UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Contribution à l'analyse des matériaux et à l' évaluation du rendement du réseau de distribution de l'eau potable : cas de la REGIDESO de Bujumbura

BARAKAMFITIYE, Vianney; Sous la directionde : Dr.Manassé NIHORIMBERE; M. Sc. Innocent NKURUNZIZA

2023-04
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/525

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

Département de Chimie

CONTRIBUTION A L'ANALYSE DES MATERIAUX ET A L'EVALUATION DU RENDEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE : CAS DE LA REGIDESO DE BUJUMBURA

Par

BARAKAMFITIYE Vianney

MEMOIRE

Présenté et défendu en vue d'obtention du diplôme de Master en sciences Chimiques

Orientation: Contrôle et Analyses Chimiques

Sous la direction de : **Dr. Manassé NIHORIMBERE**

M.Sc. Innocent NKURUNZIZA

Bujumbura, Avril 2023

Contribution à l'analyse des matériaux et à l'évaluation du rendement du réseau de distribution de l'eau potable : cas de la REGIDESO de Bujumbura

MEMBRES DU JURY

Président : Prof. Steve De Cliff

Secrétaire : Prof. David NAHIMANA

Directeur : Dr. Manassé NIHORIMBERE

Co-directeur : M.Sc. Innocent NKURUNZIZA

Membre : Dr. Pierre-Claver MPAWENAYO

DEDICACES

A mon épouse

A mon regretté père

A ma mère

A mes frères et sœurs

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail réalisé au Laboratoire LACHIST du Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement (CRSNE) de la Faculté des Sciences en Collaboration avec la Direction de l'eau de la REGIDESO, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements :

Avant tout, je remercie le tout puissant pour m'avoir donné le courage et la patience pour mener à terme ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements et ma gratitude au directeur de ce mémoire Dr. Manassé NIHORIMBERE et au co-directeur M.Sc. Innocent NKURUNZIZA, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements pour avoir assuré la direction de mon travail, pour leur soutien et leur enthousiasme tout au long de ce projet jusqu'à sa soutenance.

Aux membres du jury ; pour avoir accepté d'évaluer mon travail ;

Aux enseignants du Département de Chimie de la Faculté des Sciences en général et à tous les Professeurs de Master en Contrôle et Analyses Chimiques en particulier, pour leurs contributions durant toute la solide et multidisciplinaire formation universitaire dont ils m'ont fait bénéficier.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tout le personnel de la REGIDESO en général et à celui de la direction de l'eau en particulier pour leur collaboration permettant une bonne documentation au sein de cette institution.

Je présente mes sentiments de remerciement à mes camarades de classe et toute autre personne qui a contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent également à ma famille et plus précisément à mes parents qui ont tout fait pour que je puisse accéder au banc de l'école.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la poursuite de mes études et à la réalisation de ce mémoire.

Que ce mémoire vous comble de joie.

RESUME

Les fuites dans le réseau d'alimentation en eau potable sont une problématique incontournable qui est accélérée par la dégradation du réseau selon le type de matériau, et représente un enjeu considérable pour les collectivités et les exploitants. L'objectif de ce travail est de repérer les matériaux constituant le réseau de distribution d'eau potable en ville de Bujumbura afin d'évaluer le rendement et son impact sur la qualité de l'eau distribuée. Un logiciel de géolocalisation (logiciel ArcGis développé par la société américaine ESRI) combiné avec des équipements de détection (appareil acoustique appelé PRIMAYER) sont utilisés pour élucider la composition des matériaux du réseau et les fuites. Quelques paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau (pH, conductivité, chlore résiduel,) ont été analysés et comparés aux normes internationales ainsi que le dosage des éléments métalliques (Fer, Manganèse, Cuivre, Plomb, Cadmium, Zinc) au spectrophotomètre.

Les résultats ont montré que l'apport des matériaux dans le réseau est représenté comme suit : 79,16% de PVC, environ 0.065% de PE, 0.27% de PEHD, 3,25% environ de fonte ductile, 1.21% d'éternité et environ 15,96% d'acier. Ces matériaux sont régis par des normes internationales telles que : ISO, OMS. Le réseau de distribution de Bujumbura dans les trois communes est ramifié. Le rendement du réseau d'eau potable de la ville de Bujumbura se situe entre 49% et 60% et le taux de fuite entre 51% et 40%. Les analyses physicochimiques ont montré l'absence des traces métalliques dans l'eau, expliquée par les valeurs du pH et de la conductibilité.

Mots clés : Matériaux, eau potable, rendement, fuites, réseau de distribution, paramètres physico-chimiques.

ABSTRACT

Leaks in drinking water supply network are an unavoidable problem which is accelerated by the degradation of the network depending on the type material, and represents a considerable challenge for communities and operators.

The subjective of this work is to identify the materials constituting the drinking water distribution network in the city of Bujumbura in order to assess the performance and its impact on the quality of the water distributed. Geolocation software (ArcGis software developed by the American company ESRI) combined with detection equipment (acoustic device called PRIMAYER) are used to elucidate the composition of network materials and leaks. Some physicochemical parameters of water quality (pH, conductivity, residual chlorine,) were analyzed and compared to international standards as well as the dosage of metallic elements (Iron, Manganese, Copper, Lead, Cadmium, Zinc) by the spectrophotometer method.

The results showed that distribution of materials in the network is represented as follows: 79.16% PVC, around 0.065% PE, 0.27% HDPE, around 3.25% ductile iron, 1.21% eternity and around 15.96% of steel. These materials are governed by international standards such as: ISO, WHO. Bujumbura's distribution network in the three communes is branched. The efficiency of the drinking water network in the city of Bujumbura is between 49% and 60% and the leakage rate between 51% and 40%. The physicochemical analyzes showed the absence of metallic traces in the water explained by the pH and conductivity values.

Keywords: Materials, drinking water, yield, leaks, distribution network, **physico-chemical parameters.**

TABLE DE MATIERES

MEMBRES DU JURY i
DEDICACES ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME iv
TABLE DE MATIERES vi
LISTE DES TABLEAUX viii
LISTE DES FIGURES ix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS x
AVANT PROPOS xi
INTRODUCTION GENERALE 1
CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE 4
I.1. Réglementation des matériaux en contact avec l'eau potable 4
I.2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable 5
I.3. Classification des réseaux de distribution 6
I. 3.1. Réseau ramifié 6
I.3.2. Réseau maillé 6
I .3.3. Réseau étagé 7
I.3.4. Réseau mixte 8
I.4. Description du réseau de distribution 8
I.4.1. La distribution 8
I.4.2. Objectifs d'un réseau d'eau potable 9
I.5. Equipement du réseau de distribution 9
I.6. Conception du réseau 10
I.7. Problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP 10
I.8. Les matériaux utilisés dans le réseau de distribution de l'eau potable 10
I.9. Dysfonctionnement des réseaux d'eau et problématique des fuites 11
I.9.1. Introduction 11
I.9.2. Les pertes d'eau 11
I.9.3. Définition d'une fuite 12
I.9.4. Cause des fuites 12

I.9.5. Débits de fuites 12
I.9.6. Le Vieillissement d'un réseau d'eau 13
I.9.7. Actions de réduction des fuites 13
I.9.8. Les éléments influençant l'apparition des fuites 13
I.9.8. 1. Les éléments propres à la canalisation 13
I.9.8. 2. Les éléments extérieurs aux réseaux 14
I.9.8.3. Les éléments liés à l'exploitation des réseaux 14
I.9.9. Les manifestations des fuites 14
I.9.10. Défaillances des AEP 15
I.10. La maintenance du réseau 15
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES 16
II.1. Catre du réseau et matériaux : Logiciel de géolocalisation 16
II.2. Détection des fuites 16
II.3. Analyses physico-chimiques de la qualité de l'eau 17
CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 21
III.1. Présentation du réseau eau de Bujumbura 21
III.1.1. Présentation du réseau eau de la commune MUKAZA 21
III.1.2. Présentation du réseau eau de la commune MUHA 22
III.2. Données générales pour les matériaux du réseau de Bujumbura 23
III.3. Les fuites dans le réseau eau de la ville de Bujumbura 23
III.4. Les Résultats des Analyses Physico -Chimiques. 26
III.5. Rendement du réseau eau de la ville de Bujumbura 26
III.6. Discussion des résultats 28
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS 30
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 32
ANNEXES 37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Synthèse des données sur les fuites du réseau eau de Bujumbura détectées et réparées 24

Tableau II: Apport des fuites sur les matériaux métalliques du réseau eau de Bujumbura 25

Tableau III : Les résultats des analyses physico chimiques comparés aux normes de l'OMS (Boumelta, Z. & Al, 2021)..... 26

Tableau IV: Rendement du réseau et les fuites y relatives (Rapport de ITRON/ REGIDESO, 2020)..... 27

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Système d'alimentation en Eau Potable (Blindu, I., 2004 et Nihorimbere, M., 2011). .. 5
Figure 2: Les processus de production et distribution de l'eau (Bonnin, J., 1982). 5
Figure 3: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié 6
Figure 4: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé 7
Figure 5: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable étagé 7
Figure 6: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable mixte 8
Figure 7: Primayer, appareil acoustique de détection des fuites. 16
Figure 8 : Montage d'un débitmètre 17
Figure 9: Débitmètre 17
Figure10 : spectrophotomètre DR 6000 18
Figure 11: Réseau eau de la commune MUKAZA 21
Figure 12: Présentation sectoriel du réseau de la commune MUHA 22
Figure 13: Matériaux utilisés dans le réseau de distribution Bujumbura (hors branchement) 23
Figure14: Comparaison mensuelle des fuites en 2018 24
Figure 15: Comparaison mensuelle des fuites en 2019. 24
Figure 16: Comparaison mensuelle des fuites en 2020 25
Figure 17: Comparaison annuelle de perte en eau. 27

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

A : Acier
AAO : Avis d'Appel d'Offres
AEP : Adduction d'Eau Potable
AFNOR : Association Française de Normalisation
ANSI : American National Standards Institute
CE : Communauté Européenne
CEQ : Critères d'Evaluation et de Qualification
CRSNE : Centre de Recherche en Sciences Naturelles et de l'Environnement
CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France
EN : Europian Norm
F : Fonte
FD : Fonte ductile
ICP : Inductively Coupled Plasma
ISO : International Standard Organisation
LACHIST : Laboratoire de Chimie, Sciences de la terre et génie de l'environnement
MEM : Ministère de l'Energie et des Mines
NF : Norme Française
OMS : Organisation mondiale de la Santé
PE : Polyéthylène
PEBD : Polyéthylène à basse densité
PEHD : Polyéthylène à haute densité
pH : Potentiel d'Hydrogène
PRV : Plastique renforcé de verre
PVC : Polychlorure de vinyle
REGIDESO : Régie de production et distribution d'eau et d'électricité
SAA : Spectrophotomètre d'absorption atomique
SIG : Système d'Information géographique
ST : Spécifications Techniques

AVANT PROPOS

Le présent mémoire est réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Chimiques, option Contrôle et Analyses Chimiques. L'objectif de ce travail est de repérer les matériaux qui affectent plus négativement le rendement et la qualité du réseau de distribution d'eau potable. L'identification de ces matériaux a été réalisée afin de connaitre leur apport dans le réseau, leur durée de vie et les normes y relatives lorsqu' ils sont en contact avec de l'eau potable. Les facteurs qui affectent le rendement ont été ciblés pour contribuer à réduire les pertes d'eau. Quelques paramètres physico-chimiques de l'eau ont été analysés par les méthodes potentiométriques, conductimétriques et spectrophotométriques. Ce mémoire comprend trois chapitres : Le premier parle des généralités sur le réseau de distribution d'eau potable, le deuxième est réservé au matériel et méthodes et le troisième chapitre concerne la présentation et discussion des résultats obtenus. Il se termine par une conclusion générale.

