



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 : 0321/2021

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0414002484

MASTER

PHYSIQUE-CHIMIE

Option : Environnement

THEME :

**DETERMINATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET
DE LA DEMANDE EN CHLORE DE L'EAU DES PUIITS
TRADITIONNELS DU QUARTIER MARAIS DE DALOA
(CENTRE-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE)**

Présenté par :

OUATTARA Segbagbena Ibrahim

JURY

Président : M. BARIMA Yao Sadaïou Sabas, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guede

Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences,
Université Jean Lorougnon Guede

Encadreur : M. KOUAME Kouamé Victor, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guede

Examineur : M. AKESSE Djamatche Paul Valéry, Maître-Assistant,
Université Jean Lorougnon Guede

Soutenu publiquement
le : 24/02/2021

DEDICACES

*Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au
monde :*

*Ma mère et mon père pour leur amour, leur
tendresse, et pour leur soutien moral et matériel
durant toutes les étapes de ma vie*

A mon oncle: Ouattara Klofagaman

A ma tante: Madogui

A mes chères sœurs: Salimata et son fils

Aboubacar, Mariam et ses filles: Abibata, Assata

A mes chers frères: Bamory et Abdoulaye

Et à mes chères amies

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nos sentiments sincères et profonds de reconnaissance à tous les enseignants de l'UFR environnement et de l'université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG). Au cours de nos études, vous nous avez donné sans relâche avec clarté et précision, des connaissances et des conseils qui sont gravés dans notre mémoire. Nos profondes gratitude vont précisément :

A Madame TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE,

Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guede, pour les moyens mis à notre disposition pour notre formation.

A Monsieur KOUASSI Kouakou Lazare,

Professeur Titulaire à l'Université Jean Lorougnon Guede, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, pour tous les efforts consentis en vue d'une meilleure réalisation de cette formation.

A Monsieur KONAN Kouakou Séraphin,

Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guede, Directeur Scientifique de notre travail, pour sa disponibilité malgré ses multiples responsabilités, sa rigueur, et les moyens mis à notre disposition pour la réalisation de ce travail.

A Monsieur KOUAME Kouamé Victor,

Maître-Assistant, Directeur de la Scolarité centrale de l'Université Jean Lorougnon Guede de Daloa, encadreur de ce mémoire, pour la pertinence de ses conseils méthodologiques, sa rigueur scientifique, sa patience et sa disponibilité qui ont apporté un grand édifice à ma formation. Merci Docteur et que Dieu vous comble de sa grâce de jour en jour.

A Madame OHOU Marie Jeanne épouse YAO,

Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guede, pour tous ses conseils et son orientation dans le cadre de ce mémoire, Nous gardons un meilleur souvenir de l'accueil que vous nous réserviez dans votre bureau. Votre simplicité et l'amour constant du travail bien fait, forcent notre admiration.

A Monsieur AKESSE Djamatche Paul Valéry

Maître-Assistant à l'Université Jean Lorougnon Guede, pour avoir accepté d'être l'examineur de ce mémoire, grand merci pour sa rigueur et ses critiques objectives.

A Monsieur DIBI Brou,

Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guede, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE), qui nous a permis d'effectuer nos différentes analyses aux sains du Laboratoire. Nous le remercions infiniment de nous avoir donné cette opportunité.

A Monsieur KOUASSI Kan Kouassi Parfait

Technicien de Laboratoire, Doctorant à l'école doctorale polytechnique de l'INP-HB, nous vous remercions pour votre disponibilité, votre ponctualité et votre rigueur scientifique. Merci pour votre encadrement et d'avoir accepté de travailler avec moi pour l'analyse de mes échantillons.

A toute la 3^{ième} promotion 2015-2016 de Physique Chimie Appliquée à l'Environnement,

Merci pour la fraternité, la cohésion et l'ambiance qui a régnée entre nous pendant toute l'année universitaire.

Enfin, mes remerciements vont, à tous ceux qui directement ou indirectement ont contribué à ma formation et dont les noms ne sont pas personnellement cités. Ce travail, n'est en somme que la résultante des efforts des uns et des autres.

TABLES DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : GENERALITES.....	3
1.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
1.1.1. Situation géographique	3
1-1-2-Climat et végétation	3
1-1-3-Géologie et hydrogéologie	4
1.1.4. Histirique de la situation administrative	5
1.1.5. Diagnostic de l'approvisionnement en eau potable de la ville.....	5
1.1.5.1. Etat actuel de l'alimentation de la ville de Daloa en eau	6
1.1.6. Puits à usage domestique à Daloa	6
1.1.6.1. Définition et types de puits	6
1.1.6.2. Usage des puits traditionnels à Daloa.....	7
1.2. VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES.....	7
1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines	7
1.2.2. Principaux polluants des eaux souterraines	7
1.2.2.1. Polluants chimiques.....	8
1.2.2.2. Polluants physiques	8
1.2.2.3. Polluants biologiques	9
1.3. DESINFECTION DES EAUX DE CONSOMMATION	9
1.3.1. But de la désinfection.....	9
1.3.2. Principes de la désinfection.....	9
1.3.3. Normes de désinfection.....	9
1.3.4. Différents types de désinfection.....	11
1.3.4.1. Désinfection physique	12
1.3.4.2. Désinfection chimique.....	12

1.4. DESINFECTION PAR LE CHLORE	13
1.4.1. Rôle du chlore dans la désinfection.	14
1.4.2. Propriétés physico-chimiques du chlore	14
1.4.2.1. Propriétés physiques du chlore.....	14
1.4.2.2. Propriétés chimiques du chlore	14
1.4.3. Mise en œuvre de la chloration des eaux	15
1.4.4. Dosage du chlore.....	15
1.5. ACTION DU CHLORE SUR LES CONSTITUANTS DE L'EAU	16
1.5.1. Effet biocide du chlore.....	16
1.5.2. Effets du chlore sur les composés organiques de l'eau.....	16
1.5.3. Effets du chlore sur les composés minéraux de l'eau	17
1.5.4.1. Réaction du chlore sur l'azote ammoniacal	17
1.5.4.2. Réaction du chlore sur les ions bromures et iodures	18
1.5.4.3. Réaction du chlore sur d'autres composés minéraux	19
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	19
2-1 MATERIEL.....	19
2.1.1. Outil d'enquête.....	19
2.1.2. Echantillonnage.....	19
2.1.2. Analyses	19
2.1.2.1. Matériel d'analyses physico-chimiques	19
2.1.2.2. Matériel d'analyses microbiologiques.	20
2-2-METHODES.....	21
2.2.1. Enquête	21
2.2.2. Identification et sélection des puits à échantillonner	22
2.2.3. Prélèvement, conservation et transport des échantillons d'eau.....	23
2.2.4. Analyses	23
2.2.4.1. Paramètres microbiologiques	23
2.2.5.1. Préparation de la solution du chlore	26
2.2.5.2. Dosage du chlore résiduel	27
2.2.5.3. Détermination de la demande en chlore	27
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	28
3.1. RESULTATS.....	29

3.1.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits	29
3.1.1.1. Description des caractéristiques et l'environnement des puits.....	29
3.1.1.2. Température	31
3.1.1.3. pH.....	31
3.1.1.4. Turbidité.....	32
3.1.1.5. Conductivité électrique	32
3.1.1.6. Dureté totale	33
3.1.1.7. Calcium	33
3.1.1.8. Magnésium	34
3.1.1.9. Chlorure.....	34
3.1.2. Caractéristiques microbiologiques des eaux de puits	35
3.1.3. Demande en chlore.....	35
3.2. DISCUSSION	37
CONCLUSION.....	482
REFERENCES	43
ANNEXES.....	49

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

Br ⁻	:	Ion bromure
BrO ⁻	:	Ion hypobromite
Ca ²⁺	:	Calcium
Cl ⁻	:	Ion chlorure
Cl ₂	:	Dichlore
ClO ⁻	:	ion hypochloreux
DPD	:	Diéthyl- Para- Phénylène- Diamine
EDTA	:	Ethylène Diamine Tétracétique
GPS	:	Global Positioning System
H ₂ O	:	Eau
HBrO	:	Acide hypobromeux
HCl	:	Acide chloridrique
HClO	:	Acide hypochorite
HIO	:	Acide hypoiodeux
IO ⁻	:	Ion hypoiodite
l/hbt/j	:	Litre par habitant par jour
LAPISEN	:	Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement
Mg ²⁺	:	Magnesium
N ₂	:	Diazote
NCl ₃	:	Trichloroamine
NH ₂ Cl	:	Monochloroamine
NH ₃	:	Ammoniaque
NHCl ₂	:	Dichloroamine
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
pH	:	potential d'hydrogène
TH	:	Titre Hydrotimétrique
THM	:	Trihométhane
TSN	:	Tryptone Sulfite Neomycin
VRBL	:	Violet Red Bile Lactose

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Directive de qualité des paramètres physico-chimiques de l'eau de boisson (O.M.S, 2004).....	10
Tableau II : Directive des qualités bactériologiques de l'eau de boisson (O.M.S, 2004)	11
Tableau III : Propriétés physico-chimique du chlore.....	13
Tableau IV : Les volumes à injecter selon les doses choisies.....	28
Tableau V : Caractéristiques générales et l'environnement des puits.....	29
Tableau VI : Concentration des germes microbiens dans les eaux de puits	35

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1 : Carte de la ville de Daloa.....	3
Figure 2 : Hypochlorite de calcium (solide blanc) et l'eau de javel.....	13
Figure 3 : Courbe de Break-point d'une eau naturelle (Rodier, 2009).....	18
Figure 4 : Matériels d'analyse in-situ.....	19
Figure 5 : Matériels d'analyse microbiologique	20
Figure 6 : Localisation des puits échantillonnés.	22
Figure 7 : L'environnement des puits du quartier marais.	30
Figure 8 : Variation spatiale de la température des eaux de puits.....	31
Figure 9 : Variation spatiale du Ph des eaux de puits.	31
Figure 10 : Variation spatiale de la turbidité.....	32
Figure 11 : Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux de puits.	32
Figure 12 : Variation spatiale de la dureté totale des eaux de puits.	33
Figure 13 : Variation spatiale de la teneur en ions calcium des eaux de puits.....	33
Figure 14 : Variation spatiale de la teneur en ions magnésium dans les eaux de puits.....	34
Figure 15 : Variation spatiale de la teneur des ions chlorure dans les eaux de puits.	34
Figure 16 : Courbe de break point des eaux des puits classés catégorie 1.	35
Figure 17 : Courbes de break point des eaux des puits classés catégorie 2	36
Figure 18 : Courbes de break-point des eaux des puits classés catégorie 3.	36
Figure 19 : Variation de la dose au break point, de la teneur en chlore résiduel et de la demande en chlore.....	37

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Fiche d'enquête

ANNEXE III : Courbes de break point des puits étudiés



INTRODUCTION

L'eau est indispensable à la vie humaine et à la sécurité alimentaire, cependant elle peut être aussi une source de maladie. L'eau potable est donc cruciale pour la bonne nutrition et la santé humaine (HLPE, 2015). D'après le rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1987) cinq(5) millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson. La consommation de l'eau potable doit bénéficier d'une attention particulière (Coulibaly, 2005). En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni micro-organismes nocifs pour la santé (Diallo, 2010). Ainsi le maintien de la qualité de l'eau de consommation demeure une préoccupation majeure de tous les traiteurs et distributeurs d'eau potable (Sibille, 1998). Par ailleurs, 30 % de la population mondiale n'ont pas accès à des services d'alimentation domestique en eau potable (OMS & UNICEF, 2017), et surtout dans les pays en développement où les infrastructures des services de base ne suivent pas la croissance démographique suivie d'une urbanisation anarchique. Ceci entraîne des difficultés d'approvisionnement pour les populations en eau potable dans la plupart des pays africains. La Côte d'Ivoire à l'instar des autres pays africains, connaît ce sérieux problème d'approvisionnement en eau potable. Selon le rapport de l'UNICEF (2008), plus de 8 millions de personnes soit 43 % de la population ivoirienne manquent d'installations sanitaires de base et plus de 4 millions de personnes boivent encore de l'eau provenant de sources non améliorées. De nombreuses régions ivoiriennes dont le Haut-Sassandra sont touchées par cette situation. A Daloa, chef-lieu de la région du Haut Sassandra, seulement 4,3 % des ménages des quartiers précaires sont raccordés à la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI) et 95,7% non raccordés (INS, 1998). En effet l'eau desservie par la SODECI dans cette ville est une eau de surface provenant de la rivière LOBO qui est un affluent du fleuve Sassandra et située à une vingtaine de kilomètres de la ville. Cette usine fonctionne avec un débit nominal total de 315 m³/h pour une production réelle de 285 m³/h (Die, 2006). Cependant, compte tenu de l'évolution démographique de la population dans la ville, la pénurie d'eau est fortement ressentie dans les quartiers précaires dont la majorité de la population n'ont pas accès à l'eau potable (Kouacou, 2014). Selon Awomon *et al.*, (2019) l'usage quasi-exclusif de l'eau des puits traditionnel des quartiers de Daloa résulte de l'absence de couverture du réseau et le cout très élevé pour tout éventuel raccordement au réseau d'eau potable. Mais la faible profondeur des nappes et l'environnement malsain de ces puits constituent en premier lieu l'une des sources de pollution de ces eux. Ils peuvent également subir des contaminations physico-chimiques et microbiologiques plus ou moins importantes, provenant des effluents domestiques, des engrais agricoles et de certains

établissements industriels. La qualité de ces eaux étant donc menacée, il est nécessaire d'effectuer un traitement adapté avant leur consommation (Hounsounou *et al.*, 2017). Pour que ces eaux de puits ne constituent pas un risque direct ou indirect pour la santé des consommateurs, l'élimination des micro-organismes est un objectif essentiel dans leur traitement. Celle-ci est effectuée par une étape de désinfection qui consiste en une élimination et/ou inactivation des bactéries, parasites et autres micro-organismes présents dans l'eau naturelle. Il ne s'agit pas d'une stérilisation de l'eau mais d'obtenir une eau minéralogiquement potable, tout en y maintenant un résiduel de désinfectant pour empêcher la survie des micro-organismes et prévenir ainsi le risque de contamination potentiel (Desjardins, 1997). La désinfection de l'eau potable est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone et dans un certain nombre de cas, par un procédé physique comme l'utilisation du rayonnement Ultra-Violet (Cardot, 2010). En raison de son efficacité, de sa rémanence c'est-à-dire duré pendant laquelle le traitement par le chlore va être actif sans qu'on ne soit obligé de renouveler et pour des questions économiques et technologiques le chlore est utilisé préférentiellement aux autres oxydants.

Le présent travail s'intéresse à l'étude de l'évaluation de la dose optimale de chlore appliquée à l'eau des puits traditionnels du quartier marais de Daloa pour éliminer l'ensemble des micro-organismes pathogènes. Il a pour objectif général de déterminer la demande en chlore de l'eau des puits tout en gardant une dose de chlore résiduel afin d'assurer la protection de ces eaux contre toutes éventuelles contaminations. Plus spécifiquement, il s'agira :

- déterminer quelques paramètres physico-chimiques caractéristiques des eaux de puits;
- déterminer les contaminations microbiologiques des eaux de puits qui seront identifiées ;
- déterminer la quantité d'hypochlorite de sodium nécessaire pour éliminer l'ensemble des micro-organismes présents.

Le présent mémoire comporte trois principales parties. La première partie est consacrée aux généralités. Elle présente la zone d'étude et décrit la vulnérabilité des eaux souterraines ainsi que la désinfection des eaux de consommation par le chlore. La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisées pour l'obtention des données d'analyse. Quant à la troisième partie, elle expose les principaux résultats obtenus qui sont discutés. Une conclusion et des perspectives mettent fin à ce travail.

PARTIE 1 : GENERALITES

1.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1.1. Situation géographique

Daloa est une ville située au centre ouest de la Côte d'Ivoire dans la région du Haut-Sassandra entre 6°53 de latitude nord et 6°27 de longitude ouest. La ville de Daloa est limitée au Sud par celle d'Issia, au Nord par la ville de Vavoua, à l'Ouest par la ville de Zoukougbeu et à l'Est par la ville de Bouaflé (figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 5305 km² et est constituée de 33 quartiers (INS, 2013) dont le quartier Marais. Daloa se trouve à 141 km de Yamoussoukro, la capitale politique et à 383 km d'Abidjan, la capitale économique.

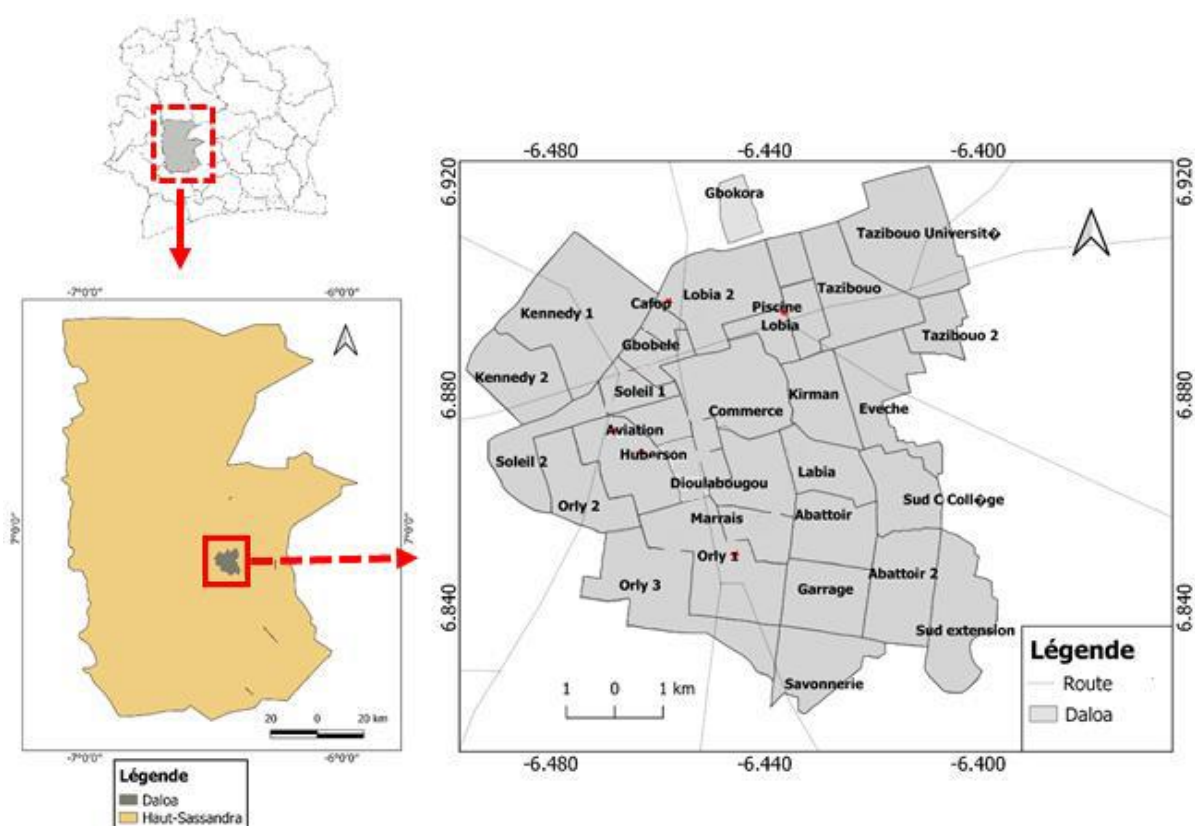


Figure 1 : Carte de la ville de Daloa

1-1-2-Climat et végétation

Daloa se trouve dans une région dont le climat est de type tropical, localement appelé climat attiéen, avec un régime pluviométrique de type bimodal atténué et organisé en quatre saisons : la grande saison des pluies d'avril à mi-juillet, la petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre, la petite saison des pluies de mi-septembre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars (Goula *et al.*, 2007). Ce climat est caractérisé par de fortes précipitations, une humidité atmosphérique élevée et une faible variation annuelle d'amplitude thermique.

