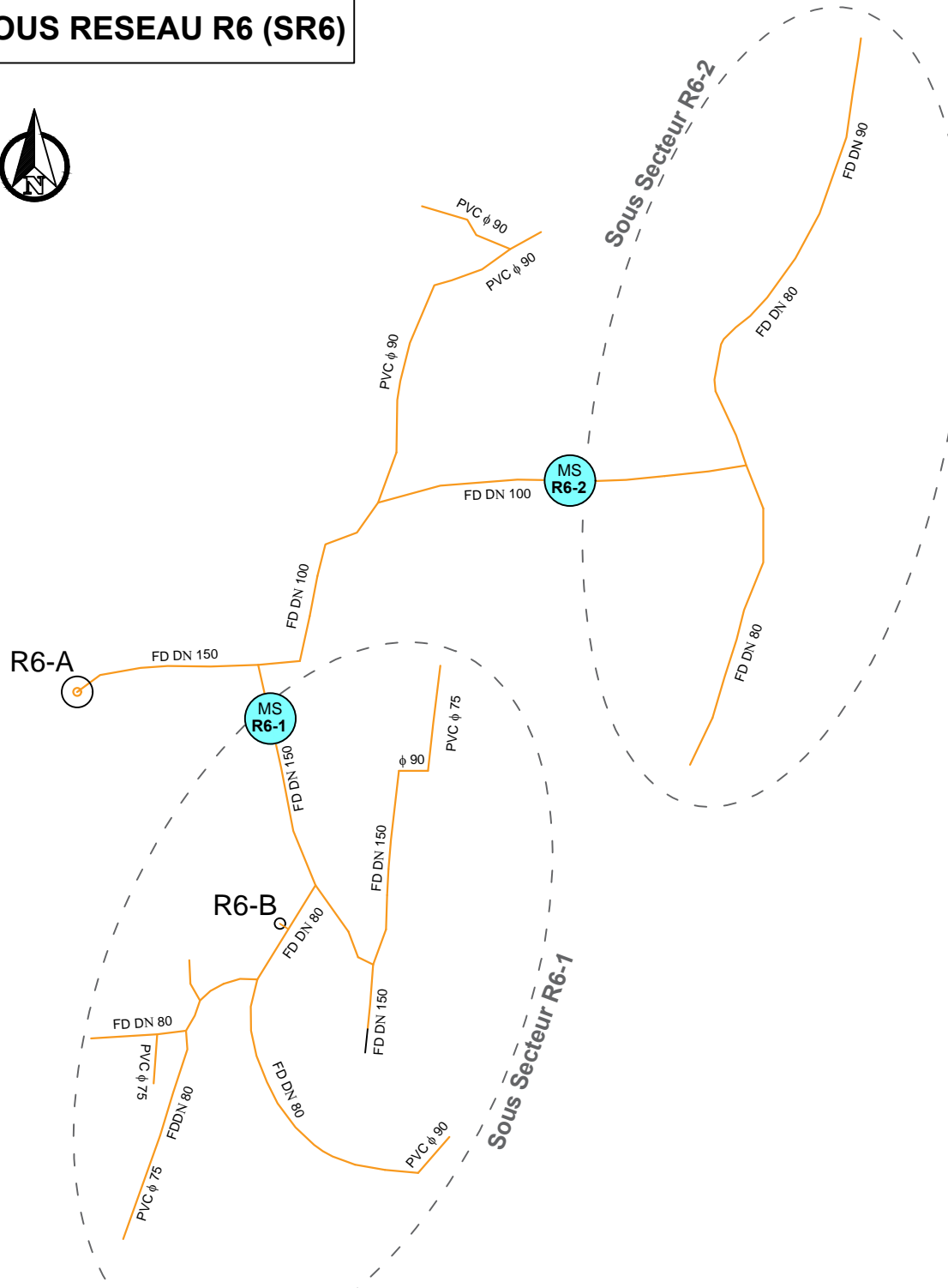
MS
R5-2



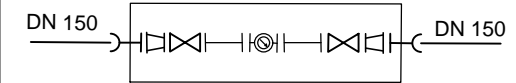
- 1 coude 90° DN150
- 2 BE DN 150
- 1 Débitmètre DN80
- 2 RV DN80
- 2 Réducteurs DN150/80
- 1 Manchette DN150
- 2 Manchettes DN80