Contribution à l'analyse des matériaux et à l'évaluation du rendement du réseau de distribution de l'eau potable : cas de la REGIDESO de Bujumbura

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages (domestiques, industriels et agricoles). L'eau douce constitue un élément indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes (Kahoul, M. & Touhami M, 2014). Avoir de l'eau à disposition en quantité et en qualité suffisantes contribue au maintien de la santé. Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et de mortalité à la fois chez l'homme et les animaux (Kazi, T.G., 2009). Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans les réseaux est indispensable pour les services d'exploitation (en usine de production ou sur le réseau) afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels.

Dans les réseaux de distribution d'eau potable, parmi les matériaux qui pourraient être affectés par la corrosion et relarguer des concentrations croissantes de contaminants, on retrouve les tuyaux et les raccords métalliques, le revêtement intérieur en ciment des conduites et les tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC). La corrosion des réseaux de distribution d'eau potable peut être causée par plusieurs facteurs, dont le type de matériau utilisé, l'âge des conduites et des raccords, la durée de stagnation de l'eau et la qualité de l'eau dans le réseau, y compris son pH. Les propriétés ayant le plus d'importance en ce qui concerne la corrosion des matériaux et le relargage de contaminants dans les réseaux de distribution sont le pH et l'alcalinité (Mercier, C., 2000). Les fuites dans le réseau d'alimentation en eau potable sont une problématique incontournable qui est accélérée par la dégradation du réseau selon le type de matériau, et représente un enjeu considérable pour les collectivités et les exploitants. La nécessité d'adopter une politique responsable en termes de gestion patrimoniale des infrastructures des réseaux d'eau se trouve accentuer par le contexte écologique et économique actuel dans le but d'évaluer l'efficacité des actions de réduction des pertes (Gourlaouen, C., 2016).

Au Burundi, la production et la distribution de l'eau sont assurées par la REGIDESO qui est une société publique régie par la loi n°1/09 du 30/5/2011 portant sur Code des Sociétés privées et à participation publique.

Elle a un caractère commercial et industriel et a été créée en 1962. Sa mission principale est décrite dans le décret n°100/284 le 24/11/2015 portant sur la réorganisation et le fonctionnement des services du Ministère de l'Hydraulique, de l'Energie et des Mines au Burundi (EX MEM).

Le réseau de distribution de l'eau potable de la ville de Bujumbura date de 1970, les matériaux le constituant sont vieux et présentent des problèmes variés tels que :

- Les niveaux élevés de taux de pertes techniques et commerciales
- Toutes les fuites ne sont pas détectées et réparées **(**par exemple sur 9 308 fuites d'eau, 5 556 seulement ont été réparées en 2016 soit 59. 69%) (Rapport annuel, 2016).

Ainsi les fuites ayant des causes diverses (joints non étanches, usure des canalisations, casses…) entrainant une perte considérable de l'eau mise en distribution. Ces pertes ont des répercussions économiques sur les territoires et les consommateurs.

En outre, le réseau de distribution de l'eau potable est souvent décrit comme un véritable réacteur (Annexe1), où l'eau et son contenant (conduite, ...) sont le siège d'interactions physicochimiques et biologiques. Suite à ces dernières, l'eau du robinet peut avoir une qualité très éloignée de celle issue de l'usine de production suite à des contaminations dans le réseau (Anne, L.G., 1999).

L'installation du réseau de transport ou de distribution d'eau se trouve confrontée à de nombreux problèmes d'exploitation notamment les fuites comme étant la première cause des problèmes d'environnement et aux pertes économiques liées aux fuites, s'ajoutant à cela les risques sur la santé publique qu'engendre la pénétration des contaminants dans les réseaux dès qu'une chute de pression se produise. Même si la distribution d'eau a pour fonction de livrer de façon continue une eau de bonne qualité et avec une quantité suffisante à une pression adéquate, les réseaux de distribution subissent des dégradations au cours du temps qui peuvent engendrer des fuites qui causent des pertes économiques et des risques pour la santé publique ainsi que des problèmes d'environnement.

L'objectif général de ce travail est de repérer les matériaux qui affectent négativement le rendement et la qualité du réseau de distribution d'eau potable.

Pour arriver à cet objectif général des objectifs spécifiques ont été fixés :

- Décrire la composition du réseau de distribution d'eau potable
- Identifier les différents matériaux utilisés dans les réseaux de distribution et les normes y relatives afin de contribuer au choix adéquat de matériaux pour garantir la qualité de l'eau de l'usine au robinet du consommateur ;
- Déterminer les fuites dans le réseau de la ville de Bujumbura.
- Evaluer la qualité de l'eau potable de la REGIDESO par l'analyse physico-chimique de certains paramètres.

Dans le premier chapitre, on décrit d'une manière générale un réseau d'AEP, ainsi que les types de conduites de distribution. On va exposer les différents réseaux de distribution et on décrit les éléments du réseau, le choix de conduites, et les types de matériaux utilisés. On montrera également les problèmes rencontrés dans le réseau d'AEP de Bujumbura. Dans ce même chapitre, l'identification des différents matériaux utilisés dans les réseaux de distribution d'eau potable et les normes y relatives, les différents types de corrosion, les mécanismes et les modes de protection dans les systèmes d'eau potable sont illustrés. On déterminera également les éléments influençant les fuites et les types des fuites qu'on rencontre dans le réseau ainsi que leurs origines et la fréquence des fuites sur les matériaux du réseau.

Le deuxième chapitre est consacré à la description du matériel et la méthodologie des analyses et le troisième à la présentation et discussion des résultats.

Enfin, nous terminerons par une conclusion qui précisera les matériaux à privilégier dans le réseau de distribution de l'eau potable pour assurer la gestion et la qualité de l'eau afin de réduire les fuites et d'augmenter considérablement le rendement.

CHAPITRE I: GENERALITES SUR LE RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE

I.1. Réglementation des matériaux en contact avec l'eau potable

Certains matériaux et objets, lorsqu'ils entrent en contact avec eau destinée à la consommation humaine, peuvent être à l'origine de dégradations de la qualité de l'eau, d'ordre organoleptique, physico-chimique ou microbiologique. Ils peuvent engendrer un dépassement des limites ou références de qualité, voire des effets sanitaires pour les consommateurs. C'est pourquoi les matériaux et objets entrant en contact avec eau destinée à la consommation humaine font l'objet d'une réglementation visant à garantir leur innocuité en fonction de leur nature et de leur usage. Plusieurs textes normatifs et règlementaires ont été élaborés pour une meilleure gestion de l'eau de boisson.

Au niveau mondial qu'au Burundi, on peut citer la Directive de Qualité pour l'Eau de boisson de l'OMS de 1993 et 2017.

En Europe, la Directive Européenne 98/83 CE du 03/11/1998 concernant la qualité des eaux destinées à la boisson. La directive 2000/60/CE établit la réglementation sur l'utilisation des matériaux en contact avec l'eau et prévoit que « les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution au contact de l'eau destinée à la consommation humaine, ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. » C'est ainsi que les fabricants de matériaux ou d'objets doivent fournir des informations permettant de vérifier l'innocuité sanitaire de leurs produits. En outre des textes réglementaires, il existe un certain nombre de normes pour les matériaux. Ainsi, la fonte et l'acier doivent obligatoirement être revêtus intérieurement (à base de mortier de ciment, selon la norme NF A 49-701, ou à base d'un film organique tel que l'époxy–, selon la norme NF A 49-709) et extérieurement (à base de résine époxydique, selon la norme NF A 49-706) (AJUSTE, C. & al, 2004)

L'usage de matériaux organiques doit satisfaire aux essais de laboratoires approuvés par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPF) et répondre aux normes XP P 41-250-1-2-3 de l'AFNOR. Les normes réglementant le PVC (polychlorure de vinyle), le PEHD (polyéthylène haute densité) et le PRV (plastique renforcé de verre) sont respectivement NF T 54-016, NF T 54-063 et NF T 57-200 pour la réglementation française (Nihorimbere, M., 2016).

La norme ANSI/NSF 61-8 a été mise en place en vue de contrôler les éléments métalliques qui entrent dans l'eau. Tous les matériaux en contact avec l'eau doivent être préalablement soumis à cette norme. C'est ainsi que le laiton largement utilisé dans les pièces de branchements des systèmes de distribution de l'eau potable doit passer par ce contrôle (Sarver, E.A., 2010).

I.2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable

Le système d'alimentation en eau potable (AEP) est composé d'un ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires à satisfaire tous les besoins en eau potable d'une zone urbaine et industrielle. Le système d'AEP comporte différents composants dont les constructions et les installations au captage (1,3), au pompage (4), au traitement (5), au transport (2, 6, 8), au stockage (7) et à la distribution de l'eau potable (9) chez les différents consommateurs (10) (Blindu, I., 2004) (figure 1).

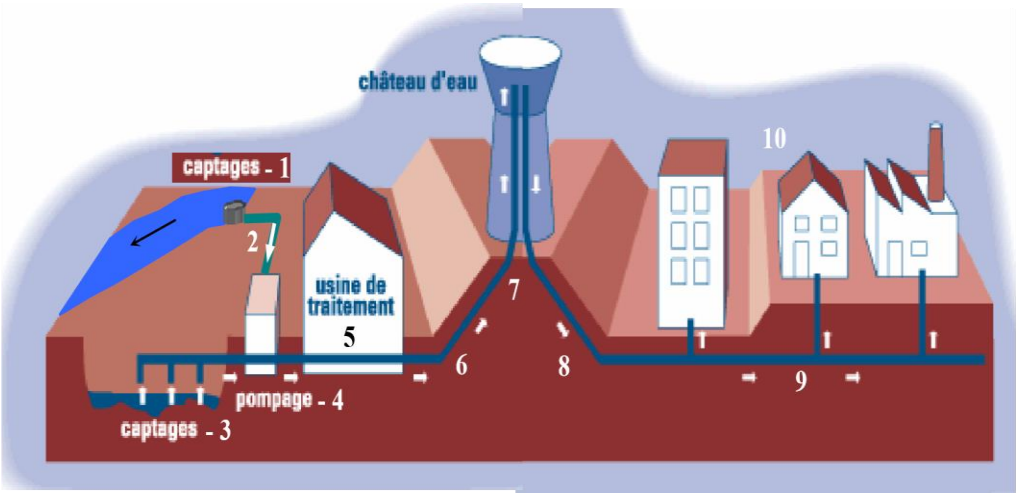


Figure 1: Système d'alimentation en Eau Potable (Blindu, I., 2004 et Nihorimbere, M., 2011).