Les précipitations minimales moyennes sont de 18 mm en janvier et le maximum est de 210 mm en septembre. Le mois de février est le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 27,6°C, tandis que le mois le plus froid est le mois d'août, avec une température moyenne de 24,6°C (Goula *et al.*, 2007).

La région est située dans le domaine guinéen, secteur forestier mésophile. Ce secteur se caractérise par la forêt dense humide semi-décidue. Cette forêt se retrouve sur la pédiplaine et est fortement dégradée dans les zones habitées par les activités agricoles et les feux de brousse (Baka, 2012). Depuis quelques années, une savanisation de la région est progressivement observée par l'intensification des cultures de rente comme le cacao, le café, le palmier à huile et hévéa (Yao *et al.*, 2016). Les pratiques culturales extensives et itinérantes, et l'exploitation non contrôlée des essences forestières ont notamment fait reculer les limites de cette forêt. Cette situation peut perturber gravement le climat de cette localité avec une incidence sur la ressource en eau mobilisable (Die, 2006).

1-1-3-Géologie et hydrogéologie

Les sols quant à eux, sont de type remanié et hydromorphe (Ligban *et al.*, 2009). Les premiers occupent plus de 90 % de la superficie. Ils sont généralement ferrallitiques et issus de l'altération des granites. Quant aux sols hydromorphes, ils s'observent le long des cours d'eaux et dans les bas-fonds. Les aptitudes physiques et chimiques de ces deux types de sols sont favorables à la plupart des cultures comme le café, le cacao, l'hévéa, le riz, etc. Au niveau géologique, la région appartient au socle précambrien et regroupe deux grandes formations que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques (Ligban *et al.*, 2009). Les roches magmatiques sont représentées par les granitoïdes : granites à biotite, granites à chlorite, albite et muscovite. Les roches métamorphiques rencontrées sont des migmatites dont les faciès sont de type migmatites anciennes, gneiss migmatitiques, migmatites rubanées et leucomigmatites. Aussi, sont présents des ensembles schisteux constitués de schistes argileux, gréseux et de grès feldspathiques. Au plan hydrogéologique, deux grands types d'aquifères sont rencontrés dans la région : les aquifères d'altérites et les aquifères de fractures et/ou de fissures. Les aquifères d'altérites issues des roches granitiques sont représentés par un mélange de sables et d'argiles avec une proportion plus importante de sables qui constituent également les arènes (Ligban *et al.*, 2009). En milieu schisteux, les produits d'altération sont dominés par une phase argileuse plus importante. Ils sont peu perméables et de porosité importante liée à la taille des grains (Ligban *et al.*, 2009). Ces aquifères ont une épaisseur moyenne de 10 à 20 m dans les granito-gneiss et de 15 à 40 m

dans les schistes (Soro, 2010). Les nappes d'altérites sont caractérisées par un niveau piézométrique proche de la surface du sol et sont de ce fait très vulnérables à la pollution. Elles se rechargent immédiatement au cours des précipitations et sont caractérisées par un rabattement excessif du niveau piézométrique en saison sèche. L'absence de forage ou le mauvais fonctionnement des pompes ou la mauvaise qualité des eaux du réseau d'eau potable, oblige les populations à avoir recours à ce type d'aquifères. Les aquifères de fissures et de fractures quant à eux, constituent le principal réservoir d'eau au-dessus de la partie non altérée du socle et sont captés dans les départements de Daloa et Zoukougbeu par des forages pour l'approvisionnement en eau potable des populations rurales et urbaines. Ces dernières abandonnent le plus souvent les eaux du réseau pour des raisons de mauvaise qualité. Ces forages ne peuvent fournir qu'un débit maximum de 10 m³/h pour des profondeurs supérieures à 50 m (Die, 2006). Par rapport aux aquifères d'altérites, les aquifères de fissures sont à l'abri des fluctuations saisonnières et de la plupart des divers types de pollution.

1.1.4. Historique de la situation administrative

Daloa est la troisième ville la plus peuplée de la Côte d'Ivoire après Abidjan et Bouaké avec une population de 319 427 habitants (INS, 2014). Le taux de croissance annuel de la ville de Daloa est de 3,8% (INS 1988). Depuis sa création, la ville de Daloa joue un rôle administratif de niveau régional. De chef-lieu du cercle du Haut Sassandra à l'époque coloniale (1908), la ville est érigée en commune mixte le 11 septembre 1953 et en commune de moyen exercice en août 1958. Après les indépendances, elle est choisie successivement comme chef-lieu du grand département de l'Ouest (1961), de la région du Centre-Ouest (1991) puis de la région du Haut Sassandra (1996) (Koukougnon, 2012). Cette volonté politique de faire de Daloa, un pôle régional par la mise en place d'une infrastructure administrative et la création d'équipements urbains indispensable à son fonctionnement comme le service de l'eau potable.

1.1.5. Diagnostic de l'approvisionnement en eau potable de la ville

L'accès à l'eau potable est un indicateur représentant le volume et la qualité de l'eau dont doit disposer chaque personne par jour. Si le volume d'eau nécessaire à la satisfaction de tous les besoins de base (boisson, lessive, vaisselle, douche, etc.) est de 20 l/hbt/j selon l'OMS, la norme ivoirienne s'établit à 50 l/hbt/j (Die, 2006). Quant à la qualité de l'eau, elle renvoie plutôt aux normes de potabilité de l'eau des sources d'approvisionnement. Fautes de critères nationales, la Côte d'Ivoire utilise les références de potabilité de l'union européenne. L'accès à

l'eau potable est un indicateur de santé très important puisqu'il est avéré que plus on dispose d'eau, plus on adopte facilement des mesures d'hygiène adéquates (Koukougnon, 2012).

1.1.5.1. Etat actuel de l'alimentation de la ville de Daloa en eau

Daloa est une ville en pleine croissance démographique avec son taux de croissance qui est supérieur à la moyenne nationale de 3 % (INS, 1988) Cependant, l'exécution de la noble mission par la SODECI est entravée par plusieurs obstacles. Il s'agit entre autres d'une eutrophisation totale du plan d'eau d'alimentation, de son envasement très avancé et de l'insuffisance de l'eau desservie à la population. Cette eutrophisation, qui a engendré l'invasion du plan d'eau par des macrophytes flottants s'est intensifiée à partir de 1992. Elle a aussi dégradé considérablement la qualité de l'eau du fleuve Lobo. Cette situation a entraîné un surcoût de traitement de l'eau brute qui est de 50 F/m³ alors que la moyenne nationale n'excède pas 20 F/m³. La production réelle des deux unités de production basée à la station de Lobo est de 285 m³/h contre une production nominale de 315 m³/h. Cette station, dimensionnée pour fonctionner 20 heures par jour travaille 24h/24 actuellement. Ainsi, nous obtenons un taux de saturation de 108,6 %. L'arrêt de 30 minutes de l'une des unités pour l'entretien des ouvrages de traitement entraîne un manque d'eau sur deux jours dans toute la ville de Daloa. D'où nous pouvons affirmer sans ambages que ces ouvrages sont saturés car ne pouvant plus faire face aux besoins de la population. Etant la première grande ville de l'ouest située juste après la zone de confiance instaurée par la crise politico-militaire du pays, Daloa a accueilli la plupart des populations fuyant les zones en amont de la région. Cette situation a entraîné un accroissement exponentiel des besoins en eau des populations, situation déjà alarmante (Die, 2006).

1.1.6. Puits à usage domestique à Daloa

1.1.6.1. Définition et types de puits

Un puits est un trou vertical permettant d'atteindre à partir du sol la nappe libre souterraine la moins profonde ou nappe phréatique. Les caractéristiques essentielles des puits sont : la profondeur, le diamètre et le débit d'eau. On distingue deux types : les puits traditionnels et les puits modernes. Les puits traditionnels sont des ouvrages qui sont réalisés par des populations avec les moyens dont elles disposent : la daba, la pioche, le marteau etc. Parmi les puits traditionnels, on peut distinguer les puits temporaires construits de manière sommaire avec une profondeur maximale de 10 m et les puits pérennes réalisés par des puisatiers chevronnés dont les profondeurs peuvent atteindre les 50 m (Yelignisse, 2007). Les puits

modernes sont des puits construits en béton armé. Ils bénéficient d'une maçonnerie permettent de capter les eaux souterraines à des profondeurs relativement importantes et d'assurer de façon permanente différents besoins en eau. Ainsi la réalisation de ces puits fait appel à des techniques plus modernes.

1.1.6.2. Usage des puits traditionnels à Daloa

Compte tenu du coût de revient très élevé de tout éventuel raccordement au réseau d'eau potable, les populations de certains quartiers utilisent exclusivement l'eau de puits traditionnel (Awomon *et al.*, 2019). Cette source est beaucoup plus utilisée dans les quartiers précaires et périphériques. Elle sert surtout pour les activités domestiques (vaisselle, lessive, toilette, etc.) et mais aussi comme l'eau de boisson pour certains ménages.

1.2. VULNERABILITE DES EAUX SOUTERRAINES

La vulnérabilité est définie comme étant un défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre les menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques (Margat, 1996). De ce fait, certaines eaux souterraines ne sont pas à l'abri des pollutions éventuelles, malgré l'idée de pureté naturelle qui leur est communément attachée. En effet, certains types de sol notamment les sols minces et hautement perméables, favorisent l'infiltration directe de polluants vers les eaux souterraines. Aussi, dans les aquifères sableux, la porosité d'interstice favorise l'infiltration des eaux superficielles conduisant ainsi à la contamination des eaux souterraines.

1.2.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines

Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau destinée à la consommation est nécessaire pour s'assurer que leur teneur demeure en deçà des valeurs pouvant engendrer une toxicité chez l'homme (OMS, 2006) comme stipulé par les normes de qualité des eaux potables de l'OMS. Les paramètres régulièrement suivis lors des contrôles de qualité physico-chimiques comprennent : la turbidité, le pH, la température, les teneurs en pesticides et en minéraux qui présentent des risques néfastes pour la santé tels que les nitrates, l'arsenic, le plomb, et les ions métalliques en solution (Miquel, 2003).

1.2.2. Principaux polluants des eaux souterraines

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles ou les eaux souterraines. La pollution des eaux superficielles est très perceptible et attire de suite l'attention sur les

dangers et les mesures à prendre pour la combattre. Par contre la pollution des eaux souterraines est moins apparente, de telle sorte que la tendance générale est de la négliger. Mais elle n'en est pas moins dangereuse, car elle atteint les ressources les plus précieuses par leur qualité et la nature de leurs réserves (Saadia, 2012).

Les polluants peuvent être classés, selon leur nature, en trois catégories : chimiques, physiques et biologiques (Kebiche *et al.*, 1999).

1.2.2.1. Polluants chimiques

La présence dans les eaux souterraines des nitrates, des nitrites et des phosphates est due aux rejets industriels (agroalimentaires, laverie, traitement de surface), agricoles (engrais, pesticides), domestiques (détergents, lessives). Ils proviennent aussi des rejets d'animaux (Martinelli, 1999). Les infiltrations qui en émanent polluent les nappes souterraines. Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) constituent un véritable danger pour la santé humaine quand ils sont à des concentrations excessives. Les concentrations de 50 mg/L pour les nitrates et 0,1 mg/L pour les nitrites dans l'eau de boisson constituent les limites au-dessus desquelles la santé est menacée (Castany, 1988), les ions majeurs Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} sont très solubles, ce qui leur permet de migrer facilement dans le sol. Leur présence dans l'eau à de très fortes doses donne un goût désagréable. Ils peuvent aussi provoquer des problèmes aux personnes atteintes de maladies rénales ou cardio-vasculaires (Martinelli, 1999)

Les pesticides et certains éléments métalliques peuvent être entraînés par les eaux et rejoindre les réservoirs souterrains par infiltration dans le sol. Leur ingestion régulière à de faible quantité peut être source d'une intoxication chronique (Douagui, 2005).

1.2.2.2. Polluants physiques

Les matières solides en suspension et la radioactivité sont les principaux agents physiques de la pollution des eaux souterraines (Castany, 1988).

Les matières solides en suspension y sont introduites par les précipitations et les eaux de surface. La radioactivité est potentiellement le plus dangereuse des polluants physiques. Un contaminant radioactif peut demeurer sur une longue période de temps dans le système aquifère et son mouvement peut être difficile à détecter ou prédire (Quercia, 1993).

1.2.2.3. Polluants biologiques

Les polluants biologiques sont formés de matières organiques fermentescibles et de microorganismes. Mais le plus souvent la pollution biologique se traduit par une forte contamination bactériologique, ce qui pose de graves problèmes d'hygiène publique (Kebiche *et al.*, 1999).

1.3. DESINFECTION DES EAUX DE CONSOMMATION

Parmi les étapes de traitement des eaux de surface ou souterraines, la désinfection se trouve essentielle pour s'assurer que l'eau destinée à la consommation humaine est exempt de bactéries, parasites ou de virus, sources de maladies d'origine hydrique (Diallo, 2010).

1.3.1. But de la désinfection

La désinfection a pour but d'éliminer les microorganismes pathogènes et de garantir l'absence de tout germe infectieux (bactérie ou virus) dans les eaux distribuées. Au contraire de la stérilisation, qui permet une destruction totale des germes présents, la désinfection peut laisser subsister quelques germes banals, sans risque pour la sante publique (Rodier *et al.*, 2009).

1.3.2. Principes de la désinfection

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables : puissance du désinfectant, concentration du désinfectant, temps de contact, nombre de microorganismes à éliminer, types de microorganismes, température de l'eau, pH de l'eau et concentration de matières organiques dans l'eau. Il n'existe actuellement aucune loi mathématique connue qui permette de calculer le taux de destruction des microorganismes en fonction de ces variables. Cependant, sur la base de mesures effectuées en laboratoire, on peut énoncer certaines règles particulières. Avant d'appliquer ces règles, il faut toutefois procéder à des vérifications en laboratoire concernant l'eau à traiter, afin de déterminer quelle règle s'applique et d'évaluer les constantes requises (Desjardins, 1997).

1.3.3. Normes de désinfection

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre l'eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une

contamination ainsi que toute substance toxique (Festy *et al.*, 2003). En Côte D'ivoire, il n'existe pas de norme officielle pour la qualité de l'eau de boisson. Il convient de rappeler que pour l'instant sont pratiquées en Côte D'ivoire, les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (O M S) relatives à la qualité de l'eau de boisson. (Tableaux I et II).

Tableau I : Directive de qualité des paramètres physico-chimiques de l'eau de boisson (OMS, 2004)

ELEMENTS	VALEURS INDICATRICE
Cuivre	1 mg/L
Cyanure	0,07 mg/L
Fluorures	1,5 mg/L
Manganèse	0,1 mg/L
Mercure	0,001 mg/L
Nitrate	50 mg/L
Ammoniac	15 mg/L
Plomb	0,01 mg/L
Chlore	5mg/L
Couleur	15 UCV (unité de couleur vraie)
Température	20 °C
Conductivité	2000 µS/cm
Turbidité	5 UTN (unité de turbidité néphélométrie)
Aluminium	0,2 mg/L
Chlorure	250 mg/L
Dureté	-
Fer	0,3 mg/L
pH	6,5-8,5
Sodium	200 mg/L
Sulfate	250 mg/L
Solides totaux en solution	1000 mg/L
Zinc	3 mg/L

Tableau II : Directive des qualités bactériologique de l'eau de boisson (OMS, 2004)

Organisme	Valeurs indicatives	Remarque
A-/ Toutes les eaux destinées à la consommation : E. Coli ou bactéries coliformes Thermo tolérantes	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ML
B-/ Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution : ➤ E. Coli ou bactéries coliformes thermo tolérantes ➤ Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 mL Non détectables dans un échantillon de 100 mL
C-/ Eaux traitées dans le réseau de distribution : ➤ E. Coli ou bactéries coliformes thermo tolérantes ➤ Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 mL Non détectables dans un échantillon de 100 mL Dans les installations importantes lorsqu'un nombre suffisant d'échantillons sont examinés, on ne doit pas trouver de coliformes dans 95 % des échantillons prélevés sur une période de 12 mois

1.3.4. Différents types de désinfection

Le procédé par lequel les organismes pathogènes sont détruits pourrait être accompli par un certain nombre de traitement physico-chimique, incluant l'application directe de l'énergie thermique, irradiation par les rayons X, l'usage des ions métalliques tels que le cuivre et l'argent, l'usage des oxydants tels que les halogènes, l'ozone et d'autres composés organiques

et inorganiques. Bien que la désinfection consiste à l'inactivation ou destruction des microorganismes responsables des maladies d'origine hydrique, elle n'implique pas nécessairement la destruction totale de tous les organismes vivants (Diallo, 2010). Ceci s'oppose à la stérilisation qui vise globalement à supprimer toute forme de vie, sans tenir compte de la nature et du danger relatif des diverses espèces de micro-organismes présents. De toutes ces méthodes, les traitements chimiques sont les plus utilisés.

1.3.4.1. Désinfection physique

La désinfection physique utilise le rayonnement ultraviolet et le bombardement électronique. Les rayonnements ultra-violets irradient les cellules vivantes indésirables. Suivant la qualité d'énergie UV reçue, elles sont soit stérilisées (effet bactériostatique) soit détruites (effet bactéricide) (Venosa, 1983). Le rayonnement ultraviolet (UV) est caractérisé par des longueurs d'onde comprises entre 100 et 400 nm. La bande UV est divisée en UV-A, UV-B et UV-C, mais c'est dans la gamme des UV-C, de 200 à 280 nm, que se situent les longueurs d'onde les plus efficaces pour la désinfection (Bonkoungou, 2010). Le processus de désinfection UV correspond en fait à l'inactivation des micro-organismes, suite à une modification de leurs informations génétiques: Les UV agissent sur la double hélice d'ADN, ainsi que sur l'ARN, bloquant ainsi tous leurs processus biochimiques servant à leur reproduction. L'efficacité maximale de la désinfection UV dépend de l'énergie émise. Le bombardement électronique est un dispositif basé sur l'exposition brève des eaux polluées à un fort flux d'électrons. La structure des éléments complexes est décomposée sous l'action des ions qui cassent leurs liaisons chimiques. La décontamination bactériologique est réalisée par destruction des bactéries et des virus (Venosa, 1983).