Dénomination
 BE: Bride Emboîtement
 DN: Diamètre Nomimal
 RV: Robinet Vanne

SOUS RESEAU R6 (SR6)

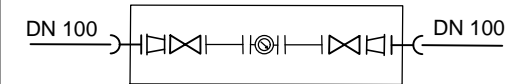


MS
R6-1



- 2 BE DN150
- 2 Réducteurs DN150/80
- 1 Débitmètre DN80
- 2 RV DN80
- 2 Manchettes DN80

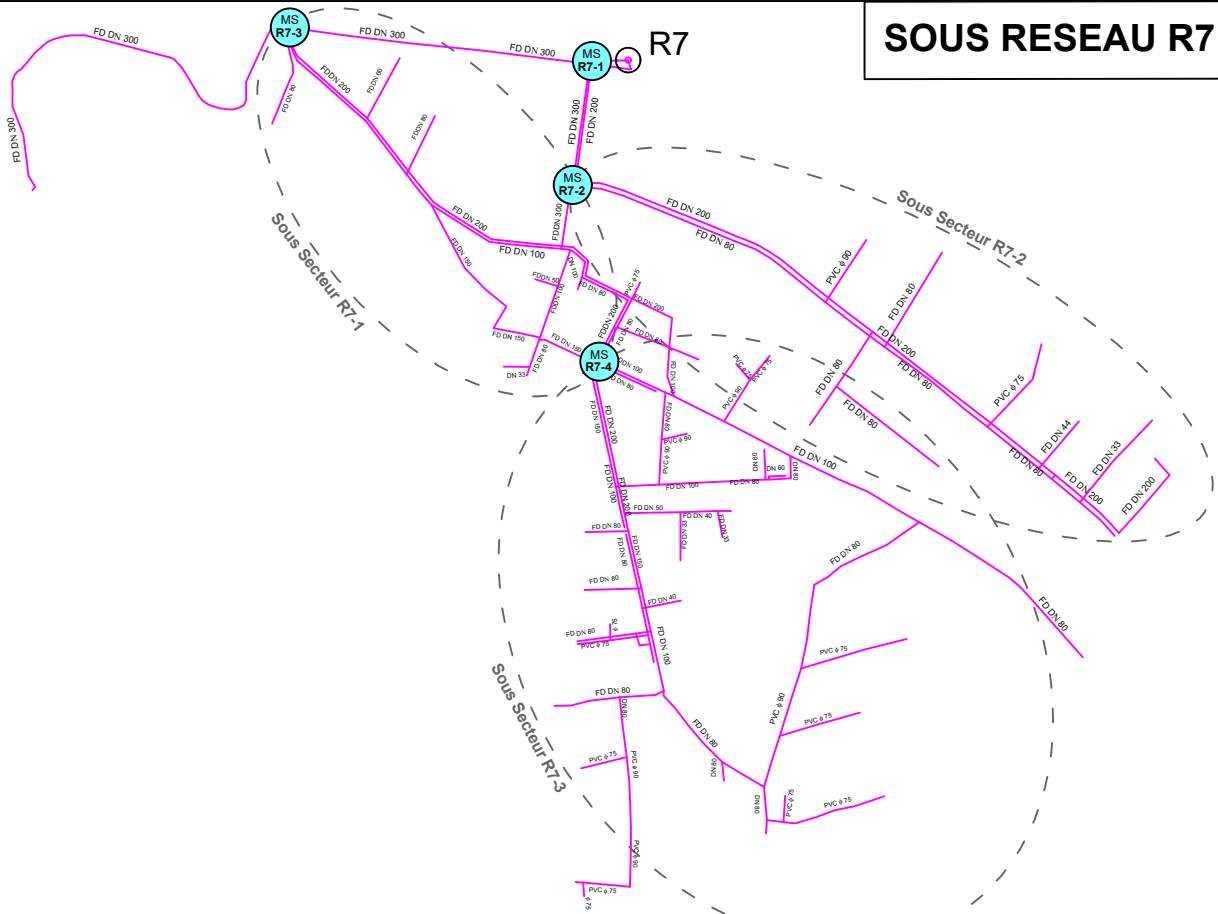
MS
R6-2



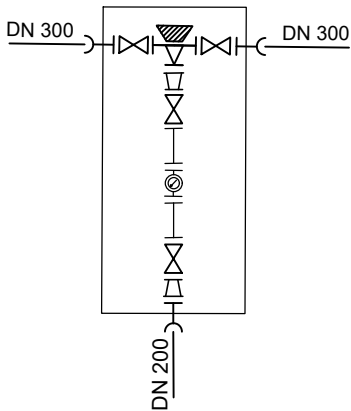
- 2 BE DN100
- 2 RV DN60
- 2 Réducteurs DN100/60