En résumé le système d'alimentation en Eau Potable est présenté comme ci-dessous :

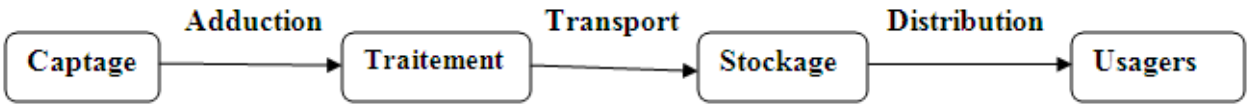


Figure 2: Les processus de production et distribution de l'eau (Bonnin, J., 1982).

I.3. Classification des réseaux de distribution

Les réseaux de distribution peuvent être classés comme suit (Medjani, F. & al, 2016) :

- Les réseaux ramifiés.
- Les réseaux maillés.
- Les réseaux étagés.
- Les réseaux mixtes.

I. 3.1. Réseau ramifié

Réseau ramifié est un réseau dans lequel la distribution ne comporte aucune alimentation en retour. Il présente l'avantage d'être économique, mais il manque de souplesse en cas de rupture car un accident en amont de la conduite prive d'eau tous les abonnés d'aval (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

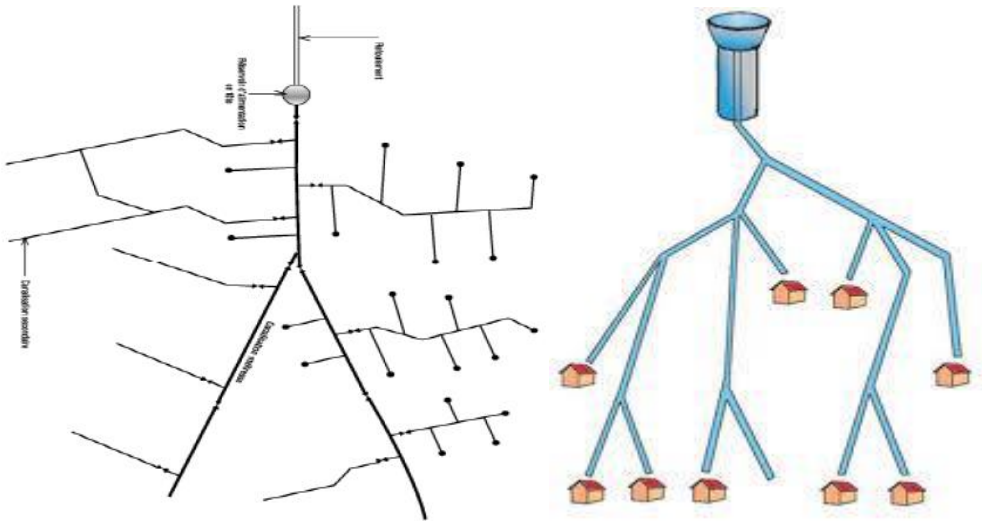


Figure 3: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable ramifié

I.3.2. Réseau maillé

Il Comporte une alimentation en retour, il remédie donc à l'inconvénient signalé dans le réseau ramifié ; une simple manœuvre du robinet permet d'isoler le tronçon accidenté et de servir les abonnés d'aval (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

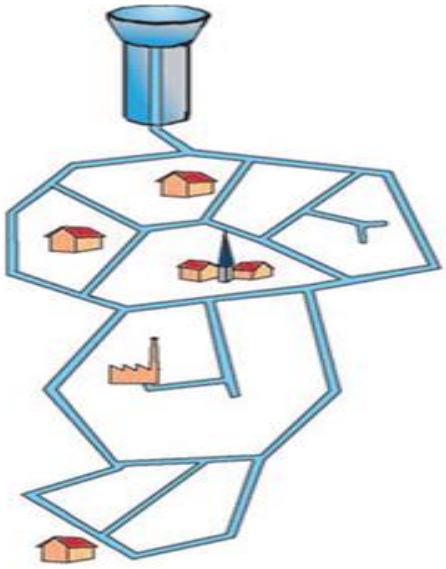


Figure 4: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable maillé

I .3.3. Réseau étagé

Il est constitué de réseaux indépendants, et permet d'éviter les hautes pressions, en cas de relief accidenté. Le réseau étagé est caractérisé par les différences de niveau très important; ce qui fait que la distribution de l'eau par le réservoir donne des fortes pressions au point le plus bas. Ce système nécessite une installation d'un réservoir intermédiaire qui permet de réguler la pression dans le réseau. Avec le réseau étagé, il est possible, de constituer des réseaux indépendants avec une pression limitée aux environs de 40 mètres d'eau (Hartem, N., 2020).

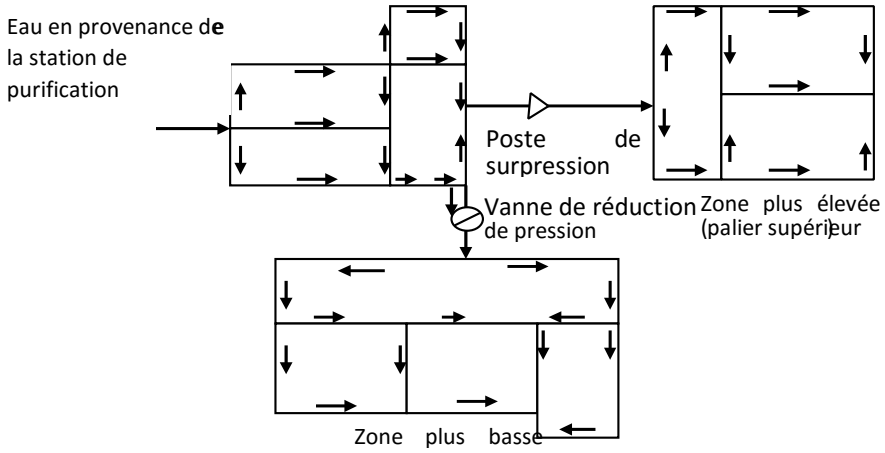


Figure 5: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable étagé

I.3.4. Réseau mixte

Un réseau est dit mixte (maillé – ramifié), lorsque ce dernier constitué une partie ramifiée et une autre maillé. Ce type de réseau est utilisé pour desservir les quartiers en périphérie de la ville par les ramifications issues des mailles utilisées dans le centre de cette ville (Seyfeddine, L. & Elhadj O., 2019).

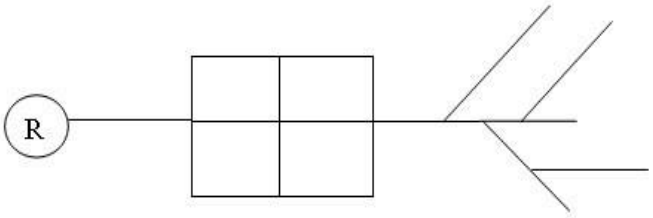


Figure 6: Schéma d'un réseau de distribution en eau potable mixte

I.4. Description du réseau de distribution

Un réseau d'alimentation en eau potable a pour fonction principale de desservir en eau potable un ensemble de points tels que : Compteurs d'abonnés, Bouches de lavage, Poteaux d'incendie. Il conditionne l'activité et le développement des agglomérations. Le réseau d'eau potable est un ensemble des circuits hydrauliques qui permettent de véhiculer l'eau potable depuis le réservoir jusqu'aux abonnés. Ce circuit peut comporter:

- ✓ Réservoirs ;
- ✓ Conduites de différents diamètres et natures ;
- ✓ Accessoires et pièces spéciales : Vannes, Té ; Coudes, Cônes de réduction, ventouse…
- ✓ Branchements.
- ✓ Ouvrages annexes (regards, bouches à clé etc…) (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

I.4.1. La distribution

La distribution est utilisée pour satisfaire les besoins quotidiens des ménages et des entreprises. Elle intervient dans les processus de production industrielle et agricole, mais aussi comme bien de consommation courant dans la vie de chacun. L'utilisation de l'eau de distribution représente avant tout un enjeu de santé publique, puisque l'eau potable est un élément essentiel de l'hygiène globale.

Les eaux distribuées doivent remplir trois conditions**:**

- Elles ne doivent pas contenir des micro-organismes, des parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ;
- Elles doivent être conformes aux limites de qualité (valeurs obligatoires) ;

Elles doivent satisfaire à des références de qualité (valeurs indicatives d'une bonne qualité mais dont le non-respect ponctuel n'engendre pas de risque pour la santé) (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

- La distribution consiste à utiliser un ensemble de conduites telles que :
    - Conduite de transfert ou feeder (Savane, M., 2012) ;
    - Conduite de distribution ;
    - Conduite de branchement (Salah, H., 2016).

I.4.2. Objectifs d'un réseau d'eau potable

En matière d'eau potable, la mission essentielle est de garantir une desserte satisfaisante de tous les usagers, du point de vue qualité, quantité, continuité de service et la pression. Il faut mentionner l'établissement d'un bon choix du tracé (passages difficiles : traversée de route, de ravin, zones rocheuses, problèmes de propriétés de terrains et d'autorisation …etc.) et du type de conduite (critères d'ordre techniques et économiques : le diamètre, la pression de service, la durée de vie, les conditions de pose et de transport, le prix et la disponibilité sur le marché) (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

I.5. Equipement du réseau de distribution

Il y a lieu de trouver en plus de conduites et des accessoires de réseaux (pièces) qui ont des fonctions variées (Ventouses, vannes, Robinets de décharge (robinets à papillon pour les conduites de gros diamètres et les robinets-vannes pour les conduites de petits diamètres), bouche d'incendie (Babahamed, S., 2021) (figure en annexe 5 et 6). Des pièces de raccordements (tés, croix, coudes), pompes et réservoirs (figure en annexe 7).

I.6. Conception du réseau

La conception d'un réseau de distribution est influencée par certains facteurs, tel que :

- Le relief ;
- La disposition du quartier ;
- Assurer un service souple et régulier ;
- L'emplacement des consommateurs principaux (Belaidi, B. & al, 2016).

I.7. Problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP

Plusieurs problèmes de différentes origines peuvent survenir dans un réseau d'AEP ; des fuites, les branchements illicites, les erreurs de compteurs, les problèmes environnementaux, pénétration de contaminants, chute de pression, des ruptures ou casses sur les conduites et leurs accessoires, les interruptions. A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de gestion du réseau.

Ces différents problèmes causent le mécontentement des consommateurs qui réagissent en déposant des plaintes sur les différents services (quantité insuffisante, qualité médiocre, interruption de l'alimentation, etc.) au niveau des services concernés (CHARIKH, Y. & DOUCENE, H., 2020).

Les différents problèmes survenant dans un réseau d'alimentation en eau potable peuvent être classés en trois grandes catégories : problèmes induisant les ruptures et les casses, problèmes induisant les fuites et les problèmes induisant la dégradation de la qualité de l'eau.

I.8. Les matériaux utilisés dans le réseau de distribution de l'eau potable

Il existe trois grandes familles de matériaux utilisés dans le réseau de distribution d'eau potable (Babahamed, S., 2021).