1.3.4.2. Désinfections chimiques

Les désinfections chimiques sont très utilisées dans le traitement final des effluents. On peut citer les procédés suivants :

- L'oxydation par le chlore et l'ozone, qui agit sur les métaux, sur les matières organiques et détruit ou inactive totalement ou partiellement les germes vivants, les virus et les bactéries (Venosa, 1983)
- Les échanges d'ions qui sont des procédés de substitution d'ions sur des résines spécifiques (Venosa, 1983)
- La neutralisation ou l'acidification qui agit sur le pH de l'eau (Rice *et al.*, 1981).

Les produits ou procédés de désinfection choisis devront selon les cas posséder un effet bactéricide et/ou virulicide leur permettant de détruire des germes, et éventuellement un effet rémanent qui repose sur le maintien d'une concentration en désinfectant, assurant la continuité de la désinfection et limitant les risques de re-croissance bactérienne (Rodier *et al.*, 2009). De tous ces produits chimiques le chlore reste encore le désinfectant le plus utilisé dans le monde (Le Gulludec, 1995). Cette prédominance du chlore dans l'arsenal de la désinfection provient essentiellement du fait qu'il est facilement disponible, rémanent, peu coûteux, aisé à manipuler et à mesurer.

1.4. DESINFECTION PAR LE CHLORE

Le chlore peut être utilisé sous la forme de Chlore gazeux (Cl_2) ou sous la forme liquide d'hypochlorite de sodium (NaOCl , eau de javel) ou solide d'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ solide blanc très instable ou sous forme d'eau de javel pour un usage domestique.



Figure 2 : Hypochlorite de calcium (solide blanc) et Eau de javel

Tableau III : Propriétés physico-chimiques du chlore

Propriétés	Unités	Chlore(Cl_2)
Masse moléculaire	g	70,91
Température de liquéfaction	$^{\circ}\text{C}$	-33,97
Masse volumique (0 $^{\circ}\text{C}$ et 1 atm)	Kg/m^3	3,213
Densité comparée à l'air (0 $^{\circ}\text{C}$ et 1 atm)	-	2,486
Température critique	$^{\circ}\text{C}$	143,9
Solubilité dans l'eau à 0 $^{\circ}\text{C}$ et 25 $^{\circ}\text{C}$	g/l	293-799

1.4.1. Rôle du chlore dans la désinfection.

Aux doses habituelles le chlore demeure inefficace contre les kystes amibiens et les œufs de certains parasites intestinaux.

Il a également plusieurs rôles, secondaires mais importants (Saint, 2011) :

- oxydation du fer, du manganèse et du sulfure d'hydrogène ;
- destruction de certains composés engendrant des goûts et des odeurs désagréables ;
- protection contre les algues et les boues ;
- facilitation de la coagulation.

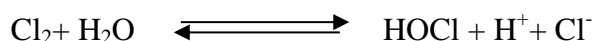
1.4.2. Propriétés physico-chimiques du chlore

1.4.2.1. Propriétés physiques du chlore

Sous forme libre, le chlore est un gaz jaune verdâtre plus lourd que l'air et se distingue par son odeur irritante (Dégremont, 1989). Le chlore fait partie de ce groupe d'éléments chimiques qu'on appelle les halogènes comme le brome, l'iode, et le fluor. Il a comme symbole Cl. Son nombre atomique est 17 et son nombre de masse est de 35,5 (Beaudry *et al.*, 1997).

1.4.2.2. Propriétés chimique du chlore

L'atome de chlore Cl possède 7 électrons périphériques et montre une forte tendance à accueillir un électron supplémentaire de façon à atteindre la stabilité que confère son enveloppe périphérique constituée de 8 électrons. Il en résulte l'ion chlorure Cl⁻ (Beaudry, 1984). La dissolution dans l'eau du chlore gazeux conduit à sa dismutation en acide hypochloreux (HOCl), ion chlorure (Cl⁻) et proton (H⁺), selon l'équilibre :

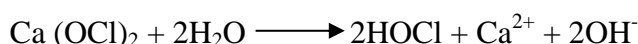


Il se produit une réaction analogue lorsque ce réactif de départ est l'hypochlorite de sodium (eau de javel) ou de calcium :

- Réaction de l'hypochlorite de sodium :

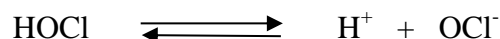


- Réaction de l'Hypochlorite de calcium :



Les équations (1), (2) et (3) montrent que la différence principale entre les hypochlorites et le chlore gazeux concerne les produits secondaires. En effet, l'addition du chlore gazeux libère des ions d'hydrogène, H⁺, ce qui abaisse le pH de l'eau, alors que l'addition d'hypochlorites

libère des ions d'hydroxydes, OH^- , ce qui augmente le pH de l'eau. L'acide hypochloreux, HOCl, est un acide faible qui se dissocie dans l'eau de la façon suivante :



On constate que, cette réaction est fonction du pH de l'eau. Ainsi, un pH élevé favorise la libération d'ions hypochlorites, OCl^- . Par ailleurs, lorsque la concentration de chlore libre est de quelques mg/l et que le pH est situé entre 5 et 9, la réaction (4) est incomplète; dans ces conditions, il y a coexistence de HOCl et de OCl^- .

Cette notion est importante à connaître, car l'effet germicide de l'acide hypochloreux est très supérieur à celui de l'ion hypochlorite : la désinfection par le chlore sera donc beaucoup moins efficace en milieu alcalin (Massicotte, 2009).

1.4.3. Mise en œuvre de la chloration des eaux

Les formes de chlore se répartissent en chlore libre, chlore combine et chlore total. Le chlore libre demeure dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminée, et peut réagir chimiquement et biologiquement comme acide hypochloreux ou ion hypochlorite. Le chlore combine est la partie du chlore résiduel total dans l'eau à la fin d'une période de contact donnée, qui réagit chimiquement et biologiquement en tant que chloramines. Le chlore total est la quantité totale de chlore, libre ou combine, subsistant après le temps de réaction normal de l'eau à la chloration (Desjardins, 1997)

On pratique la chloration de diverses façons selon la qualité de l'eau à traiter et les objectifs à réaliser (Beaudry *et al.*, 1997). Dans tous les cas, la mise en œuvre de la chloration est étroitement liée au principe du $C \times T$, avec C le résiduel de chlore maintenu pendant un temps T (Cardot, 2010).

1.4.4. Dosage du chlore

Pour que la désinfection joue son rôle, il faut maintenir une certaine quantité de chlore résiduel pour assurer la qualité de l'eau jusqu'au lieu et moment de sa consommation. Le dosage de chlore a donc une grande importance sachant les difficultés rencontrées pour doser séparément chaque forme de chlore en ajoutant l'instabilité de ce dernier, surtout aux faibles concentrations. On peut distinguer de nombreuses méthodes de dosage, de précision et de domaine d'application variable. En général, l'instabilité du chlore reste une des principales sources d'erreurs et il ne faut pas oublier que la lumière accélère sa décomposition donc il faut l'éviter au prélèvement. Pour la détermination des teneurs en chlore des eaux et des extraits de javel, il existe différentes méthodes telles que (Doré, 1989) :

- la méthode volumétrique ou iodométrique ;
- les méthodes de DPD (Diethyl – Para – Phénylène – Diamine) ;
- la méthode ampérométrique ;
- la méthode au violet leuco cristal (VLC), (Croué, 1987).

La plus utilisée est la méthode de DPD et iodométrique. Cette dernière reste la méthode de base pour le dosage du chlore total des eaux traitées et du chlore actif d'une eau de javel (Rejsek, 2002).

1.5. ACTION DU CHLORE SUR LES CONSTITUANTS DE L'EAU

1.5.1. Effet biocide du chlore

Le mode d'action du chlore sur les macro-organismes est dû principalement à une réaction chimique d'oxydoréduction. Cependant, les sites d'action de cet oxydant dépendent de la nature du micro-organisme et de sa structure chimique (Bonkougou, 2010). En effet, le chlore pourra avoir une action destructrice directe sur la structure de la cellule vivante, mais cela à des doses résiduelles élevées. De même, la pénétration du chlore dans la cellule et son action sur les constituants cellulaires permet l'inactivation du micro-organisme (Bonkougou, 2010). Dans la pratique, l'effet germicide du chlore est influencé par les substances réductrices contenues dans l'eau. Il est alors nécessaire de tenir compte de la demande chimique en chlore avant de décider de la concentration optimale de chlore à appliquer pour la désinfection proprement dite (Le Gulludec, 1995). On doit donc assurer, la demande de chlore de l'eau avec un léger excès résiduel. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande pour le chlore une valeur guide de 5 mg/L en précisant que pour une désinfection effective, la teneur en chlore résiduel libre doit être inférieure ou égale à 0,5 mg/L après au moins 30 min de contact à pH inférieur à 8 (Rodier *et al.*, 2009). Ce résiduel présente un pouvoir rémanent important et empêche tout développement de micro-organisme à condition que cela ne produise pas un gout ou une odeur de chlore dans l'eau traitée (Merlet, 1986 ; Rejsek, 2002).

1.5.2. Effets du chlore sur les composés organiques de l'eau

Il existe trois modes d'action du chlore sur les molécules organiques (Cardot, 2010). On peut citer :

Les réactions d'oxydation sur les fonctions réductrices ou réduites, les réactions d'addition sur des liaisons insaturées et les réactions des substitutions électrophiles sur les sites nucléophiles.

1.5.3. Effets du chlore sur les composés minéraux de l'eau

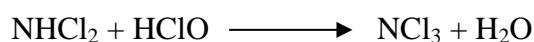
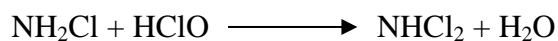
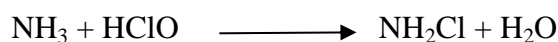
Les eaux naturelles présentent la particularité d'avoir des compositions physico-chimiques variées. Les caractéristiques minérales essentielles d'une eau naturelle sont représentées par :

- des éléments majeurs essentiels anioniques (hydrogénocarbonates, sulfates, chlorures) et cationiques (calcium, magnésium, sodium, potassium),
- une teneur en éléments mineurs spécifiques, naturellement présents dans l'eau, qui signent le faciès de certaines eaux (azote ammoniacal, sulfures, nitrates, fer, manganèse, fluor, bromure).

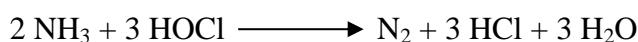
Les caractéristiques essentielles de l'eau s'acquièrent par contact de l'eau avec les formations géologiques traversées et dépendent des conditions de pression, de température et de temps de séjour (afssa, 2005).

1.5.4.1. Réaction du chlore sur l'azote ammoniacal

L'action du chlore sur l'azote ammoniacal présente un intérêt particulier (Rodier *et al.*, 2009). Elle procède suivant un mécanisme complexe qui conduit en premier lieu à la formation de monochloramine (NH_2Cl), puis de la di- et tri-chloramine (NHCl_2 et NCl_3):



L'ensemble de ces chloramines minérales ainsi que les chloramines organiques éventuellement formées par action du chlore sur des composés organo-azotes constitue ce que l'on appelle le chlore combiné, par opposition au chlore libre. La présence et la concentration de ces différentes formes dépendent du pH, de la température, du rapport chlore/ammoniacal et du temps de réaction. Pour des taux de chloration plus élevés, des réactions complémentaires complexes aboutissent à la destruction des chloramines, la réaction globale étant la suivante :



Cette réaction implique la consommation de 3 moles de chlore pour 2 moles d'azote ammoniacal, soit un rapport molaire de Cl_2/NH_3 égal à 1,5 et un rapport massique de 7,6 mg de chlore par mg d'azote. La dose de chlore correspondant à cette stœchiométrie est appelée « break point » ou point de rupture (figure 2). La courbe ci-dessous représente une courbe typique de break-point, telle qu'on peut l'obtenir sur une eau naturelle. Le tracé de cette courbe s'obtient en ajoutant des doses croissantes de chlore dans une série de flacons

contenant un même volume d'eau. Après un temps de contact donné (1 ou 2 heures en général) on procède au dosage du chlore total (chlore libre et chlore combiné). La présence dans les eaux de composés minéraux réducteurs et de matière organique consommatrice de chlore augmente la consommation en chlore et décale le break-point au-delà de la stoechiométrie des réactions Cl_2/NH_3 (rapport massique $> 7,6$).

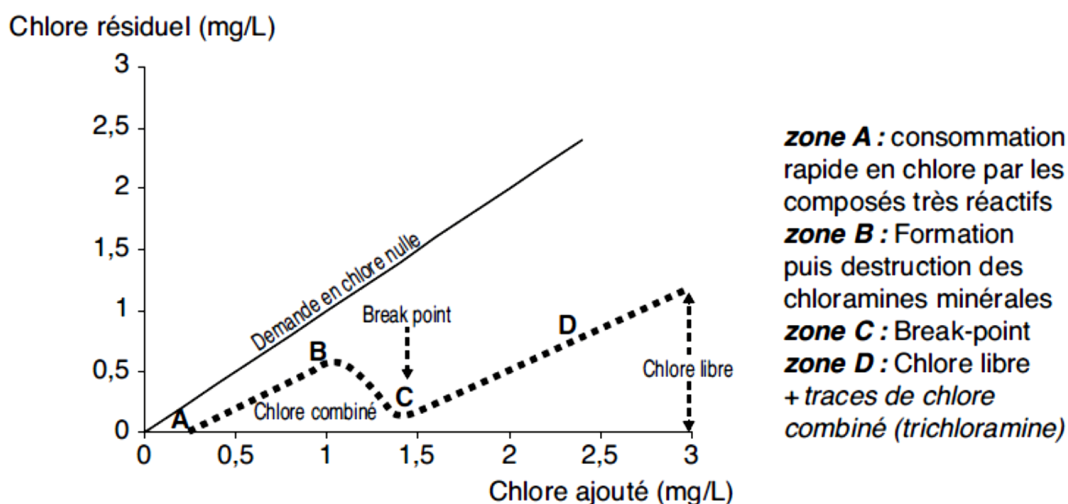


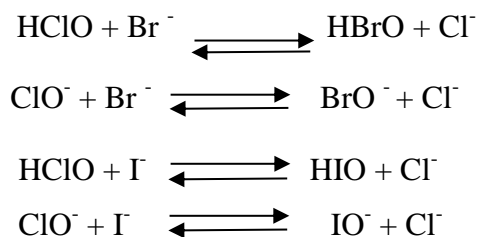
Figure 3 : Courbe de Break-point d'une eau naturelle.

Le Break-point est le point à partir duquel tous les micro-organismes pathogènes et le chlore combiné sont détruits.

Cette consommation se traduit également par une consommation instantanée du chlore ajouté (zone A). Dans la zone C, la teneur en chlore total n'est pas nulle, car toutes les chloramines ne sont pas totalement détruites ; la trichloramine est encore présente et des traces de cette espèce persistent encore dans la zone D. Dans cette zone D, le chlore présent est majoritairement du chlore libre. Il est extrêmement important de connaître la teneur en chlore libre d'une eau chlorée, car il représente la forme la plus efficace pour la désinfection.

1.5.4.2. Réaction du chlore sur les ions bromures et iodures

Les ions iodures se trouvent dans les eaux naturelles à des très faibles concentrations, tandis que les ions bromures se rencontrent à des taux très variables. En présence du chlore, les bromures et les iodures s'oxydent facilement en iode et en brome, ces entités présentent un comportement similaire à celui du chlore. Ils réagissent en combinaison avec le chlore sur les composés organiques pour conduire aux composés organobromés et organoiodés (Legube, 1996). Les réactions susceptibles de se produire sont les suivantes :



1.5.4.3. Réaction du chlore sur d'autres composés minéraux

Dans un milieu aqueux, le chlore donne lieu à un ensemble de réactions chimiques compétitives avec les micro-polluants organiques et minéraux (Merlet, 1986). Ainsi, la présence de certains métaux tels que le fer et le manganèse soit en solution, soit combinés à d'autres substances chimiques peut encore compliquer la réaction du chlore avec les constituants de l'eau (Knocke *et al.*, 1990). Le chlore réagit avec le fer ferreux pour le transformer en fer ferrique.

La stabilité du chlore résiduel après la désinfection peut être affectée et il faudra prévoir un supplément de chlore pour maintenir une teneur en chlore résiduel (Seby, 2006).

Les nitrites peuvent être présents dans les eaux à potabiliser ou apparaître comme des composés transitoires lors de l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal. Pour leur élimination, les nitrites devront être oxydés en nitrates (Rejsek, 2002). Cette oxydation peut se faire avec le chlore (Doré, 1989).

Quant aux sulfures, le chlore détruit le sulfure d'hydrogène contenu dans les eaux et générateur de mauvaises odeurs, en le précipitant sous forme de soufre élémentaire ou pour former de l'acide sulfurique (White, 1972).

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left side and rounded corners on the right side, framing the text.

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

2-1 MATERIEL

2.1.1. Outil d'enquête

Le présent travail a débuté par une enquête préliminaire au cours de laquelle quelques outils ont été nécessaires. Il s'agit notamment d'une fiche d'enquête élaborée et destinée aux ménages, d'un GPS (Global Positioning System) de marque GERMAN MAP 78s pour relever les coordonnées géographiques des puits et d'un appareil photo pour les prises d'image.

2.1.2. Echantillonnage

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage de l'eau de puits est composé d'une puisette muni d'une corde pour le prélèvement de l'eau, de bouteilles en plastique d'eau minérale de 500 mL et d'une glacière pour la conservation et le transport des échantillons au laboratoire.

2.1.2. Analyses

2.1.2.1. Matériel d'analyses physico-chimiques

Le matériel d'analyses physico-chimiques était composé d'un multi paramètre de marque PHYWE Cobra4 qui a servi aux différentes mesures in situ (figure 3A), d'un turbidimètre de marque HANNA utilisé pour la détermination de la turbidité au laboratoire (figure 3B), de la verrerie de laboratoire et de produits chimiques (la soude, le nitrate d'argent, l'EDTA, l'iodure de potassium, l'hypochlorite de potassium, le thiosulfate de sodium, l'acide acétique glacial, le chromate de potassium, l'acide chlorhydrique et la phénolphtaléine).

