



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2019-2020

N° D'ORDRE : 0318/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0415008522

MEMOIRE DE MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

Option : Hydrochimie

THEME :

**Impact du réseau de distribution d'eau potable
sur la qualité de l'eau de consommation de la ville
de Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)**

LABORATOIRE :
LABORATOIRE DES
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

CAMARA Alima

JURY

Présidente : Mme TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE, Professeur
Titulaire, Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. EBLIN Sampah Georges, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. ANOH Kouao Armand, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement
le : 24/02/2021

DEDICACE

Je dédie ce travail :

- ✿ A ma mère **DIAWARA** Ramatou
- ✿ A mon père **CAMARA** Ladjji
- ✿ A mes mamans **TRAORE** Fatou et **SYLLA** Saran
- ✿ A Monsieur **DIABATE** Vali
- ✿ A mes **frères** et **sœurs**
- ✿ A toute ma grande famille

REMERCIEMENTS

Au moment de terminer ce mémoire qui est le fruit d'une collaboration entre plusieurs personnes et directions, je voudrais donc saisir l'occasion pour exprimer ma gratitude aux personnes qui m'ont apporté leur soutien. Mon seul regret a été de ne pouvoir toutes les citer. Mais je voudrais rassurer ces personnes de toute ma profonde reconnaissance.

Avant tout, je remercie le Tout Puissant qui a illuminé mon chemin pour achever ce travail.

J'exprime ma gratitude au Professeur **TIDOU Abiba Sanogo**, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) et tout son personnel administratif pour leur travail acharné afin de faire de cette institution un véritable temple du savoir. Je vous dit également un grand merci pour avoir fait preuve d'une grande disponibilité à notre égard en présidant le jury de ce mémoire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements au Professeur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Directeur de l'UFR Environnement et Directeur Scientifique du présent mémoire pour son dynamisme et sa grande capacité de travail afin que nous ayons une formation d'excellence. Je vous réitère ma sincère reconnaissance pour votre disponibilité, engagement et soutien constant tout au long de ce travail de recherche.

Je remercie également Docteur **DIBI Brou**, Maître de Conférences et Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) pour m'avoir donné l'opportunité d'être comptée au nombre de ses étudiants et de bénéficier des privilèges qui en découlent.

Mention spéciale à mon encadreur, Docteur **EBLIN Sampah Georges**, Maître-Assistant ! Il m'est difficile de trouver les mots pour vous dire merci pour votre disponibilité quotidienne, pour votre inestimable soutien, pour vos qualités humaines et scientifiques exceptionnelles et pour la rigueur et la précision qui vous caractérisent.

Un grand merci à Monsieur **KOUAME Brou Paul**, Ingénieur, Directeur Maintenance à la SODECI, pour avoir suscité en moi une passion pour les questions relatives à l'accès à l'eau. Merci pour tout ce que vous faites pour nous et que Dieu vous récompense.

Je remercie très sincèrement Monsieur **GUINDO Hamidou**, Directeur Régional de la SODECI-Daloa et Maître de stage pour avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires à mon travail ; pour m'avoir accordé une grande liberté de recherche. Aussi, ces remerciements vont à l'endroit de l'ensemble de son personnel, plus particulièrement à Messieurs : **ANOH Ségnon Eric** (Adjoint Technique), **KONE Ibrahim** (Adjoint Technique), **YAO Koffi Arsène**

(Chimiste), **TAHO Amarido** (Responsable Technique), **ATSAIN Gnangoran Edmond** (Chef d'équipe Réseau), pour les échanges fructueux, pour l'aide précieuse qu'ils ont su m'apporter dans mes tâches quotidiennes et pour leur patience face à mes multiples interrogations.

J'exprime ma gratitude au Docteur **KONAN Kouakou Séraphin**, Maître de Conférences, pour son orientation dans l'élaboration de ce mémoire et sa forte implication dans l'obtention de ce stage de fin de cycle.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance au Docteur **KOUADIO Zilé Alex**, Maître de Conférences, Responsable de la filière Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE) pour son acharnement afin que nous ayons une formation de qualité défiant toute concurrence.

Je remercie Docteur **MANGOUA Oi Mangoua Jules**, Maître de Conférences, Responsable du parcours Master Génie de l'Eau et de l'Environnement pour sa disponibilité et pour ses programmations judicieuses.

Mes remerciements vont à l'endroit du Docteur **ANOH Kouao Armand**, Maître-Assistant, pour ces conseils et critiques durant ce mémoire. Ces remarques ont été très précieuses.

Mes remerciements vont à l'endroit du Docteur **SORO Drissa**, Maître-Assistant, pour ces pertinentes remarques afin d'améliorer le document.

Je suis extrêmement reconnaissante à tous nos enseignants de l'UJLoG pour la qualité de la formation qu'ils m'ont procurée.

Je souhaite aussi témoigner toute ma gratitude à l'ensemble des étudiants du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'UJLoG avec à sa tête Monsieur **KOFFI Bérenger**. Les échanges ont grandement enrichi ma réflexion. Merci spéciale aux aînés **OUEDE Glah Blaise** de m'avoir initié aux logiciels SIG et **KOUASSI Amino Anne Marie** pour ses conseils, son orientation et son appui multiforme à chaque fois qu'il le fallait. Merci à vous pour tout ce que vous avez fait dans la réalisation de ce travail. Nul doute que vous gravirez tous les échelons de la recherche scientifique ! Tel est mon souhait.

Je tiens tout particulièrement à remercier ma famille et mes amis qui m'ont apporté un soutien sans faille et plus particulièrement mon père pour la confiance et le soutien qu'on ne peut estimer.

A Monsieur **DIABATE Vali**, ces quelques lignes ne vont jamais exprimer à la juste valeur ma reconnaissance à son égard. Merci frère pour le temps que vous m'avez consacré, les conseils que vous m'avez prodigués et votre soutien indéfectible.

A Mademoiselle **KADJO M'min Marie Florence** pour son aide et sa motivation durant ce travail. Merci collègue !

Enfin, que tous ceux ou toutes celles, qui m'ont aidée et soutenue, d'une manière ou d'une autre, de loin ou de près, trouvent ici l'expression de ma profonde et sincère gratitude.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES ANNEXES	xi
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES.....	3
1.1. Présentation de la zone d'étude	3
1.1.1. Situation géographique	3
1.1.2. Climat	3
1.1.3. Géomorphologie	4
1.1.4. Contexte géologique et hydrogéologique.....	5
1.1.4.1. Aperçu géologique.....	5
1.1.4.2. Aspect hydrogéologique	6
1.1.5. Réseau hydrographique	8
1.1.6. Situation socio-économique	9
1.1.6.1. Population.....	9
1.1.6.2. Activités économiques.....	9
1.1.6.3. Alimentation en eau potable	10
1.2. Etat des connaissances sur le réseau de distribution D'eau potable	11
1.2.1. Définitions de quelques notions de base sur le réseau	11
1.2.1.1. Système d'alimentation en eau potable	11
1.2.1.2. Réseau d'eau potable.....	12
1.2.1.3. Eau potable	13
1.2.1.4. Gestion de l'eau potable	13
1.2.2. Objectifs d'un réseau d'eau potable	13
1.2.3. Classification des réseaux d'alimentation en eau potable	13
1.2.3.1. Réseaux ramifiés	14
1.2.3.2. Réseaux maillés	14
1.2.3.3. Réseaux mixtes	15
1.2.4. Paramètres physico-chimiques et organoleptiques de l'eau	15

1.2.4.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau	15
1.2.4.2. Paramètres organoleptiques de l'eau	17
1.2.4.3. Directives de l'OMS sur l'eau potable	18
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	19
2.1. Matériel.....	19
2.1.1. Données	19
2.1.1.1. Données vectorielles.....	19
2.1.1.2. Données hydrochimiques	19
2.1.2. Outils	19
2.1.2.1. Outils de terrain et de laboratoire.....	19
2.1.2.2. Outils informatiques	20
2.2. Méthodes.....	20
2.2.1. Diagnostic du réseau de distribution d'eau potable.....	20
2.2.1.1. Enquête de terrain.....	20
2.2.1.2. Calcul de l'indice linéaire de réparation (ILR).....	21
2.2.2. Evaluation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution	21
2.2.2.1. Echantillonnage	21
2.2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et organoleptiques	22
2.2.2.3. Analyse statistique sommaire des paramètres	23
2.2.3. Evolution des paramètres physicochimiques et organoleptiques de l'eau dans le réseau de distribution.....	23
2.2.3.1. Variation des paramètres dans les canalisations.....	23
2.2.3.2. Taux d'évolution des paramètres.....	25
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION.....	27
3.1. Résultats.....	27
3.1.1. Diagnostic du réseau de distribution d'eau potable.....	27
3.1.1.1. Etat du réseau de distribution	27
3.1.1.2. Indice linéaire de réparation (ILR)	29
3.1.2. Qualité de l'eau dans le réseau de distribution	30
3.1.2.1. Au niveau de la bache.....	30
3.1.2.2. Au niveau des canalisations.....	30
3.1.3. Evolution des paramètres physicochimiques et organoleptiques dans le réseau de distribution.....	31
3.1.3.1. Variation des paramètres dans les canalisations.....	31
3.1.3.2. Taux d'évolution des paramètres.....	38

3.2. Discussion	41
CONCLUSION.....	44
REFERENCES.....	45

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACPN	: Analyse en Composantes Principales Normées
AEP	: Alimentation en Eau Potable
CEDEAO	: Communauté Economique des Etats de l’Afrique de l’Ouest
DN	: Diamètre Nominal
GEE	: Génie de l’Eau et de l’Environnement
GPS	: Global Positioning System
ILR	: Indice Linéaire de Réparation
LSTE	: Laboratoire des Sciences et Technologies de l’Environnement
NTU	: Unité Nephelometrique de Turbidité ;
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ORE	: Observatoire Régional de l’Environnement
PEHD	: Polyéthylène à Haute Densité
PVC	: Polychlorure de Vinyle
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l’Habitat
SODECI	: Société de Distribution d’Eau de Côte d’Ivoire
UCV	: Unité de Couleur Vraie
UFR	: Unité de Formation de Recherches
UJLoG	: Université Jean Lorougnon Guédé
UNICEF	: Fonds des Nations Unies pour l'enfance

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Valeurs guides de l’OMS (2017).....	18
Tableau II : Tronçons et points de prélèvements.....	24
Tableau III : Analyse sommaire de l’eau de la bache	30
Tableau IV : Analyse sommaire de l’eau en régime permanent.....	31
Tableau V : Analyse sommaire de l’eau en régime temporaire (après coupure d’eau)	31
Tableau VI : Taux d’évolution des paramètres sur le tronçon 1 (bache-château d’eau)	39
Tableau VII : Taux d’évolution des paramètres dans les canalisations en fonte après château	39
Tableau VIII : Taux d’évolution des paramètres dans les canalisations en amiante-ciment..	40
Tableau IX : Taux d’évolution des paramètres dans les canalisations en PVC.....	40
Tableau X : Taux d’évolution des paramètres (Château d’eau).....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	3
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1990-2016)	4
Figure 3 : Géomorphologie de la ville de Daloa	5
Figure 4 : Formations géologiques du département de Daloa.....	6
Figure 5 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne <i>et al.</i> , 2011)	6
Figure 6 : Carte pédologique du département de Daloa.....	8
Figure 7 : Carte du réseau hydrographique de la ville de Daloa	9
Figure 8 : Quelques cultures pratiquées à Daloa (Kouassi, 2017)	10
Figure 9 : Exhaure (SODECI-Daloa).....	11
Figure 10 : Sources alternatives d'approvisionnement en eau de consommation à Daloa	11
Figure 11 : Schéma général d'un système d'alimentation en eau potable (Blîndu, 2004)	12
Figure 12 : Quelques équipements du réseau	12
Figure 13 : Réseau ramifié	14
Figure 14 : Réseau maillé	15
Figure 15 : Matériel de terrain et de laboratoire utilisé	20
Figure 16 : Carte des points de prélèvements d'eau dans la ville de Daloa	21
Figure 17 : Tronçons et points de prélèvement	25
Figure 18 : Répartition des matériaux du réseau de distribution.....	28
Figure 19 : Conduites dénudées	28
Figure 20 : Corrosion interne sur une vanne	29
Figure 21 : Variation de l'ILR du réseau d'eau potable de la ville de Daloa (2018-2020).....	29
Figure 22 : Variation de la température dans les tronçons choisis	32
Figure 23 : Variation du potentiel d'hydrogène dans les tronçons choisis	33
Figure 24 : Variation de la conductivité électrique dans les tronçons choisis	34
Figure 25 : Variation de la turbidité dans les tronçons choisis	35
Figure 26 : Variation de la couleur dans les tronçons choisis	36
Figure 27 : Variation du chlore libre dans les tronçons choisis	37
Figure 28 : Variation du fer total dans les tronçons choisis	37
Figure 29 : Variation du manganèse dans les tronçons choisis	38

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Récapitulatif des méthodes d'analyse au spectrophotomètre HACH DR 1900-2800- 3900 et 6000.....	a
--	---

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des êtres vivants et surtout pour celle de l'homme. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité, contribue au maintien de la santé (Amrani, 2017). De ce fait, elle mérite d'être protégée par un contrôle permanent de sa qualité, car elle occupe une place considérable dans les activités domestiques, industrielles et agricoles (Mvouezolo *et al.*, 2019). Pourtant, près de 2,1 milliards des personnes, soit 30 % de la population mondiale n'ont pas accès à des services d'alimentation en eau potable (OMS/UNICEF, 2017). Selon Koné *et al.* (2018), le problème de l'eau constitue la troisième préoccupation des populations après le chômage et la pauvreté. Ainsi, l'eau est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit être intégrée dans une perspective de développement durable (Tanoh, 2019).

Dans les zones urbaines et certaines zones rurales, l'eau desservie à la consommation humaine est transportée à travers un réseau de distribution composé de plusieurs équipements dont les canalisations qui servent de voies de transport de l'eau depuis les points de captage jusqu'au robinet du consommateur (Koffi, 2016). Les interactions entre les différents composants de l'eau durant son séjour dans le réseau ainsi que les conditions qui règnent dans le système de distribution peuvent dégrader la qualité de l'eau du robinet par rapport à celle de l'eau à la sortie de l'usine de production. Cette qualité peut se dégrader sous l'effet de la matière et l'état du réseau de distribution, le stockage dans les réservoirs ainsi que le mélange avec les eaux usées (Amrani, 2017).

En Côte d'Ivoire, l'approvisionnement en eau potable est assuré à la fois à partir des eaux de surface et souterraines. Cependant, le problème de pénurie d'eau potable se pose dans plusieurs localités, notamment Bouaké, Niakaramandougou, Ferkessedougou, Doropo, Odienné, Tiéningboué, etc (Koné *et al.*, 2018). La ville de Daloa n'échappe pas à cette situation. En effet, l'accès à l'eau potable constitue un problème majeur pour les populations de la ville de Daloa (Awomon *et al.*, 2018). De plus, le doute sur la qualité de l'eau fournie au robinet oblige une partie des populations à se tourner de plus en plus vers d'autres sources d'approvisionnement en eau pour leurs besoins domestiques : les eaux de puits traditionnels et de sources naturelles, aux détriments du réseau public d'eau potable. En effet, l'eau de robinet présente parfois un aspect organoleptique (couleur, odeur et goût) désagréable. Pourtant, l'eau à la sortie de l'usine de traitement présente toutes les caractéristiques nécessaires à la boisson. La question est de savoir l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution d'eau. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude dont le thème est : « **Impact du réseau de distribution d'eau potable sur la qualité de l'eau de consommation de la ville de Daloa** »

INTRODUCTION

(Centre-ouest de la Côte d'Ivoire) ». Elle a pour objectif général de déterminer les facteurs de l'altération de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution afin d'améliorer le service d'eau potable de la ville. De cet objectif, découlent trois objectifs spécifiques qui sont :

- diagnostiquer le réseau de distribution d'eau potable ;
- évaluer la qualité de l'eau distribuée ;
- déterminer l'évolution des paramètres physico-chimiques et organoleptiques de l'eau dans le réseau de distribution.

Le mémoire est subdivisé en trois parties structurées comme suit :

- La partie 1 traite les généralités sur la zone d'étude et l'état des connaissances sur le réseau d'alimentation en eau potable ;
- La partie 2 présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude ;
- La partie 3 fait l'analyse des résultats et leur discussion.

Une conclusion qui fait la synthèse des principaux résultats suivie de recommandations et des références bibliographiques met fin au travail.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

GENERALITES

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Situation géographique

La ville de Daloa est située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire, entre les longitudes 6°23' et 6°29' Ouest et les latitudes 6°49' et 6°56' Nord (Figure 1). Elle a une superficie estimée à 82,14 km².