Il s'agit :

- des matériaux métalliques (Fonte ductile, (durée de vie100 ans) / Acier galvanisé (durée de vie 30 ans)) (annexe 2);
- des matériaux à base de ciment (annexe 3) ;
- des matériaux organiques (PVC/Polymère orienté, Polyéthylène (PE),Polyéthylène Haute Densité (PEHD), Polyéthylène basse densité (PEBD) (annexe 4).

I.9. Dysfonctionnement des réseaux d'eau et problématique des fuites

I.9.1. Introduction

Le rôle d'un gestionnaire du réseau d'eau potable est de fournir aux usagers l'eau, en quantité suffisante et de meilleure qualité possible ; pour cela il dispose d'installations visibles en surface; comme les stations de traitement, les réservoirs ainsi que des réseaux de canalisations qui sont enfouis dans le sol. Ces installations, une fois construites font l'objet de dégradations dues au temps ou à la corrosion et doivent être surveillées, contrôlées, et entretenues. L'augmentation du nombre des interventions, des casses observées sur le réseau, ainsi qu'une dégradation de la qualité de l'eau transportée représente des indicateurs du vieillissement du réseau (Nouaoui, A.E. & Eddine, S.D., 2020).

I.9.2. Les pertes d'eau

C'est certainement au niveau de la distribution que les pertes sont importantes dues:

•aux fuites sur réseau (conduites et branchements) ;
•au défaut de comptage ;
• aux branchements clandestins ;
• etc.

Les pertes d'eau peuvent atteindre 20 jusqu'à 50% de l'eau produit : il peut s'agir de fuites (défaut d'étanchéité du réseau) mais aussi de réservoirs qui débordent, de vannes de vidange mal fermées, détournement d'eau…etc. Le suivi des comptages pour contrôler les débits qui transitent dans le réseau, l'installation d'appareils de comptage aux endroits stratégiques est indispensable. Le suivi de ces instruments de mesure permet à l'exploitant de détecter rapidement toute anomalie sur le réseau**.** La réparation des fuites après avoir localisé précisément la fuite, l'exploitant réalise la réparation des éléments défectueux : conduites, branchements, appareils de robinetterie. Ce sont en général des opérations délicates car réalisées souvent dans des conditions difficiles. Il faut donc veiller à la fois à garantir la pérennité de réparation et éviter les risques de contamination de l'eau potable lors de l'intervention (Salah, H., 2016).

I.9.3. Définition d'une fuite

L'écoulement du fluide sous pression à travers un orifice est appelée une fuite. Elle engendre des vibrations mécaniques et acoustiques dues aux fluctuations de la pression du fluide dans la conduite. Ces vibrations ont une fréquence variable de 100 à 3500 Hz et se propage avec une atténuation plus ou moins rapide le long de la conduite et dans sol. Les fuites se produisent dans différents éléments du réseau de distribution d'eau (conduites de transmission, conduites de distribution, branchements, raccords, vannes, et bouches d'incendie).

Elles présentent à la fois des pertes conséquentes pour l'économie nationale, et un danger néfaste sur la santé publique (Salah, H., 2016).

I.9.4. Cause des fuites

D'une façon générale, pour les réseaux de distribution d'eau, les fuites sont la source essentielle des pertes en eau. Ces fuites proviennent essentiellement d'un défaut d'étanchéité des canalisations et des divers accessoires. Les origines de ces fuites sont diverses : Conditions initiales de pose, choix des matériaux, technique de raccordement, soin apporté aux travaux ainsi que la nature du terrain : la fonte ductile non protégée est sensible à un sol corrosif (Salah, H., 2016).

I.9.5. Débits de fuites

Les fuites sont caractérisées quantitativement par le débit du fluide qui s'échappe du confinement. Il s'exprime par le volume qui circule à travers les fuites par unité de temps (l'unité légale étant le mètre cube par seconde (m^3/s)) (Salah, H., 2016).

Trois grandes familles de fuites peuvent être distinguées, par débit de fuite décroissant :

- les fuites visibles, ce sont des fuites dont la présence est visible en surface (écoulement, excavation, etc.) ;
- les fuites détectables non-visibles, ce sont des fuites non-visibles que l'on peut détecter avec les moyens usuels d'investigation ;
- les fuites diffuses, ce sont des fuites qui ne peuvent pas être localisées du fait de leur faible débit.

I.9.6. Le Vieillissement d'un réseau d'eau

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps, celle-ci donnant lieu, soit à certains dommages, soit au mauvais fonctionnement hydraulique du réseau (Nouaoui, A.E. & Eddine, S.D., 2020).

I.9.7. Actions de réduction des fuites

La formulation du volume de fuite permet d'identifier les facteurs sur lesquels il est possible d'agir pour réduire le volume des fuites et de faire le lien entre ces facteurs et les types d'actions de lutte contre les fuites (Renaud, E. & al, 2012).

Il existe quatre familles d'actions pour lutter contre les pertes :

- La recherche active de fuites : elle permet de réduire les pertes dues aux fuites détectables non-visibles ;
- La rapidité d'intervention : elle permet de réduire les pertes dues aux fuites visibles ou détectées en réduisant leur temps d'écoulement ;
- Le contrôle de la pression : elle permet de réduire les pertes dues aux fuites de tous types en réduisant leur débit d'écoulement, elle permet par ailleurs de réduire le nombre de casses ;
- La gestion patrimoniale ciblée (renouvellement ou le potentiel de réduction des fuites).

I.9.8. Les éléments influençant l'apparition des fuites

I.9.8. 1. Les éléments propres à la canalisation

La durée de vie d'une conduite dépend du matériau constructif, de ses dimensions (diamètre, épaisseur de la paroi, types de joint), de ses résistances aux efforts internes et externes qui s'y appliquent et du processus de corrosion qui se développe (Eisenbeis, P. ,2004).

La corrosion interne

La corrosion est toujours le résultat de la présence simultanée de deux agents : le métal et le milieu corrosif qui est l'eau dans le cas de la corrosion interne. La corrosion interne est régie par de nombreux facteurs :

• La vitesse de l'eau peut avoir une influence sur les zones de dépôt.

• Quand le pH d'équilibre n'est pas atteint, l'eau est alors agressive favorisant cette corrosion qui est particulièrement importante pour les tuyaux en acier.

• Si l'équilibre calco-carbonique de l'eau n'est pas atteint, il se produit soit une diminution d'épaisseur de la paroi de la canalisation (eau agressive), soit une diminution de la section de la canalisation (eau incrustante).

Les principales conséquences de la corrosion interne sont la modification des diamètres des canalisations, la dégradation de la qualité de l'eau transportée et les capacités hydrauliques de la conduite (Merzouk, N. 2005).

I.9.8. 2. Les éléments extérieurs aux réseaux

La corrosion externe correspond à l'échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite et peut avoir diverses origines: les courants vagabonds, l'hétérogénéité par contact, l'hétérogénéité de surface, l'hétérogénéité du sol, les charges du terrain sous l'appellation charges des terrains (Blindu, I., 2004 ; Merzouk, N., 2005).

I.9.8.3. Les éléments liés à l'exploitation des réseaux

Les éléments liés à l'exploitation du réseau sont la vitesse de l'écoulement, la pression, la température de l'eau, les conditions d'exploitation, les conditions d'exploitation et les manœuvres sur réseau (MERZOUK, N., 2005):

I.9.9. Les manifestations des fuites

Les symptômes des fuites peuvent êtres multiples tels que :

• Le non concordance des volumes mesurés sur les compteurs;

• L'anomalie dans la distribution, bruits anormaux sur les réseaux ;

• L'affaissement des terrains;

• La présence de végétation anormalement développée ;

• Les terrains humides par temps sec ;

• L'arrivée de l'eau claire dans les égouts ;

• La baisse anormale du niveau d'eau dans le réservoir ;

• L'humidité anormale sur la chaussée.

I.9.10. Défaillances des AEP

Les réseaux de canalisation, comme toutes les autres installations des AEP, font l'objet de dégradation temporelle, des conditions de pose et la corrosion. Ils doivent être surveillés, contrôlés, entretenus et renouvelés. La détérioration des conduites est accélérée en cas de combinaison des phénomènes de dégradation tels que les contraintes mécaniques, la corrosion (interne et externe), les surpressions et bien d'autre. Un réseau est considéré vieilli lorsque le nombre d'interventions et de casses sur le réseau augmentent et la qualité de l'eau transportée se dégrade (Bouaziz, M.A., 2016).

I.10. La maintenance du réseau

Pour garantir un service de qualité soucieux d'une utilisation raisonnée de la ressource et des dépenses publiques, il faut donc assurer le contrôle des accessoires de réseau, les appareils de robinetterie et fontainerie placés sur le réseau demandent un entretien périodique destiné à vérifier leur fonctionnement. La fréquence des opérations de maintenance dépend de chaque appareil, de ses conditions d'utilisation ainsi que de la nature de l'eau (Salah, H., 2016).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Catre du réseau et matériaux : Logiciel de géolocalisation

Le réseau est configuré par le logiciel ArcGis qui est un logiciel d'information géographique qui a été développé par la société américaine ESRI ainsi que les matériaux le constituant. Le réseau de Bujumbura est subdivisé en trois communes telles que MUHA, NTAHANGWA et MUKAZA appelées secteurs.

II.2. Détection des fuites

Pour détecter les fuites, on place à chaque entrée du quartier un macro compteur qui permet de déterminer le volume d'eau entrant. La somme des volumes sur les compteurs des consommateurs permet de constater s'il y a eu des fuites ou pas et l'appareil acoustique appelé PRIMAYER est utilisé pour localiser l'endroit où la fuite est apparue (figure 7).



Figure 7: Primayer, appareil acoustique de détection des fuites.

Le débitmètre est aussi utilisé pour déterminer le volume d'eau qui circule dans une conduite (figure 9).



Figure 8 : Montage d'un débitmètre

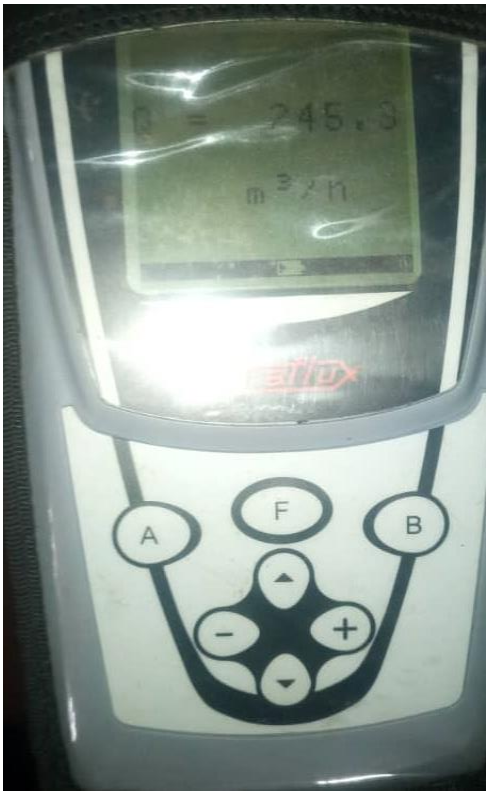


Figure 9: Débitmètre

La consultation des documents de la REGIDESO et surtout les rapports mensuels sur les fuites détectées et réparées m'a permis de déterminer la fréquence des fuites dans le réseau. Le traitement des résultats a été effectué avec le logiciel Excel.