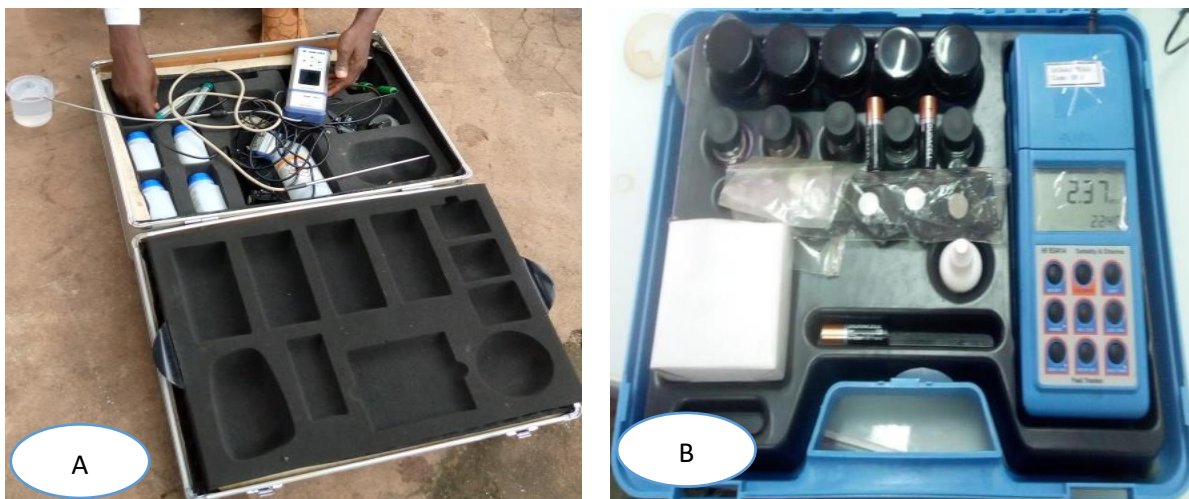


Figure 4: Matériels d'analyse in-situ

2.1.2.2. Matériel d'analyses microbiologiques.

Les analyses microbiologiques ont nécessité des boîtes de pétri pour couler les milieux de cultures des différents germes, (figure 4A) ; d'une hotte bactériologique avec une flamme à bec bunsen pour empêcher la contaminer des milieux de culture (figure 4B) ; d'un autoclave pour stériliser les milieux de culture et le liquide physiologique (figure 4C) ; d'un agitateur magnétique chauffant (figure 4D) ; d'un compteur de colonies (figure 4E) ; d'une étuve (figure 4F) et d'une balance électrique.

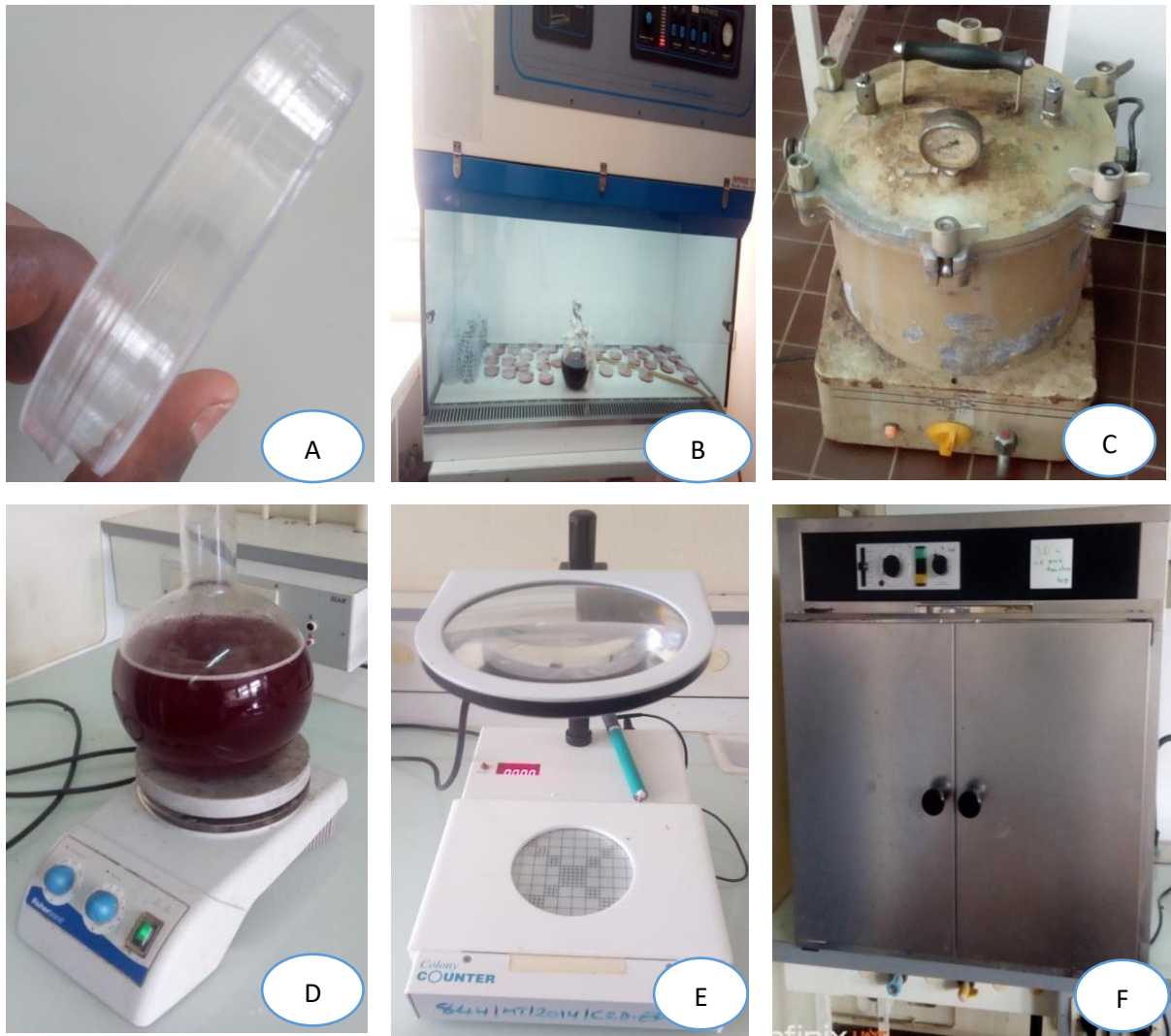


Figure 5 : Matériels d'analyse microbiologique

2.1.2.3. Produits utilisés

Les produits utilisés sont de deux types à savoir les produits utilisés pour la détermination des germes micros-biologiques qui sont :

- Violet Red Bile Lactose (VRBL) pour la détermination des coliformes fécaux et totaux.
- Rappaport Vassialiadis Soy pour la détermination des salmonellas.
- Slanetz Barley pour déterminer des Streptocoques.
- Tryptone Sulfite Neomycin (TSN) pour la détermination des Anaerobie Slfito réducteurs(ASR).

Et les produits utilisés pour l'analyse des paramètres physico-chimiques il s'agit de :

- EDTA, Acide calcane carboxylique indicateur du calcium (Ca^{2+}), Hydroxyde de sodium (NaOH), Nitrate d'argent, Chromate de potassium, Phenolphtaléine, Solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl), Acide chloridrique (HCl), Solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) Iodure de potassium (IK), Acide acétique glacial et Empois d'amidon

2-2-METHODES

2.2.1. Enquête

L'enquête a consisté à élaborer des questionnaires adressés aux ménages utilisant l'eau de puits traditionnels dans le quartier Marais de Daloa. Ces questionnaires avaient pour objectif de recueillir toutes les informations relatives à l'état physique des puits, à leur entretien et à l'utilisation des eaux de puits. Les questions portaient sur les caractéristiques socioéconomiques des ménages, l'accès à l'eau potable, les modes d'utilisation des eaux de puits, l'entretien de ces ouvrages, leur position par rapport aux fosses septiques, leur profondeur ainsi que les traitements appliqués à ces eaux. Cette enquête a permis d'identifier et sélectionner les puits à échantillonner pour la suite du travail

2.2.2 Identification et sélection des puits à échantillonner

L'identification et la sélection des puits ont été facilités grâce à l'enquête effectuée sur le terrain. A l'aide d'un GPS et de l'application ArcGIS, nous avons relevé les coordonnées géographiques des puits et les représenté la carte de la zone d'étude (figure 5). Au total, 25 puits numérotés P1 à P25 ont été retenus et échantillonnés.

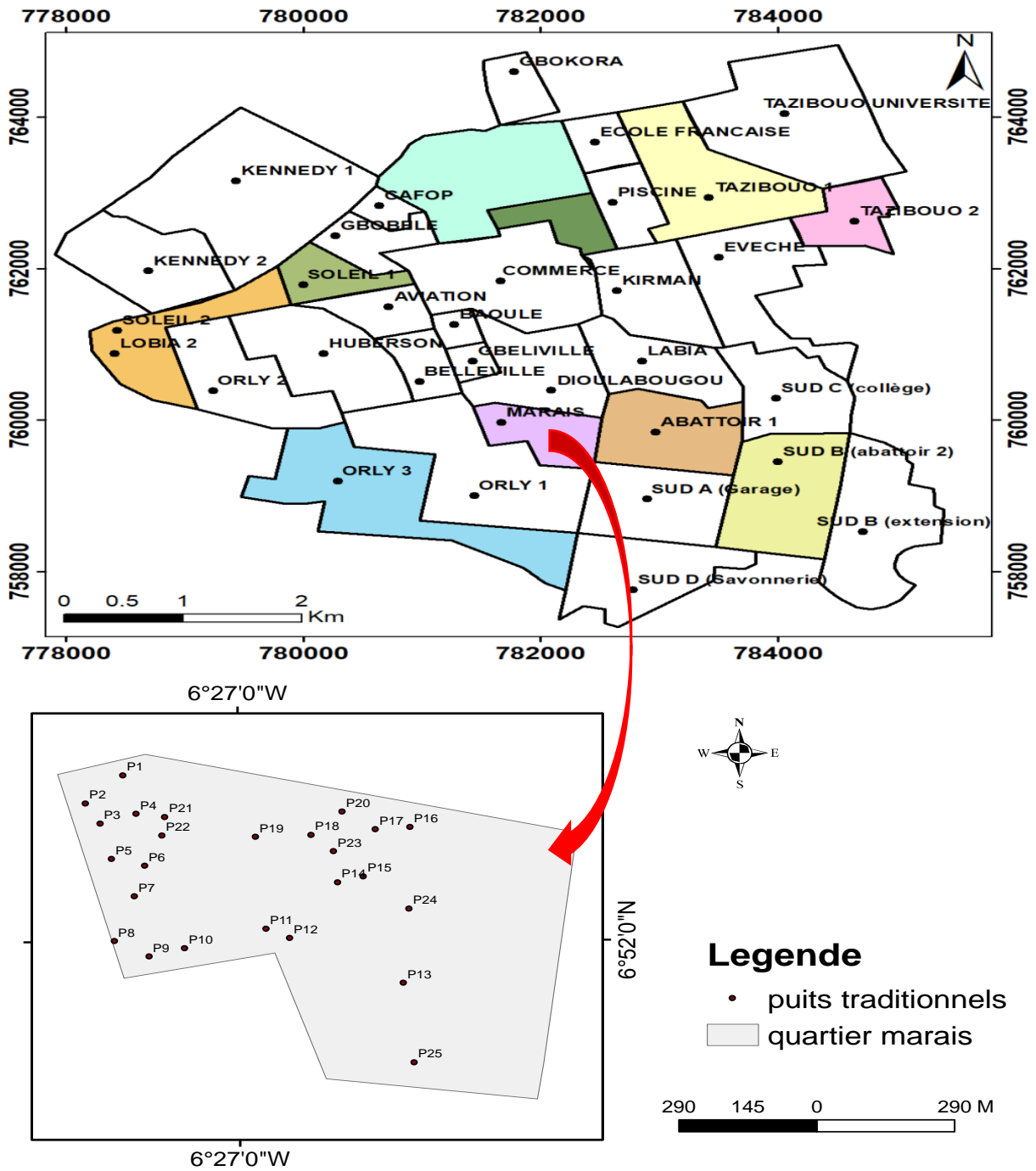


Figure 6 : Localisation des puits échantillonnés.

2.2.3. Prélèvement, conservation et transport des échantillons d'eau

A l'aide d'une puisette muni d'une corde graduée, les échantillons d'eau ont été prélevés puis conservé dans une bouteille d'eau minérale de 500 mL bien étiquetée. La bouteille est préalablement rincée avec l'eau du milieu et remplie complètement avant d'être fermée hermétiquement. L'étiquète indique le lieu, l'heure, la date et le numéro de l'échantillon. Ces bouteilles d'eau sont rangées dans une glacière contenant de la glace puis transportées au laboratoire.

2.2.4. Analyses

2.2.4.1. Paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques concernaient la détermination des germes indicateurs de contamination fécale que sont les coliformes totaux, les coliformes thermotolérants (*E. Coli*) et les streptocoques et les germes potentiellement pathogènes pour le consommateur tels que les *Salmonella* et les Anaérobies sulfite réducteurs (*Cl. Perfringens*). Les milieux de culture sélectifs et différentiels ont été utilisés pour la détection de ces germes suivant des techniques spécifiques à chaque germe. L'étalement des échantillons sur le milieu de culture a été fait à l'aide de petites boîtes en plastique autoclavable.

a) Coliformes totaux et Coliformes thermotolérants (*E. Coli*)

Le milieu de culture commun à ces deux germes est le Violet Red Bile Lactose (VRBL). Le VRBL est préparé selon les consignes du fabricant puis couler dans les boîtes de pétri. Après l'ensemencement dans la masse de 0.1 mL, les échantillons ont été intubés à 30 °C pour les coliformes fécaux et 44°C pour les *E. Coli* pendant 24 heures et comptés suivant la coloration des colonies de micro-organismes. Les colonies claires aux contours translucides correspondent aux coliformes fécaux et les colonies rouges aux *E. Coli*.

b) *Salmonella*,

Les échantillons ont subi un pré-enrichissement dans de l'eau physiologique pendant 24 heures et en suite un enrichissement en milieu rappaport (RAPPAPORT VASSILIADIS SOY) pendant 24 heures préparé suivant les consignes du fabricant puis stérilisé à 121°C pendant 15 minutes à l'autoclave et coulé dans les boîtes de pétri. L'ensemencement s'est fait par étalement de 0.1mL d'eau puis isolé en milieu hectoen pendant 24 heures à 37°C. Le comptage a été réalisé suivant les colonies bleu-vert à centre noir.

c) Streptocoques

Le milieu de culture des streptocoques est le SLANETZ BARLEY, il est préparé selon les consignes du fabricant puis stérilisé à 121°C pendant 15 minutes à l'autoclave et coulé dans les boîtes de pétri. Après l'ensemencement de 0,1 mL d'eau dans la masse, les échantillons ont été intubés à 37 °C pendant 24 heures et comptés suivant les colonies claires.

d) Anaérobie sulfite réducteurs (Cl. Perfringens)

Le milieu de culture des Anaérobie sulfite réducteurs est le Tryptone Sulfite Neomycin (TSN), il est préparé suivant les consignes du fabricant puis stérilisé à 121°C pendant 15 minutes à l'autoclave et coulé dans les boîtes de pétri. Après l'ensemencement de 0,1 mL d'eau dans la masse. Les échantillons ont été intubés à 46 °C pendant 24 heures en milieu anaérobie et compté suivant les colonies noires.

Le nombre a été obtenu selon la formule ci-dessous :

$$N = \frac{\Sigma c}{(n_1 + 0,1n_2)d}$$

Avec :

Σc = la somme des colonies comptées sur toutes les boîtes

n_1 = le nombre de boîtes de la plus faible dilution où les colonies ont pu être comptées

n_2 = le nombre de boîtes de la dilution qui suit la précédente

d = le taux de dilution correspondant à la toute première dilution où les colonies ont pu être comptées

2.2.4.2. Analyse des paramètres physico-chimiques

➤ Analyse in-situ

La Température, le pH et la conductivité ont été mesurés avec un multi paramètre de marque PHYWE Cobra4. La méthode consiste à plonger dans l'échantillon une sonde spécifique. Pour déterminer ces paramètres, nous commençons par brancher au multi paramètre, le capteur à gaine pour mesurer la température et on lit directement la température exprimée en degrés Celsius, ensuite la sonde du pH puis attendre quelques secondes pour noter la valeur stabilisée, et enfin la sonde de la conductivité électrique puis on lit la valeur inscrite sur l'écran en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ **Analyse au laboratoire**

Les analyses physico-chimiques ont consisté à la détermination de la Dureté totale, du Calcium (Ca^{2+}), du Magnésium (Mg^{2+}), de la Turbidité, des Chlorures (Cl^-), le pH, de la conductivité électrique et la température.

Le Calcium (Ca^{2+}) a été dosé par la méthode titrimétrique avec l'EDTA, le pH de l'échantillon est compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est l'acide calcane carboxylique qui forme un complexe rouge avec le Calcium. Le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et la fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte bleu claire. Nous avons introduit 50 mL de l'échantillon dans une fiole de 250 mL puis ajouter 2 mL de la solution d'hydroxyde de sodium (2 mol/L) et environ 0.2 g de l'acide calcane carboxylique. Verser la solution d'EDTA

(0.01mol/L) avec une burette et on note le volume d'EDTA versé des que la solution devient bleu claire.

$$\text{Expression des résultats : } [\mathbf{Ca^{2+}}] = \frac{V_1 * C}{V_2} * \mathbf{1000} \text{ (mmol/L)}$$

Avec :

V_1 est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage

V_2 est le volume, en millilitres, d'échantillon dosé ($V_2 = 50\text{mL}$)

C est la concentration de la solution d'EDTA ($C = 0,01 \text{ mol/L}$).

La Dureté totale a été dosé également par la méthode titrimétrique a l'EDTA cette fois nous avons utilisé le mordant noir comme indicateur. La méthode utilisée est la suivante : Nous avons introduit 50 mL de l'échantillon dans une fiole de 250 mL, ajouter 4 mL de la solution tampon et environ 0.2 g de l'indicateur on observe une coloration violet de la solution. L'échantillon est ensuite immédiatement dosé à l'aide de la solution d'EDTA (0,01 mol/L), le virage est atteint lorsque la solution devient bleue et on note le volume d'EDTA versé. La concentration totale en Calcium et Magnésium est exprimée en millimoles par litre.

$$\text{Sa formule est la suivante : } [\mathbf{Ca^{2+} + Mg^{2+}}] = \frac{V_1 * C}{V_2} * \mathbf{1000} \text{ (mmol/L)}$$

Avec :

V_1 est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage

V_2 est le volume, en millilitres, d'échantillon dosé ($V_2 = 25\text{mL}$)

C est la concentration de la solution d'EDTA ($C = 0,01 \text{ mol/L}$).