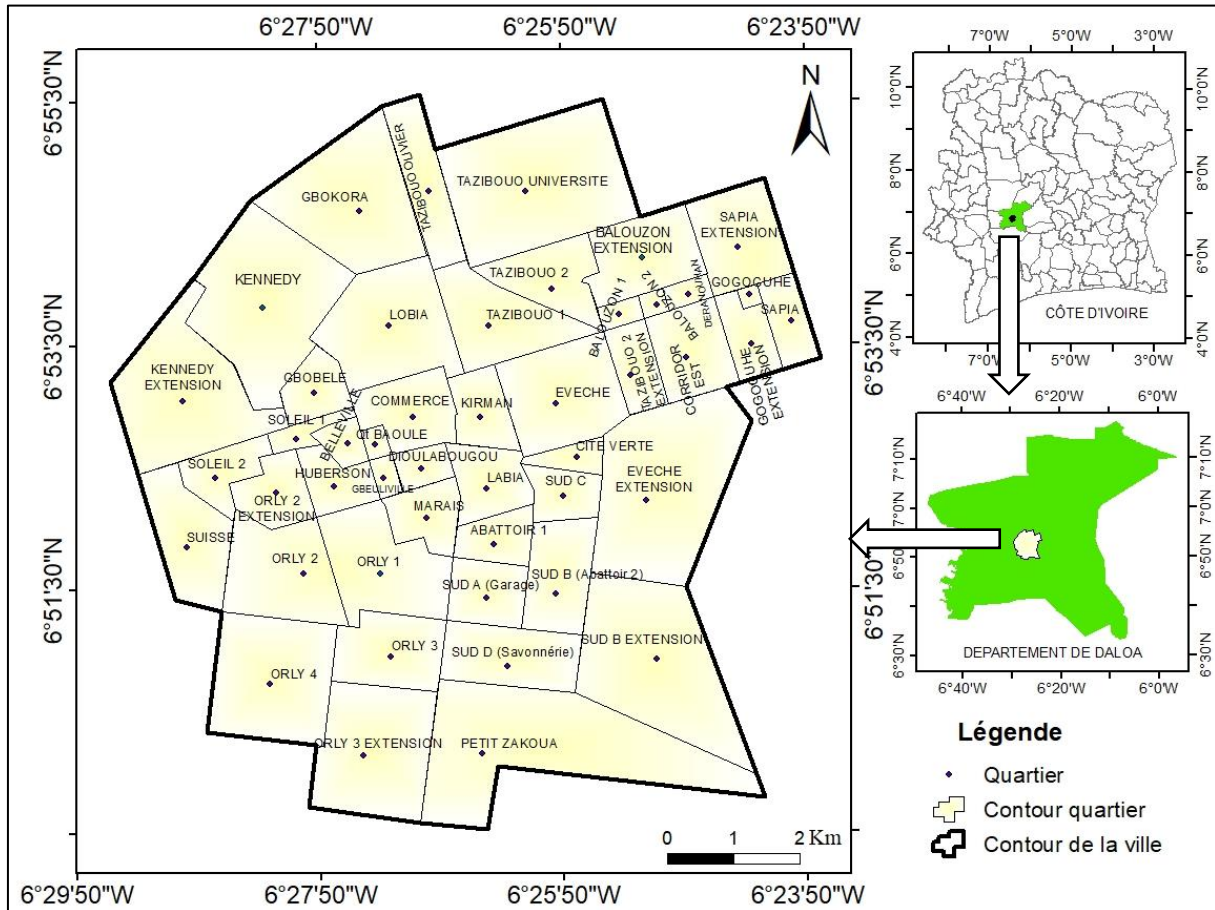


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.1.2. Climat

La ville de Daloa est sous l'influence du régime équatorial de transition atténué (climat baouléen). Ce régime climatique se caractérise par deux saisons (Yao, 2015) :

- une grande saison des pluies allant de Mars à Octobre avec des précipitations moyennes mensuelles variant de 103 à 167 mm ;
- une saison sèche allant de Novembre à février avec des pluies moyennes comprises entre 13 et 62 mm.

Les températures moyennes mensuelles varient de 24,93°C en Juillet à 28,06°C en Février (Figure 2).

GENERALITES

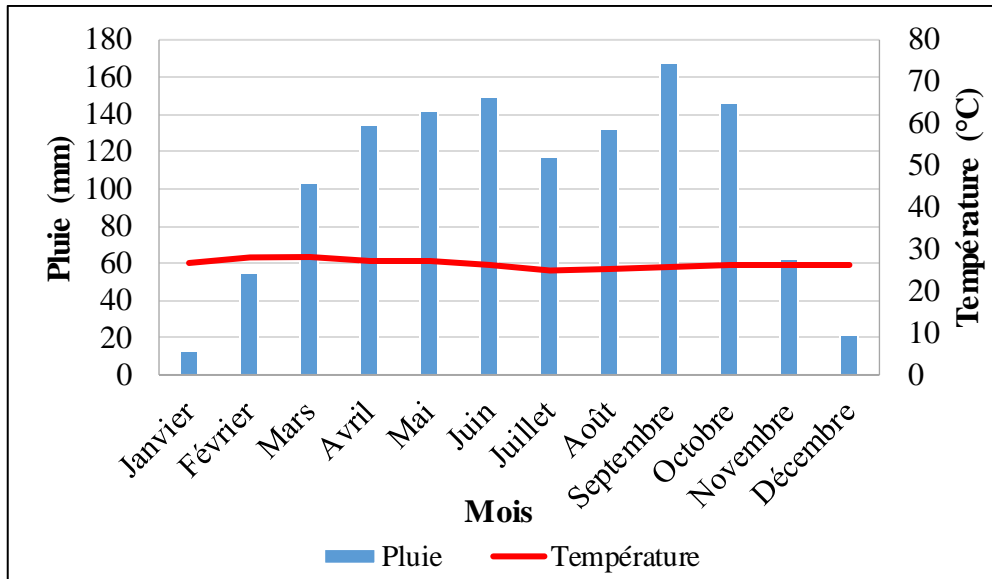


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1990-2016)

1.1.3. Géomorphologie

La figure 3 présente la géomorphologie de la ville de Daloa. Le relief de la ville de Daloa est assez varié dans l'ensemble. Les altitudes sont comprises entre 220 et 300 m. Ce relief est marqué par la présence de nombreux bas-fonds par endroits et des zones de fortes altitudes. Une telle variation peut fortement influencer la configuration du réseau d'alimentation en eau potable qui peut se traduire par une baisse significative de la pression dans les zones de fortes altitudes. Une surpression pourrait être observée dans les zones de basses altitudes.

GENERALITES

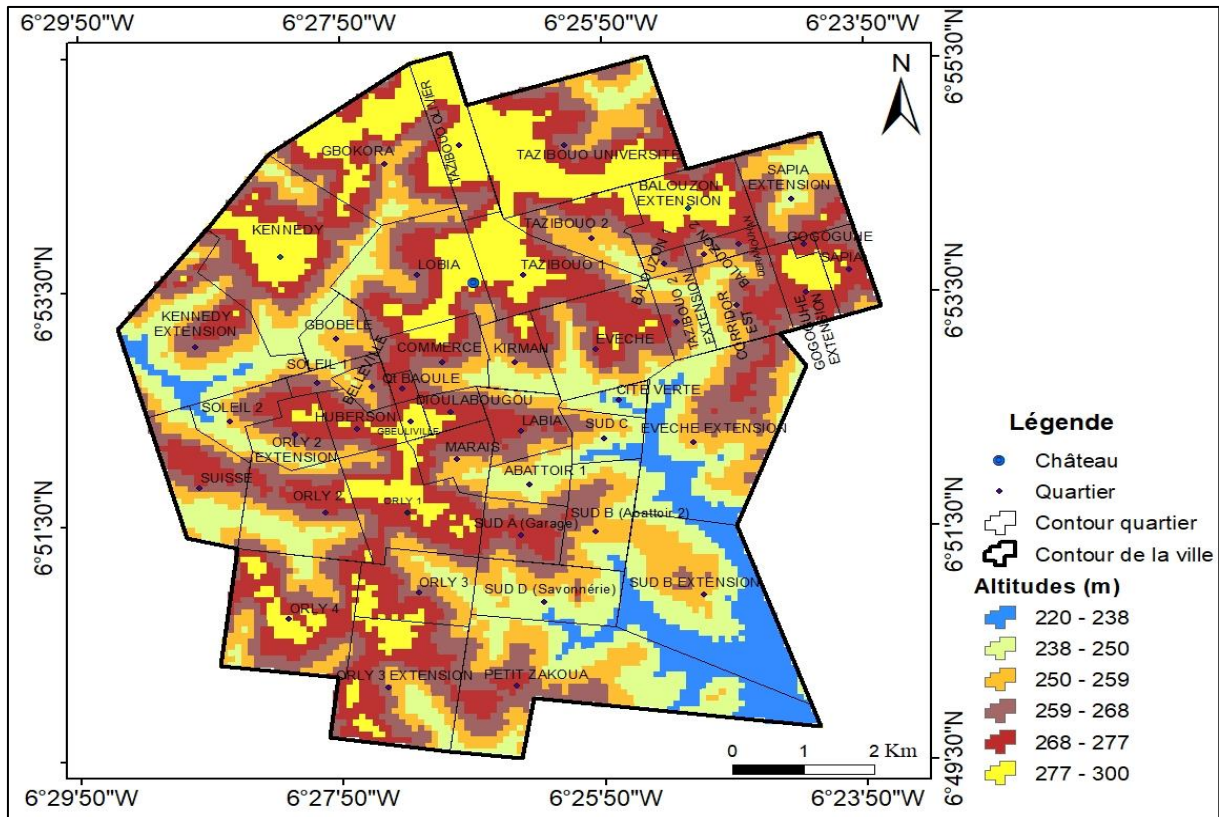


Figure 3 : Géomorphologie de la ville de Daloa

1.1.4. Contexte géologique et hydrogéologique

1.1.4.1. Aperçu géologique

Les formations géologiques du département de Daloa (Figure 4) appartiennent principalement au socle précambrien (précambrien moyen) et se regroupent en deux grandes entités que sont : les roches magmatiques et les roches métamorphiques. La géologie du département est connue grâce aux travaux de Ahimon (1990) et Delor *et al.* (1995). Les formations géologiques sont représentées essentiellement par les granitoïdes. La composition de ces roches varie du granite aux granodiorites.

GENERALITES

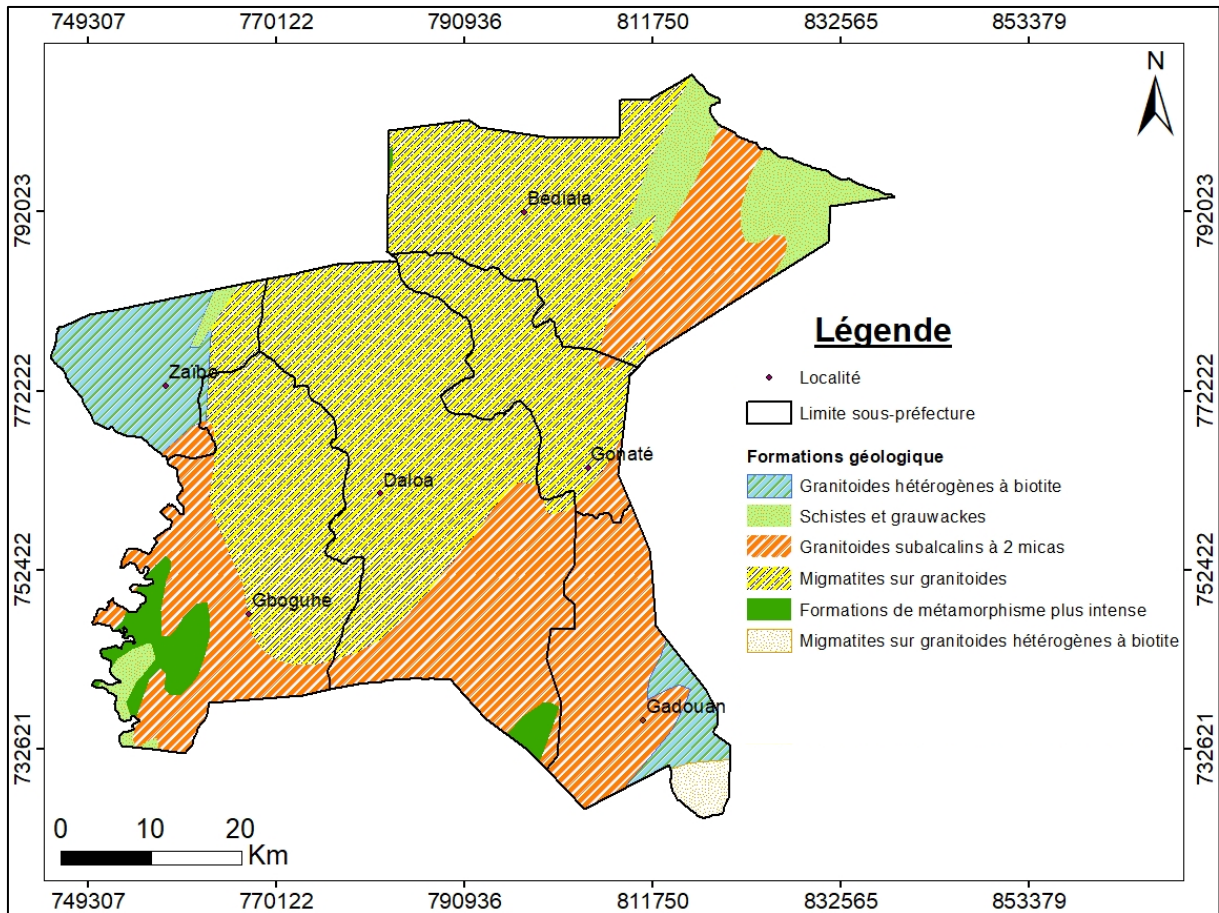


Figure 4 : Formations géologiques du département de Daloa

1.1.4.2. Aspect hydrogéologique

La ville de Daloa étant située en zone de socle cristallin et cristallophyllien, regorge de deux types d'aquifères : les aquifères d'altérites (superficiels) et les aquifères fracturés plus profonds (Figure 5).

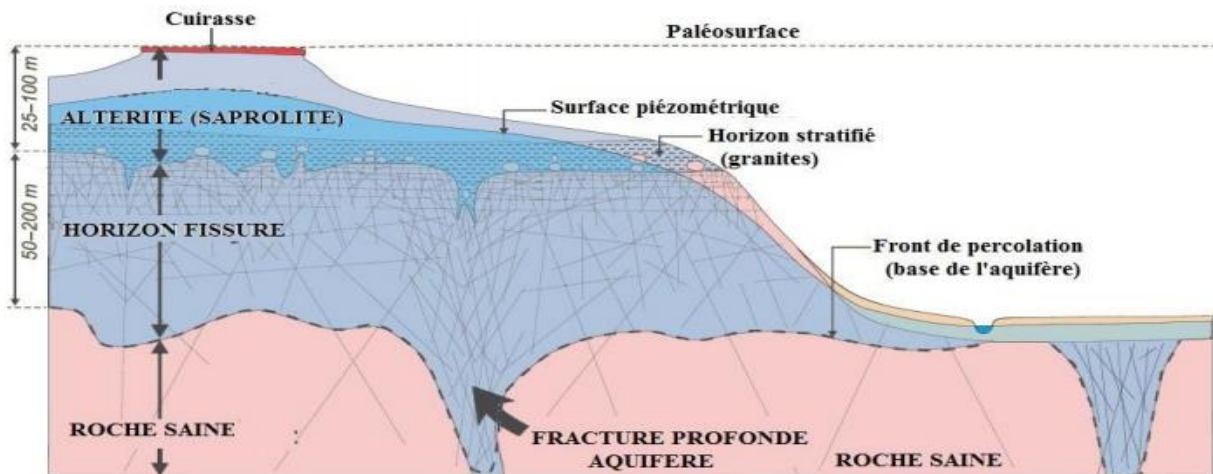


Figure 5 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne *et al.*, 2011)

❖ **Aquifères des altérites**

Les altérites sont des formations de surface résultant des processus d'altération physicochimique et d'érosion du socle. Sur le socle cristallin et cristalloyllien, les réservoirs d'altérites sont composés de cuirasse latéritique, de sables argileux et d'arènes grenues dont l'épaisseur peut varier entre 4 et 60 m (Ahoussi, 2008). Ces aquifères sont directement alimentés par les eaux des précipitations. Leur niveau piézométrique baisse considérablement pendant les saisons sèches et remonte rapidement en période pluvieuse (Biémi, 1992). Lorsque leurs épaisseurs sont considérables, ils constituent d'importants réservoirs. Cependant, compte tenu de leur niveau piézométrique proche de la surface du sol, les nappes d'altérites sont souvent menacées par les activités anthropiques (Dibi, 2008).

❖ **Aquifères fracturés**

C'est l'aquifère principal et le plus productif du socle précambrien du fait de l'intense fracturation qui l'affecte. Ces aquifères se développent dans les zones broyées et/ou fissurées. Selon Koïta (2010), les débits les plus élevés (plus de 10 m³/h) sont fournis par les forages situés sur les accidents régionaux ou à proximité de ceux-ci. Les travaux de Savadogo (1984) et Biémi (1992) ont montré que les possibilités de formation des nappes en milieu fissuré dépendent de l'importance des altérites et de la fracturation. Ils sont à l'abri des fluctuations saisonnières et de la plupart des divers types de pollutions anthropiques (Dibi, 2008).

1.1.4.3. Aspect pédologique

Les formations pédologiques du département de Daloa (Figure 6) regroupent en deux grandes les sols hydromorphes et les sols remaniés.

GENERALITES

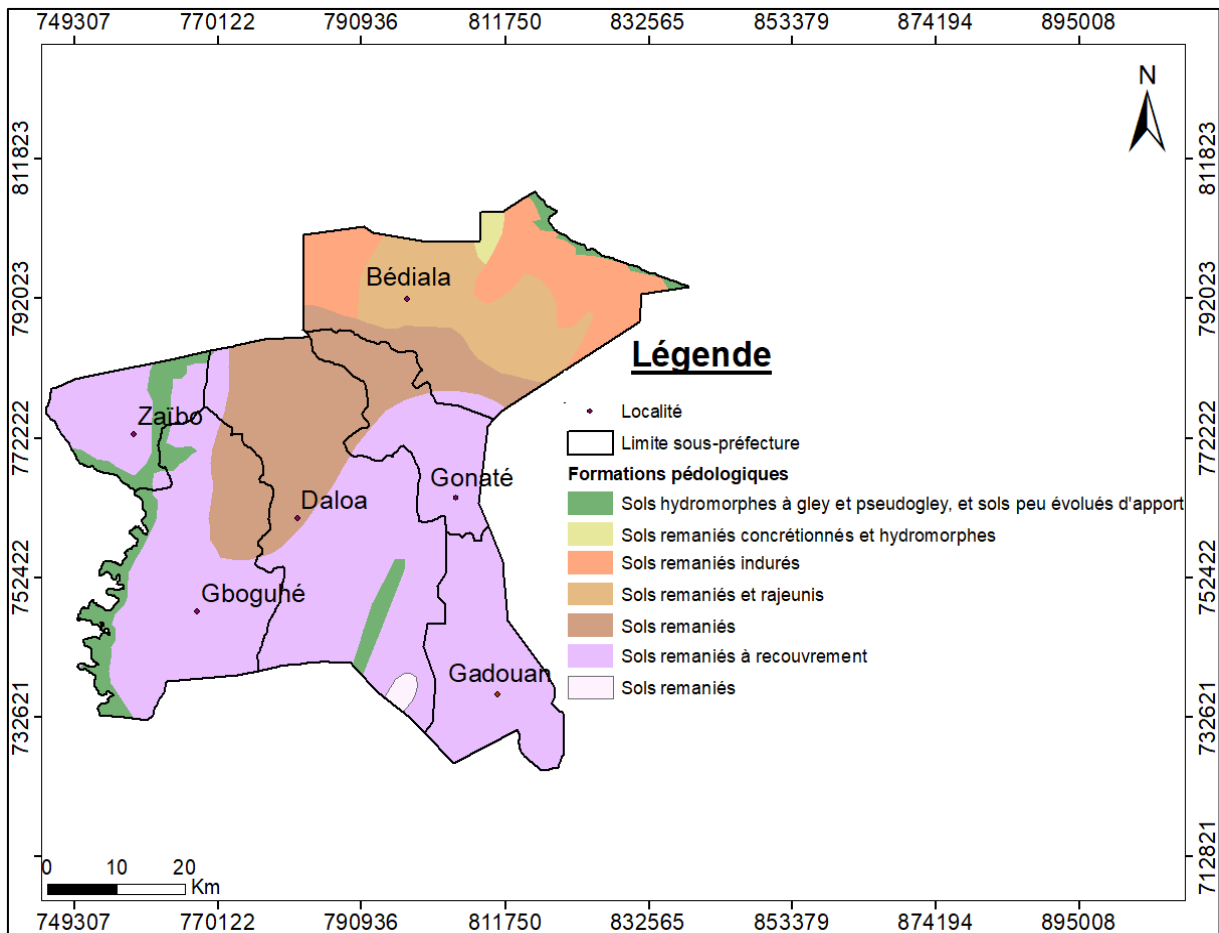


Figure 6 : Carte pédologique du département de Daloa

1.1.5. Réseau hydrographique

La ville de Daloa est située dans le grand bassin hydrographique du fleuve Sassandra avec pour affluent la rivière Lobo (Figure 6). Cet affluent draine une superficie de 12 775 km² avec un périmètre de 580 km et parcourt environ 355 km (Koukougnon, 2013). D'orientation générale Nord-Sud, la Lobo traverse les départements de Vavoua, Daloa et Issia avant de se jeter dans le fleuve Sassandra dans la localité de Loboville. Daloa se localise dans le sous-bassin versant de la Lobo.