II.3. Analyses physico-chimiques de la qualité de l'eau

Trois échantillons (eau brute, eau traitée et eau du réseau) pour l'analyse des paramètres physico chimiques tels que pH, conductibilité, chlore résiduel, plomb, fer, cuivre, cadmium, zinc et manganèse ont été prélevés en décembre 2022 et les analyses ont été effectuées au laboratoire physico-chimique de la REGIDESO.

- Le pH a été mesuré par le pH-mètre à électrode modèle HANNA HI,
- Les mesures de la température se font à l'aide d'un thermomètre,
- La conductivité se mesure en micro-siemens par centimètre (µS/cm) et s'effectue à l'aide d'un conductimètre,
- La mesure de la concentration en chlore dans l'eau est effectuée au moyen de l'instrument appelé comparateur
- Les autres paramètres (plomb, fer, cuivre, cadmium, zinc et manganèse) sont analysés à l'aide du spectrophotomètre DR 6000.

Principe de mesure des paramètres par le spectrophotomètre DR 6000

Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ d'intensité Io, traverse une solution à analyser, il subit une absorption et sort avec une intensité affaiblie I. Cette diminution d'intensité est due à l'absorption d'une ou plusieurs fréquences par le milieu traversé. De la proportion d'intensité lumineuse absorbée par la solution, et donne la concentration C (mg/l) de la substance absorbante.

L'intensité I du faisceau transmis suit la loi de Beer-Lambert selon laquelle :

$A = \log Io/I = €.C.l$

Avec A: absorbance, Io: intensité de la radiation incidente, I: intensité de la radiation transmise, €: coefficient d'extinction molaire, C: concentration et l: longueur de la cellule d'absorption.



Figure10 : spectrophotomètre DR 6000

❖ **Les modes opératoires**

- **Dosage du fer**

A un échantillon de 5 ml mis dans une éprouvette, nous avons ajouté 3 goutes d'un réactif Fe_1 près dosé puis mélanger. Ensuite nous avons laissé reposer pendant 3 minutes avant d'introduire l'échantillon dans la cuve et lire la concentration à l'aide du photomètre.

- **Dosage du manganèse**

A un échantillon de 5 ml mis dans une éprouvette, nous avons ajouté 4 goutes d'un réactif Mn_1 près dosé et mélanger, puis 2 goutes du réactif Mn_2 et mélanger. La solution est reposé pendant 2 minutes avant d'ajouter et mélanger 2 goutes du réactif Mn_3. Ensuite nous avons laissé reposer 10 minutes avant d'introduire l'échantillon dans la cuve et lire la concentration à l'aide du photomètre.

- **Dosage du plomb, cuivre, cadmium et zinc**

Un réactif CRACK SET 10 combiné à un thermo réacteur a été utilisé et sert à déterminer la concentration des ions métalliques dissouts. On effectue aussi la minéralisation au cours de la préparation des échantillons.

❖ **Mode opératoire**

A un échantillon de 10 ml mis dans une éprouvette, nous avons ajouté 1 goute du réactif R_1 et mélangé. Ensuite nous avons ajouté, bouché et mélangé 1 goute du réactif R_2 avant de chauffer le tube pendant une heure à 120^{o}C, puis refroidir le tube à l'air jusqu'à une température ambiante afin d'ajouter et mélanger un réactif R_3. En fin, nous avons reposé 10 minutes avant introduire l'échantillon dans la cuve et lire la concentration à l'aide du photomètre.

- **Dosage du chlore résiduel**

Lorsque le chlore est ajouté à l'eau, il détruit la matière organique et les bactéries. Si le chlore est ajouté suffisamment, une partie restera dans l'eau une fois que tous les organismes sensibles au chlore seront éliminés. Ce qui reste est appelé chlore résiduel libre. Si l'eau testée contient du

chlore résiduel libre, cela prouve que les organismes les plus dangereux ont été éliminés (DIOP, C. & Al, 2019).

- **Mode opératoire**

Prendre un échantillon de l'eau dans un tube à essai, ajouter une pastille de DPD (diethyl paraphenylene diamine) qui réagit avec le chlore présent dans l'eau pour former une teinture rouge. L'intensité de la couleur est comparée visuellement à celle d'une échelle de couleur. Plus la couleur est foncée, plus la teneur de l'eau en chlore résiduel est élevée (Reed, R., 2013).

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

Les résultats sont synthétisés dans les tableaux, représentés sous forme des figures et des histogrammes et commentés sous forme de paragraphes.

III.1. Présentation du réseau eau de Bujumbura

III.1.1. Présentation du réseau eau de la commune MUKAZA

La figure 11 illustre le réseau eau de la commune MUKAZA qui est un réseau ramifié.

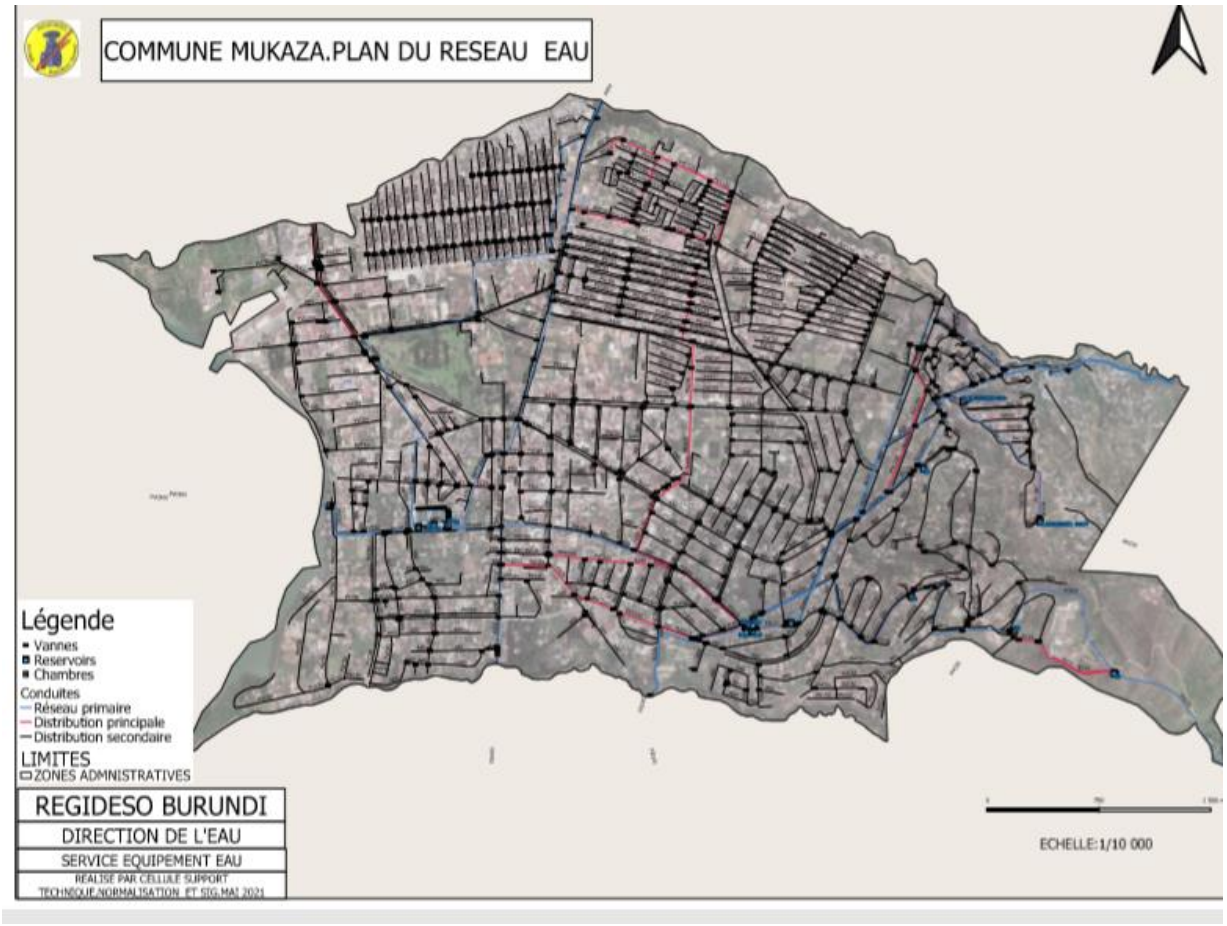


Figure 11: Réseau eau de la commune MUKAZA

III.1.2. Présentation du réseau eau de la commune MUHA

La figure 12 illustre le réseau eau de la commune MUHA qui est aussi un réseau ramifié.