- 1 Débitmètre DN60
- 2 Manchettes DN60

Dénomination
 BE: Bride Emboîtement
 DN: Diamètre Nomimal
 RV: Robinet Vanne

SOUS RESEAU R7 (SR7) 1

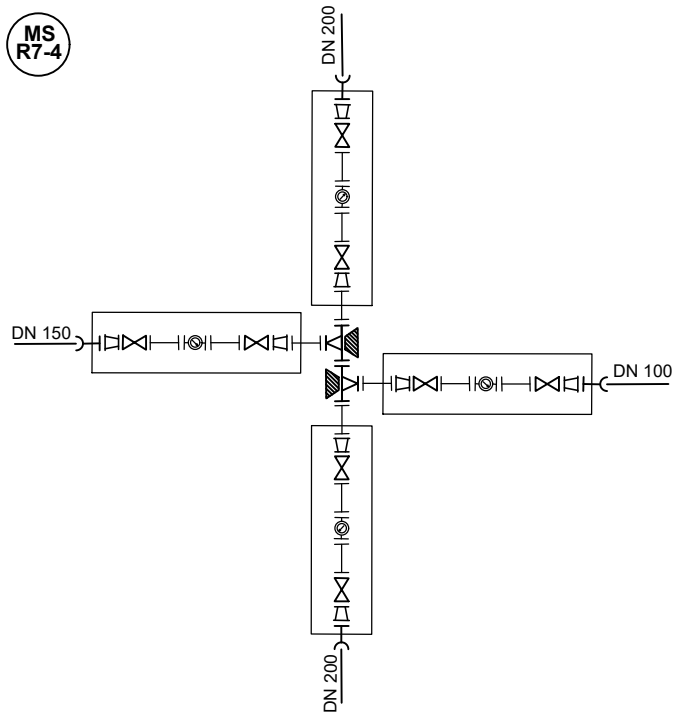


MS R7-1 MS R7-3



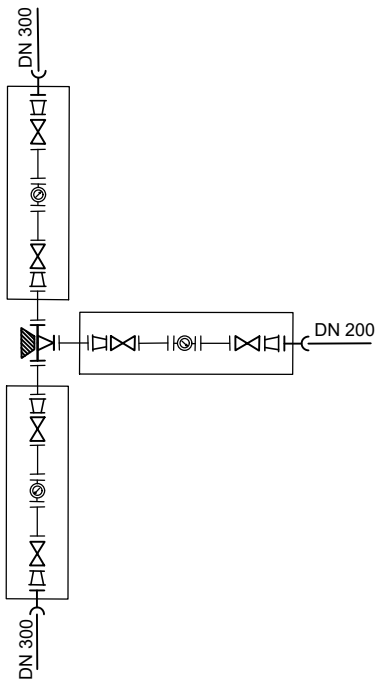
- 1 Té réduit DN300/200
- 1 Débitmètre DN100
- 2 BE DN300
- 1 BE DN200
- 2 RV DN300
- 2 RV DN100
- 2 Réducteurs DN200/100
- 2 Manchettes DN100