GENERALITES

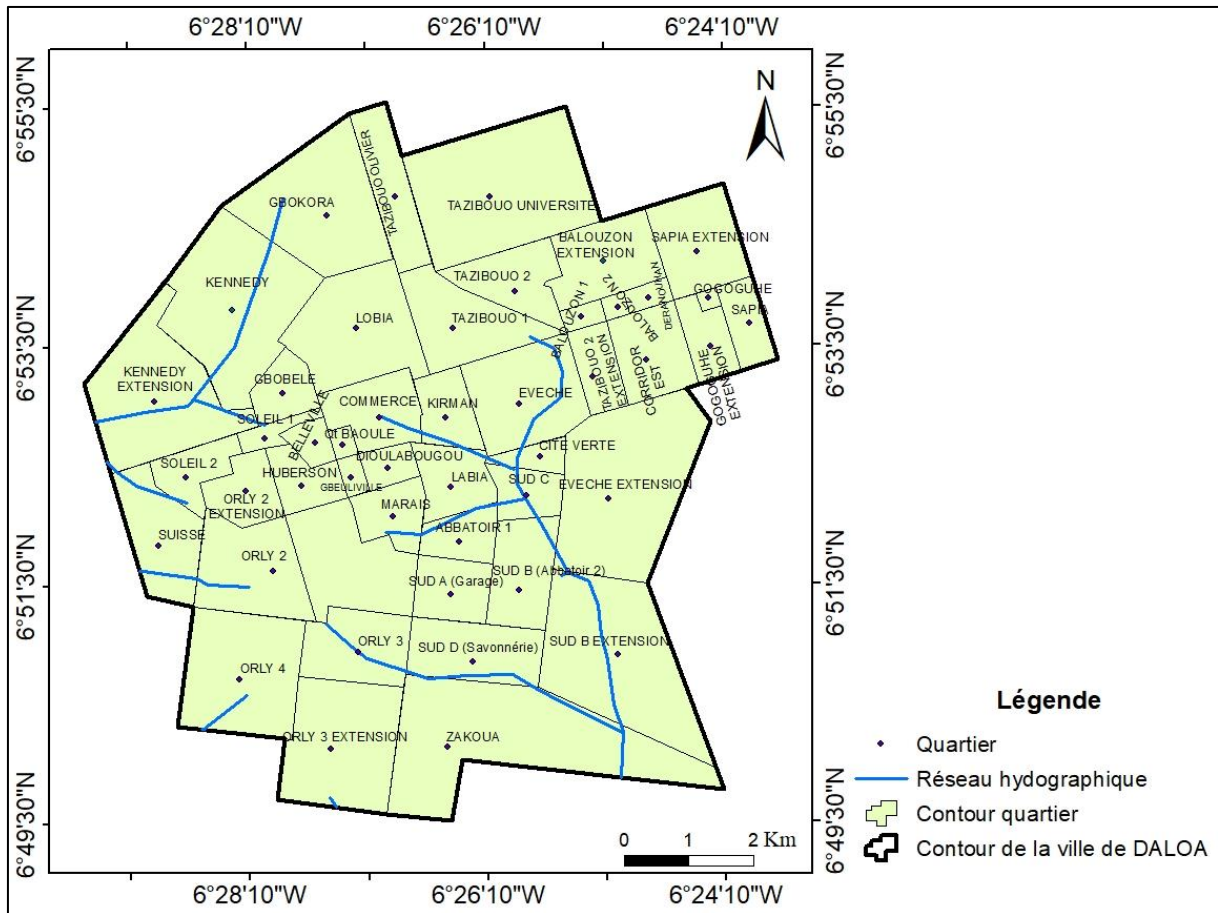


Figure 7 : Carte du réseau hydrographique de la ville de Daloa

1.1.6. Situation socio-économique

1.1.6.1. Population

La région de Daloa est une zone par excellence de production de café et de cacao. Dans les décennies 1960-1980, les vastes mouvements de colonisation foncière ont favorisé une croissance démographique rapide dans la région (Brou, 2005). La population de la ville est estimée à environ 320 000 habitants (INS, 2015). Cette population est composée majoritairement d'autochtones (Bété, Niaboua et Gouro), d'allogènes (Baoulé, Sénoufo, Malinké) et des populations de la CEDEAO ainsi qu'une communauté libanaise assez importante.

1.1.6.2. Activités économiques

La ville de Daloa se trouve dans la zone agricole la plus productive du pays et bénéficie d'infrastructures routières permettant un trafic régulier de produits vivriers (Koukougnon, 2013). Les activités économiques sont essentiellement basées sur l'agriculture. Les cultures pratiquées sont : l'hévéa (Figure 7 A), le cacao (Figure 7 B), le palmier à huile (Figure 7 C), le riz irrigué (Figure 7 D), etc. Le commerce y est développé et l'on y dénombre plusieurs

GENERALITES

établissements bancaires, hôteliers et scolaires ainsi que des restaurants et centres de santé publics et privés. Le secteur du transport de la ville est très prisé (présence de plusieurs gares et compagnies de transport). L'élevage constitue l'une des activités de revenu du secteur économique de la zone d'étude. Le cheptel se compose de bovins, d'ovins et de porcins ; la pisciculture et l'apiculture sont également pratiquées (Kouassi, 2017).

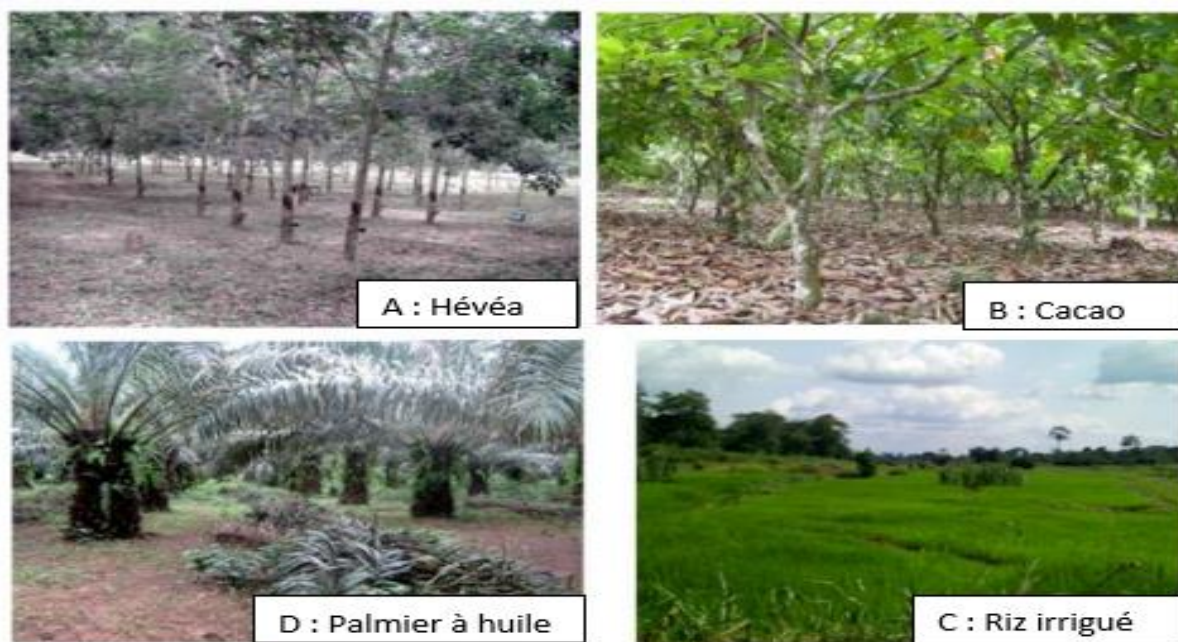


Figure 8 : Quelques cultures pratiquées à Daloa (Kouassi, 2017)

1.1.6.3. Alimentation en eau potable

L'approvisionnement en eau potable des populations de la ville de Daloa est assuré à partir de la rivière Lobo. En effet, le débit des forages en zone de socle étant parfois faibles, la Société de Distribution d'eau de Côte d'Ivoire (SODECI) exploite les eaux de surface, qui constituent une ressource abondante, pour satisfaire les besoins en eau potable des populations, comme c'est le cas de la ville de Daloa (Figure 8).

GENERALITES



Figure 9 : Exhaure (SODECI-Daloa)

Le réseau public d'eau potable sert à approvisionner les ménages de la ville de Daloa et les localités raccordées, notamment les villages Château, Zimeguhé-Lobo, B. Koukoghé, Zahia, Zetodigba, Carrefour Baouya et Zebra. Malgré l'existence du réseau d'eau potable dans la zone d'étude, plusieurs ménages s'alimentent en eau de consommation à partir d'eaux de sources, de puits traditionnels et de forage (Figure 9).



Figure 10 : Sources alternatives d'approvisionnement en eau de consommation à Daloa

1.2. Etat des connaissances sur le réseau de distribution d'eau potable

1.2.1. Définitions de quelques notions de base sur le réseau

1.2.1.1. Système d'alimentation en eau potable

Un système d'alimentation en eau potable (AEP) est l'ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires à satisfaire les besoins en eau potable d'une zone urbaine, péri-urbaine et industrielle (Blindu, 2004). Il comporte différentes composantes dont le captage (1 ; 3), le traitement (5), le transport (2 ; 6 ; 8), le stockage (7) et la distribution de l'eau potable (9) chez les différents consommateurs (10) (Figure 10).

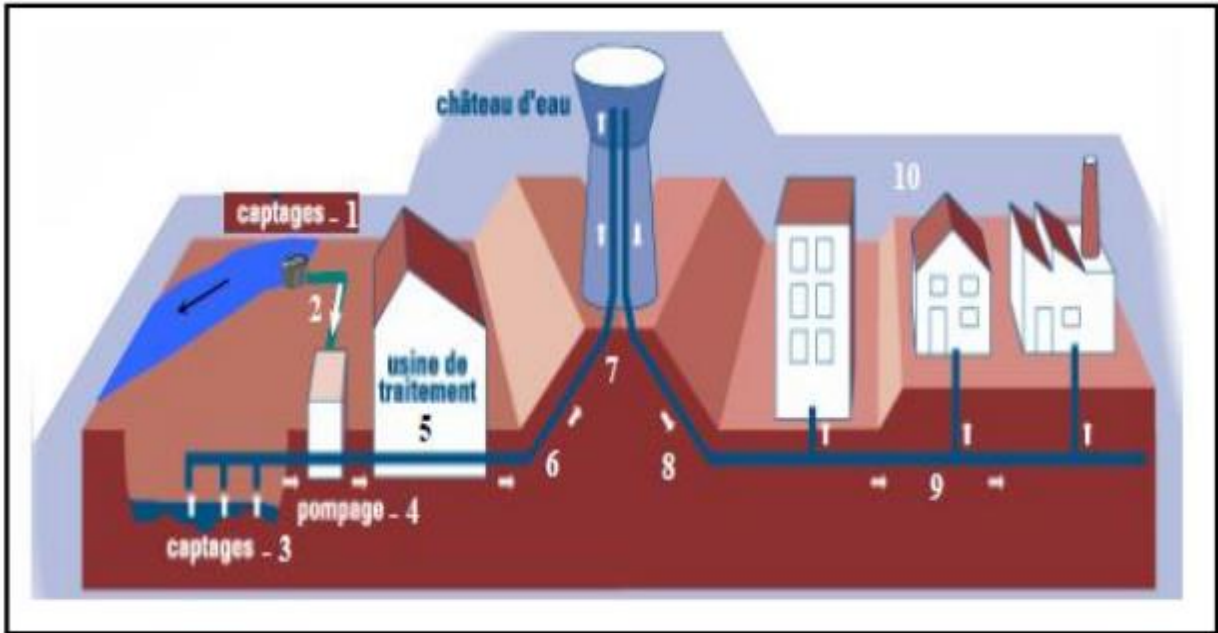


Figure 11 : Schéma général d'un système d'alimentation en eau potable (Blîndu, 2004)

1.2.1.2. Réseau d'eau potable

Un réseau d'eau potable est l'ensemble des conduites reliées entre elles et formant une série de nœuds et de mailles. A cela, il faut ajouter les accessoires du réseau qui permettent une bonne exploitation et un bon entretien de ce dernier (Diawara, 2015) : les vannes (arrêt d'eau), les ventouses (évacuation de l'air), les vidanges (purge du réseau), les régulateurs (de pression, débit ou niveau), les poteaux d'incendie, les bornes de puisage (Figure 11).



Figure 12 : Quelques équipements du réseau

Les ouvrages composant le réseau d'eau potable sont constitués de divers matériaux. Il existe trois grandes familles de matériaux d'ouvrages (Celerier *et al.*, 2004) ; il s'agit de :

GENERALITES

- matériaux métalliques ;
- matériaux à base de ciment ;
- matériaux organiques.

La dégradation de ces matériaux aura tendance à affecter la qualité de l'eau potable.

1.2.1.3. Eau potable

L'eau potable est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou d'agents chimiques, à des concentrations pouvant nuire à la santé de l'homme (Korogo, 2012). Cela inclut les eaux de surface traitées et les eaux souterraines, mais non contaminées, comme les sources d'eau, les forages et les puits. Les eaux de surface doivent être considérées comme potables si la qualité de l'eau est régulièrement suivie et jugée acceptable par les responsables de la santé publique sous tutelle de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

1.2.1.4. Gestion de l'eau potable

La gestion de l'eau potable est l'ensemble d'activités menées au jour le jour et qui permettent de réaliser les actions programmées ainsi que leur suivi (Korogo, 2012). Les programmes doivent être suivis et comparés afin de réviser et adapter les écarts, d'une part entre les effets obtenus et prévus et d'autre part, entre les actions effectuées et à venir.

1.2.2. Objectifs d'un réseau d'eau potable

Selon Bennis (2007), la mission essentielle d'un réseau d'eau potable est de garantir une desserte satisfaisante de tous les usagers, du point de vue :

- Qualité : La qualité de l'eau ne doit pas nuire à la santé du consommateur ; elle doit être conforme aux normes et à la réglementation sanitaire.
- Quantité : L'utilisateur doit disposer d'une quantité d'eau suffisante pour couvrir ses besoins, dans un souci permanent de maîtrise de la consommation et de lutte contre le gaspillage.
- Continuité de service : Le service de distribution doit être assuré 24 heures sur 24 avec le minimum d'interruptions possibles.
- Pression : La pression, ni trop forte ni trop faible, doit garantir un confort d'utilisation à l'utilisateur.

1.2.3. Classification des réseaux d'alimentation en eau potable

Un réseau de distribution est une structure permettant de garantir l'approvisionnement en eau potable d'une zone. Il existe trois types de réseaux : ramifiés, maillés et mixtes.

1.2.3.1. Réseaux ramifiés

Un réseau ramifié est un réseau construit sous forme d'arbre, allant des conduites primaires aux conduites tertiaires (Figure 12A). L'écoulement s'effectue de l'amont vers l'aval dans les conditions normales de fonctionnement (Zanzouni, 2018). Il est fréquemment utilisé dans les petites agglomérations rurales. Dans le réseau ramifié, les conduites ne permettent aucune alimentation en retour. Il présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. En effet, un accident sur la conduite principale prive d'eau tous les abonnés en aval (Chemidi & Kaddour, 2016).

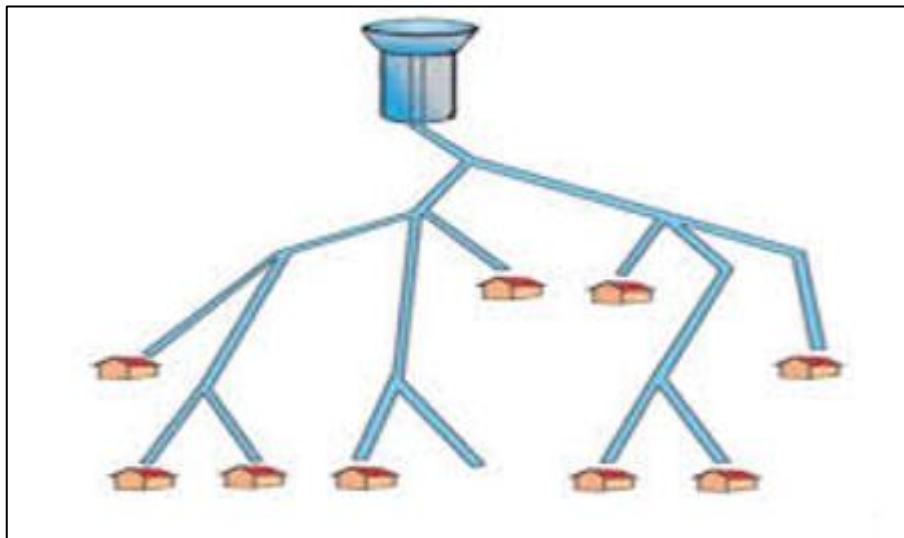


Figure 13 : Réseau ramifié

1.2.3.2. Réseaux maillés

Un réseau maillé est un réseau de conduites dont la plupart des extrémités des tronçons sont connectées pour former des mailles (Figure 12B). Le sens de l'écoulement de l'eau à l'intérieur des mailles dépend fortement de la demande (Zanzouni, 2018). Le réseau maillé permet une alimentation en retour. Pour la distribution en eau des agglomérations de moyenne et de grande importance, il présente une solution plus adéquate grâce à sa sécurité et sa souplesse d'utilisation. Il est bien entendu plus coûteux d'établissement ; mais en raison de la sécurité qu'il procure, il doit être toujours préféré (Chemidi & Kaddour, 2016).