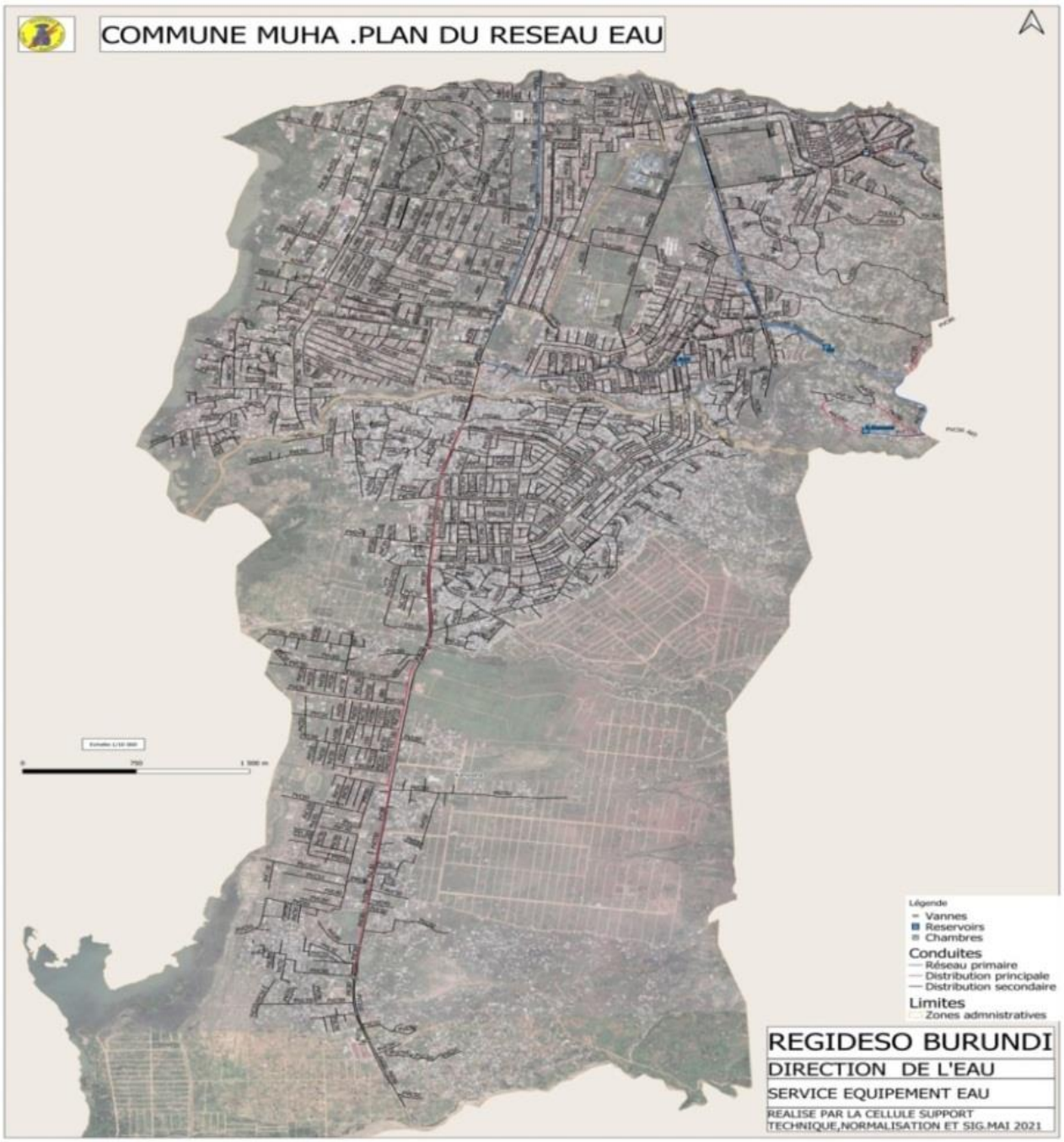


Figure 12: Présentation sectoriel du réseau de la commune MUHA

En se basant sur le classement des réseaux, avec ces représentations du réseau de Bujumbura et comme le montre sur la légende, on a les conduites principales sur lesquelles sont branchées les conduites primaires qui sont encore reliés avec les conduites secondaires. Cela permet de conclure que le réseau présenté ci haut est de forme ramifiée.

III.2. Données générales pour les matériaux du réseau de Bujumbura

La longueur totale des canalisations (hors branchement) servant à l'adduction en eau potable est estimée à 720km environ. La répartition des matériaux est approximativement la suivante (figure13) : 79,16% de PVC, environ 0.065% de PE, 0.27% de PEHD, 3,25% environ de fonte ductile, 1.21% d'éternité et environ 15,96% d'acier**.** Ces données sont récoltées au service Equipement Eau plus précisément à la cellule Support Technique et SIG de la REGIDESO.

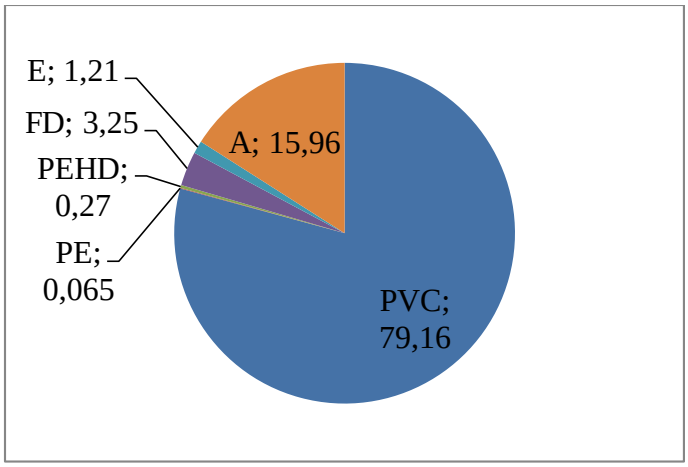


Figure 13: Matériaux utilisés dans le réseau de distribution Bujumbura (hors branchement)

Il est clair que le réseau eau de la Bujumbura est constitué majoritairement par les matériaux plastiques (79.16%), (figure 13).

III.3. Les fuites dans le réseau eau de la ville de Bujumbura

Les fuites les plus souvent observées dans le réseau sont de quatre origines (tableau 2): usures normales, mauvais collages**,** déboitement et usure des réducteurs

Pour déterminer la fréquence des fuites ; trois années successives selon les données disponibles dans les rapports mensuels ont été traitées (Tableau I).

Tableau I: Synthèse des données sur les fuites du réseau eau de Bujumbura détectées et réparées

	Mois / Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Tot
Fuites	2018	419	506	399	510	619	621	408	478	388	311	376	428	5213
	2019	656	366	512	652	562	505	500	495	552	516	508	508	6332
	2020	468	360	527	547	509	512	525	513	502	515	514	523	4921

Les figures 14, 15 et 16 montrent un aperçu de la répartition de la fuite toutes les 3 années successives.

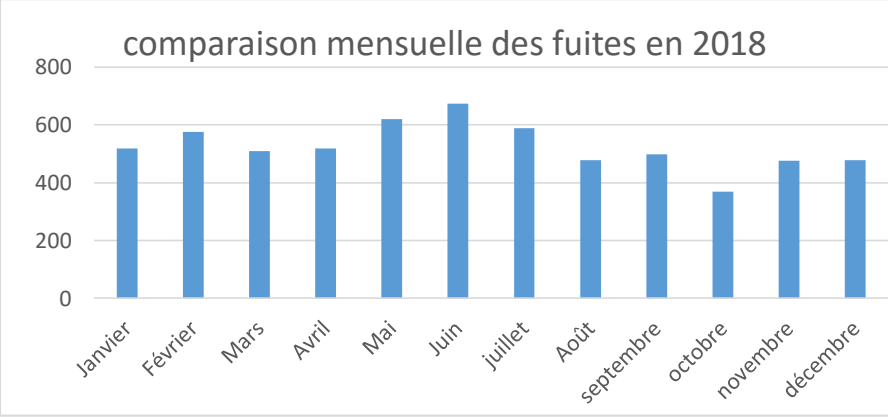


Figure14: Comparaison mensuelle des fuites en 2018

D'après la figure 14, les mois de mai et de juin montrent des valeurs les plus élevées de fuites.

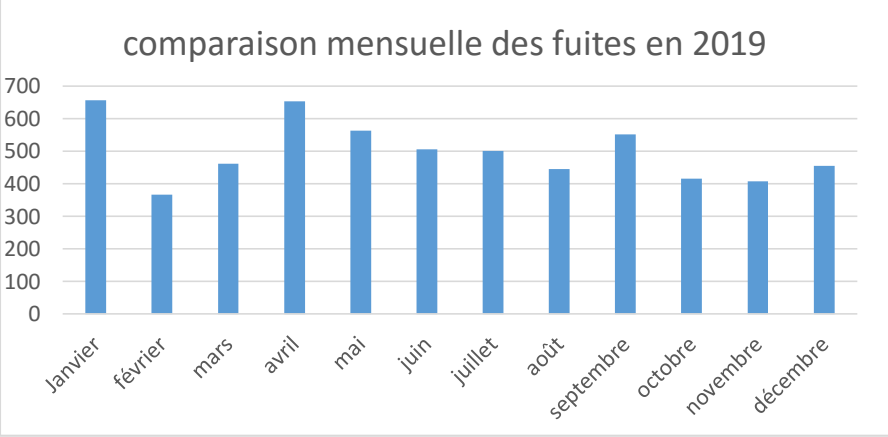


Figure 15: Comparaison mensuelle des fuites en 2019.

D'après les données de la figure 15, nous constatons que les mois de janvier et Avril ont eu lieu plus de 600 fuites pour l'année 2019 et en février, 366 fuites ont été enregistrées comme nombre le plus bas cette année.

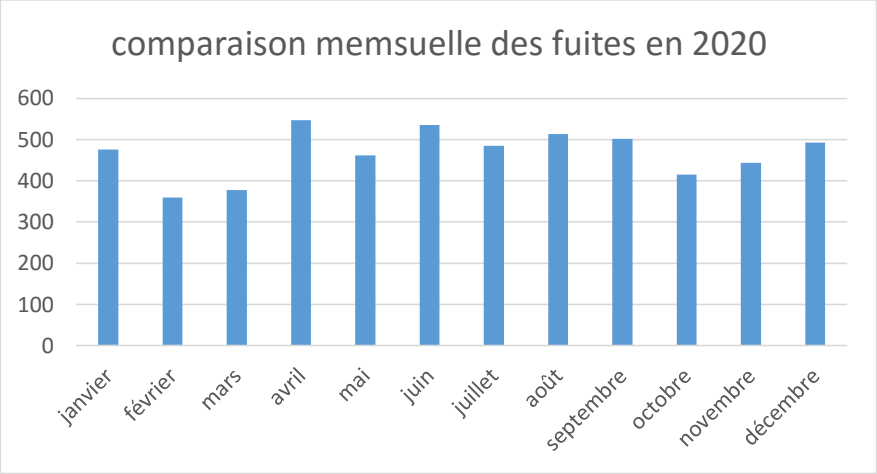


Figure 16: Comparaison mensuelle des fuites en 2020

D'après la figure 16, 547 fuites ont été rapportés au mois d'Avril 2020 (valeur élevée) et 377 fuites au mois de Mars (valeur minimale). Nous constatons une légère diminution pour cette année 2020.

D'après les données du tableau I, nous avons constaté un nombre important des fuites aux mois de mai et juin s'élevant respectivement à 619 et 673 fuites en 2018 et Janvier (656) et Avril (652) en 2019. L'an 2020, le nombre de fuites a diminué tournant autour de 547 fuites au mois d'Avril.

Tableau II: Apport des fuites sur les matériaux métalliques du réseau eau de Bujumbura

Année	Nombre total des fuites	Fuites sur les matériaux métalliques	Les causes des fuites
2018	5213	532	-usure normale -mauvais collages -déboitement (casse) -usure des réducteurs
2019	6332	638	
2020	4921	401	
Total	16466	1571	

D'après les données du tableau II, nous constatons que les fuites sur les matériaux métalliques sont importantes (en moyenne 10% de 2018 à 2020) puisque les matériaux métalliques sont trop chers et ne devraient pas avoir des fuites. On remarque également une diminution du nombre de fuite en 2020.

III.4. Les Résultats des Analyses Physico -Chimiques.

Les résultats des analyses physico-chimiques sont regroupés dans le tableau III et sont comparés aux normes de l'OMS.

Tableau III : Les résultats des analyses physico chimiques comparés aux normes de l'OMS (Boumelta, Z. & Al, 2021)

NATURE DE L'EAU / PARAMETRES	EAU BRUTE	EAU TRAITEE	EAU DU RESEAU	**NORMES DE L'OMS**
pH	8,57	8,50	8,59	**6,5-8,5**
Conductibilité en µS/cm	651	644	648	**<2100**
Chlore en mg/l		0,3	0,10	**0,2-0,5**
Fe en mg/l	0,05	0,00	0,02	**<0,3**
Mn en mg/l	0,05	0,00	0,00	**<0,05**
Cu en mg/l	2	0,00	0,00	**<2**
Pb en mg/l	0,00	0,00	0,00	**<0,01**
Cd en mg/l	0,00	0,00	0,00	**<0,003**
Zn en mg/l	0,01	0,00	0,00	**<3**

III.5. Rendement du réseau eau de la ville de Bujumbura

Pour déterminer le rendement du réseau de Bujumbura, les données ont été trouvées dans un rapport de 2020 donné par l'entreprise ITRON en collaboration avec une équipe de la REGIDESO. Ce rapport concernait le rendement des années 2017, 2018 et 2019 (tableau III).