Le Magnésium (Mg^{2+}) est déterminé par la différence de la dureté totale et la dureté calcique.

Les ions chlorures ont été dosés en milieu neutre (ajout de carbonate de calcium) par une solution titrée de nitrate d'argent AgNO_3 en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte rouge caractéristique de chromate d'argent. La méthode utilisée est de Mohr et elle consiste à introduire 100 mL d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 mL puis ajouter 2 gouttes de phénolphthaléine et 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%. Verser alors au moyen d'une burette la solution de AgNO_3 jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min. mL On note alors le volume V en mL de AgNO_3 . Le résultat est donné par l'expression suivante : $[\text{Cl}] \text{ (mg/L)} = 10 * 3,55 * V \text{ (mL)}$

La Turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de marque PANNA. La méthode utilisée est la suivante : nous commençons d'abord par allumer l'appareil on remplit ensuite la cuvette avec 10 mL de l'échantillon puis nettoyer soigneusement la cuvette et place la cuvette dans le logement de l'appareil. On termine en appuyant sur la touche «READ », pour attendre le signal sonore puis noter la valeur de la turbidité exprimée en NTU.

2.2.5. Dosage du chlore

2.2.5.1. Préparation de la solution du chlore

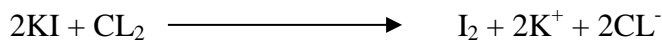
Une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) de concentration 12° chlorométrique diluée dans l'eau distillée a été utilisée. Avant utilisation, cette solution est ramenée à $\text{pH} = 7,5$ à 8 par addition d'acide chlorhydrique concentré HCl . Le chlore actif est donc présent sous forme d'un mélange d'acide hypochloreux HClO et d'ions hypochlorites ClO^- . Son titre exact en g/l et son degré chlorométrique sont régulièrement vérifiés par la méthode iodométrique (Rodier, 2009) à l'aide de solution de thiosulfate de sodium [$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3, 5\text{H}_2\text{O}$ (N/10)]. La solution d'eau de javel est conservée à l'abri de la lumière.

2.2.5.2. Dosage du chlore résiduel

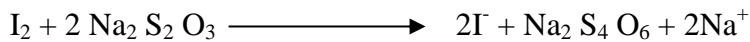
Le chlore résiduel est déterminé par la méthode iodométrique (Tardat-Henry & Beaudry, 1884)

➤ **Principe de la méthode iodométrique**

Le dosage iodométrique est une méthode d'oxydoréduction, ce dosage comporte deux étapes. On ajoute tout d'abord un excès d'iodure de potassium (KI) qui par oxydation libère une quantité équivalente d'iode. Cette réaction se fait en milieu acide à un pH de 3 à 4.



L'iode ainsi libéré est dosé par une solution normalisée de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) selon la réaction suivante :



Le résultat est donné selon l'expression suivante :

$$[\text{Cl}_2 \text{ résiduel}] \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{N_1 * V_1 * 35,5}{V_2} 10^3$$

Avec :

N_1 : Normalité de thiosulfate de sodium 10^{-3}N .

V_1 : Volume de thiosulfate de sodium versé en ml.

V_2 : Volume de prise d'essais 10 ml.

35.5 : la masse molaire de chlore (en g/mol).

2.2.5.3. Détermination de la demande en chlore

➤ **Principe**

Dans une série de flacons contenant un même volume d'eau à analyser, on ajoute des concentrations croissantes de chlore. La demande en chlore de l'eau est donnée par le premier flacon dans lequel on décèle la présence de chlore libre après un temps de contact déterminé (1 à 2 heures).

➤ **Mode de dilution de la solution de javel et préparations des essais**

La solution d'hypochlorite de sodium (1mL NaOCl) à 12° chlorométrique a été diluée par 10.

Pour connaître la quantité à injecter dans l'échantillon d'eau à analyser la formule suivante a été utilisée :

$$\text{Volume de javel} = \frac{\text{Dose choisie} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \text{Volume de l'échantillon} (10 \text{ mL})}{\text{Concentration de de javel} \left(\frac{\text{g}}{\text{l}} \right)}$$

La série d'essais obtenue est la consignée dans le tableau ci-dessous :

Tableau IIIV: Les volumes à injecter selon les doses choisies.

Essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dose de chlore (mg/l)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Volume de Javel (ml)	0	1,3	2,6	3,9	5,2	6,6	7,8	9,2	10,5

Après un temps de contact de 1 heure, le chlore résiduel est déterminé par la méthode iodométrique dont le mode opératoire est décrit comme suit :

- Introduire 10 ml de l'essai dans un bécher de 100 ml ;
- Ajouter 15 gouttes de l'acide acétique glacial ;
- Ajouter 20 ml de KI (100g/l) ;
- Titrer au thiosulfate de sodium à 10^{-3}N jusqu'à apparition d'une coloration jaune claire ;
- Ajouter 2 ml d'empois d'amidon (10g/l) ;
- Ensuite continuer le titrage au thiosulfate de sodium jusqu'à décoloration complète.
- Enfin, noter le volume de thiosulfate de sodium utilisé dans la burette.

A decorative horizontal border with rounded ends, resembling a scroll, containing the section title.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESULTATS

3.1.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits

3.1.1.1. Description des caractéristiques et l'environnement des puits

Les caractéristiques et l'environnement des puits révèlent que l'ensemble des puits ont des margelles de moins d'un mètre (1 m) de hauteur par rapport au niveau du sol avec des couvercles en feuille de tôle, en fers forgés ou encore en bois. Cependant, les niveaux d'eau dans les puits sont proches de la surface du sol (entre 2 et 15 m) et les puits sont majoritairement situés à proximité des latrines ou des fosses septiques.

Tableau IV : Caractéristiques générales et l'environnement des puits.

Puits	Niveau d'eau par rapport à la surface du sol(m)	Etat de la paroi du puits	Couverture de la margelle	Distance Puits – Latrine (m)
P1	11	Cimenté	Bois	15
P2	9	Cimenté	Bois	8
P3	10	Cimenté	Bois	20
P4	8	Cimenté	Bois	12
P5	7	Cimenté	Fer	10
P6	15	Cimenté	Bois	8
P7	9	Cimenté	Bois	12
P8	8	Cimenté	Bois	15
P9	10	Cimenté	Bois	13
P10	5	Cimenté	Bois	8
P11	7	Cimenté	Tôle	7
P12	8	Cimenté	Bois	9
P13	7	Cimenté	Bois	10
P14	4	Cimenté	Tôle	14
P15	3	Cimenté	Fer	7
P16	2	Cimenté	Bois	15
P17	2	Cimenté	Bois	12
P18	2	Cimenté	Bois	9
P19	4	Cimenté	Tôle	13
P20	5	Cimenté	Bois	17
P21	7	Non cimenté	Sans couverture	9,5
P22	5	Cimenté	Fer	12
P23	4	Cimenté	Bois	8
P24	3	Cimenté	Bois	25
P25	3	Cimenté	Fer	22

*P (puits)

L'observation de l'environnement des puits ont permis de constater que les puits dont les eaux ont été prélevées pour cette étude sont traditionnels. Ces puits ont été réalisés la plus part par les puisatiers locaux disposant de matériels rudimentaire. Concernant l'emplacement beaucoup de puits sont au milieu des cours et quant à l'aspect de l'eau étudié, la majorité est limpide.

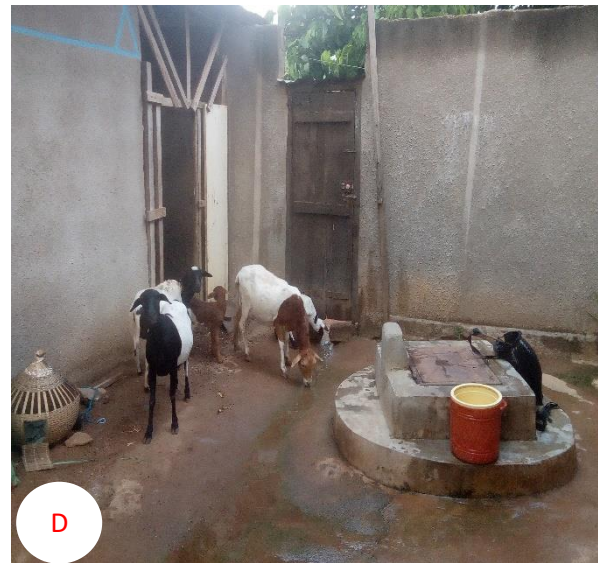


Figure 7 : L'environnement des puits du quartier Marais

3.1.1.2. Température

La figure 8 montre que la température des puits échantillonnés est comprise entre 27 (P21) et 29,5 °C (P20). Cette température varie donc très peu d'un puits à un autre.

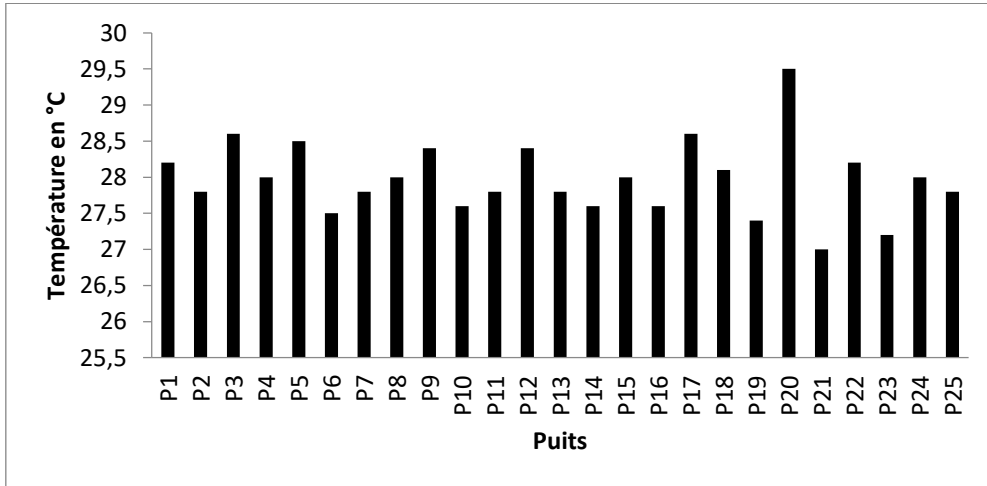


Figure 8 : Variation spatiale de la température des eaux de puits.

3.1.1.3. pH

Le pH des puits étudiés est représenté dans l'histogramme de la figure 9 qui montre que les eaux de puits de la zone d'étude sont acides.

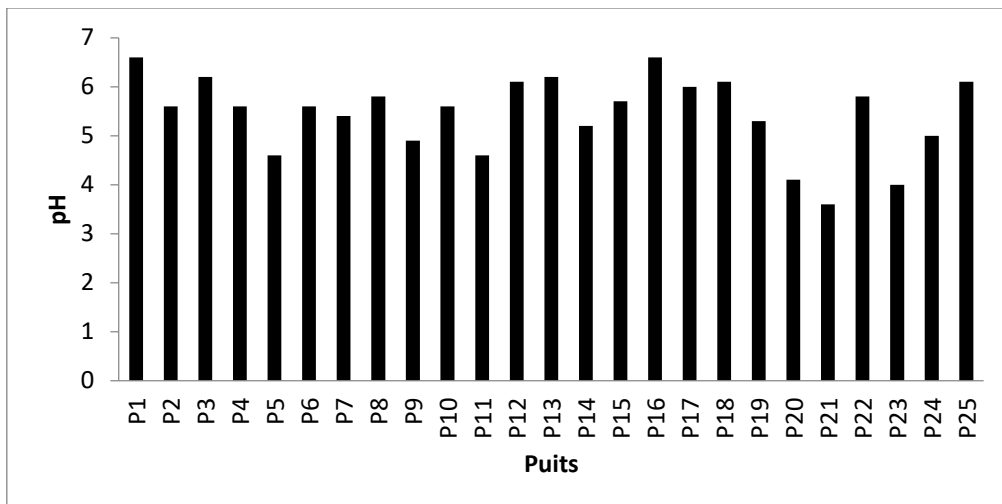


Figure 9 : Variation spatiale du Ph des eaux de puits.

On observe une variation significative du pH d'un puits à un autre qui est de 3,6 (P21) à 6,6 (P1 et P16) avec une moyenne de $5,45 \pm 0,79$.

3.1.1.4. Turbidité

Concernant la turbidité, les valeurs sont obtenues sont représenter sur la figure 10 suivante :

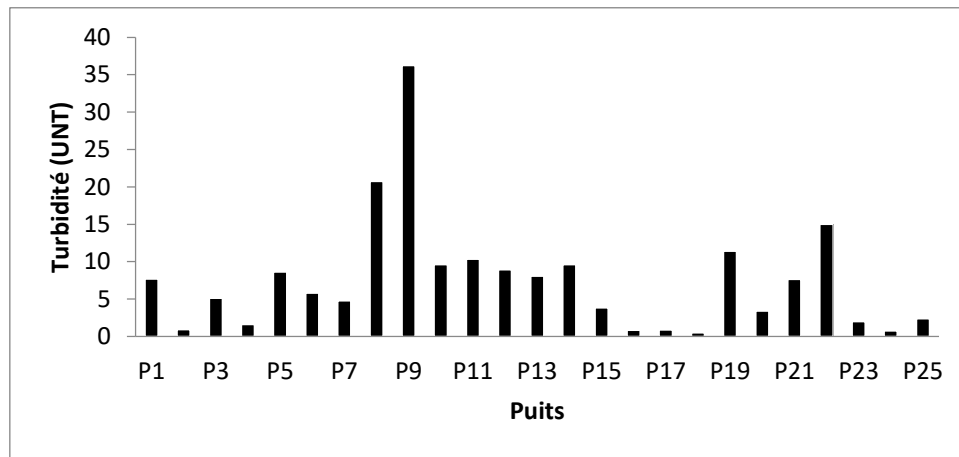


Figure 10 : Variation spatiale de la turbidité.

Ces valeurs sont comprises entre 0,46 et 36,2 NTU. La valeur maximale de turbidité est enregistrée au puits P9 et la valeur minimale au puits P18. La valeur moyenne est de $7,44 \pm 7,79$.

3.1.1.5. Conductivité électrique

La conductivité des eaux de puits étudiés sont représentés dans le graphique de la figure11 suivant :

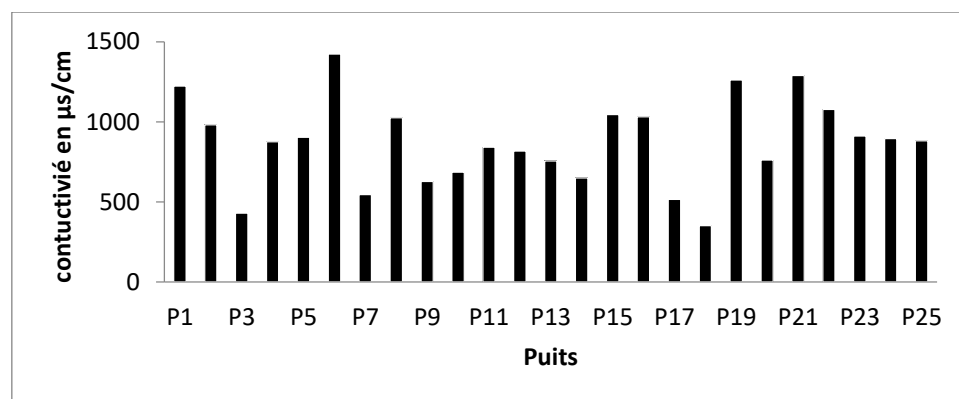


Figure 11 : Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux de puits.

On constate une variation significativement de la conductivité électrique d'un puits à un autre. Avec une valeur moyenne de $868,99 \pm 269,78$, ces valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre 352,9 et 1423,5 µs/cm.

3.1.1.6. Dureté totale

La dureté totale des eaux des puits échantillonnés est représentée par la figure 12. La dureté varie également d'un puits à un autre elle varie de 2,06 °f (P3) à 18,5 °f (P19). La valeur moyenne est $7,28 \pm 3,56$.

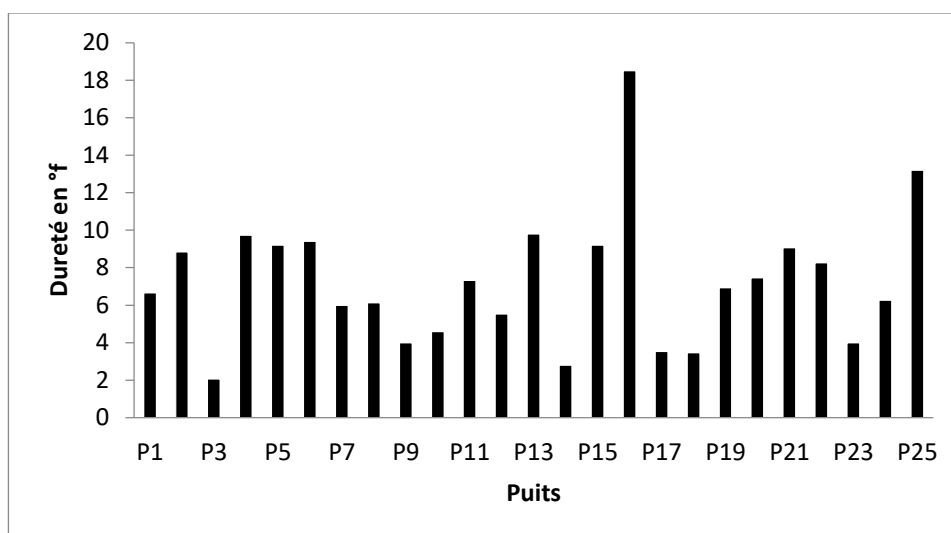


Figure 12 : Variation spatiale de la dureté totale des eaux de puits.

3.1.1.7. Calcium

La teneur en ions calcium des puits échantillonnés sont représentés par la figure 13 suivante. La teneur en ion calcium des eaux des puits est comprise entre 8 et 132 mg/L respectivement pour les puits 14 et 16 et sa teneur moyenne est de $42,88 \pm 27,17$.