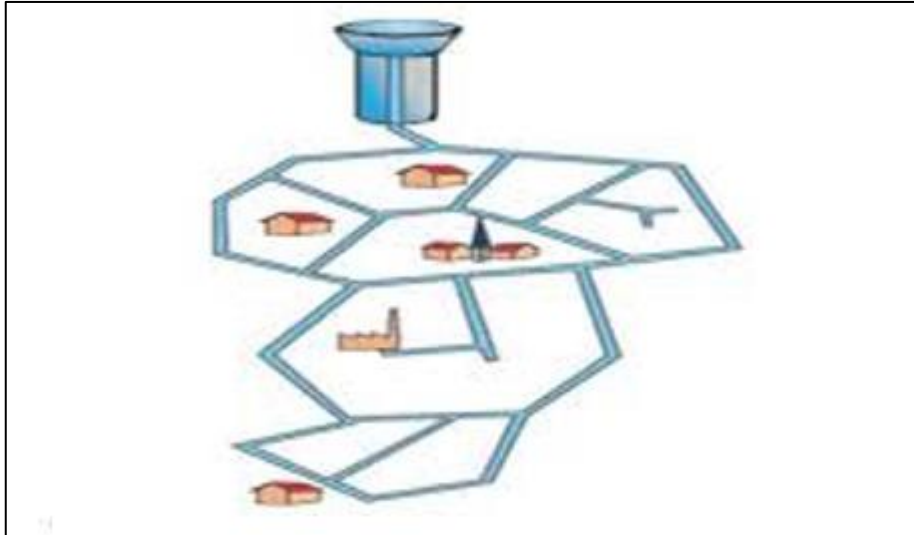


Figure 14 : Réseau maillé

1.2.3.3. Réseaux mixtes

Un réseau mixte est un réseau qui comprend à la fois un réseau maillé et un réseau ramifié.

1.2.4. Paramètres physico-chimiques et organoleptiques de l'eau

1.2.4.1. Paramètres physico-chimiques de l'eau

L'eau traitée est sujette à des contaminations pendant son cheminement dans un réseau de distribution. Il est donc essentiel de connaître et vérifier la qualité de l'eau qui est distribuée dans les différents secteurs du réseau de distribution. Plusieurs paramètres peuvent être utilisés pour le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau.

❖ Température (T°C)

La température de l'eau peut varier de plusieurs degrés pendant le transit dans le réseau (Celerier *et al.*, 2004). Elle accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. Ainsi, un changement brusque de ce paramètre peut affecter la qualité de l'eau (Tanoh, 2019).

❖ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau, c'est-à-dire de la concentration en ions hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) et la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C (Tanoh, 2019). Une eau avec un pH bas a tendance à attaquer les matériaux qu'elle rencontre avec des conséquences importantes telle que la corrosion allant parfois au perçage de la conduite. Une eau avec un pH élevée favorise la formation de tartre dans les conduites (Celerier *et al.*, 2004).

GENERALITES

❖ Conductivité électrique (CE)

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux car la plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs (Tanoh, 2019).

❖ Turbidité (Turb)

La turbidité est une mesure de limpidité ou de l'opacité relative de l'eau. La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques). La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. Elle s'exprime en unité néphométrique de turbidité (NTU) (Santé Canada, 2012).

❖ Chlore libre (Cl)

Le chlore libre est le chlore restant dans l'eau après réaction avec les microorganismes, la conduite et les métaux. Dans l'eau, le chlore libre se trouve sous trois formes d'états en équilibre : le chlore moléculaire (Cl_2), l'acide hypochloreux ($HClO$) et l'ion hypochlorite (OCl^-). C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de la désinfection (l'ion hypochlorite étant peu oxydant et peu bactéricide). C'est pourquoi l'acide hypochloreux est appelé chlore actif ; il est majoritaire en milieu acide (Soulama, 2011).

❖ Manganèse (Mn)

Le manganèse est un ion métallique. C'est un élément essentiel à la nutrition mais à un niveau dépassant la norme peut causer des désagréments. La présence de manganèse dans l'eau peut donner un goût indésirable à l'eau (amer, métallique et astringent) et peut affecter la couleur de l'eau. De plus, dans les systèmes de distribution d'eau, le manganèse peut interagir avec les oxydants pour former des précipités et taché en noir les éléments de plomberie et les tissus (Santé Canada, 2019).

GENERALITES

❖ Fer (Fe)

Le fer est aussi un ion métallique essentiel pour la nutrition tout comme le manganèse. La présence de fer dans l'eau a de multiples inconvénients pas pour la santé mais pour des raisons d'esthétique. A une concentration trop élevée dans l'eau, il donne une coloration rouge à l'eau et un goût prononcé (Tanoh, 2019).

1.2.4.2. Paramètres organoleptiques de l'eau

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation bonne ou mauvaise, observée immédiatement. Ce sont les sensations perçues ou ressenties par le consommateur : la couleur, l'odeur, le goût et la turbidité. Ces propriétés peuvent être altérées par des substances naturelles ou non. Malheureusement, le goût et l'odeur sont les caractéristiques les plus difficiles à maîtriser.

❖ Couleur

La mesure de ce paramètre consiste à la détermination de l'intensité de la couleur d'un échantillon par comparaison avec une eau distillée. La couleur s'exprime en UCV (unité de couleur vraie). Elle est souvent due à la présence de matière organique en décomposition ou d'éléments inorganiques tels que le fer, le cuivre ou le manganèse. Des limites pour la couleur en eau potable sont habituellement fixées basées sur des bases esthétiques. Les recommandations de l'OMS sont placées à 15 UCV, car la plupart des gens peuvent facilement détecter une couleur excédant ce niveau.

❖ Odeur

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif. Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques ou organiques plus ou moins bien identifiées résultant de la décomposition de matières animales ou végétales ou encore dues à la pollution (Celerier *et al.*, 2004).

❖ Goût

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives perçues lors de la boisson. Selon les physiologistes, il existe que quatre goûts fondamentaux : salé, sucré, aigre et amer. Les goûts salés et aigres sont occasionnés surtout par des molécules ioniques tandis que les goûts sucrés et amers sont généralement attribués à des molécules organiques (Celerier *et al.*, 2004).

GENERALITES

1.2.4.3. Directives de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable sont la référence pour la sécurité en matière d'eau de consommation. Elles prescrivent des valeurs seuils des différents paramètres considérés lors de l'étude de la qualité de l'eau. Ces valeurs proviennent du rapport de l'OMS de l'année 2017 (Tableau I).

Tableau I : Valeurs guides de l'OMS (2017)

Paramètres	Unités	Valeurs guides OMS
Température	°C	< 25
Potentiel d'hydrogène		6,5-8,5
Conductivité électrique	µS/cm	< 400
Turbidité	NTU	< 5
Couleur	UCV	< 15
Chlore libre	mg/L	0,22-5
Fer total	mg/L	< 0,3
Manganèse	mg/L	< 0,1

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Données

2.1.1.1. Données vectorielles

Les données vectorielles sont fournies par la Direction Régionale de la SODECI-Daloa. Elles se composent entre autres :

- du plan de masse du réseau pour l'identification des points de prélèvement ;
- le linéaire total du réseau et le nombre annuel de réparation qui ont servi à calculer l'indice linéaire de réparation.

2.1.1.2. Données hydrochimiques

Les données hydrochimiques ont été acquises lors des campagnes de mesures durant les mois de novembre et décembre 2020 et de janvier 2021. Les paramètres mesurés sont les suivants : la température (T°C), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la turbidité (Turb), la couleur (Coul), le chlore libre (Cl), le fer total (Fe) et le manganèse (Mn).

2.1.2. Outils

Trois types d'outils ont été utilisés. Il s'agit des outils de terrain, de laboratoire et informatique.

2.1.2.1. Outils de terrain et de laboratoire

Le matériel utilisé sur le terrain et au laboratoire est présenté au niveau de la figure 13. Il s'agit de :

- un multiparamètre WTW pH/Cond 3320 pour la mesure du pH, de la température et de la conductivité ;
- un turbidimètre HACH 2100Q pour la mesure de la turbidité ;
- un spectrophotomètre de type HACH DR 1900 pour la mesure de la couleur sur le terrain et la mesure du chlore libre, du fer total et du manganèse au laboratoire ;
- un bécier pour recueillir l'eau destinée à la mesure de certains paramètres *in situ* ;
- des verreries ;
- des flacons en polyéthylènes pour le prélèvement des échantillons d'eau destinés aux mesures au laboratoire ;
- un autocollant et un marqueur pour l'étiquetage des flacons ;
- une glacière contenant des carboglaces pour la conservation des échantillons destinés au laboratoire ;

MATERIEL ET METHODES

- des réactifs pour chaque paramètre : DPD No1 pour le chlore libre, TPTZ pour le fer total, acide ascorbique, Alkaline cyanide et PAN indicator pour le manganèse ;
- un GPS pour relever des coordonnées des points d'échantillonnage ;
- une fiche pour les prises de notes ;
- un appareil photo pour des prises de vues.



Figure 15 : Matériel de terrain et de laboratoire utilisé

2.1.2.2. Outils informatiques

Plusieurs logiciels de traitement ont été utilisés. Il s'agit de :

- ArcGIS 10.4.1 pour la cartographie ;
- Autocard 2017 pour la visualisation du plan de masse du réseau ;
- Microsoft Excel 2016 pour l'organisation et le traitement des données ;

2.2. Méthodes

2.2.1. Diagnostic du réseau de distribution d'eau potable

2.2.1.1. Enquête de terrain

Elle s'est faite en deux volets :

- le premier volet a consisté à un entretien avec les agents de la SODECI-Daloa. Cet entretien a permis de comprendre le fonctionnement actuel et de dénombrer les ouvrages du réseau de distribution d'eau potable.
- le deuxième volet a consisté à faire l'état des lieux des ouvrages du réseau de distribution d'eau potable de la zone d'étude.

2.2.1.2. Calcul de l'indice linéaire de réparation (ILR)

L'indice linéaire de réparation est un indicateur sur l'état la dégradation des équipements des réseaux d'eau potable. Il s'exprime en réparation par an par kilomètre (rép/an/km). Il est donné par l'équation 1 (Abdelbaki, 2014) :

$$\text{ILR} = \frac{\text{Nombre total annuel de réparations}}{\text{Linéaire du réseau}} \quad (\text{Eq 1})$$

Quand ILR est inférieur à 1 rép/an/km, le réseau d'eau potable est dit non vétuste et le contraire est attribué à ILR supérieur à 1 rép/an/km.

2.2.2. Evaluation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution

2.2.2.1. Echantillonnage

Les points de prélèvement ont été choisis de sorte à couvrir la ville de Daloa et les localités desservies en route. Dans l'ensemble, 41 points ont été sélectionnés pour être échantillonnés : 1 à la bêche, 7 au niveau des villages et 33 points au niveau de la ville. La figure 14 montre les points d'échantillonnages au niveau de la ville de Daloa.

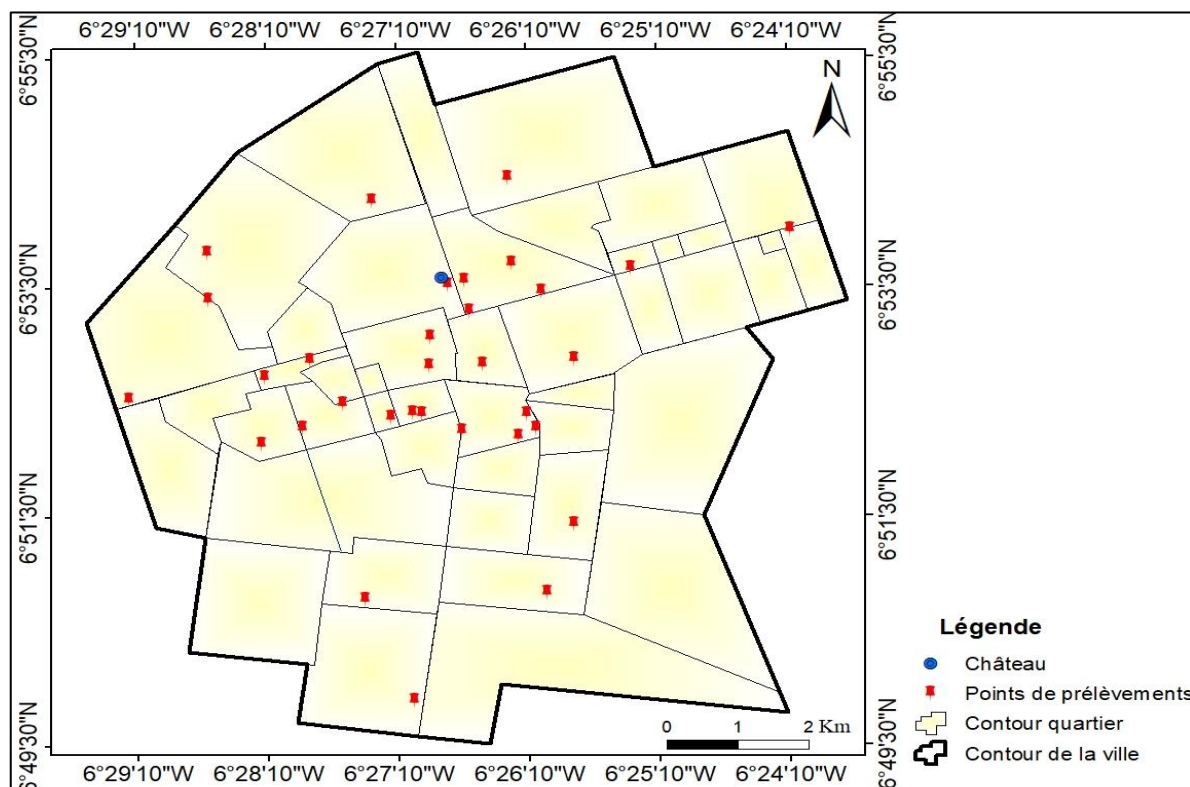


Figure 16 : Carte des points de prélèvements d'eau dans la ville de Daloa

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans un béccher préalablement rincé trois fois avec l'eau à analyser pour les mesures *in situ*. Pour les mesures au laboratoire, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 litre, rincés trois fois au préalable

MATERIEL ET METHODES

avec l'eau à analyser. Ils ont été remplis d'eau à ras bord puis fermés hermétiquement pour éviter qu'ils ne contiennent des bulles d'air. Ensuite, les échantillons ont été disposés dans une glacière contenant des carboglaces et acheminés au laboratoire de la Direction Régionale de la SODECI-Daloa.

2.2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et organoleptiques

❖ Mesures *in situ*

Les paramètres mesurés sur le terrain sont : la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité et la couleur.

La température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés en utilisant la méthode potentiométrique avec le multiparamètre WTW pH/Cond 3320. Les deux sondes de l'appareil dont l'une conservée dans une solution de chlorure de sodium (NaCl) sont introduites dans l'échantillon puis la lecture des différents paramètres s'est effectuée une fois les valeurs stabilisées.

La turbidité est obtenue par la méthode néphélométrique à partir du turbidimètre HACH 2100Q. L'eau est prélevée dans une cuve puis introduite dans le compartiment de la cuve de l'appareil. La valeur de turbidité est affichée après avoir appuyé la touche "mesurer".

La méthode colorimétrique est utilisée sur le terrain pour la mesure de la couleur. Le programme d'analyse de la couleur a été sélectionné dans le DR 1900 (120). Deux cuves de 10 ml ont été utilisées. L'une a servi de témoin avec l'eau désionisée et l'autre contenant l'eau à analyser.

❖ Mesures au laboratoire

Les paramètres mesurés au laboratoire sont le chlore libre, le fer total et le manganèse. Ces paramètres sont mesurés par la méthode colorimétrique à l'aide du spectrophotomètre HACH DR 1900.

Le chlore libre est mesuré en utilisant deux cuves de 10 ml contenant l'eau à analyser. L'une a servi de témoin et l'autre de solution préparée par ajout de réactif (DPD No1). Il s'en suit une coloration rouge-rose qui témoigne selon l'intensité de la présence plus ou moins élevée de chlore libre dans l'échantillon d'eau.

Le fer total est mesuré en utilisant deux cuves de 10 ml. L'une des cuves contenant de l'eau distillée a servi de blanc et l'autre de l'eau à analyser. Le contenu d'une pochette de réactif pour le fer total (TPTZ) a été transféré dans chaque cuve. Il s'en suit une homogénéisation avec une

MATERIEL ET METHODES

coloration bleue qui marque la présence de fer total. La mesure est réalisée après 3 minutes d'attente.

Le manganèse est mesuré également en utilisant deux cuves de 10 ml. L'une des cuves contenant de l'eau distillée a servi de blanc et l'autre de l'eau à analyser. Une (1) pochette acide ascorbique, douze (12) gouttes Alkaline cyanide et douze (12) gouttes de PAN indicator sont ajoutées au contenu de chaque cuve et sont homogénéisées. Il s'en suit une coloration rouge-orange. Les mesures sont faites deux minutes après.

2.2.2.3. Analyse statistique sommaire des paramètres

Elle a consisté à étudier les valeurs extrêmes (minima et maxima), la valeur centrale (la moyenne) et le paramètre de dispersion (écart type) des paramètres mesurés. De plus, une comparaison des valeurs de ces paramètres aux directives de potabilité de l'OMS (2017) pour les eaux de consommation humaine est faite. Elle a porté sur l'eau de la bache (niveau de référence) et l'eau fournie au robinet.

2.2.3. Evolution des paramètres physicochimiques et organoleptiques de l'eau dans le réseau de distribution

2.2.3.1. Variation des paramètres dans les canalisations

❖ Choix des points de prélèvement

Les prélèvements sont faits sur le réseau principal ainsi que sur le réseau secondaire. Trois (03) critères ont dicté le choix des points de prélèvement :

- le nombre de matériaux qui constitue le tronçon ;
- la possibilité de prélever à un point d'interception de deux matériaux de conduite ;
- la représentativité du sous-tronçon.

Ainsi, trois (3) tronçons ont identifiés (Tableau II).