Tableau IV: Rendement du réseau et les fuites y relatives (Rapport de ITRON/ REGIDESO, 2020)

Année	Volume produit en m^3	Volume vendu en m^3	Pertes en%
2017	41297068	20235563	51%
2018	41687828	22928303	45%
2019	40718120	24430872	40%

D'après les données du Tableau III, les pertes du volume d'eau sont importantes mais vont-en decrescendo**.**

La figure 17 fait une comparaison annuelle des pertes en eau sur les 3 années successives.

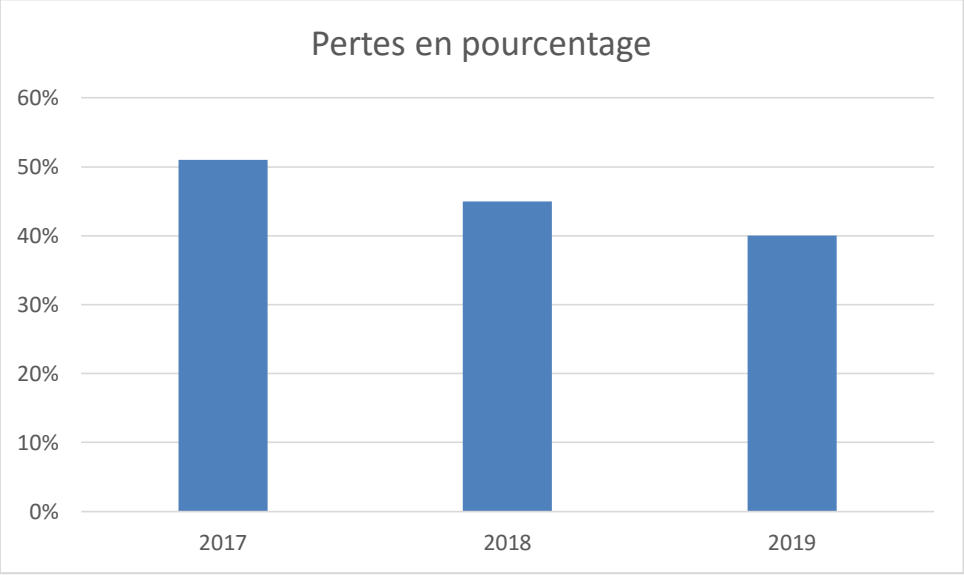


Figure 17: Comparaison annuelle de perte en eau.

D'après la figure 17, des pertes sont importantes en 2017 (51%) et vont en décroissant en 2018 (46%) et 2019 (40%). Ceci est certainement dû aux travaux d'entretien réalisés au cours de cette période. Avec cette diminution des fuites de 5,5%, on peut prédire qu'en dix ans, le rendement pourrait atteindre 100% si la fréquence de réduction des fuites reste constante.

III.6. Discussion des résultats

Selon la présentation du réseau eau de deux communes de la Mairie de Bujumbura et compte tenu de la littérature, le réseau de distribution d'eau potable de Bujumbura est du type ramifié. Il présente l'avantage d'être économique, mais en cas d'un accident en amont de la conduite, il prive d'eau tous les abonnés en aval (Charikh, Y. & Doucene, H., 2020).

Les matériaux plastiques (79,16 %) occupent une place très importante. Cela est en concordance avec les résultats d'une étude sur l'AEP français qui indique que la majorité des conduites sont en PVC car ils sont plus légers et très résistants à la corrosion (Husson, A. & al, 2020). Les matériaux métalliques (acier 15,96% et fonte 3,25%) occupent une place moins importante parce qu'ils doivent être protèges contre la corrosion à la fois à l'extérieur par des revêtements thermoplastiques ou thermodurcissables, parfois renforcés par une protection cathodique et à l'intérieur par un revêtement en ciment. Par conséquent le coût devient élevé (Anne, L.G. 1999).
Certaines canalisations, branchements ou autres organes du réseau, connaissent une fréquence élevée d'apparition des fuites, leur réhabilitation ou leur renouvellement permet de limiter le nombre de fuites et donc réduire les volumes perdus. Il est nécessaire de minimiser les pertes en eau de telle façon à augmenter le rendement du réseau d'AEP. La maîtrise de ses pertes physiques implique donc, de la part des distributeurs d'eau, une stratégie de lancer un programme de recherche de fuites et de gestion de pression à court terme mais aussi un combat à long terme de renouvellement et d'entretien du réseau (Hartem, N., 2020).

Les résultats montrent que les pertes d'eau dans le réseau ont diminué considérablement sur la période étudiée. Cette diminution est certainement due aux travaux de réhabilitation qui sont réalisés au cours de cette période (2017- 2019). Donc, il y a la retombée positive sur les fuites, ce qui a impacté positivement le rendement du réseau.
Selon le chercheur HANTAZ Salah, les pertes d'eau peuvent atteindre 20 jusqu'à 50%. Ainsi, les pertes d'eau dans les réseaux s'établissent autour de 50 % en Algérie (Masmoudi, R. & al, 2008). Donc le réseau de la ville de Bujumbura affiche un comportement habituel aux réseaux d'eau potable et qui, par conséquent nécessite une amélioration pour avoir un meilleur rendement. Pour cela, les actions de lutte contre les fuites présenteraient un intérêt particulier et occasionneraient

une efficacité dans l'exploitation et dans la gestion du réseau à travers le contrôle de la pression et la recherche suivie par la réparation active de ces fuites (Renaud, E. & al, 2012).

Les valeurs du pH dans cet étude sont de 8,50 pour eau traitée, 8,57 pour eau brute et 8,59 pour eau du réseau. Ces valeurs sont légèrement supérieures aux valeurs admises par les normes de OMS, marocaines et européennes à savoir : 6,5 <pH< 8,5 (OMS, 2017 ; OBAHORIN, H.A.A., 2008 ; Chougar, L., 2015). L'effet du pH sur la solubilité des sous-produits de la corrosion joue souvent un rôle clé dans la détermination de la concentration des métaux dans l'eau du robinet. Il convient de souligner à cet égard que la solubilité des sous-produits de la corrosion diminue habituellement à mesure que le pH de l'eau augmente (Virkutyte, J. & Sillanpää, M., 2006).

La conductivité reflète la teneur des métaux et des sels minéraux dans l'eau, elle augmente avec la teneur en éléments conducteurs, notamment les métaux et les ions minéraux**.** En effet, plus la conductivité augmente plus la teneur en métaux augmente (Boumelta, Z. & al, 2021).

On remarque l'absence des métaux dans l'eau potable produite et distribuée par la REGIDESO (les résultats présentés au tableau III) qui est expliquée par la réhabilitation continue du réseau dans le but de remplacer les conduites métalliques. Ainsi le pH montre que cette eau est basique et proche à la neutralité, ce qui veut dire que la solubilité des sous-produits de la corrosion est faible.

La valeur de la concentration en chlore résiduel est de 0,1mg/l pour eau du réseau et 0,3 mg/l pour eau traitée. En effet cette valeur doit être comprise entre 0,2 à 0,5 mg/l. une valeur inférieure à 0,2mg/l ne sera pas efficace pour détruire les microorganismes et celle supérieure à 0,5mg/l peut causer la corrosion des conduites (OMS, 2017).

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMENDATIONS

Ce travail a pour objet de repérer les matériaux qui peuvent être à l'origine d'un mauvais rendement du réseau de distribution d'eau potable.

Nous avons commencé par les généralités des réseaux qui nous ont permis de connaitre l'organisation du réseau d'alimentation en eau potable des deux communes de la ville de Bujumbura. On a exposé les différents réseaux de distribution et nous avons décrit les éléments de réseau, le choix de conduites et les types de matériaux sont éclaircis. On a montré que les problèmes rencontrés dans notre réseau d'AEP de notre zone d'étude sont de trois grandes catégories telles que les problèmes induisant les ruptures et les casses, ce qui n'épargne pas la dégradation de la qualité de l'eau.

La présentation du réseau de la ville de Bujumbura montre qu'il s'agit d'un réseau ramifié. Ce dernier présente l'avantage d'être économique. La géolocalisation facilitée donne une idée sur le choix des matériaux à utiliser pour faciliter la gestion du réseau. Parmi les matériaux métalliques, la fonte ductile a une durée de vie plus longue atteignant même 100 ans alors que l'acier galvanisé ne dépasse pas 30 ans et présente beaucoup des fuites. Ensuite, l'acier est plus souvent attaqué par la corrosion qui dégrade la qualité de l'eau. Quant aux matériaux organiques, les PVC présentent une grande durabilité. Cela permet de réduire significativement les pertes dues à des fuites d'eau causées surtout par le vieillissement des conduites. Le logiciel ArcGis a permis d'identifier les différents matériaux utilisés dans les réseaux de la ville de Bujumbura (conduites sans branchement) qui présentent une longueur allant aux environs de 720km. La répartition des matériaux est la suivante : 79,16% de PVC, environ 0.065% de PE, 0.27% de PEHD, 3,25% environ de fonte ductile, 1.21% d'éternité environ et 15,96% d'acier galvanisé.

Le dosage par spectrométrie a été utilisé pour doser les éléments métalliques (Fe, Cu, Pb, Cd, Zn et Mn). Les résultats ont montré l'absence de métaux dans l'eau qui est expliquée par les valeurs du pH et de la conductibilité dans l'eau potable de la REGIDESO qui montrent que cette eau alcaline par conséquent la corrosion des conduites n'est pas importante.

De ce qui précède, nous recommandons à la REGIDESO ce qui suit :

- De faire des prélèvements en amont et en aval des conduites de distribution afin d'évaluer les modifications et les impacts de la corrosion sur la composition chimique de l'eau.
- De veiller aux défauts de conception des matériaux au moment de leur réception.
- D'éviter les mauvais alignements à l'origine des lacunes au niveau des joints et les serrages excessifs des boulons.
- D'établir des normes règlementaires nationales sur les matériaux en contact avec eau potable selon la nature du milieu de pose d'une conduite et d'autres accessoires.
- D'avoir un laboratoire et un atelier de contrôle de la qualité des matériaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AJUSTE, C., BERLAND, J.M. and CELERIER, J.L., 2004. Réhabilitation/remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale. Document technique hors-série, (10).
2. Anne, L.G., 1999. Matériaux utilisés pour les canalisations aep: influence sur la qualité de l'eau.
3. BABAHAMED, S., 2021. Polycopié de cours Hydraulique Appliquée: Les systèmes de distribution en eau potable.
4. Bawa L.M., Tchakala I., Djanéyé-Bouindjou G., 2008. Détermination de la demande en chlore des eaux de puits et de forages d'un quartier périurbain de la ville de Lomé : incidence sur la désinfection. Journal des Sciences et Technologie, *J. Sci. Technol*, Vol.7, n° 2 pp. 19– 24.
5. Belaidi, B., Bendahmane, I. and Azizi, A., 2016. Etude du réseau d'alimentation en eau potable de la commune d'AFIR (w) de Boumerdes (Doctoral dissertation, université Abderahmane Mira).
6. Blindu, I., 2004. Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne; Université Jean Monnet-Saint-Etienne).
7. BONNIN J. (1982). Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Édition Eyrolles. France.
8. Bouaziz, M.A., 2016. Sécurité des réseaux d'adduction d'eau potable en présence de défaut superficiel sous l'effet du phénomène de coup de bélier (Doctoral dissertation, Université de Lorraine; Université de Sfax (Tunisie)).
9. Boumelta, Z., Boubekeur, H., Bouali, Y. and Chebab, S.E., 2021. Evaluation de la contamination métallique de certaines sources d'eau potable dans la wilaya de Jijel (Doctoral dissertation, Université-Jijel-).
10. CHARIKH, Y., & DOUCENE, H., 2020. Implémentation d'un système de détection De fuite autour d'un système de traitement De signal numérique (Doctoral dissertation, Univ M'sila).