MS R7-4



- 1 Té réduit DN200/150
- 1 Té réduit DN200/100
- 2 Débitmètres DN100
- 1 Débitmètre DN80
- 1 Débitmètre DN60
- 2 BE DN200
- 1 BE DN150
- 1 BE DN100
- 4 RV DN100
- 2 RV DN80
- 2 RV DN60
- 4 Réducteurs DN200/100
- 2 Réducteurs DN150/80
- 2 Réducteurs DN100/60
- 2 Manchettes DN200
- 1 Manchette DN150
- 1 Manchette DN100
- 4 Manchettes DN100
- 2 Manchettes DN80
- 2 Manchettes DN60

MS R7-2



- 1 Té réduit DN300/200
- 2 Débitmètres DN150
- 1 Débitmètre DN100
- 2 BE DN300
- 1 BE DN200
- 4 RV DN150
- 2 RV DN100
- 4 Réducteurs DN300/150
- 2 Réducteurs DN200/100
- 2 Manchettes DN300
- 1 Manchette DN200
- 4 Manchettes DN150
- 2 Manchettes DN100

Dénomination
BE: Bride Emboîtement
DN: Diamètre Nominal
RV: Robinet Vanne



SOUS RESEAU R7 (SR7) 2

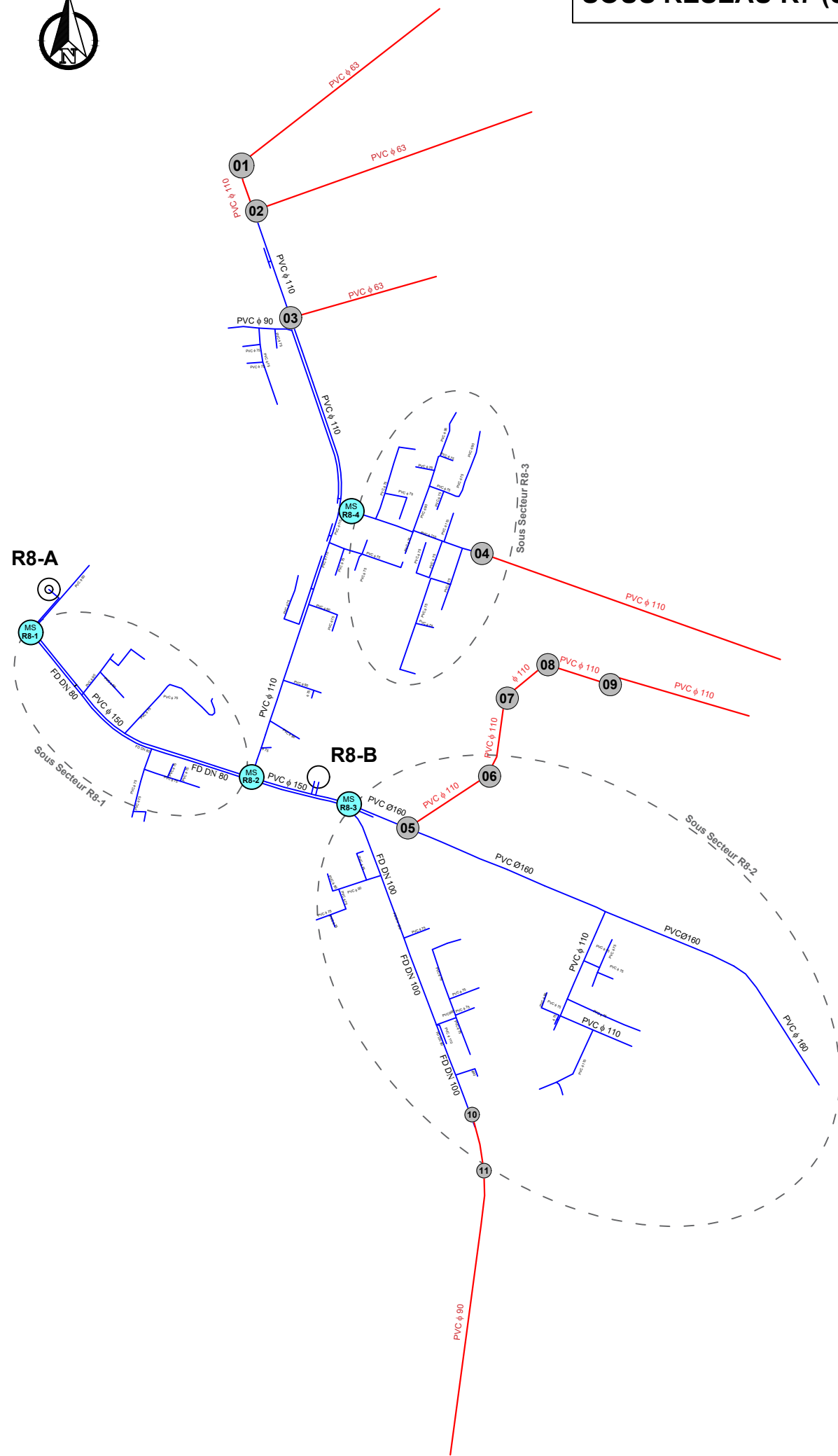


Schéma des noeuds des conduites d'extension