MATERIEL ET METHODES

Tableau II : Tronçons et points de prélèvements

Points de prélèvement	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3
Pt 1	Bâche	Hôtel Ambassade	Commerce
Pt 2	Village Château (Devant la station)	Carrefour CHR	Carrefour Antoine Gauze
Pt 3	Ziméguhé	Cabinet Djessan (cabinet des géomètres)	Après lycée 1
Pt 4	Zahia	Balouzon (Cour d'appel)	Face clôture Abattoir
Pt 5	B-Koukoghé		
Pt 6	Zétodigba		
Pt 7	Carrefour Baouya		
Pt 8	Zebra		
Pt 9	Kennedy extension		
Pt 10	Château		

La figure 15 montre les tronçons et points de prélèvements obtenus selon les critères fixés. Ainsi, le tronçon 1 est constitué uniquement de conduite en fonte ductile ; les tronçons 2 et 3 sont constitués de trois types de matériaux disposés les uns à la suite des autres comme suit : fonte ductile, amiante-ciment et PVC.

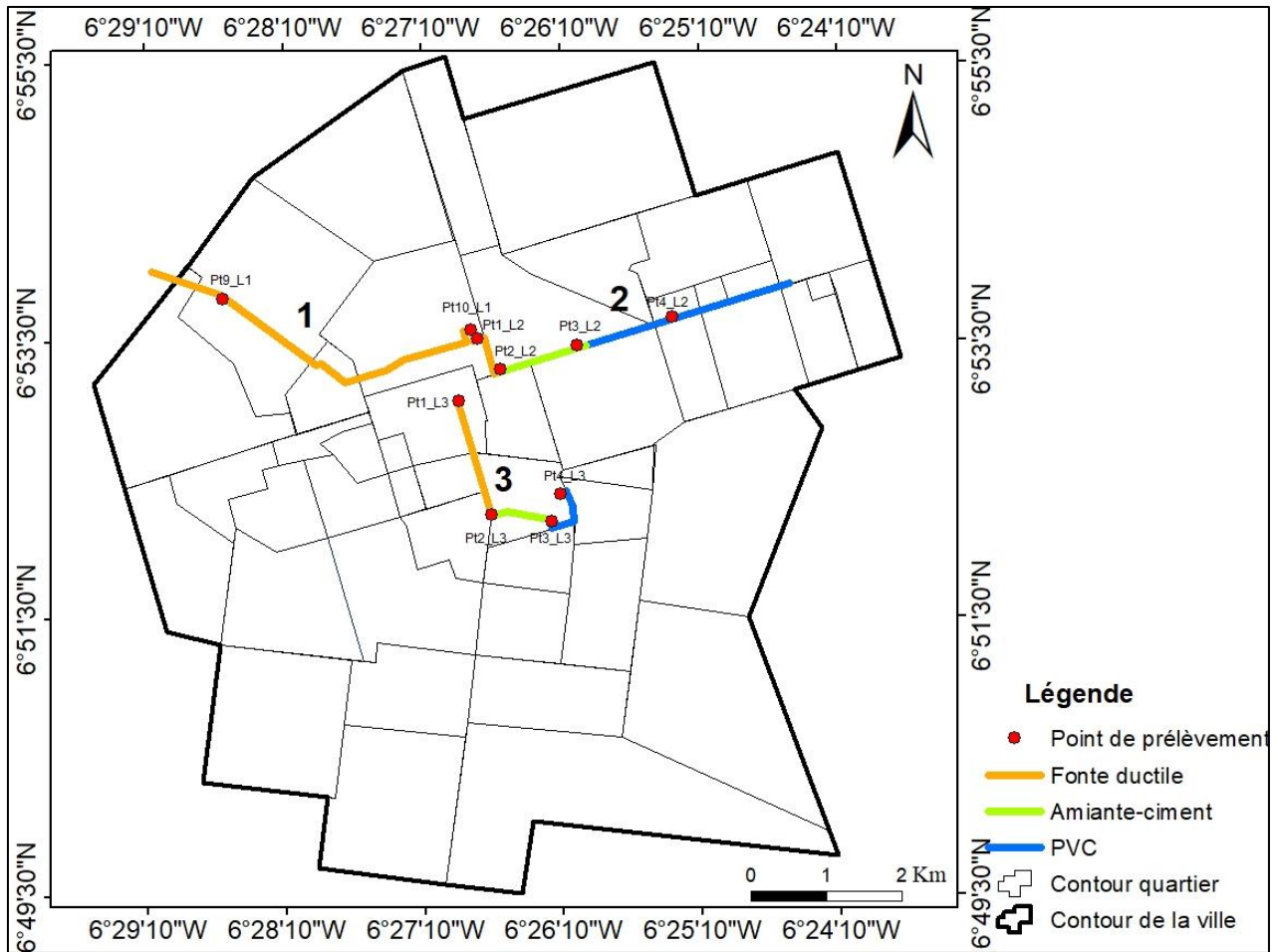


Figure 17 : Tronçons et points de prélèvement

❖ **Analyse des paramètres mesurés**

Les analyses ont été faites en fonction des différents types de matériaux constituant les conduites. L'objectif visé est d'identifier le ou les types de matériaux affectant la qualité de l'eau dans les canalisations.

2.2.3.2. Taux d'évolution des paramètres

Afin de quantifier l'évolution des paramètres de l'eau, le taux d'évolution de chaque paramètre a été calculé suivant l'équation 2. Les calculs sont faits au niveau des canalisations et du château d'eau. Les taux d'évolution sont exprimés en pourcentage (%).

$$\%Ev (i) = \frac{\text{mes.}(sortie) - \text{mes.}(Entrée)}{\text{mes.}(Entrée)} * 100 \quad (Eq 2)$$

avec :

- %Ev (i) : Taux d'évolution du paramètre i ;
- mes.(Entrée) : mesure du paramètre i à l'entrée du château ;
- mes.(Sortie) : mesure du paramètre i à la sortie du château.

MATERIEL ET METHODES

❖ **Au niveau des canalisations**

Le taux d'évolution de chaque paramètre est déterminé au niveau des conduites de différents matériaux afin d'identifier l'impact des différents types de matériaux sur la qualité de l'eau.

❖ **Au niveau du château d'eau**

Pour déterminer l'impact du château sur la qualité de l'eau, des mesures ont été faites sur la conduite d'entrée et de sortie du réservoir. L'eau d'entrée est prélevée au robinet situé au pied du château, juste avant le point d'injection du chlore et celle de sortie, au robinet du laboratoire. Les prélèvements se sont déroulés de 9 heures à 17 heures avec un pas de temps de 2 heures. Les mesures effectuées ont permis de calculer le taux d'évolution des paramètres après leur passage au château.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Diagnostic du réseau de distribution d'eau potable

3.1.1.1. Etat du réseau de distribution

❖ Bâche

L'eau traitée est stockée dans une bâche en béton armé de capacité 500 m³. La bâche située en amont de la salle de reprise constitue le nœud d'aspiration pour les pompes de refoulement avec un débit nominal de 475 m³/h. Ces pompes sont souvent surexploitées avec des débits allant jusqu'à 500 m³/h. Ces deux pompes fonctionnent en alternance. La durée de refoulement est de 23 heures et une heure d'entretien.

❖ Transport de l'eau

Le réseau d'eau fonctionne en refoulement-distributif. L'eau est distribuée en cours de route aux populations des localités raccordées (village Château, Zimeguhé-Lobo, B. Koukoghé, Zahia, Zetodigba, Carrefour Baouya, Zebra et Kennedy) durant son refoulement au château. Le transport de l'eau est assuré par deux conduites en fonte ductile de diamètres nominaux 500 mm et 300 mm avec une longueur d'environ 26 km chacune. Seulement la conduite DN300 assure la desserte en route.

❖ Château d'eau

Le château d'eau en béton armé d'une capacité de 2 000 m³ est implanté dans l'enceinte de la Direction Régionale de la SODECI. Il est composé d'un support cylindrique de 20 m de haut, d'un réservoir tronconique de 7 m et d'une coupole. Vu le type de refoulement mis en place (refoulement-distributif : les ménages sont desservis avant le remplissage du château) et l'insuffisance de production (11 000 m³/j contre une demande de 18 000 m³/j), l'eau qui y arrive ne séjourne pas. Un by-pass situé au pied du château sert de retour de l'eau stockée dans les conduites de distribution. La conduite d'entrée et celle de sortie du château sont en fonte ductile DN300. Ces conduites sont en état de corrosion.

❖ Conduites

Le réseau d'eau qui dessert la ville de Daloa est de type mixte avec environ 267,451 km linéaires. La figure 16 montre la répartition des différents matériaux qui constitue le réseau.

RESULTATS ET DISCUSSION

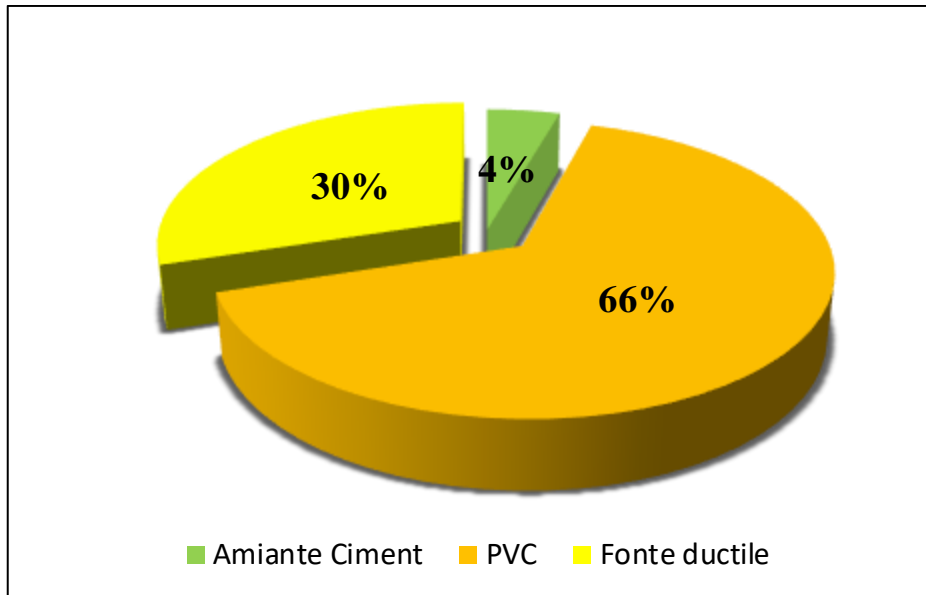


Figure 18 : Répartition des matériaux du réseau de distribution

Le réseau est dominé par les canalisations de type Polychlorure de Vinyle (PVC) avec 175,475 km des linéaires, soit 66%. Les conduites en fonte ductile comptent 80,081 km des linéaires, soit 30%. Seulement 11,985 km des conduites sont en amiante-ciment, soit 4%.

Les conduites en amiante-ciment et une grande partie des conduites en fonte ductile datent de 1967. La conduite d'amenée d'eau (en fonte ductile) de diamètre nominal 500 mm date de 2012. Cette conduite a remplacé une conduite en acier de diamètre 400 mm qui présentait plusieurs casses. Quant aux conduites en PVC, elles continuent toujours à être posées. A plusieurs endroits, les canalisations dénudées sont observées (Figure 17).



Figure 19 : Conduites dénudées

Le réseau compte 40 vannes, 45 ventouses, 63 vidanges et 4 poteaux d'incendie. Ainsi, nous avons observé des vannes dégradées sous l'effet de la corrosion (Figure 18).



Figure 20 : Corrosion interne sur une vanne

3.1.1.2. Indice linéaire de réparation (ILR)

Les indices linéaires de réparation du réseau de la ville de Daloa sont compris entre 1,69 et 2,97 (Figure 19) durant la période 2018-2020. Une diminution progressive des valeurs au fil des années est observée. Cela montre également une régression du nombre d'intervention sur le réseau. Cette régression peut être due au remplacement progressif des anciennes conduites. Tous ces indices sont au-dessus du seuil qui est 1 rép/an/km. Ces valeurs montrent que les canalisations du réseau d'eau potable sont dans un état de dégradation et traduisent la vétusté du réseau.

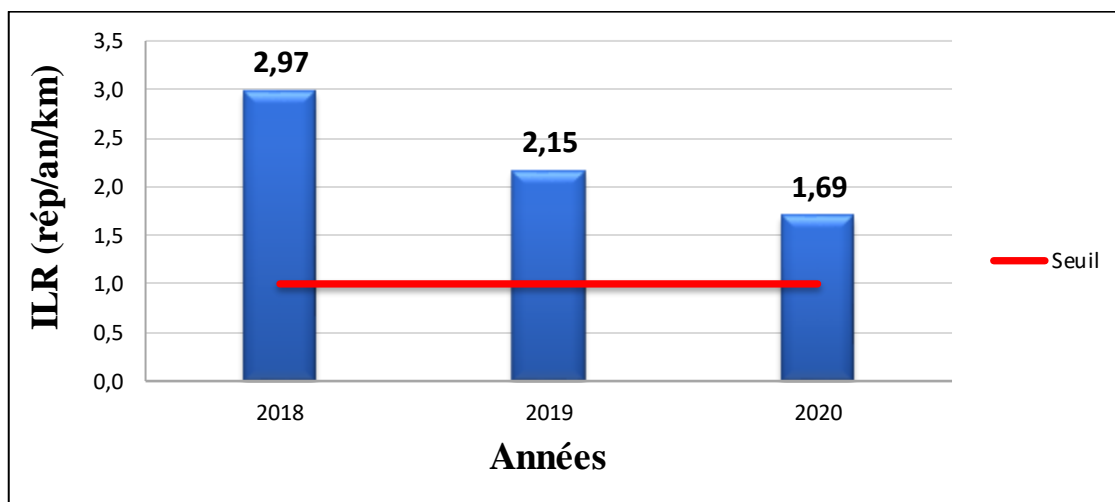


Figure 21 : Variation de l'ILR du réseau d'eau potable de la ville de Daloa (2018-2020)

RESULTATS ET DISCUSSION

3.1.2. Qualité de l'eau dans le réseau de distribution

3.1.2.1. Au niveau de la bêche

Le tableau III montre les minima, maxima, moyennes et écarts types de chaque paramètre mesuré sur l'eau de la bêche. Les valeurs moyennes de deux paramètres (température et couleur) sur les huit étudiés ne sont pas conformes aux directives de l'OMS (2017). Les valeurs de ces deux paramètres sont légèrement au-dessus de la valeur guide pour la température (26,77 °C) et largement au-dessus de la norme pour la couleur (26 UCV).

Tableau III : Analyse sommaire de l'eau de la bêche

	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl₂ (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Minium	26,30	6,63	274,00	2,68	11,00	0,10	0,21	0,08
Maximum	27,20	8,21	311,00	6,70	54,00	0,70	0,21	0,08
Moyenne	26,77	7,36	293,00	4,13	26,00	0,38	0,21	0,08
Ecart type	0,37	0,65	15,12	1,82	19,82	0,25	0,00	0,00
Valeurs guides (OMS, 2017)	< 25	6,5-8,5	< 400	< 5	< 15	0,2-5	< 0,3	< 0,1

3.1.2.2. Au niveau des canalisations

➤ Régime permanent

Le tableau IV montre les résultats des analyses de l'eau prélevée au niveau des ménages dans un cas de desserte continue (régime permanent). Les moyennes de cinq paramètres sur les huit ne sont pas conformes aux directives de l'OMS (2017). Ce sont : la température (29,32 °C), la couleur (35,03 UCV), le chlore libre (0,07 mg/L), le fer total (0,31 mg/L) et le manganèse (0,11 mg/L).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau IV : Analyse sommaire de l'eau en régime permanent

	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl₂ (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Minium	25,00	6,01	260,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	35,30	10,03	336,00	17,90	196,00	0,70	0,52	0,54
Moyenne	29,32	8,01	286,64	4,37	35,03	0,07	0,31	0,11
Ecart type	1,55	0,44	11,54	2,55	26,64	0,08	0,17	0,12
Valeurs guides (OMS, 2017)	< 25	6,5-8,5	< 400	< 5	< 15	0,2-5	< 0,3	< 0,1

➤ Régime temporaire

Le tableau V présente les caractéristiques des paramètres de l'eau du réseau après une coupure d'eau. L'analyse du tableau montre que cinq paramètres sur les huit mesurés ont des valeurs très supérieures à celles fixées par l'OMS (2017). Ce sont : la turbidité (116,29 NTU), la couleur (+++), le chlore libre (+++), le fer total (+++) et le manganèse (+++). Le potentiel d'hydrogène (6,85) et la conductivité (300,29 µs/cm) sont conformes aux directives de potabilité de l'OMS.

Tableau V : Analyse sommaire de l'eau en régime temporaire (après coupure d'eau)

	T (°C)	pH	CE (µs/cm)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl₂ (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Minium	27,00	6,51	285,00	99,00	+++	+++	+++	+++
Maximum	32,20	7,03	320,00	136,00	+++	+++	+++	+++
Moyenne	29,36	6,85	300,29	116,29	+++	+++	+++	+++
Ecart type	1,71	0,18	12,42	13,42				
Valeurs guides (OMS, 2017)	< 25	6,5-8,5	< 400	< 5	< 15	0,2-5	< 0,3	< 0,1

Les signes +++ signifient que la valeur du paramètre mesuré est supérieure à la plage supérieure de lecture de l'appareil.

3.1.3. Evolution des paramètres physicochimiques et organoleptiques dans le réseau de distribution

3.1.3.1. Variation des paramètres dans les canalisations

Les résultats des analyses physico-chimiques et organoleptiques de l'eau du réseau ont été présentés en fonction du type de matériaux des conduites dans les tronçons. Le tronçon 1 est

RESULTATS ET DISCUSSION

constitué uniquement de conduites en fonte ductile. Les tronçons 2 et 3 sont constitués de conduites en fonte ductile, d'amiante-ciment et de PVC.

➤ Température

La figure 20 montre l'évolution de la température dans les conduites sur les différents tronçons. On observe sur le tronçon 1 (Bâche-Château d'eau) constitué uniquement de conduites en fonte ductile, une évolution irrégulière de la température de l'eau au cours du transport. Dans le tronçon 2, la température croît progressivement du point 1 (hôtel ambassade, fonte ductile) au point 3 (cabinet Djessan, amiante-ciment) et elle diminue au point 4 (Balouzon, PVC). Dans le tronçon 3, la température évolue inversement au tronçon 2. En effet, la température décroît progressivement du point 1 (commerce, fonte ductile) au point 3 (lycée 1, amiante-ciment) et elle augmente au point 4 (face abattoir municipal, PVC). La température est supérieure à la valeur guide sur l'ensemble des tronçons choisis.