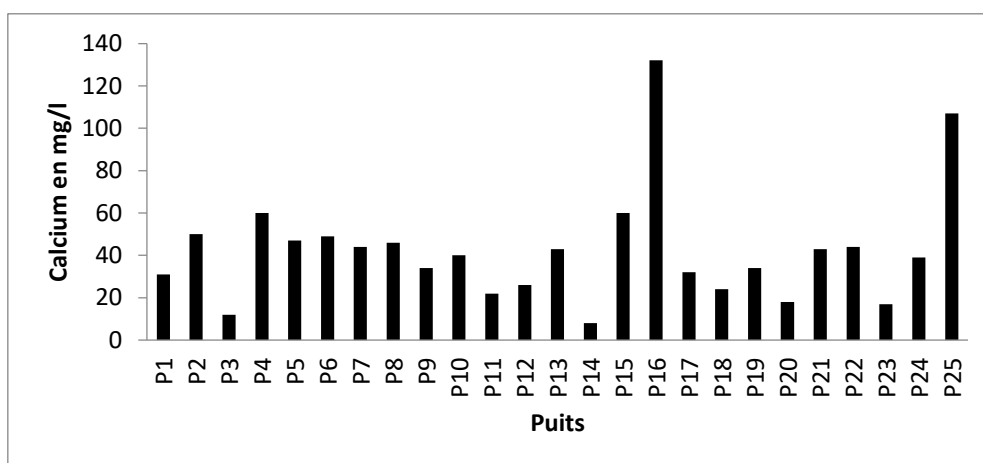


Figure 13 : Variation spatiale de la teneur en ions calcium des eaux de puits.

3.1.1.8. Magnésium

La teneur en ions magnésium des eaux étudiées est représentée sur la figure 14 ci-dessous. Le magnésium présente une variation significative d'un puits à un autre avec une valeur minimale de 3 mg/L pour le puits 17 et une valeur maximale de 56 mg/L pour le puits 20. Sa moyenne est de $29,81 \pm 16,26$.

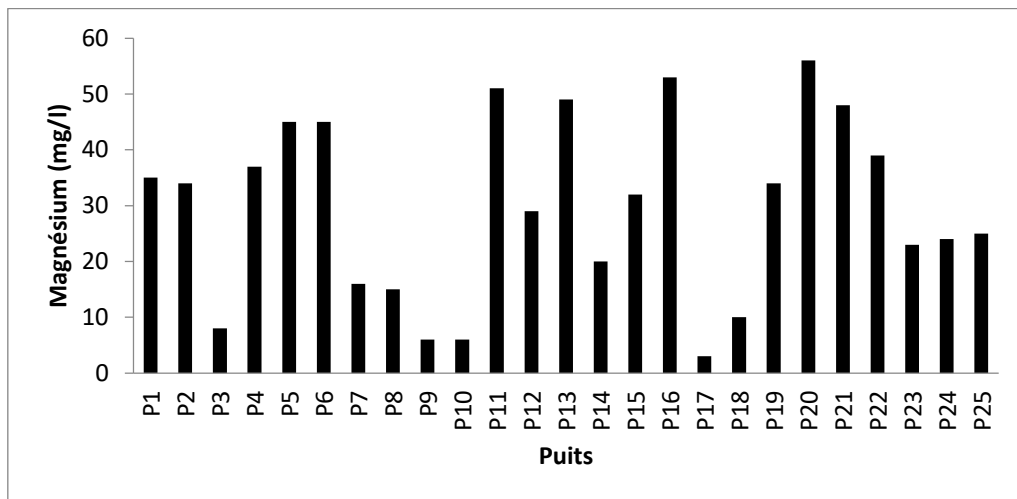


Figure 14 : Variation spatiale de la teneur en ions magnésium dans les eaux de puits.

3.1.1.9. Chlorure

La teneur des ions chlorures des puits étudiés a permis de construire la figure 15. Cette figure montre que la teneur des ions chlorures varie de 11,72 pour le puits 3 à 74,54 mg/L pour le puits 7. Elle présente une moyenne de $33,40 \pm 14,67$.

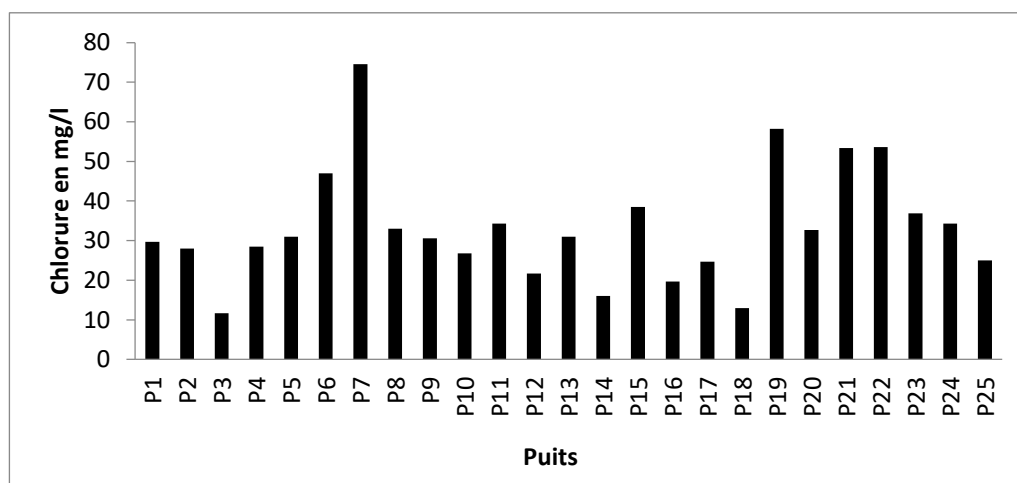


Figure 15: Variation spatiale de la teneur des ions chlorure dans les eaux de puits.

3.1.2. Caractéristiques microbiologiques des eaux de puits

La qualité bactériologique des eaux de puits de la zone d'étude a été évaluée à partir du dénombrement de quelques germes indicateurs de contamination fécale les germes potentiellement pathogènes pour le consommateur. Les résultats sont consignés dans le tableau VI ci-dessous. La valeur moyenne des concentrations de coliformes totaux et fécaux sont inférieures à 15 tandis que celle de streptocoque fécaux et d'anaérobie sulfite réducteur sont inférieures à 1. Quant aux salmonelles ils sont quasiment absents.

Tableau VI : Concentration des germes microbiens dans les eaux de puits.

Germes	Coliformes Totaux et Coliformes Fécaux	Streptocoques Fécaux et Anaérobie Sulfite Réducteur	Salmonelles
Moyenne du nombre dans 100 mL	<15 UFC	<1 UFC	Absence

*UFC : Unité de Formation de Colonie

3.1.3. Demande en chlore

Les courbes de break point obtenues à partir des doses de chlore ajoutées ont permis de classer les puits étudiés en trois (3) catégories. La première catégorie correspond aux puits dont les breaks points sont atteints pour une dose de 2 mg/L (figure 16). Cette catégorie est constituée des puits P2, P6, P15, P17, P19 et P23.

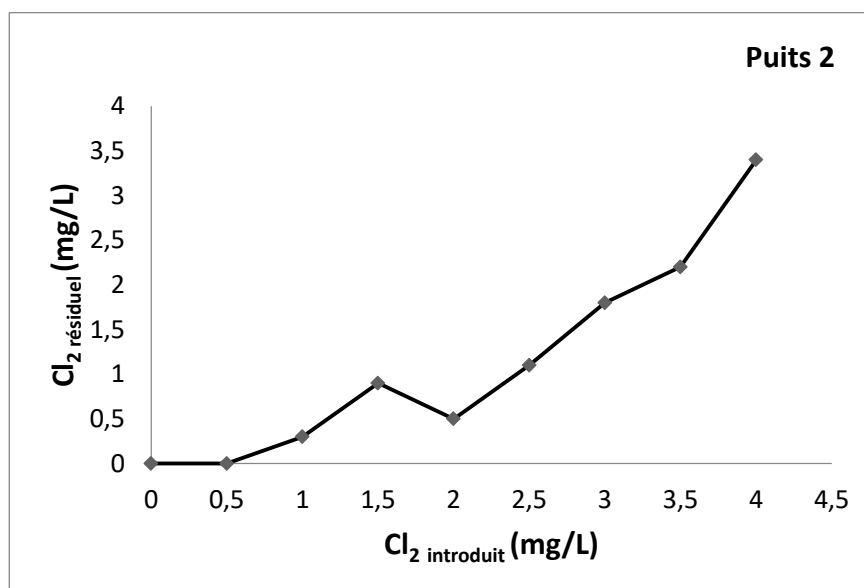


Figure 16 : Courbe de break point des eaux des puits classés catégorie 1.

Les puits classés catégorie 2 sont les puits dont la dose de chlore au point de rupture est atteint à 2,5 mg/L (figure 17) ces puits sont : P3, P4, P5, P9, P12, P13, P16, P20 et P25.

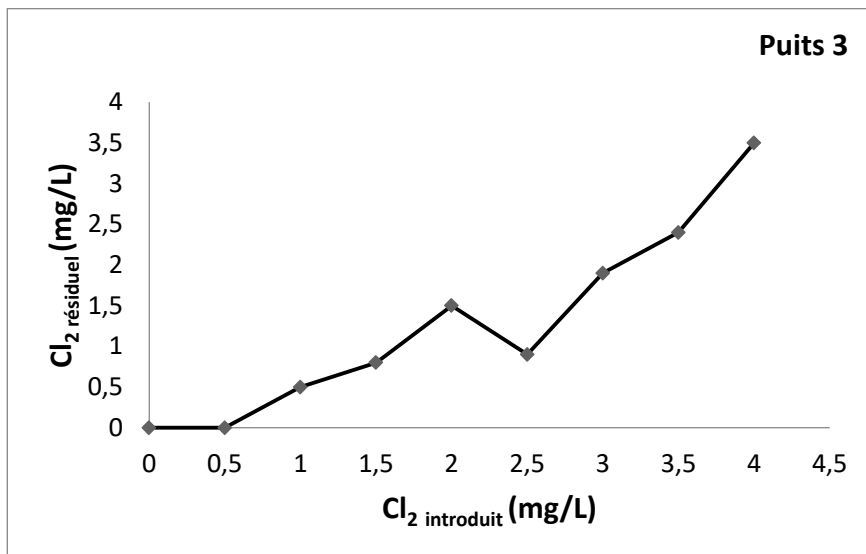


Figure 17: Courbes de break point des eaux des puits classés catégorie 2

Concernant les puits classés catégorie 3, leur break point est atteint pour la dose de 3 mg/L (Figure 18). Il s'agit des puits P1, P7, P8, P10, P11, P14, P18, P21, P22 et P24.

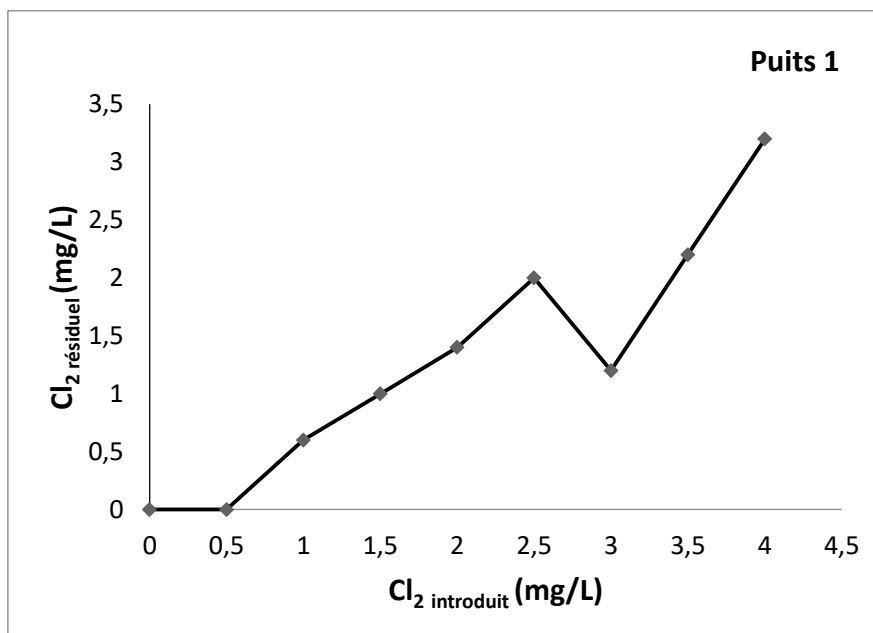


Figure 18 : Courbes de break-point des eaux des puits classés catégorie 3.

La dose au break point, la teneur en chlore résiduel et la demande en chlore sont représentées par les courbes de la figure 18. La concentration en chlore résiduel varie de 0,3 mg/L pour les puits P2 et P19 à 1,7 mg/L pour les puits P1 et P15. Quant à la demande en chlore de 0,3 (P15) à 1,8 mg/L (P8).

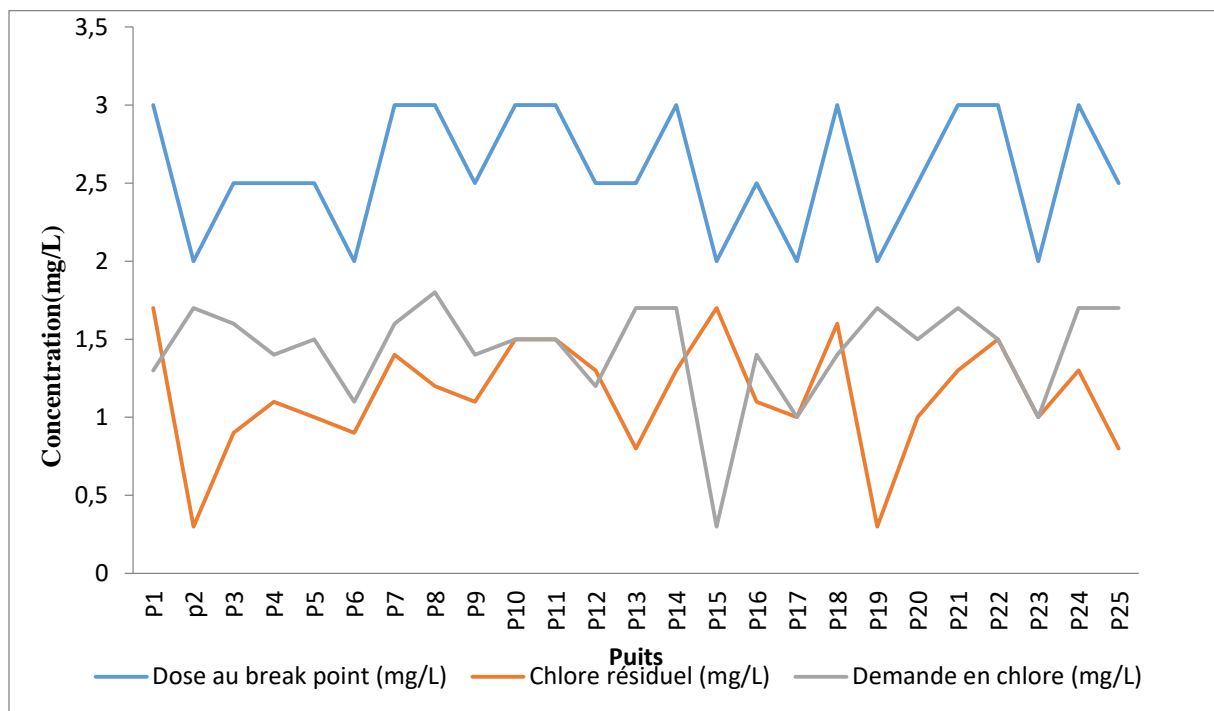


Figure 19 : Variation de la dose au break point, de la teneur en chlore résiduel et de la demande en chlore.

3.2. DISCUSSION

L'analyse des résultats de l'enquête à montre que la majorité des puits étudiés ont des parois cimentés mais certaines sont dégradées, la plus part des puits ont leur margelle couverts avec du bois et parfois non adapté. Contrairement au puits 6 tous autres puits ont une profondeur inférieures à 15 m. Cette proximité de l'eau des puits par rapport à la surface topographique renforce leur vulnérabilité. Les études menées par Konohin *et al.* (2018) sur les eaux de puits à Bingerville en Côte d'Ivoire ont également lié la prolifération des germes microbiologiques dans l'eau à la faible profondeur des puits et à la distance entre ceux-ci et les latrines. Contrairement aux distances recommandées par l'OMS, ces puits sont à moins de 15 mètres des latrines ou de fosses septiques. Concernant, la température des eaux on observe une

variation allant de 27°C pour le puits P21 à 29,5°C pour le puits P21 avec une valeur moyenne de $27,97 \pm 0,53$. Ces valeurs se rapprochent de celles obtenues par Makoutode *et al.* (1999), ces auteurs ont trouvé des températures variant de 25 à 30°C dans les puits de Grand popo au Bénin. Ces valeurs sont également proches des valeurs obtenues par Ohou *et al.* (2014) lors des études menées sur les puits traditionnels sur le bassin versant de la Lobo (Buyo). Selon ces auteurs, la température de ce milieu varie entre 25 et 28,7°C. La température élevée des eaux de puits peut s'expliquer par l'influence de la température ambiante sur ces eaux. Avec une telle température, ces eaux de puits constituent un bon milieu de culture pour les micro-organismes. Elle est donc un facteur contribuant à la création de conditions favorables à la pollution des eaux. Quant au pH, sa valeur est comprise entre 3,6 pour le puits P21 et 6,6 pour les puits P1 et P16. Sa moyenne est de $5,45 \pm 0,79$ ces traduisent le caractère acide des eaux. Selon l'OMS (2004), le pH d'une eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5. Le pH des eaux de puits du quartier Marais de Daloa est similaire à celui obtenu par Ligban *et al.*, (2009) lors de l'étude du processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa. Cette valeur de pH pourrait être due à la qualité du sous-sol ou à la mauvaise gestion de puits. En se référant aux normes de l'OMS pour l'eau potable, les eaux de puits étudiées ne peuvent pas être recommandées pour la consommation humaine vue la valeur du pH. Par ailleurs, la turbidité de ces eaux varie fortement d'un puits à un autre. Sa valeur est comprise entre 0,46 NTU pour le puits P18 et 36,2 NTU pour le puits P9 avec une moyenne de $7,44 \pm 0,79$. Cela peut être dû à une pollution en matière en suspension, colloïdale et aussi par la présence des composés minéraux dans l'eau. Selon l'OMS, les procédés de désinfection ne peuvent pas détruire les germes pathogènes et les bactéries d'origines fécales quand la turbidité est supérieure à 5 NTU. Par conséquent, il recommande qu'avant tout traitement, la turbidité moyenne de l'eau soit de 1 NTU. La turbidité peut avoir des effets importants sur la qualité de l'eau potable. Il y a un lien entre la turbidité et la présence des microorganismes dans l'eau potable. La mesure de la turbidité est utile pour évaluer ou prédire l'efficacité d'enlèvement des parasites par un système de traitement de l'eau. Une turbidité élevée favorise l'augmentation en nombre de certaines bactéries dans l'eau, tel que démontré par Power et Nagy (1999) qui ont mis en évidence une corrélation entre ce paramètre et le développement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Une augmentation de la turbidité dans l'eau indique un développement microbien. Concernant la conductivité, les valeurs sont comprises entre 352,9 $\mu\text{s/cm}$ pour le puits P18 et 1423,5 $\mu\text{s/cm}$ pour le puits P6 avec une moyenne de $868,99 \pm$