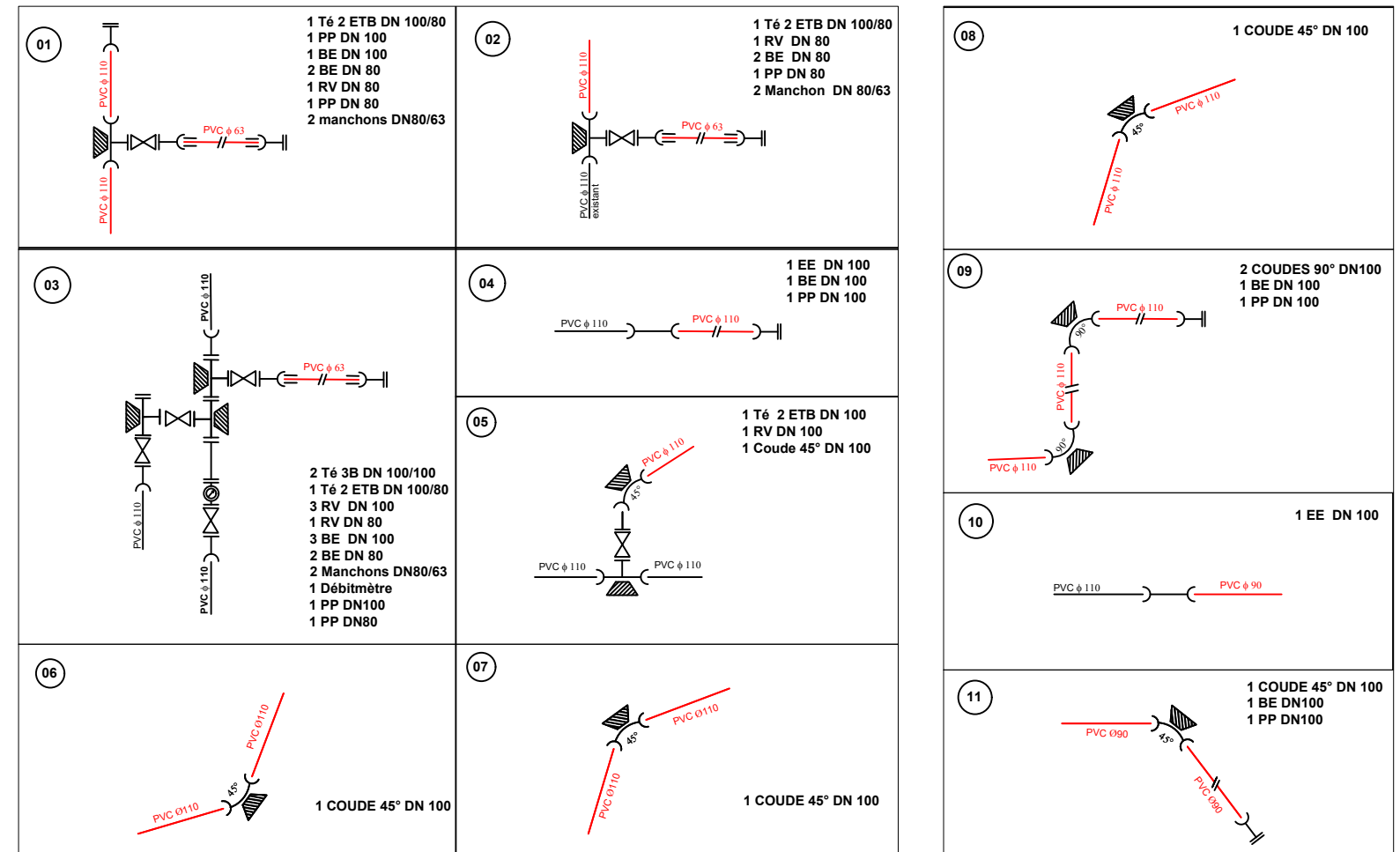
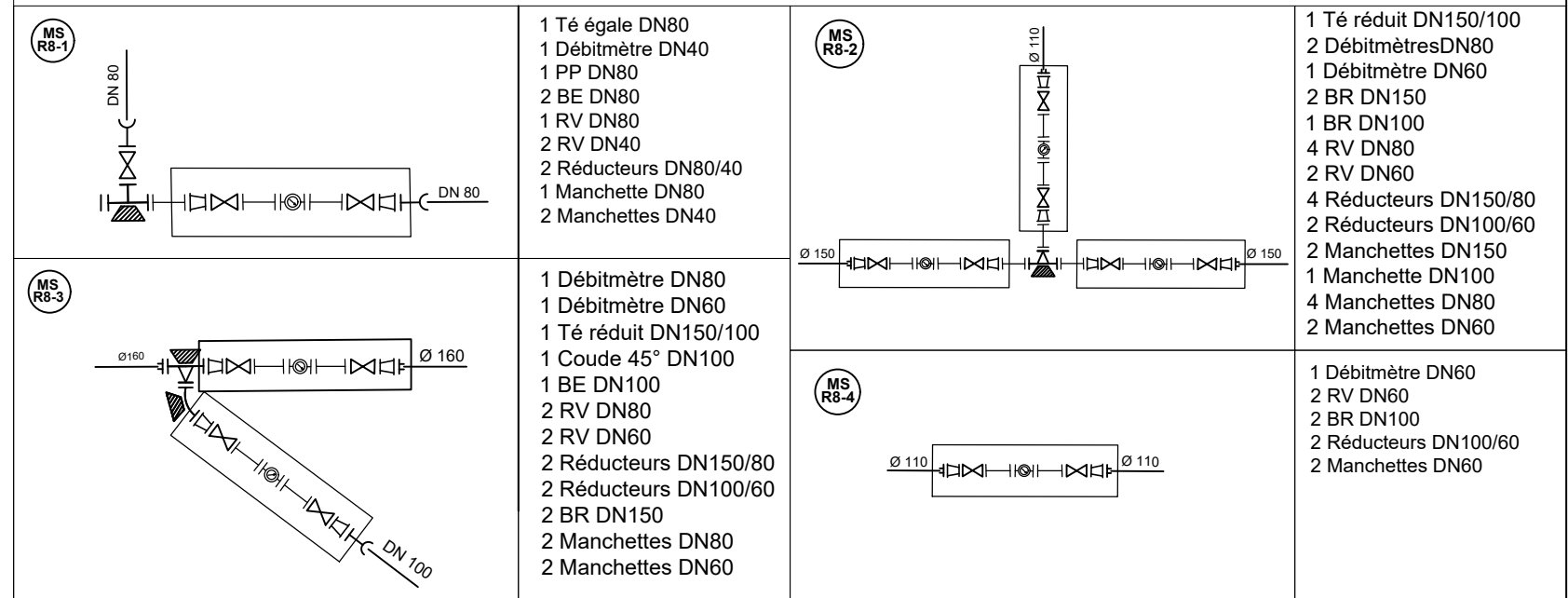


Schéma des noeuds des équipements de mesure du débit



- Dénomination**
- B: Bride
 - BE: Bride Emboîtement
 - BR: Bride de Raccordement
 - DN: Diamètre Nominal
 - EE: Double Emboîtement
 - ETB: Deux Emboîtement et Tubulure Bride
 - PP: Plaque pleine
 - RV: Robinet Vanne

Annexe XIV: Profil en long des conduites d'extension