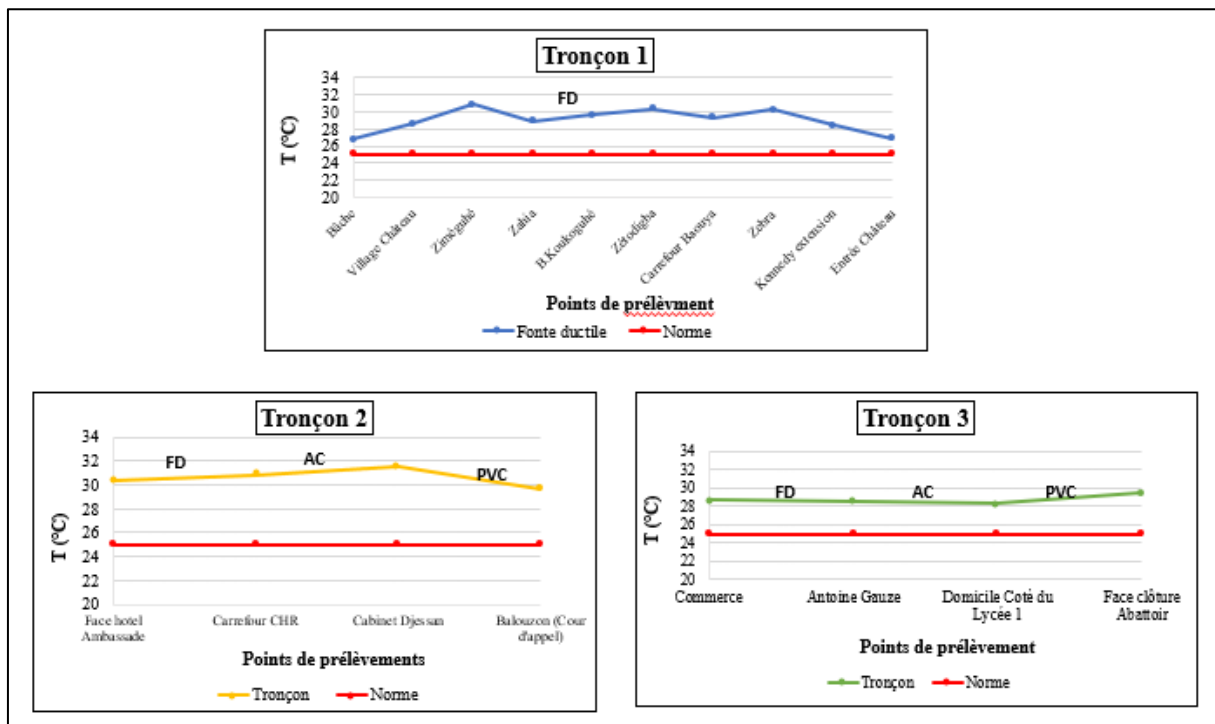


Figure 22 : Variation de la température dans les tronçons choisis

➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

L'évolution du pH dans les tronçons est présentée à la figure 21. Dans le tronçon 1, on observe une augmentation du pH de la bâche (7,4) à Zahia (7,9) suivie d'une diminution progressive jusqu'au château d'eau (7,1). On observe une diminution progressive dans l'ensemble du tronçon 2. Dans le tronçon 3, le pH diminue au niveau de la conduite en fonte ductile puis

RESULTATS ET DISCUSSION

augmente au niveau de la conduite en amiante-ciment suivi d'une diminution au niveau de la fonte en PVC. Dans tous les tronçons, les valeurs de pH sont supérieures à 7 et respectent les directives de l'OMS.

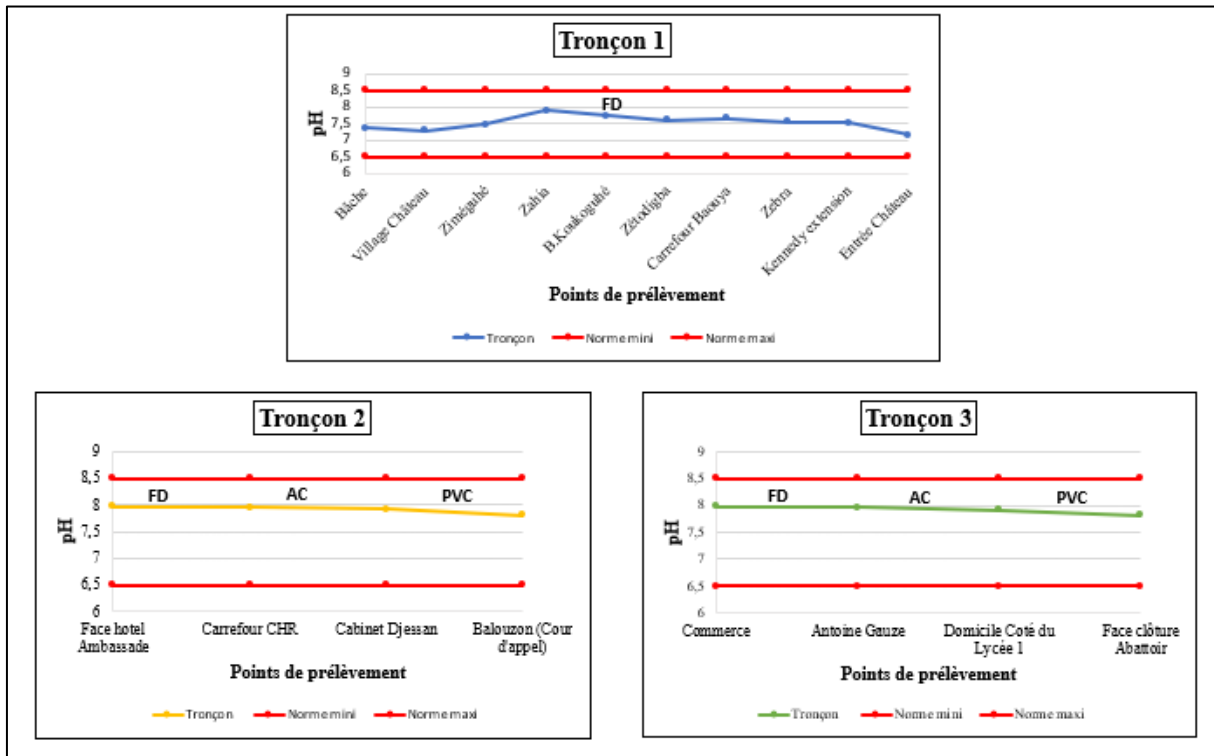


Figure 23 : Variation du potentiel d'hydrogène dans les tronçons choisis

➤ Conductivité électrique

La figure 22 montre l'évolution de la conductivité électrique de l'eau dans les tronçons. La conductivité varie de 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'ensemble des trois tronçons. Dans le tronçon 1, la conductivité évolue en dent de scie avec une faible valeur (280 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à B. Koukoguhe et une valeur élevée (310 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au carrefour Baouya. Dans le tronçon 2, elle croit légèrement du point 1 (274 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au point 3 (284 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et diminue dans la conduite en PVC pour atteindre 276 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au point 4. Dans le tronçon 3, la conductivité électrique croit légèrement du point 1 (280 $\mu\text{S}/\text{cm}$) au point 3 (291 $\mu\text{S}/\text{cm}$) puis reste presque constante la conduite en PVC. La conductivité électrique est moyenne (200-333 $\mu\text{S}/\text{cm}$) à faible (100-200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les tronçons.

RESULTATS ET DISCUSSION

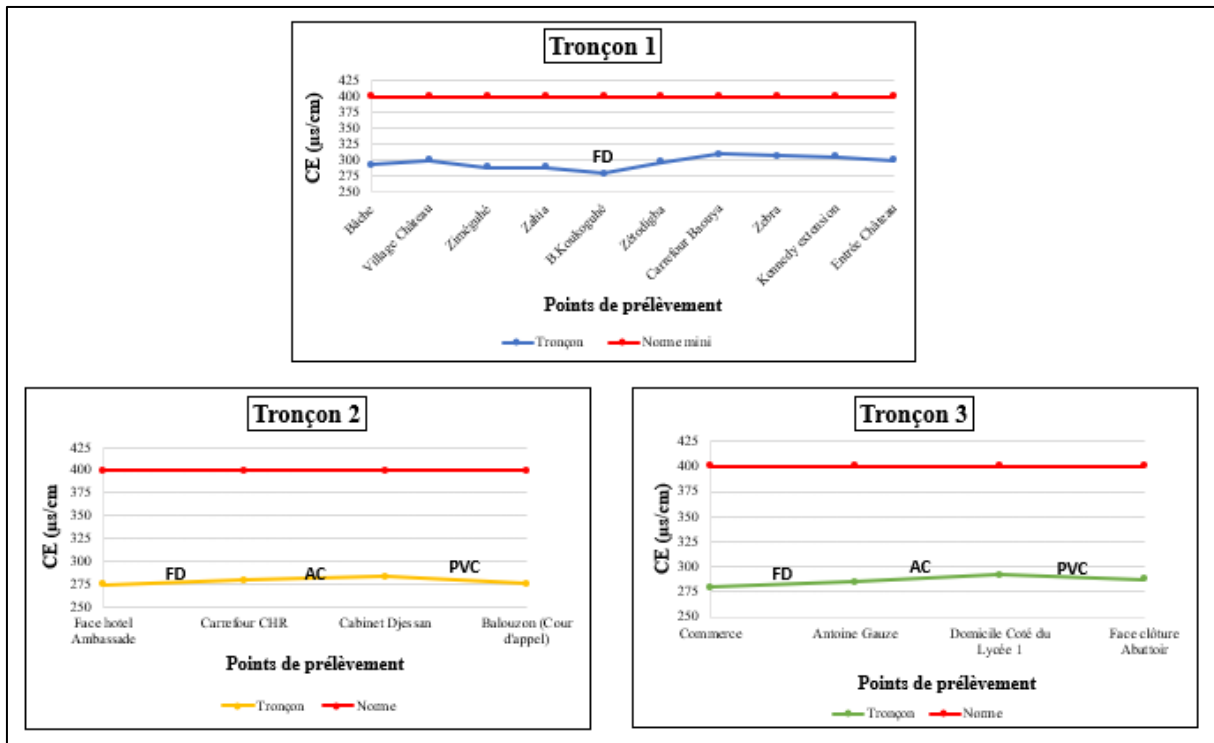


Figure 24 : Variation de la conductivité électrique dans les tronçons choisis

➤ Turbidité

La figure 23 montre l'évolution de la turbidité de l'eau dans les différents tronçons. Dans le tronçon 1, la turbidité varie de 2,26 NTU (Zahia) à 4,74 NTU (B. Koukoghé). Dans le tronçon 2, on observe une légère augmentation au niveau de la conduite en fonte ductile puis une diminution continue jusqu'à la conduite en PVC. Dans le tronçon 3, une augmentation de la turbidité est remarquée au niveau de la conduite en fonte ductile ; puis une diminution significative dans la conduite en amiante-ciment suivie d'une augmentation dans la conduite en PVC. Le sous-tronçon en PVC du tronçon 3 représente la fin d'un tronçon du réseau. La turbidité est inférieure à 5 NTU.

RESULTATS ET DISCUSSION

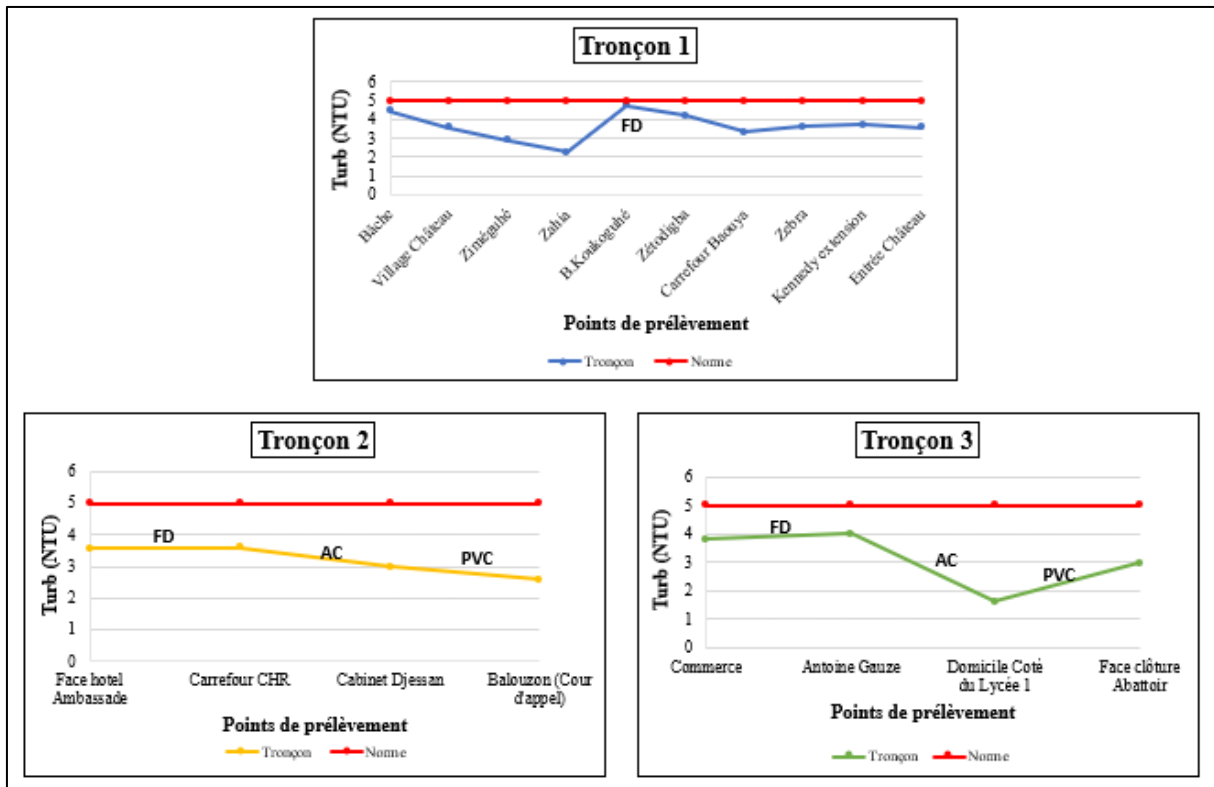


Figure 25 : Variation de la turbidité dans les tronçons choisis

➤ Couleur

La figure 24 montre l'évolution de la couleur sur les tronçons. Dans le tronçon 1, la couleur est comprise entre 18,67 UCV (Ziméguhé) et 41,67 UCV (B. Koukoghé). Une augmentation significative est constatée au niveau du point 5 (B. Koukoghé). Dans le tronçon 2, une légère augmentation de la couleur du point 1 au point 2 suivie d'une diminution progressive dans la conduite en amiante-ciment jusqu'en PVC. Dans le tronçon 3, une augmentation de la couleur est observée au niveau de la conduite en fonte ductile suivie d'une diminution brusque dans la conduite en amiante-ciment puis une augmentation dans la conduite PVC. Dans les tronçons choisis, la couleur est respectée uniquement dans les conduites en amiante-ciment et PVC du tronçon 3.

RESULTATS ET DISCUSSION

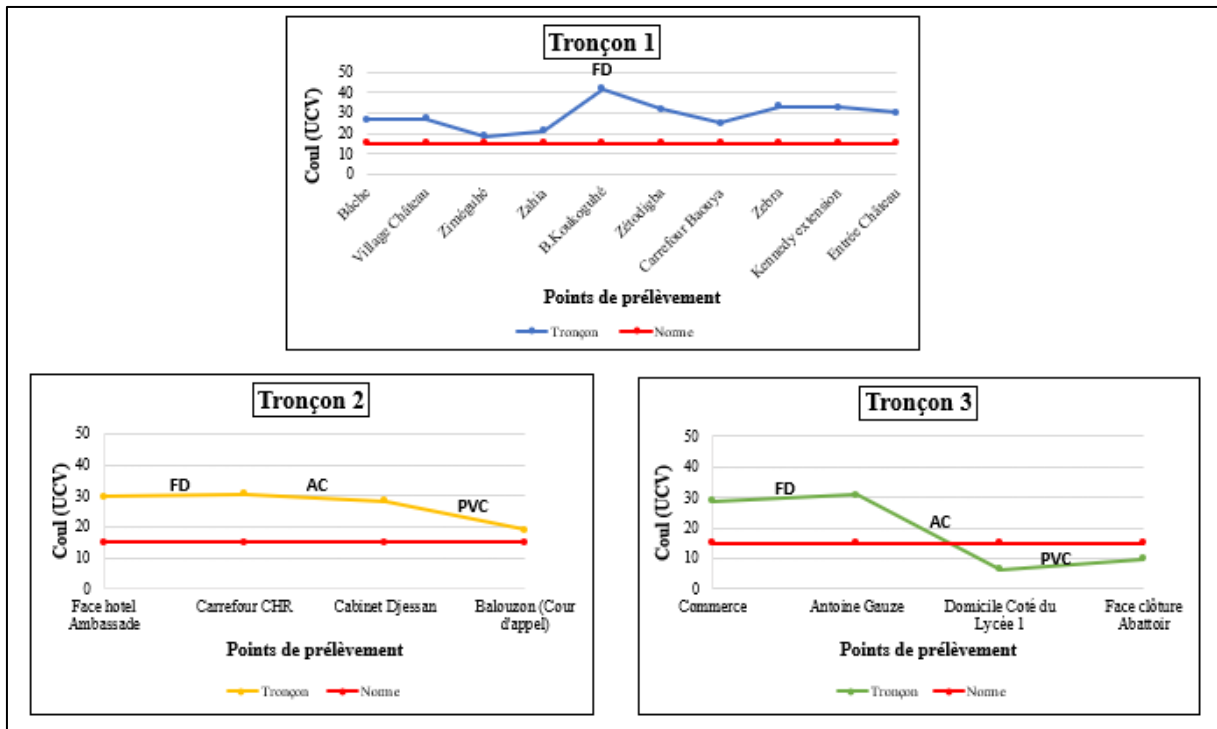
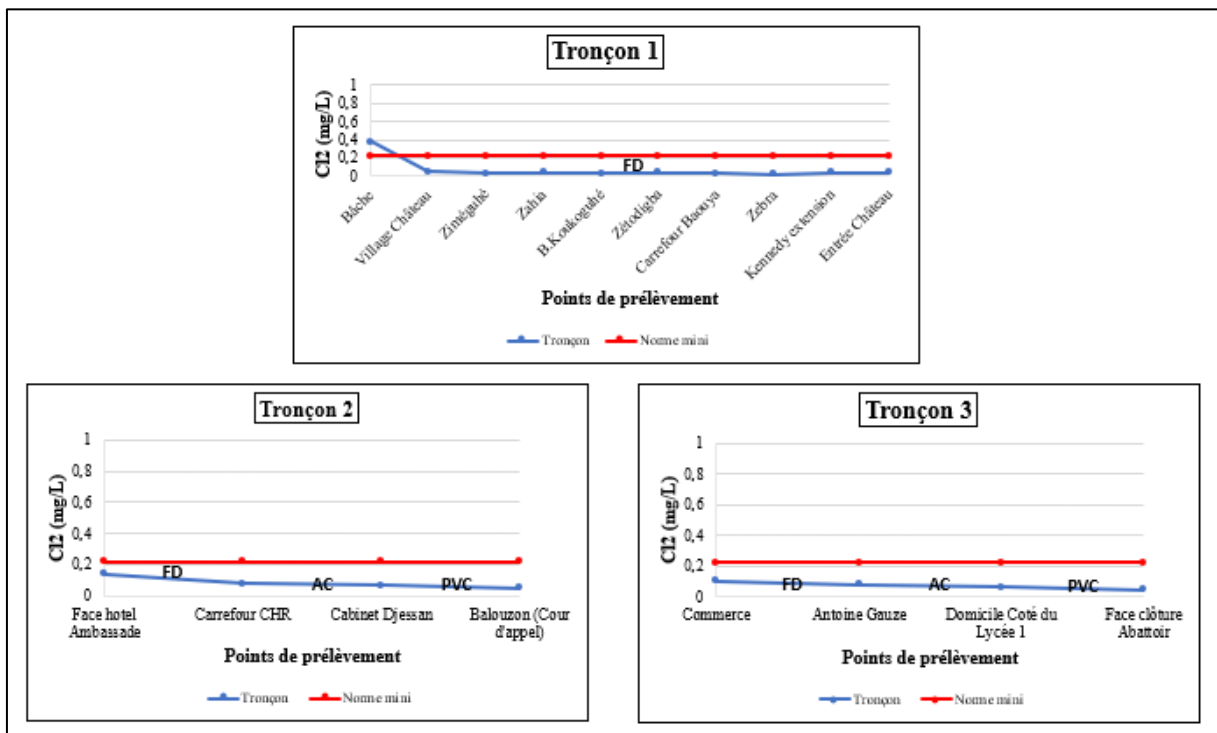


Figure 26 : Variation de la couleur dans les tronçons choisis

➤ Chlore libre

Le graphe de la figure 25 fait état de l'évolution du chlore libre dans l'eau. Une diminution du chlore libre dans l'ensemble des conduites est observée. Une baisse significative est observée au niveau du premier sous-tronçon du tronçon 1 (Bâche-village Château). Seul le chlore libre mesuré à la bâche (0,4 mg/L) est conforme à la valeur guide de l'OMS.