269,78. Ces valeurs indiquent que les eaux de puits étudiées sont minéralisées bien que la valeur maximale est inférieure à 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui est la valeur recommandée par l'OMS (OMS, 2004). La conductivité électrique dépend des charges de matière organique endogène et exogène, génératrice de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau. Elle résulte aussi du lessivage du substrat géologique traversé dont les caractéristiques géochimiques vont influencer également la dureté de l'eau. Les valeurs de la dureté des eaux étudiées varient respectivement de 2,06°f pour le puits P3 à 18,5°f pour le puits P16, ces valeurs révèlent que les eaux de puits sont dans l'ensemble douces. Les fortes valeurs seraient donc liées à la nature lithologique de la formation géologique de la nappe phréatique et en particulier à sa composition en magnésium et en calcium. Les concentrations en magnésium et en calcium sont en dessous des normes recommandées. Elles sont extrêmement variables, indépendamment de la lixiviation des formations géologiques. Ces sels peuvent provenir de la décomposition des silicates de sodium et d'aluminium et des usages industriels (Rodier *et al.*, 2009). Le calcium dérive également de l'attaque du CO_2 dissout par les roches calcaires ou sa dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (Rodier *et al.*, (2009). Les teneurs en calcium et en magnésium des eaux échantillonnées sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 100 mg/l pour le calcium et 50 mg/l pour le magnésium (OMS, 2006) avec des valeurs moyennes respectives de $42,88 \pm 27,17$ pour le calcium et $29,81 \pm 16,26$. Quant aux ions chlorures, les concentrations obtenues sont comprises entre 11,72 mg/L pour le puits P3 et 74,53 mg/L pour le puits P7. Ces valeurs sont inférieures à 200 mg/L la concentration maximale admissible selon les normes de l'OMS relativement à la potabilité des eaux. Les teneurs en chlorures des eaux de puits traditionnels du quartier marais sont donc dans la gamme de potabilité des eaux de boisson. L'examen de la contamination microbienne révèle que les concentrations des coliformes totaux (CT) et coliformes fécaux (CF) sont presque constants dans les eaux de puits échantillonnés leur moyenne est inférieure à 15 UFC. Les valeurs obtenues sont supérieures à la valeur guide des eaux potables, les valeurs limites selon l'OMS sont 10 UFC/100 mL pour les coliformes totaux et 0 UFC/100 ml pour les coliformes fécaux (OMS, 1987). Cette contamination pourrait provenir des activités domestiques et serait également due à l'exposition directe des puits aux eaux de ruissellement chargées en micro-organismes. Les streptocoques fécaux et les ASR sont quasiment absents dans les eaux de puits étudiées. On les retrouve à l'état de

trace dans les eaux étudiées avec une moyenne inférieure à 1UFC. Quant aux salmonelles, ils sont totalement absents. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. De façon générale, la qualité biologique des eaux de puits en Afrique révèle que la plupart des puits traditionnels sont pollués. En effet, des études portant sur les eaux de puits au Burkina-Faso, au Rwanda, au Bénin et en Guinée Conakry montrent que respectivement 70 % des puits traditionnels au Burkina-Faso, 55 % des sources captées au Rwanda, 96 % des puits traditionnels au Bénin et 100 % des puits traditionnels et sources captées en Guinée sont pollués (Programme Solidarité Eau, 2018). Plusieurs facteurs pourraient expliquer la présence de germes microbiologiques dans les puits de Daloa : il s'agit de la position de ces puits par rapport aux sources de pollution (dépotiers de déchets, points des eaux usées et les fosses d'aisances) ; le mauvais aménagement des puits (absence de margelle et de périmètre de protection) ; la mauvaise gestion des déchets et des puits ; la divagation des animaux à proximité des puits et la faible profondeur des puits. Les doses de chlore résiduel obtenues ont permis de tracer les courbes du chlore résiduel en fonction des doses de chlore ajoutées, ces courbes nous ont permis de classer puits en trois catégories selon les doses obtenues aux breaks points. Les puits classés catégorie 1 leurs breaks points sont atteints pour une dose de 2 mg/L, ceux classés catégorie 2 leurs breaks points sont observés lorsque la dose de chlore ajouté atteint 2,5 mg/L et quant aux puits classés catégorie 3 les courbes indiquent la dose de 3 mg/L aux breaks points. Les courbes des breaks points obtenues présentes quatre phases (3), la première phase correspond à la consommation rapides de chlore par les composés très réactifs c'est la demande immédiate en chlore. L'analyse de ces courbes montre que la demande immédiate en chlore de ces eaux n'est pas nulle (0,5 mg/l). Cette valeur traduit la présence de composés minéraux dans les eaux de puits, la demande immédiate sert à l'oxydation de substances réductrices, spécialement inorganiques (Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc). Selon Tampo *et al* (2014), la demande immédiate en chlore est la quantité de chlore consommée avant sa réaction avec les composés azotés. Après l'élimination des composés inorganiques, il commence la seconde phase, elle est caractérisée par la formation puis la destruction du chlore combiné, principalement les chloroamines, qui agissent comme du chlore résiduel dans la désinfection. Cette phase est terminée par un point qui enregistre la dose la plus basse de chlore résiduel c'est « le break point », ce point caractérise la fin de la destruction des germes et les composés minéraux dangereux. Après le point de rupture (break point), tout le chlore qu'on ajoute, reste comme chlore libre c'est la troisième phase. Dans cette phase la dose ajoutée est classé de résiduel. A cet effet, on considère qu'à partir de ce

point, on a la désinfection proprement dite comme l'élimination des micro-organismes par le chlore et l'eau contient une valeur donnée du chlore libre. Les doses de break point varient de 2 à 3 mg/L ces doses sont en-dessous 5 mg/L la dose limite de l'OMS pour la désinfection des eaux de consommation. La variation de break point se traduit par la présence de composés minéraux qui élèvent les valeurs au break point (Rodier *et al.*, 2009). La consommation du chlore par les eaux de puits du quartier marais pourrait être liée aux composés minéraux et aux micro-organismes. Il faut aussi signaler que la présence d'ions chlorures provoque une diminution de potentiel de consommation en chlore (Harrat, 2013).

A decorative scroll-like frame with a black outline and rounded ends, containing the word **CONCLUSION** in a bold, serif font.

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était de déterminer la demande en chlore des eaux de puits du quartier Marais de Daloa. Les résultats montrent que ces eaux sont acides et fortement minéralisées. Elles contiennent des éléments qui peuvent être considérés comme réducteurs de chlore et de l'activité du chlore dans la désinfection. Les demandes en chlore des puits étudiés sont obtenues expérimentalement sur la base de la courbe de break point. Les valeurs de break point varient de 2 à 3 mg/L. Ces valeurs traduisent la présence de composés minéraux. La demande en chlore varie de 0,3 à 1,6 mg/L.

La présente étude a montrée également l'état malsain de l'environnement des puits étudiés : à savoir la pratique d'élevage à proximité des puits, l'étroitesse de la distance puits- latrine, la faible profondeur des puits et la présence de dépôt d'ordure sauvage dans les environs des puits. Tous ces facteurs constituent en premier lieu des sources de pollution éventuelle des eaux des puits de consommation. Pour limiter la pollution de l'eau des puits, les mesures suivantes sont préconisées : l'isolation des nappes profondes des nappes superficielles par un cuvelage résistant, la protection du toit des apports extérieurs, l'installation des ouvrages d'assainissement à l'aval hydraulique des puits pour l'évacuation des eaux usées, le ramassage des ordures et l'éloignement des dépôts de déchets des puits. Une campagne de sensibilisation sur la santé publique devrait également être initiée à l'endroit des populations pour permettre d'améliorer et de protéger la qualité de l'eau des puits du quartier. Étendre le réseau d'eau de la Société de distribution d'eau de Côte d'Ivoire (SODECI) à tous les quartiers de la ville de Daloa est une solution indispensable aux problèmes sanitaires.

En perspective, il faudra poursuivre l'étude sur une longue période pour tenir compte de l'influence des variations saisonnières sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques afin d'évaluer la demande en chlore des eaux de puits sur toutes les saisons.



REFERENCES

- Afssa. (2005). Evaluation de la stabilité de la composition des eaux minérales naturelles. Rapport de comité d'experts spécialisés «Eaux», 9 p.
- Awomon nee A.D.F., Coulibaly M., Niamke G.M. & Santos D.S. (2019). 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 (Côte d'Ivoire). *Revue espace territoires société et santé*, 1(2): 91–108.
- Baka D. (2012). Géométrie, hydrodynamisme, des réservoirs, fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse De Doctorat, Université de Cocody, (Abidjan, Côte d'Ivoire), 260 p.
- Beaudry J.P.(1997) .Traitement des eaux. Éditions Le Griffon d'argile, Sainte-Foy, Québec, 231 p.
- Bonkougou P.A. (2010). Efficacité de la désinfection des eaux au chlore (hypochlorite de sodium): cas de NASO. Mémoire De Licence Professionnelle, Université polytechnique (Bobo Dioulasso, Burkina Fasso), 44 p.
- Cardot C. (2010). Les traitements de l'eau, Procédés physico-chimiques et biologiques. ellepses, 320 p.
- Castany G. (1988). Hydrogéologie : Principes et Méthodes. DUNOD, Paris, 236 p.
- Coulibaly K. (2005). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse d'Etat en Pharmacie, Université de Bamako (Mali), 44 p.
- Croué J.P. (1987). Contribution à l'étude de l'oxydation par le chlore et l'ozone d'acides fulviques naturels extraits d'eaux de surface. Thèse de Doctorat, Université de Poitiers (France), 155 p.
- Dégremont (1989). Memento technique de l'eau. Technique et documentation, Paris, 592 p.
- Desjardins R. (1997). Le traitement des eaux. presses internationales polytechniques, Montréal, 304 p.

- Diallo M. (2010). Evolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits en fonction du traitement à l'hypochlorite de sodium. Thèse d'Etat En Médecine, Université de Bamako (Mali), 87 p.
- Die K.P. (2006). Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire. Memoire De Fin De Formation, 'Institut international de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) (Ouagadougou,Burkina Fasso), 75 p.
- Doré M. (1989). Chimie des oxydants et traitements des eaux.Edition technique et documentation, Lavoisier, 528 p.
- Douagui G. (2005). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du Quaternaire du secteur Canal de Vridi -Bassam par la méthode DRASTIC. Mémoire De Master En Science Et Technologie Des Eaux, Université d'Abobo-Adjamé (Abidjan,Côte d'ivoire), 55 p.
- Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P. & Tricard D. (2003). Qualité de l'eau. Environnement et santé publique - Fondements et pratiques .Edisem, paris : 333–368.
- Goula B.T.A., Konon B., Brou Y.T., Savané I., Fadika V. & Srohourou B. (2007). Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: Cas de la cote d'ivoire par comparaison des lois lognormale et Gumbel. *Journal des sciences hydrologoques*,52(1): 49-67
- Harrat N.(2013). Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface. Thèse De Doctorat, université Biskra (Algérie), 168 p.
- Hounsounou E.O., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Kelome N.C., Vissin E.W., Mensah G.A. & Agbossou E. (2017). Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement: Synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(5): 2392-2412.

- HLPE, 2015. Eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale. Rapport sur la sécurité alimentaire et la nutrition, 151 p. www.fao.org/cfs/cfs-hlpe
- INS. (1998). Recensement Générale de la Population et de l'Habitat. 95 p.
- INS. (2014). Recensement général de la population et de l'habitat. 47 p.
- Kanohin F., Otchoumou E., Yapo O.B., Dibi B. & Bonny A.C. (2018). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5): 2495-2509.
- Kebiche M., Benabid C. et Adjal F. (1999). Pollution des eaux superficielles dans un climat semi-aride : la région de Sétif (Algérie). *SECHERESSE*, 10(2): 137–142.
- Knocke W.R., Van Benschoten J., Kearney j et Rekhov D. (1990). Alternative oxidants for the removal of soluble iron and manganese. *AWWA Research Fnudation* : 132–141.
- Kouacou A. P. R. (2014). Caractéristiques physique et sociologiques des zones criminogènes dans la commune d'Abobo. Mémoire de master, Université Alassane Ouattara (Bouaké, Côte d'Ivoire), 106 p.
- Koukougnon W. (2012). Milieu urbain et accès à l'eau potable: cas de Daloa centre-ouest de la cote d'ivoire. Thèse De Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan ,Côte d'ivoire), 416p.
- Le Gulludec C. (1995). La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine: Inérêts et limites de cette pratique-Bilan d'une enquête effectuée dan le département de l'Isère. Thèse De Doctorat En Pharmacie, Univercité Joseph Fourier-Grenoble 1 (Grenoble,France),119 p.
- Legube B. (1996). Le traitement des eaux de surface pour la production d'eau potable, Guide Technique.Agence de l'eau Loire-Bretagne, 198 p.
- Ligban R., Gone L.D., Kamagate B., Saley M.B. et Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(1): 37–47.

- Makoutod M., Assani A.K., Ouendo E.-M., Agueh V.D. & Diallo O. (1999). Qualité et mode de gestion des eaux de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique Noire*, 46(11): 528–534.
- Margat J. (1996). Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen - ressources et utilisations. Observatoire méditerranéen pour l'environnement et le développement. 98 p
- Martinelli I. (1999). Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluants associés dans le sol urbain vers une approche globale et pluridisciplinaire. Thèse De Doctorat, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Lyon (France), 207 p.
- Massicotte R. (2009). Désinfectants et désinfection en hygiène et salubrité: principes fondamentaux. Direction des communications, Santé et services sociaux Québec, 77 p.
- Merlet N. (1986). Contribution à l'étude du mécanisme de formation des THM et des TOX non volatils lors de la chloration de molécules modèles. Thèse De Doctorat Es-Sciences Physiques, Université de Poitiers (France), 139 p.
- Miquel Gérard.M. (2003). la qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Rapport de l'OPECST, office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, France, 195 p.
- Ohou-Yao M.J., Séka A.M., Mambo V., Yapo O.B., Konan K.F. & Houénou P.V. (2014). Contamination des eaux de puits traditionnels par les nitrates sur le bassin versant de la Lobo (Buyo, sudouest de la Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 78(1): 6654-6665.
- OMS (1987). Technologie de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement dans les pays en développement: rapport d'un groupe d'étude de l'OMS. 742, Genève, 42 p.
- OMS (2004). Directives de qualité pour l'eau de boisson. Genève, 110 p.
- OMS. (2006). Organisation mondiale de la santé Water and Sanitation Related Diseases fact. World Health Organization, Geneva, 247 p.

- OMS & UNICEF (2017). Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène. rapport du Programme commun de suivi de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, 116 p.
- Power K.N. & Nagy L.A. (1999). Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system. *Water Research*, 33: 741–750.
- Programme Solidarité Eau (2018). Guide pratique de conservation et traitement de l'eau à domicile, 72 p.
- Quercia F. (1993). Summary review of available models for groundwater flow and contaminant migration france, 58 p
- Rejsek F. (2002). Analyse des eaux: aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine ; SCEREN, Bordeaux, 360 p
- Rice R.G., Robson C.M., Miller G.W. & Hill A.G. (1981). Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal - American Water Works Association*, 73(1): 44–57.
- Rodier J., Legube B. & Merlet N. (2009). L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, 1600 p.
- Saadia F.H. (2012). La cartographie de vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines dans le groupement urbain de tlemcen. Mémoire De Master En Hydraulique, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen (Algérie), 205 p.
- Saint B. (2011). La désinfection de l'eau. Rapport de *Journée d'information & d'échanges des fontainiers*, 22 p.
- Seby P. (2006). Etude de la chloration sur le réseau d'eau potable du syndicat d'Annonay-Serrières (07). Mémoire De Licence Professionnelle, Université Louis Pasteur (Strasbourg), 48 p.
- Sibille I. (1998). Stabilité biologique des réseaux de distribution d'eau potable. *L'Année Biologique*, 37(3): 117–161.

- Soro G. (2010). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire): hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du District de Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse De Doctorat, Université de Cocody (Abidjan (Côte d'Ivoire)), 250 p.
- Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakakla I., Boguido P., Bawa L. & Djaneye B. (2014). Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé: cas des quartiers de Démakpoé et d'Agbalépédogan (Togo). *Journal of Applied Biosciences*, 75(1): 6272.
- Tardat-Henry M. & Beaudry J.-P.(1884). Chimie des eaux.Le Griffon d'argile, Quebec,340 p.
- Tchobanoglous G., Burton F. & Stensel H.D. (2003). Wasterwater Engineering, Traitment and Reuse. *Mc Graw – Hill Higher Publication* 12(2) :1218-1244.
- UNICEF (2008). Manuel de Qualité de l'Eau de l'UNICEF, 42 p.
- Venosa A.D. (1983). Current state of the art of waste water desinfetion. *Journal of water pollution control federation*, 55(5): 457–466.
- White G. C (1972). Handbook of chlorination. van nostrand reinhold company, 144 p.
- Yao A.B., Goula B.T.A., Kane A., Mangoua O.M.J. & Kouassi K.A. (2016). Cartographie du potentiel en eau souterraine du bassin versant de la Lobo (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère. *Hydrological Sciences Journal*, 1–12.
- Yelignisse C.L.H.H. (2007). L'amélioration des conditions d'accès à une eau potable pour l'eau de boisson dans les milieux ruraux du bénin: étude des pratiques locales. Maîtrise En Sciences De L'environnement, Université du Québec (Montréal), 106 p.



ANNEXES

ANNEXE I : Fiche d'enquête

QUESTIONNAIRE DESTINE AUX MENAGES UTILISANT L'EAU DES PUIITS
TRADITIONNELS DU QUARTIER MARAIS DE DALOA

Date :

Fiche N° :

Zone :

Quartier Marais

CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DU MENAGE

Chef de ménage

homme femme

Niveau d'instruction

Illettré Primaire Secondaire Supérieur Autre

(à préciser).....

Activités économiques du chef de ménage ?

Fonctionnaire Salarié du privé Artisan Commerçant Chauffeur

Autres

(à préciser).....

Taille du ménage (nombre de personnes habitant la maison).

.....

Mode d'habitation :

Individuel cours commune

ACCES A L'EAU POTABLE

Sources d'approvisionnement en eau :

Sodeci puits forage

Autres (à préciser).....

Oui Non

Si oui à préciser :

Disposez-vous d'un système de traitement d'eau avant usage ?