11. Chougar, L., 2015. Traitement physico-chimique & bactériologique de l'eau d'alimentation de la commune de Beni Douala (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
12. DIOP, C., TOURE, A., CABRAL, M., THIANDOUM, M. and FALL, M., 2019. Évaluation des pratiques de potabilisation des eaux de boisson en zone rurale: cas de Sindia au Sénégal. Afrique SCIENCE, 15(3), pp.253-260.
13. Duchesne, S., Bouzida, N., Chahid, N. and Villeneuve, J.P., 2012. Modélisation de la corrosion des conduites d'eau potable en fonte de la ville de Québec.
14. Eisenbeis, P. (2004). Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable. Thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur. France.
15. Godet, J.L. and Leroy, P., 1997. Matériaux des réseaux publics en contact avec l'eau: Influence sur la qualité de l'eau. In General association of municipal hygienists and technicians. 77th Congress (pp. 315-332).
16. GOURBEYRE, Y., NGO, L., OBERTI, S., LUCATELLI, J. and JOLY, F., Corrélation entre des prélèvements terrains et des lois de cinétique de corrosion externe des fontes grises dans les sols.
17. Gourlaouen, C., 2016. Modélisation des débits de nuit des secteurs d'eau potable dans le but d'évaluer l'efficacité des actions de réduction des pertes (Doctoral dissertation, Ingénieur ENGEES Strasbourg).
18. Hartem, N. 2020. Etude des pertes d'eau dans les réseaux d'eau potable (cas réseau de la commune de Bendjerrah).
19. Husson, A., Le Gat, Y., Vacelet, A., Stricker, A.E., Brejoux, E. and Renaud, E., 2020. Évaluation du patrimoine des réseaux d'eau potable français dans le but d'améliorer la conduite des politiques publiques de gestion patrimoniale. Techniques Sciences Méthodes, 5, pp.31-44.
20. Kahoul, M., & Touhami, M., 2014. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (19).
21. Kahoul, M., Derbal, N., Alioua, A., & Ayad, W., 2014. Evaluation de la qualite physico-chimique des eaux de puits dans la region de Berrahal (Algerie). LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (18).

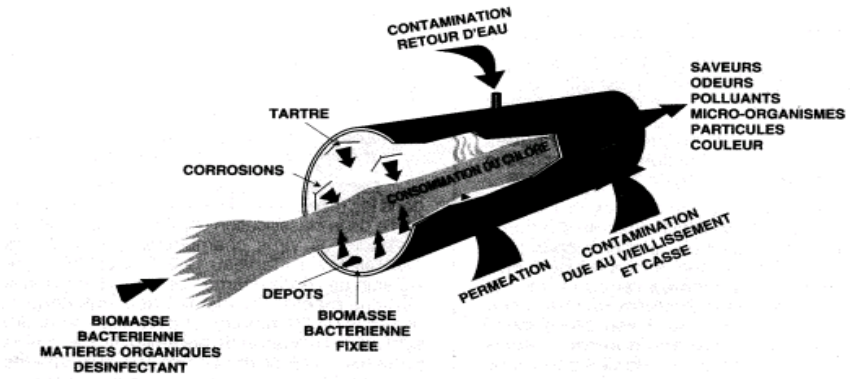
22. Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A. and Shah, A.Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Ecotoxicology and environmental safety, 72(2), pp.301-309.
23. KRUMB WEREY, C.A.T.Y., 2000. Politiques de renouvellement des reseaux d'eau potable (Doctoral dissertation, Université Louis Pasteur (Strasbourg) (1971-2008)).
24. Medjani, F., Ougouadfel, A. and Benzerra, A., 2016. Etudes d'un réseau d'alimentation en eau potable d'assainissement des eaux usees des villages" rodha, et tazribt (Doctoral dissertation, université Abderahmane Mira).
25. Mercier, C., 2000. Étude de l'efficacité des inhibiteurs de corrosion à base de phosphates en réseau de distribution d'eau potable. École Polytechnique de Montréal.
26. MERIEM, G.W.R., 2020. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa, Newara) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
27. MERZOUK N. (2005). Méthodologie de détection et de localisation des fuites dans un réseau d'eau potable dans les petites et les moyennes collectivités. Thèse de Doctorat de l'université d'Artois en collaboration avec l'école des mines de Douai. Franc.
28. Nihorimbere, M., 2011, Etude de la corrosion des alliages de cuivre-zinc : cas des pièces de branchement
29. Nihorimbere, M., 2016. Etude d'inhibition de la corrosion du laiton dans les systèmes d'alimentation en eau potable, mise au point et essais des nouveaux inhibiteurs écologiques.
30. Nouaoui, A.E. and Eddine, S.D., 2020. Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville EL-EULMA (ZONE I) par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques (Doctoral dissertation, Univ M'sila).
31. OBAHORIN, H.A.A., 2008. Effet de la stagnation sur les métaux lourds dans l'eau potable de rabat: développement analytique.
32. OMS, 2017, Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]
33. Poinard, D., 2006. Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable (Doctoral dissertation, Lyon, INSA)
34. Rapport annuel, 2016, REGIDESO BURUNDI.

35. Reed, R., Godfrey, S., Kayaga, S., Reed, B., Rouse, J., Fisher, J., Vilholth, K. and Odhiambo, F., 2013. Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies.
36. Renaud, E., Clauzier, M., Nafi, A., Werey, C. and Wittner, C., 2009. Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable: année 2009 (Doctoral dissertation, irstea)
37. Renaud, E., Clauzier, M., Sandraz, A.C., Pillot, J. and Gilbert, D., 2014. Introducing pressure and number of connections into water loss indicators for French drinking water supply networks. Water Science and Technology: Water Supply, 14(6), pp.1105-1111.
38. Renaud, E., Clauzier, M., Sissoko, M., Nafi, A. and Werey, C., 2010. Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable-Rapport d'étape 2010 (Doctoral dissertation, irstea).
39. Renaud, E., Khedhaouria, D., Clauzier, M., Nafi, A., Wittner, C. and Werey, C., 2012. Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable: Systèmes d'indicateurs et méthodologies pour la définition, la conduite et l'évaluation des politiques de lutte contre les fuites dans les réseaux d'eau potable: Fiches pratiques (Doctoral dissertation, irstea).
40. Salah, H. A. N. T. A. Z., 2016. Etude et réalisation d'un système de détection de plusieurs fuites d'eau dans un canal prototype (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE).
41. Sarver, E.A., 2010. Insights into non-uniform copper and brass corrosion in potable water systems (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
42. Seyfeddine, L.A.G.U.E.A.G.U.E. and Elhadj Taieb, O.U.A.L.I., 2019. Détection des fuites dans les réseaux de distribution d'ea u (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
43. SOFIANE, M.S., AMEL, M.B., RACHID, M.M. and SAMIRA, M.O., 2014, La Qualité Des Eaux Sur les conduites de réseau d'AEP De les régions (HMD-Touggourt).
44. Virkutyte, J. and Sillanpää, M., 2006. Chemical evaluation of potable water in Eastern Qinghai Province, China: Human health aspects. Environment international, 32(1), pp.80-86.
45. Werey, C., 2000. Politiques de renouvellement des réseaux d'eau potable (Doctoral dissertation, Doctorat Science de la gestion, Université Louis Pasteur Strasbourg).

46. Werey, C., Campardon, M., Villette, J.P. and Beck, I.M., 2009. Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable et d'assainissement-Élaboration de politiques de renouvellement à partir des données d'inventaires départementaux: l'expérience du Bas-Rhin. Techniques Sciences Méthodes, (10), pp.41-50.

ANNEXES

Annexe 1 : Le réseau réacteur



Annexe 2 : Canalisation en fonte ductile (à gauche) et Canalisation en acier galvanisé à (droite)



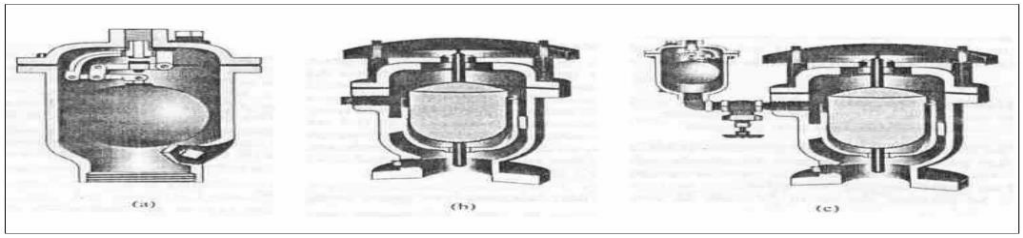
Annexe3 : Le tuyau en Béton armé à âme en tôle



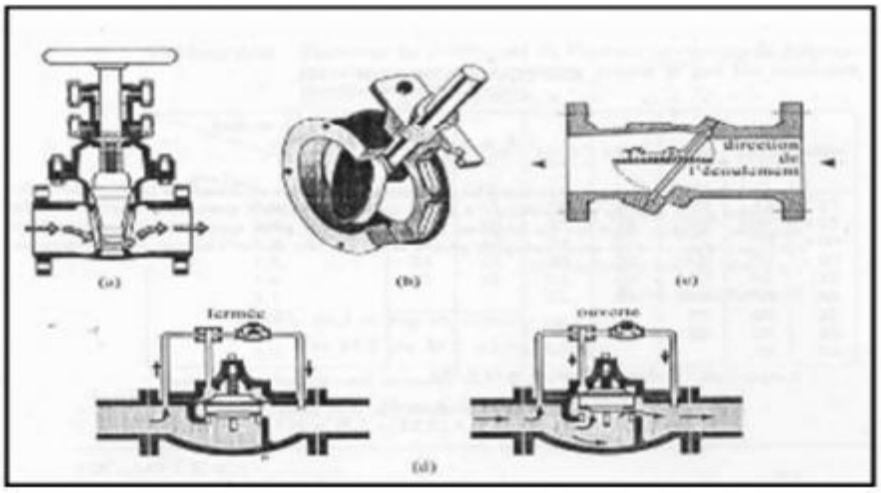
Annexe 4 : Les tubes PVC (PolyChlorure de Vinyle) , tubes en polyéthylène haute densité et tuyau polyéthylène basse densité



Annexe 5 : Types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air b) : ventouse à grandes quantités d'air c): ventouse universelle



Annexe 6 : Les différents types de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression



Annexe 7 : Marquis pompe à eau mjm101x



Figure10.b : Pompe de surface Calpeda CT 60