RESULTATS ET DISCUSSION

Figure 27 : Variation du chlore libre dans les tronçons choisis

➤ Fer total

La figure 26 montre l'évolution du fer total dans l'eau. Une forte variation des teneurs (en dent de scie) en fer total est observée dans le tronçon 1. Ces teneurs sont comprises entre 0,21 mg/L et 0,5 mg/L dans les tronçons 2 et 3, une augmentation du fer total est observée dans les conduites en fonte ductile suivie d'une diminution continue sur le reste du tronçon. Seuls les teneurs en fer dans la bache, les conduites en amiante-ciment et PVC du tronçon 3 sont conformes aux valeurs guides de l'OMS.

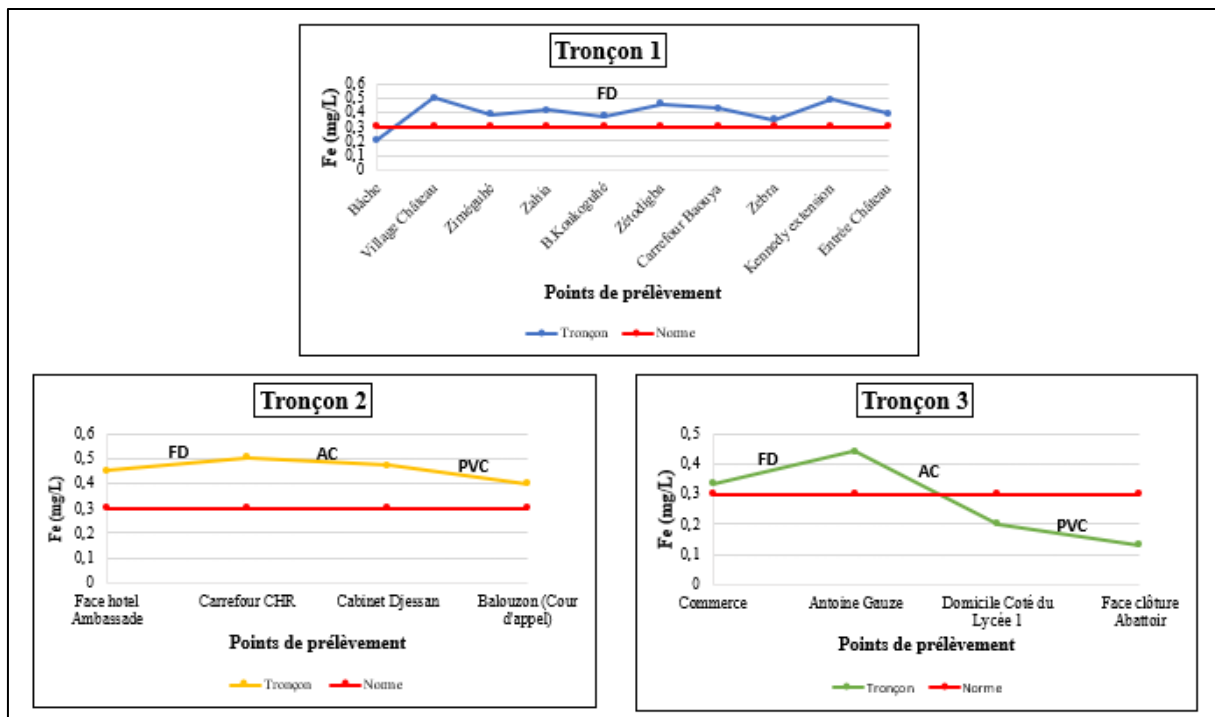


Figure 28 : Variation du fer total dans les tronçons choisis

➤ Manganèse

La figure 27 présente l'évolution du manganèse dans l'eau. La concentration du manganèse varie irrégulièrement dans le tronçon 1. La valeur la plus élevée a été obtenue à la bache (0,08 mg/L) et la plus faible est mesurée à B. Koukoghé (0,04 mg/L). Dans le tronçon 2, une évolution presque constante du manganèse au niveau de la conduite en fonte ductile est observée suivie d'une diminution dans l'ensemble du tronçon. Dans le tronçon 3, une légère variation est constatée suivie d'une diminution dans la conduite en amiante-ciment puis une augmentation au niveau de la conduite en PVC. Les valeurs de manganèse sont conformes aux directives de l'OMS (2017) dans les tronçons choisis.

RESULTATS ET DISCUSSION

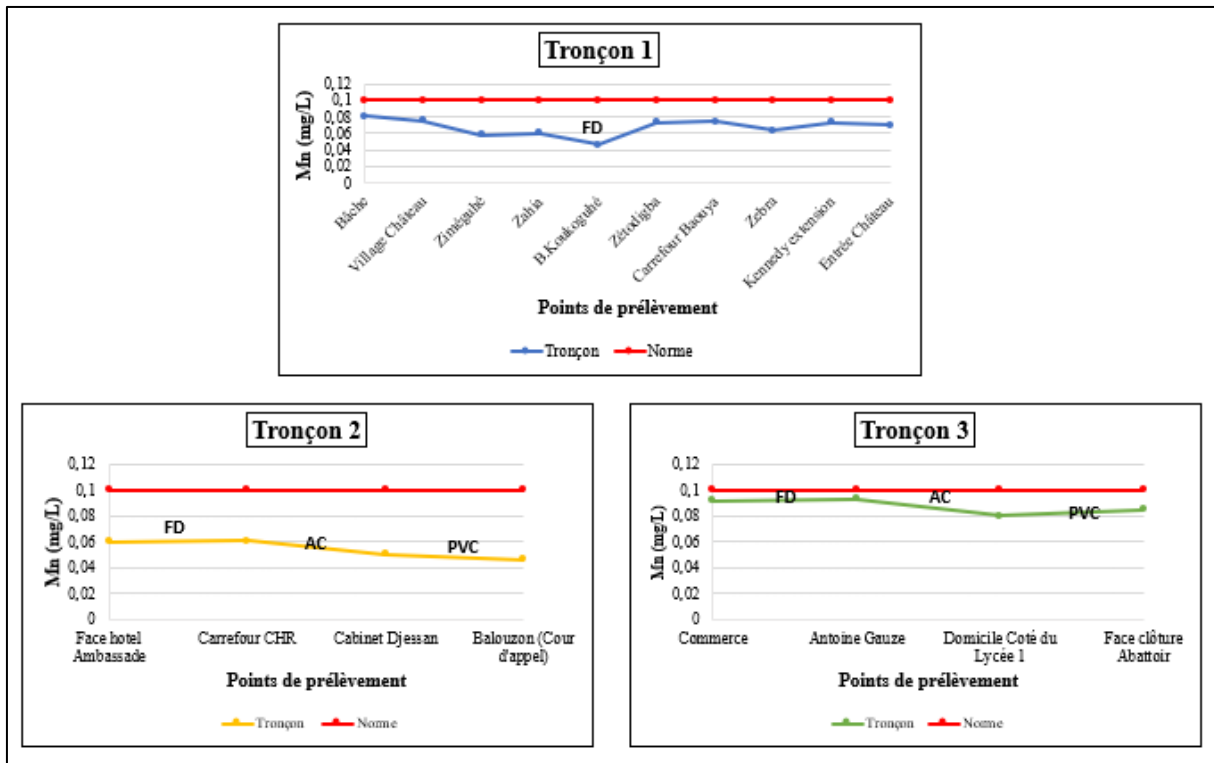


Figure 29 : Variation du manganèse dans les tronçons choisis

3.1.3.2. Taux d'évolution des paramètres

❖ Au niveau des canalisations

Les taux d'évolution des paramètres sont présentés en fonction du type de matériaux.

➤ Conduite en fonte ductile

Le tableau VI montre le taux d'évolution des paramètres mesurés dans le tronçon 1 (Bâche-Château d'eau). Une augmentation est observée au niveau de certains paramètres qui sont la température (0,5%), la conductivité (2,73%), la couleur (12,5%) et le fer total (85,71%). Cependant, certains paramètres ont diminué dans la canalisation. Ce sont le pH (-2,74%), la turbidité (-2,73%), le chlore libre (-89,38%) et le manganèse (-13,58%). Le taux d'augmentation le plus élevé est constaté au niveau du fer total (85,71%) et le taux de diminution le plus élevé est au niveau du chlore libre (-89,38%).

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau VI : Taux d'évolution des paramètres sur le tronçon 1 (Bâche-Château d'eau)

	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Bâche	26,77	7,36	293,00	4,46	26,67	0,38	0,21	0,08
Entrée Château	26,90	7,16	301,00	3,60	30,00	0,04	0,39	0,07
Taux d'évolution (%Ev)	0,50	-2,74	2,73	-19,28	12,50	-89,38	85,71	-13,58

Le tableau VII montre le taux d'évolution de chaque paramètre mesuré dans les conduites fonte ductile des tronçons 2 et 3. Dans le tronçon 2, une diminution est observée au niveau de deux paramètres : le pH (-0,18%) et le chlore libre (-43,86%). Dans le tronçon 3, une diminution est remarquée au niveau de trois paramètres : la température (-0,87%), le pH (-0,87%) et le chlore libre (-17,5%). En moyenne, on constate une croissance au niveau de certains paramètres tels que la température (0,22%), la conductivité électrique (1,85%), la turbidité (3,14%), la couleur (4,79%), le fer total (22,22%) et le manganèse (1,38%). Seuls le pH (-0,52%) et le chlore (-30,68%) ont diminué. Le taux d'augmentation le plus élevé est constaté au niveau du fer total (22,27%) et le taux de diminution le plus élevé est au niveau du chlore libre (-30,68%).

Tableau VII : Taux d'évolution des paramètres dans les canalisations en fonte après Château

	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Tronçon 2	1,32	-0,18	1,82	0,95	2,69	-43,86	12,00	1,67
Tronçon 3	-0,870	-0,87	1,88	5,33	6,90	-17,50	32,43	1,09
Ev moyen (%) (FD)	0,22	-0,52	1,85	3,14	4,79	-30,68	22,22	1,38

➤ Conduite en amiante-ciment

Le tableau VIII montre le taux d'évolution des paramètres dans les conduites en amiante-ciment dans les tronçons 2 et 3. Dans le tronçon 2, une diminution est constatée au niveau de six paramètres qui sont le pH (-0,52%), la turbidité (-16,51%), la couleur (-7,53%), le chlore libre (-16,13%), le fer total (-6,55%) et le manganèse (-17,71%). Cependant, une augmentation de deux paramètres est notée : la température (2,27%) et la conductivité électrique (1,43%). Dans le tronçon 3, on observe une diminution de six paramètres excepté le pH (2,38%) et la

RESULTATS ET DISCUSSION

conductivité (1,70%) qui ont augmenté. Une diminution de plus de 50% est remarquée au niveau de la couleur (-79,03 %), la turbidité (-59,13%) et le fer total (54,65 %). En moyenne, on constate une augmentation de la température (0,76%), du pH (0,93%) et de la conductivité électrique (1,56%). Cependant, on observe une diminution de la turbidité (-37,82%), la couleur (-43,28%), le chlore libre (-20,18%), le fer total (-30,60%) et le manganèse (-15,84%).

Tableau VIII : Taux d'évolution des paramètres dans les canalisations en amiante-ciment

	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Tronçon 2	2,27	-0,52	1,43	-16,51	-7,53	-16,13	-6,55	-17,71
Tronçon 3	-0,75	2,38	1,70	-59,13	-79,03	-24,24	-54,65	-13,98
Ev (%) (AC)	0,76	0,93	1,56	-37,82	-43,28	-20,18	-30,60	-15,84

➤ Conduite en PVC

Le tableau IX montre le taux d'évolution des paramètres dans les conduites en PVC sur les tronçons 2 et 3. Sur le tronçon 2, on remarque une diminution au niveau de tous les paramètres mesurés. Le grand taux de diminution est constaté au niveau de la couleur (-32,74 %). Sur le tronçon 3, on observe une augmentation au niveau de la température (0,04 %), la conductivité électrique (0,01 %), la turbidité (0,82 %), la couleur (0,54 %) et le manganèse (0,06 %). Cependant, une diminution est observée au niveau du pH (-0,03 %), du chlore libre (-0,31 %) et le fer total (-0,35 %). En moyenne, on constate une diminution au niveau de chaque paramètre.

Tableau IX : Taux d'évolution des paramètres dans les canalisations en PVC

	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)
Tronçon 2	-5,79	-1,31	-2,82	-14,06	-32,74	-25,86	-15,07	-8,37
Tronçon 3	0,04	-0,03	0,01	0,82	0,54	-0,31	-0,35	0,06
Ev moyen (%) (PVC)	-2,87	-0,67	-1,41	-6,62	-16,10	-13,08	-7,71	-4,15

RESULTATS ET DISCUSSION

❖ Au niveau du château d'eau

Le tableau X montre le taux d'évolution des paramètres durant le passage de l'eau au château. On observe une augmentation de tous les paramètres, excepté la conductivité électrique qui diminue de 1,55 %. On note que le chlore libre augmente significativement.

Tableau X : Taux d'évolution des paramètres (Château d'eau)

	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turb (NTU)	Coul (UCV)	Cl (mg/L)	Fe (mg/L)
Entrée	26,06	6,93	271,60	3,86	35,60	0,04	0,52
Sortie	27,98	7,17	267,40	4,16	45,80	0,29	0,54
Taux d'évolution (%Ev)	7,37	3,48	-1,55	7,82	28,65	663,16	3,83

3.2. Discussion

Les résultats de l'étude montrent que les valeurs de température de l'eau du réseau de distribution sont élevées (25-35°C). L'augmentation des valeurs de température de l'eau au robinet pourrait être attribuée à la période de l'étude. En effet, à quelques endroits, les conduites sont exposées à l'air libre du fait de l'érosion hydrique. Selon Uwizeyimana (2018), une température élevée peut favoriser des goûts ou odeurs désagréables à l'eau dans le réseau. De plus, elle accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biochimiques dans le réseau, dissipe l'effet du chlore et accélère la corrosion. En bref, une hausse de la température pourrait provoquer une dégradation plus rapide du chlore dans l'eau. Or, d'après Alla *et al.* (2018), la ville de Daloa est affectée par l'érosion hydrique liée au ruissellement des eaux pluviales non canalisées. A cette allure, une bonne partie des conduites risquent d'être exposée à l'air libre et donc cela pourrait perpétuer les effets de l'augmentation de la température dans les canalisations. Par ailleurs, la vétusté des installations a un impact significatif sur la qualité de l'eau. Selon Koffi (2016), la principale cause de dégradation de la qualité de l'eau dans les conduites métalliques telles que la fonte est la corrosion des canalisations. En effet, les réactions de corrosion conduisent à l'émission d'ions métalliques dans l'eau et entraînent la précipitation des ions ferriques, pouvant provoquer le perçage des parois des conduites en métal ferreux et la formation d'incrustations (diminution du diamètre). De plus, des problèmes d'eaux rouges, l'apparition de goût métallique et l'augmentation des concentrations en métaux dissous résultent de la corrosion des conduites (Durand, 2016). D'autre part, une chute de pression survient lorsque des fuites diffuses naissent sur la conduite. Cette diminution de pression

RESULTATS ET DISCUSSION

favorise non seulement des dépôts (sédiments et tartre) dans les conduites mais également l'entrée de certains éléments tels que l'eau, les boues, etc. Tous ces travaux justifient l'augmentation de la couleur et du fer total dans les conduites en fonte ductile. La variation de ces paramètres sur le tronçon 1 (Bâche-Château d'eau) composé uniquement de fonte ductile pourrait s'expliquer par l'éloignement de certains points de prélèvement de la conduite principale. Ces points sont reliés à la conduite principale par des conduites en PVC. Au niveau du point de prélèvement à B. Koukoguhé, il a été noté une augmentation significative de la coloration (41,67 UCV) et de la turbidité (5,74 NTU) de l'eau. Cette augmentation de la couleur et de la turbidité pourrait d'être due à l'accumulation de boue dans la conduite raccordant les ménages. Par ailleurs, les ouvrages métalliques (acier et fonte) corrodés présents sur le réseau contribuent également à l'augmentation de la couleur et du fer total dans l'eau.