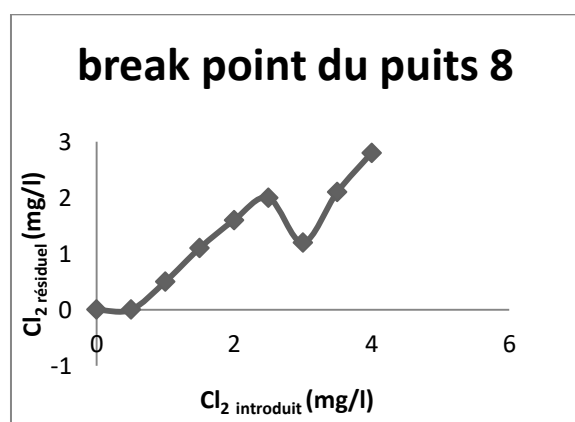
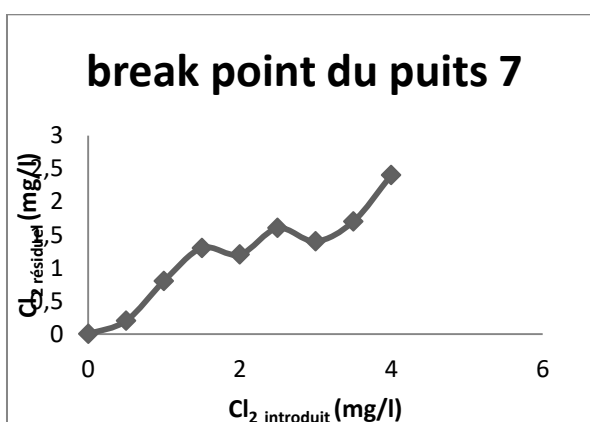
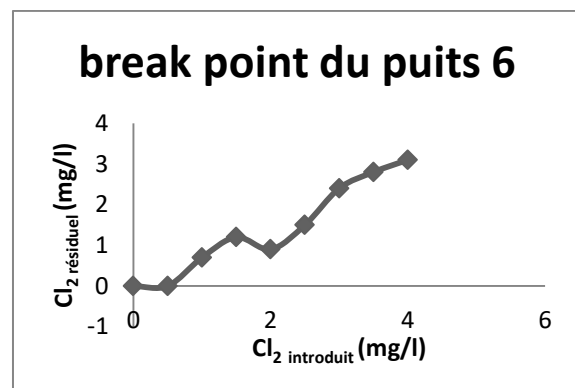
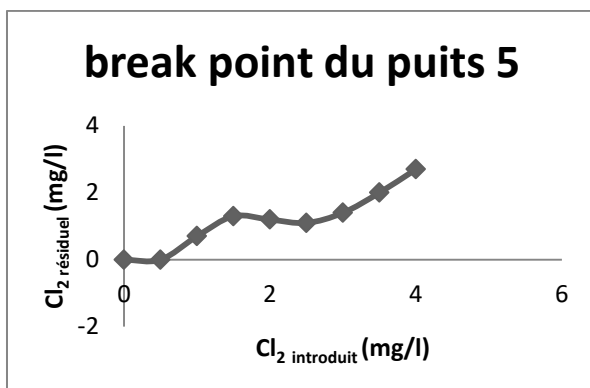
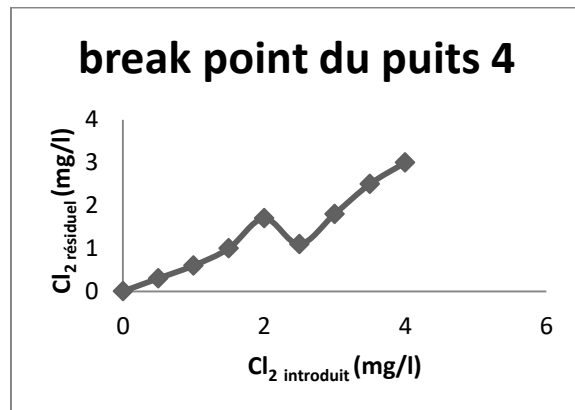
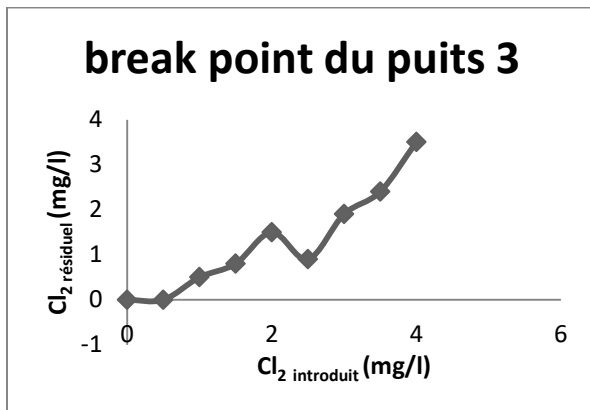
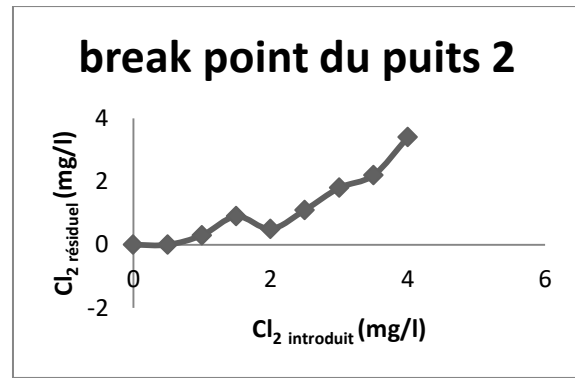
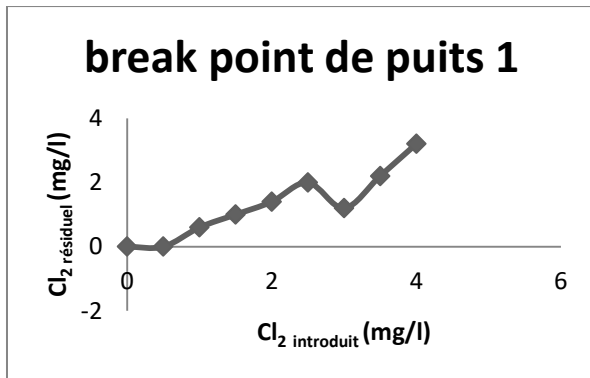
Oui Non

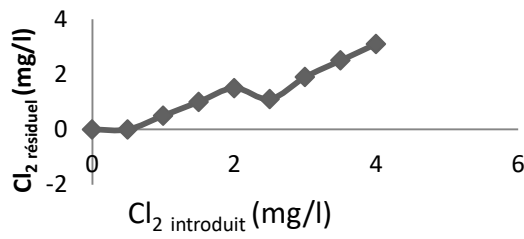
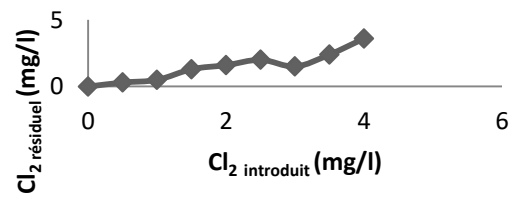
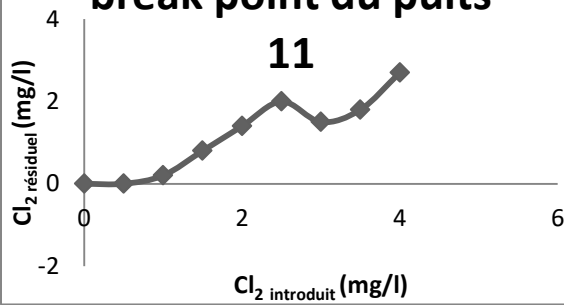
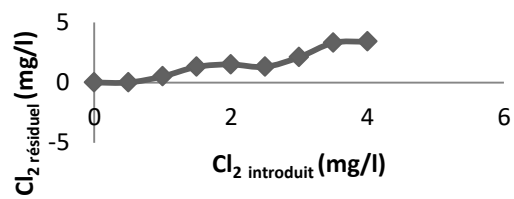
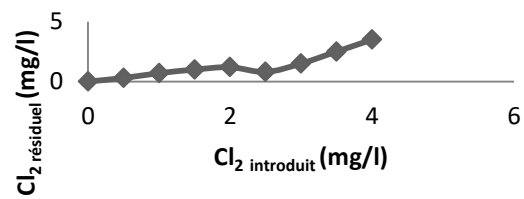
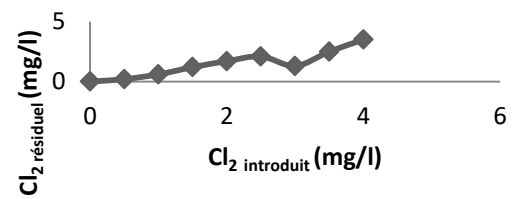
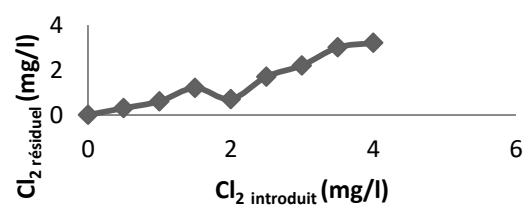
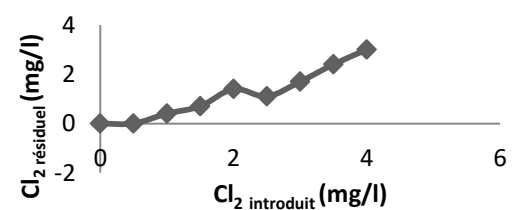
Si oui quel est le type du système de traitement ?

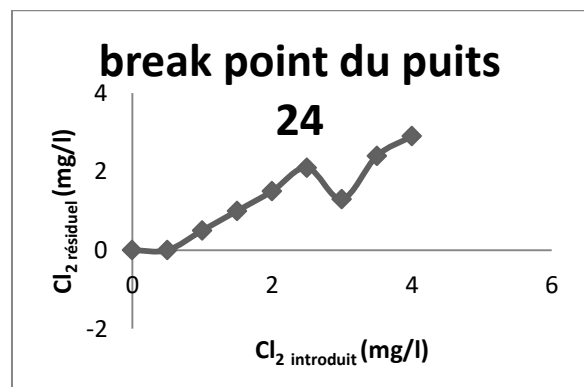
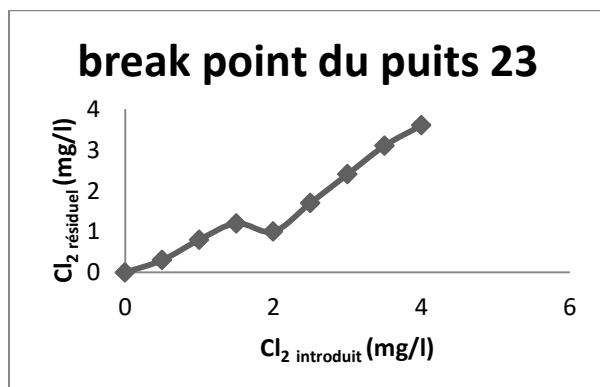
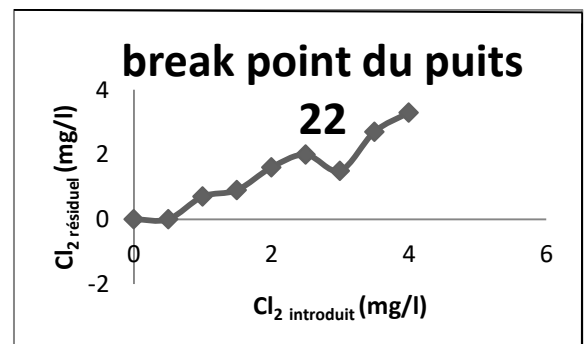
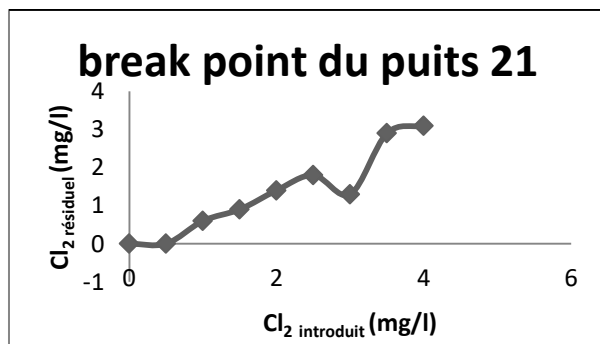
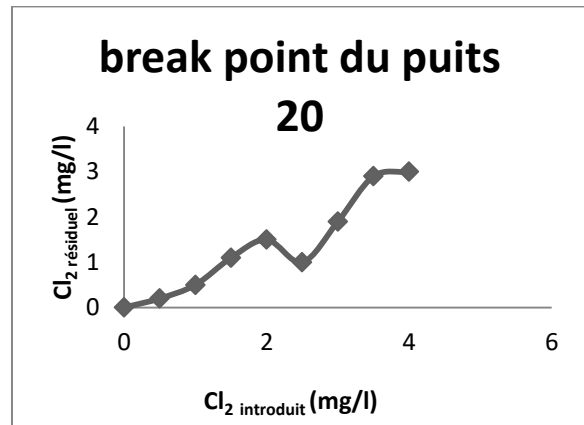
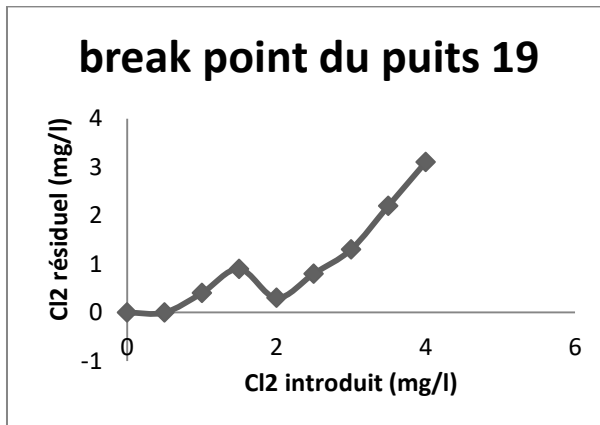
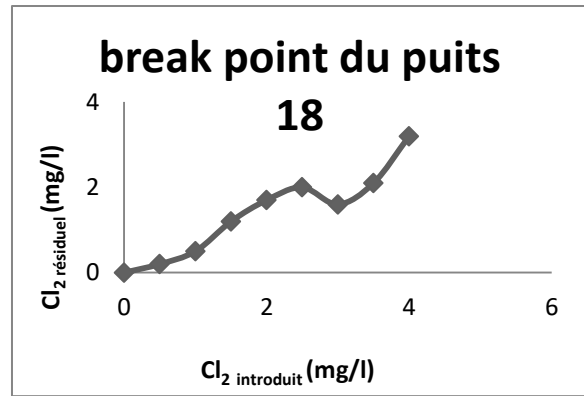
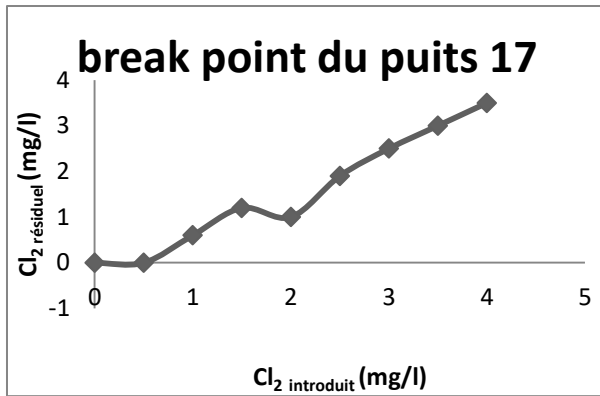
Et pourquoi ce choix ?

Si non pourquoi ?.....

ANNEXE III : Courbes de break point des puits étudiés



break point du puits 9**break point du puits 10****break point du puits 11****break point du puits 12****break point du puits 13****break point du puits 14****break point du puits 15****break point du puits 16**



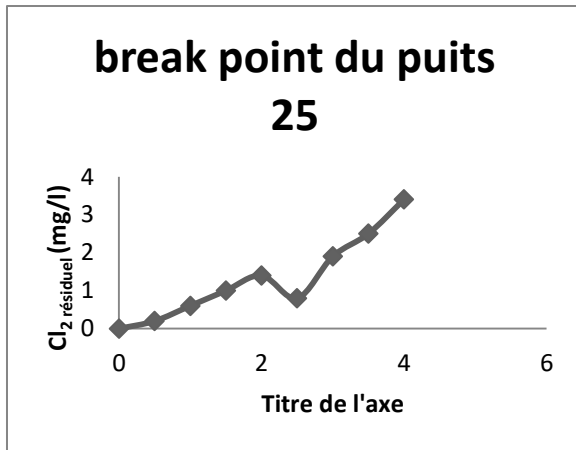


Figure 2: Courbe des breaks points des puits étudiés

RESUME

Notre étude a pour objectif de déterminer la demande en chlore des eaux de puits traditionnels du quartier marais de Daloa. Pour ce faire, une enquête a été menée auprès des habitants du quartier afin de récolter des informations servant aux sélections de 25 puits pour la suite de notre travail. L'enquête a révélé que la quasi-totalité des habitants du quartier utilisent l'eau de puits pour presque tous leurs besoins quotidiens. Nous avons effectué des analyses bactériologiques et physico-chimiques sur les eaux brutes ainsi que la détermination de la demande en chlore, c'est-à-dire désinfecté les eaux des puits traditionnels avec une dose de chlore nécessaire à éliminer l'ensemble des micro-organismes pathogènes présents dans l'eau brute. Les analyses ont révélé que ces eaux brutes ne sont pas exemptes de germes pathogènes contrairement aux salmonelles qui sont catégoriquement absents ainsi qu'aux paramètres physico-chimiques. Pour déterminer la dose au break point des eaux de puits nous avons ajouté à des essais d'eau des concentrations de chlore allant de 0.5 à 4 mg/l afin de connaître les doses au break point de chaque puits, cette dose varie de 2 à 3 mg/l selon les puits. Ainsi le chlore résiduel mesuré oscille entre 0.3 à 1.7 mg/l. Ces grandes variations sont dues à la présence des composés minéraux.

Mots clés : Demande en chlore ; Désinfection ; break point ; chlore résiduel

ABSTRACT

The objective of our study is to determine the chlorine demand of traditional well water in the Daloa marshland district. For this purpose, a survey was conducted among the inhabitants of the district in order to collect information for the selection of 25 wells for further work. The survey revealed that almost all the inhabitants of the district use well water for almost all their daily needs. We carried out bacteriological and physico-chemical analyses on the raw water and determined the chlorine demand, i.e. disinfecting the water from traditional wells with a dose of chlorine necessary to eliminate all pathogenic microorganisms present in the raw water. Analyses have shown that these raw waters are not free of pathogenic germs, unlike salmonella, which are categorically absent, as well as physico-chemical parameters. In order to determine the break point dose of well water, we added chlorine concentrations ranging from 0.5 to 4 mg/l to water tests in order to know the break point dose of each well, this dose varies from 2 to 3 mg/l depending on the well. Thus the residual chlorine measured varies between 0.3 and 1.7 mg/l. These large variations are due to the presence of mineral compounds.

Key words: Chlorine demand; Disinfection; break point; chlorine residual