Les conduites en amiante-ciment ne sont pas sujettes aux problèmes de corrosion ; ce qui constitue un avantage considérable comparativement aux conduites métalliques. Ce matériau (amiante-ciment) libère au contact de l'eau, de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 . Cela peut entraîner une augmentation de l'alcalinité, de la teneur en calcium et une libération de magnésium, de silice et d'hydroxyde provenant de l'amiante ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) (Koffi, 2016). L'augmentation du pH qui s'en suit, engendre une diminution de la concentration des métaux dans l'eau ; d'où une diminution de la couleur de l'eau (Santé Canada, 2015). Ceci justifie l'augmentation du pH et la diminution de la couleur, le fer total et le manganèse au niveau des conduites en amiante-ciment. Des taux élevés de ces métaux (supérieurs à la norme) peuvent entraîner des incidences sur la santé du consommateur. En effet, les fibres d'amiante peuvent être à l'origine de crises d'asthme, d'ulcères, de cancers et même d'arrêt cardiaque (Hardy *et al.*, 2018). Les conduites en amiante-ciment sont interdites selon le décret n 95-1133 du 24 décembre 1996. La faible diminution du pH dans la conduite en amiante-ciment du tronçon 2 (Carrefour CHR-Cabinet Djessan) pourrait être causée par un dépôt de fer, de manganèse, etc., provenant d'autres conduites.

Les conduites en PVC ne sont pas également sujettes à la corrosion comme les conduites en amiante-ciment. La diminution du fer total, du manganèse et de la couleur dans ces conduites pourrait s'expliquer par l'oxydation du fer et du manganèse dans l'eau ; d'où la diminution de la couleur de l'eau. L'augmentation de la turbidité, de la couleur et du manganèse au niveau de la conduite en PVC du tronçon 3 (Lycée 1-Abattoir municipal) pourrait s'expliquer par la non-exécution de purge de cette conduite, car elle représente la fin d'un tronçon du réseau de distribution. Ainsi, les meilleures qualités de l'eau sont prélevées sur les conduites en amiante-ciment situées dans les zones où le temps de séjour de l'eau est court.

RESULTATS ET DISCUSSION

La dégradation du chlore libre dans un réseau de distribution est attribuée à plusieurs facteurs tels que la réaction du chlore avec les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau, le biofilm aux parois des conduites, les produits de la corrosion et le temps de séjour de l'eau dans le réseau et les réservoirs (Abdelbaki, 2014). La dégradation du chlore résiduel pourrait être due également aux problèmes d'hygiène résultant du manque d'entretien des ouvrages ainsi qu'aux interconnexions du réseau avec les conduites vétustes. Par ailleurs, après la remise sous pression de l'eau dans les conduites après un temps de baisse pression ou de coupure d'eau, les éléments constitutifs des dépôts sont émis en solution d'où la cause des eaux très chargées en fer, manganèse et matières en suspension. L'augmentation de certains paramètres (CE, Turb, Coul et fer total) à la sortie du château pourrait être due à l'état des ouvrages et au manque d'entretien du réservoir de stockage de l'eau. Le taux d'évolution du chlore libre est dû à l'injection du chlore dans la conduite d'entrée château.

CONCLUSION

CONCLUSION

A l'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur la détermination des facteurs de l'altération de la qualité de l'eau dans le réseau de la ville de Daloa, il ressort que le réseau est vétuste avec des canalisations constituées à 66% de PVC, 30% de fonte ductile et 4% d'amiante-ciment. Les analyses ont révélé que l'eau de la bache est de bonne qualité. En effet, au niveau de la bache deux (2) paramètres ne sont pas conformes tandis qu'au niveau des canalisations, cinq paramètres sur les huit mesurés ne sont pas conformes aux directives de l'OMS. Les résultats ont montré également une dégradation de la qualité de l'eau dans des conduites en fonte ductile, surtout dans la conduite de DN300 située avant le château d'eau. Une amélioration de la couleur, de la turbidité, du fer total et du manganèse est constatée dans les conduites en amiante-ciment malgré l'interdiction de ce matériau dont un élément constitutif (fibres d'amiante) serait néfaste à la santé humaine. Cette interdiction est due principalement aux fibres d'amiante émises par ce matériau. Dans les conduites en PVC, les paramètres responsables de la coloration de l'eau dans le réseau connaissent une diminution. Une diminution du chlore libre est observée dans l'ensemble des conduites. Les conduites en fonte ductile vétustes et le manque d'entretien du réseau sont les principales causes de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau d'eau potable de la ville de Daloa.

Afin de contribuer à améliorer la qualité de l'eau de consommation de la ville de Daloa, nous recommandons au service en charge de l'eau potable de :

- remplacer les conduites en amiante-ciment et les conduites en fonte ductile vétustes sur l'ensemble du réseau de distribution d'eau potable par des conduites en PVC, PEHD ou en fonte ductile en fonction du diamètre de la conduite et la pression de l'eau ;
- entretenir les ouvrages (génie civil et hydrauliques) ;
- Respecter le planning d'entretien du réseau ;
- mettre à jour et numériser continuellement les plans de canalisation ;
- respecter les profondeurs de pose des nouvelles conduites en tenant compte des phénomènes d'érosion hydraulique ;
- remblayer les conduites existantes dénudées ;
- mettre en place un programme de suivi de la qualité de l'eau sur le réseau.

Pour la gestion efficace du réseau, il est impératif de mener :

- un suivi de la qualité microbiologique dans l'eau du réseau afin d'identifier les points de contamination ;
- une étude de la vulnérabilité de l'eau dans le réseau afin de déceler toutes les zones (secteurs) où le réseau est susceptible de détériorer la qualité de l'eau.

REFERENCES

REFERENCES

- 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. Thèse de Doctorat, Option : Mobilisation et Valorisation des Ressources en Eau, Spécialité : Hydraulique, Université Abou Bakr Belkaïd (Tlemcen, Algérie), 208 p.
- Ahimon O.A. (1990). Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, feuille de Daloa. Direction de la géologie, Abidjan (Côte d'Ivoire), 28 p.
- Ahoussi K.E. (2008). Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Application de l'hydrochimie et des isotopes de l'environnement à l'étude des aquifères continus et discontinus de la région d'Abidjan-Agboville. Thèse de Doctorat unique, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 270 p.
- Alla D.A., Atta K.J.M. & Yassi G.A. (2018). Les risques naturels et leurs manifestations dans une ville secondaire : érosion et inondation à Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *Revue de Géographie Tropicale et de l'Environnement*, 2 : 101-113.
- Amrani Z. (2017). Impact des différents facteurs régissant la qualité de l'eau potable pendant son trajet, depuis la station de traitement jusqu'aux différents usagers : cas de quelques quartiers de la ville de Guelma. Mémoire de Master en Science de la Nature et de la Vie, Université 8 Mai 1945 (Guelma, Algérie), 90 p.
- Awomon A.D.F., Coulibaly M., Niamké G.M. & Santos D.S. (2018). La problématique de l'approvisionnement en eau potable et le développement des maladies à transmission hydrique dans les quartiers d'extension Orly de la ville de Daloa (Daloa, Côte d'Ivoire). *Espace Territoires sociétés et santé*, 1(2) : 91-108.
- Bennis S. (2007). Hydraulique et hydrologie. 2e éd, Presses de l'université du Québec (Montréal, Canada), 470 p.
- Biemi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, Hydrodynamique, Hydrochimie et Isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université Nationale d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 493 p.
- Blîndu 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. Thèse de Doctorat, Spécialité : Sciences et Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieure

REFERENCES

- des Mines de Saint-Etienne et de l'Université Jean Monnet en cotutelle avec l'Université Technique de Moldavie (Saint-Etienne, France), 306 p.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille (France), 226 p.
- Celerier J.L., Faby J.A., Loiseau G. & Juery C. (2004). La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux. Document technique, Office International de l'Eau, Paris (France), 98 p.
- Chemidi M. & Kaddour Y. (2016). Etude diagnostique du réseau d'AEP de M'dig et Sidi Aissa, Chetouane. Mémoire de Master en Hydraulique, Université Abou Bekr Beilkaid (Chetouane, Algérie), 115 p.
- Delor C., Simeon Y., Vidal M., Zeade Z., Kone Y. et Adou M. (1995). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille Séguéla, Mémoire n°9 de la Direction des Mines et de la Géologie, Abidjan (Côte d'Ivoire), 19 p.
- Diawara F. (2015). Optimisation de la gestion du réseau de distribution d'eau potable de la station compacte de Missabougou à Bamako. Mémoire de Master en Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 74 p.
- Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de Doctorat, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 164 p.
- Durand J. (2016). Suivi en continu de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution : validation en laboratoire et terrain de sonde de mesure en continu multi-paramétriques. Mémoire de Master en science appliquée, Université de Montréal (Montréal, France), 106 p.
- Koffi F. H. (2016). Etude diagnostique de l'état des canalisations d'AEP pour une meilleure gestion de la qualité de l'eau potable à Abidjan : cas de la commune d'Abobo. Mémoire de Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Institut International de l'Eau et de l'Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 67 p.
- Koïta M. (2010). Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle : région de Dimbokro-Bongouanou (Centre-est de la

REFERENCES

- Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II (Montpellier, France), 220 p.
- Koné J., Yéo P.A. & Koné Y.N. (2018). L'eau est une préoccupation majeure en Côte d'Ivoire. *Dépêche*, (218) : 1-8.
- Korogo B. (2012). La gestion de l'approvisionnement en eau de la population de Ouagadougou : l'arrondissement de Bogodogo (Burkina Faso). Mémoire de Master, Option : Sciences de la Géo-Information, Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), Ilé-Ifè, Nigéria et l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) State, (Bouira, Nigeria), 87 p.
- Kouassi K.J.M. (2017). Modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère d'altérite : cas de la ville de Daloa. Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 73 p.
- Koukougnon W.G. (2013). Milieu urbain et accès à l'eau potable : cas de Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 416 p.
- Lachassagne P., Wyns R. and Dewandel B. (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23 : 145-161.
- Mvouezolo R.F.L., Loumpangou C.N., Foto E., Ayessou N., Diop C.G.M. & Ouamba J.M. (2019). Qualité hydrochimique et contamination métallique des eaux distribuées sous canalisation dans la ville de Brazzaville, Congo. *Afrique science*, 15(1) : 227-241.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4^{ème} Edition intégrant le premier additif, Genève (Suisse), 539 p.
- OMS/UNICEF (2017). L'eau et l'assainissement en chiffres. Rapport de coalition eau, Genève (Suisse), 4 p.
- RGPH (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Répertoire des localités : Région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire), 47 p.
- Santé Canada (2019). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique – Le manganèse. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, 32 p.

REFERENCES

- Santé Canada (2015). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique – Le pH. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, 48 p.
- Santé Canada (2012). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique-La turbidité. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, 93 p.
- Savadogo A.N. (1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute Volta : Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles, Université de Grenoble (Grenoble, France), 350 p.
- Soulama K. (2011). Influence du pH sur la chloration de l'eau de la station ONEA de Nasso. Mémoire de fin de cycle de master en génie biologique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Bobo-Dioulasso, Burkina Fasso), 51 p.
- Tanoh K.N.B. (2019). Optimisation du système de potabilisation de l'eau de la rivière Mé (Sud de la Côte d'Ivoire). Mémoire de Master, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 168 p.
- Uwizeyimana N. (2018). Etude de la variabilité spatio-temporelle du chlore libre et du pH de l'eau traitée de la station de Ziga et du réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Ouagadougou. Mémoire de Master en Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Institut International de l'Eau et de l'Environnement (Ouagadougou, Burkina Faso), 65 p.
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Option : Géosciences et Environnement, Spécialité : Hydrologie, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p.
- Zanzouni Y. (2018). Modélisation hydraulique et de qualité d'eau d'un réseau d'alimentation en eau potable par Epanet Marrakech. Mémoire de Licence en Sciences et Techniques de l'eau et de l'environnement, Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc) 56 p.

ANNEXES

ANNEXE

Annexe 1 : Récapitulatif des méthodes d'analyse au spectrophotomètre HACH DR 1900-2800- 3900 et 6000

PARAMETRES	PROGRAMME	BLANC				ECHANTILLON			
		VOLUME	TYPE	REACTIF	TEMPS D'ATTENTE	VOLUME	TYPE	REACTIF	TEMPS D'ATTENTE
Aluminium (Al ³⁺)	10	50 ml	eau à analyser	1 acide ascorbic 1 Aluver 3 <i>(on obtient le mélange réactionnel)</i>	1 min (Agitation)				
		10 ml	mélange réactionnel	1 Bleaching 3 <i>(30 sec. Agitation)</i>	15 min	10 ml	mélange réactionnel		15 min
Ammonium (NH ₄ ⁺)	380	25 ml	eau distillée	3 gouttes mineral stabilizer		25 ml	eau à analyser	3 gouttes mineral stabilizer	
				3 gouttes polyninyl alcohol				3 gouttes polyninyl alcohol	
				1 ml Nessler	1 min			1 ml Nessler	1 min
Couleur vraie	120	10 ml	eau distillée			10 ml	eau à analyser		
Chlore libre	80	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 DPD (10 ml) <i>(20 agitation)</i>	
Chlore total	80	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	2 DPD (10 ml) <i>(20 agitation)</i>	3 min
Chlorures (Cl ⁻)	70	10 ml	eau distillée	0,8 ml mercurique thiocyanate		10 ml	eau à analyser	0,8 ml mercurique thiocyanate	
				0,4 ml ferric ion solution	2 min			0,4 ml ferric ion solution	2 min
Cuivre (Cu)	135	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 Cuver 1	2 min
Fer ferreux (Fe ²⁺)	255	25 ml	eau à analyser			25 ml	eau à analyser	1 Ferrous Iron	3 min
Fer total (Fe)	270	10 ml	eau distillée	1 TPTZ	3 min	10 ml	eau à analyser	1 TPTZ	3 min
Fluor (F)	190	10 ml	eau distillée	2 ml SPADNS	1 min	10 ml	eau à analyser	2 ml SPADNS	1 min
Oxygène dissous	445	10 ml	eau à analyser			50 ml	eau à analyser	Accuvac <i>(30 sec. Agitation, 2 min attente, 30 sec agitation, 30 sec attente)</i>	
Manganèse (Mn ²⁺)	290	10 ml	eau distillée	1 acide ascorbic		10 ml	eau à analyser	1 acide ascorbic	
				12 gouttes Alkaline cyanide				12 gouttes Alkaline cyanide	
				12 gouttes PAN indicator	2 min			12 gouttes PAN indicator	2 min
Nitrates (NO ₃ ⁻)	353	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 NitraVer 5 (1 min d'agitation)	5 min
Nitrites (NO ₂ ⁻)	371	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 NitriVer 3	20 min
Ortho-phosphates (PO ₄ ²⁻)	490	25 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 PhosVer 3	2 min
Potassium (K ⁺)	905	25 ml	eau à analyser			25 ml	eau à analyser	1 Potassium 1	
								1 Potassium 2	
								1 Potassium 3 (30 sec d'agitation)	3 min
Silices (SiO ₂)	656	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 Molybdate 3	
			eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 Acid Reagent	10 min
			eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 Acid Citic	2 min
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	680	10 ml	eau à analyser			10 ml	eau à analyser	1 SulfaVer 4	5 min
Sulfure (S ₂ ⁻)	690	10 ml	eau distillée	0,5 ml Sulfide 1		10 ml	eau à analyser	0,5 ml Sulfide 1	
				0,5 ml Sulfide 2	5 min			0,5 ml Sulfide 2	5 min
Zin (Zn ²⁺)	780	20 ml	eau à analyser	1 ZincoVer 5 <i>(on obtient le mélange réactionnel)</i>					
		10 ml	mélange réactionnel			10 ml	mélange réactionnel	0,5 ml CycloHexanone <i>(30sec d'agitation)</i>	

Résumé

Les interactions entre les composants de l'eau durant son séjour dans le réseau ainsi que les conditions qui y règnent peuvent dégrader la qualité de l'eau du robinet par rapport à celle de l'eau produite. L'objectif de ce travail est de déterminer les facteurs de l'altération de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution de la ville de Daloa. La démarche a consisté d'abord à faire le diagnostic du réseau de distribution ; ensuite à évaluer la qualité de l'eau et enfin à déterminer l'évolution des paramètres dans le réseau de distribution. L'étude a montré que le réseau est vétuste (ILR >1) avec environ 267,451 km linéaire et les matériaux des canalisations sont constitués de PVC (66%), fonte ductile (30%) et amiante-ciment (4%). L'eau de la bache est de bonne qualité. Par contre, dans les conduites seulement, trois paramètres le pH, la conductivité électrique et la turbidité sont conformes aux directives de l'OMS. Pour déterminer l'évolution des paramètres dans le réseau, les mesures ont été effectuées sur trois tronçons différents. La couleur, la turbidité, le fer total et le manganèse connaissent une amélioration dans les conduites en amiante-ciment malgré leur interdiction. Le fer a augmenté dans les conduites en fonte ductile et l'eau est de bonne qualité dans les conduits PVC. Une diminution du chlore libre est observée dans l'ensemble des conduites. En définitive, les conduites en fonte ductile sont vétustes et le manque d'entretien du réseau sont les principales causes de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau d'eau potable de la ville de Daloa.

Mots clés : Daloa, eau potable, réseau de distribution, Côte d'Ivoire

Abstract

Interactions between the components of water during its stay in the system and the conditions in the system can degrade the quality of tap water relative to the water produced. The objective of this work is to determine the factors of water quality the deterioration in the network distribution of the city of Daloa. The approach consisted first of all in making a diagnosis of the network distribution; then in evaluating the quality of the water and finally in determining the evolution of the parameters in the network distribution. The study showed that the network is dilapidated with approximately 267,451 linear km and the pipe materials are made of PVC (66%), ductile cast iron (30%) and asbestos cement (4%). The water from the tarpaulin is of good quality. However, in the pipes only, three parameters pH, electrical conductivity and turbidity are in accordance with WHO guidelines. In order to determine the evolution of the parameters in the network, measurements were carried out on three different sections. Color, turbidity, total iron and manganese are improving in the asbestos-cement pipes despite the ban. Iron has increased in ductile iron pipes and water quality is good in PVC pipes. A decrease in free chlorine is observed in all pipes. The ductile iron pipes are obsolete and the lack of maintenance of the network are the main causes of the degradation of water quality in the drinking water network of the city of Daloa.

Keywords : Daloa, drinking water, distribution network, Côte d'Ivoire