



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 : 0354

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0415008639

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

RISQUES SANITAIRES LIES A LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE PUITES ET DE SOURCES DANS LA VILLE DE DALOA (CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)

LABORATOIRE DES
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

Présenté par :

BROU Amena Prisca

JURY

Président : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire

Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences

Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. MANGOUA Oi Mangoua Jules, Maître de Conférences

Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. EBLIN Sampah Georges, Maître-Assistant

Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 27 février 2021



UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

UNION-DISCIPLINE-TRAVAIL

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

**ANNEE ACADEMIQUE
: 2019-2020**

N° D'ORDRE :0354

**N° CARTE ETUDIANT :
CI0415008639**

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

**RISQUES SANITAIRES LIES A LA QUALITE PHYSICO-
CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE PUIITS
ET DE SOURCES DANS LA VILLE DE DALOA (CENTRE-
OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)**

**LABORATOIRE DES
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT**

Présenté par :

BROU Amena Prisca

JURY

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

**Directeur : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Encadreur : M. MANGOUA Oi Mangoua Jules, Maître de Conférences
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

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

**Soutenu publiquement
le : 27 février 2021**

Table des matières

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES ANNEXES	x
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	3
1.1. Présentation de la zone d'étude.....	3
1.1.1. Situation Géographique	3
1.1.2. Réseau hydrographique	3
1.1.3. Géologie	4
1.1.4. Structure Hydrogéologique	5
1.1.5. Climat	6
1.1.6. Végétation	6
1.1.7. Approvisionnement en eau potable	6
1.2. Généralité sur l'évaluation des risques sanitaires	7
1.2.1. Identification du danger.....	7
1.2.2. Evaluation de l'exposition.....	7
1.2.3. Relation dose-réponse	8
1.2.4. Caractérisation du risque	8
1.3. Maladies liées à la consommation d'eau souterraine.....	9
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES.....	10
2.1. Matériel.....	10
2.1.1. Données	10
2.1.2. Réactifs	10
2.1.3. Matériel d'échantillonnage.....	10
2.1.4. Matériel de laboratoire	11
2.1.5. Matériel de traitement des données	12
2.2. Méthodes.....	12
2.2.1. Enquêtes	12
2.2.2. Echantillonnage	13
2.2.3. Analyse des paramètres physico-chimiques sur le terrain.....	14
2.2.4. Analyses des paramètres chimiques au laboratoire.....	14
2.2.5. Tests statistiques.....	15
2.2.5.1. Analyse descriptive simple.....	15
2.2.5.2. Application du Self Organizing Maps ou SOM.....	15
2.2.6. Détermination de l'indice de qualité physico-chimique.....	16
2.2.6.1. Choix des poids unitaires et relatifs des paramètres.....	16
2.2.6.2. Indice de qualité par paramètre (q_i).....	17

2.2.6.3. Calcul de l'indice global de qualité	17
2.2.7. Analyse des paramètres microbiologiques	18
2.2.7.1. Dénombrement des Coliformes totaux et <i>Escherichia coli</i>	18
2.2.7.2. Dénombrement des Entérocoques fécaux	18
2.2.8. Détermination des classes de qualité microbiologique	18
2.2.9. Détermination des risques sanitaires liés aux paramètres chimiques et microbiologiques	19
2.2.9.1. Risque sanitaire chimique	19
2.2.9.1.1. Identification du danger	19
2.2.9.1.2. Évaluation de l'exposition aux nitrates	19
2.2.9.1.3. Relation dose-réponse suite à l'exposition aux nitrates	20
2.2.9.1.4. Caractérisation du risque lié aux nitrates	21
2.2.9.2. Risque sanitaire microbiologique	22
2.2.9.2.1. Identification du danger	22
2.2.9.2.2. Evaluation de l'exposition aux <i>E. coli</i> pathogènes	22
2.2.9.2.3. Relation dose-réponse suite à l'exposition aux <i>E. coli</i> pathogènes	22
2.2.9.2.4. Caractérisation du risque lié aux <i>E. coli</i> pathogènes	23
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	24
3.1. Résultats	24
3.1.1. Résultats des enquêtes	24
3.1.1.1. Types d'usages des différentes sources d'eau	24
3.1.1.2. Consommation d'eau	24
3.1.1.3. Méthode de traitement des eaux de puits et de sources destinée à la consommation	25
3.1.2. Qualité physico-chimique et microbiologique	25
3.1.2.1. Résultats du traitement statistique	25
3.1.2.1.1. Analyse descriptive simple	25
3.1.2.1.2. Carte de kohonen	28
3.1.2.2. Indice de qualité physico-chimique des eaux de puits et de sources....	32
3.1.2.2.1. Indice de qualité des eaux (IQE) de puits	32
3.1.2.2.2. Indice de qualité des eaux de sources	34
3.1.2.3. Classes de qualité microbiologique de eaux de puits et sources	35
3.1.3. Risque sanitaire lié aux paramètres chimiques et microbiologiques.....	36
3.1.3.1. Risque sanitaire lié à la présence des nitrates dans les eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa.....	36
3.1.3.1.1. Concentrations en nitrates dans les eaux de puits et sources	36
3.1.3.1.2. Exposition et estimation du quotient de danger lié aux nitrates ...	37
3.1.3.2. Risque sanitaire microbiologique lié aux <i>E. coli</i> pathogènes.....	38

3.1.3.2.1. Concentrations des <i>E. coli</i> pathogènes dans les eaux de puits et de sources	38
3.1.3.2.2. Exposition aux <i>E.coli</i> pathogènes	38
3.1.3.2.3. Relation dose réponse et risque d'infection lié aux <i>E. coli</i> pathogènes.....	39
3.2. Discussion	41
3.2.1. Qualité physico-chimique et microbiologique	41
3.2.2. Risque sanitaire lié aux paramètres chimiques et microbiologiques.....	44
CONCLUSION.....	45
REFERENCES	46
ANNEXES.....	i

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A ma mère N'GUESSAN Ba Justine ! Sache que tes efforts et souffrances pour moi n'ont pas été vains ! Que Dieu, lui-même, se souvienne de tout cela et te maintienne le plus longtemps en vie afin que tu bénéficies des fruits de tes efforts.

A mes sœurs BROU Grâce et BROU Rebecca qui m'ont toujours soutenue et encouragée.

REMERCIEMENTS

Il m'est agréable, au moment de présenter ce travail, d'exprimer ma reconnaissance aux nombreuses personnes qui ont, à divers titres, contribué à sa réalisation par leurs participations et leurs soutiens.

Tout d'abord, je tiens à remercier la Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), Madame **TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE**, Professeur Titulaire, pour avoir accepté mon inscription à l'Université Jean Lorougnon Guédé.

Je remercie le Directeur de l'UFR Environnement, Professeur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Professeur Titulaire, coordonnateur du projet d'Elaboration d'un modèle de gestion intégrée des ressources en eau pour l'amélioration de l'approvisionnement en eau potable de la commune de Daloa (EPEAEP-Daloa), de m'avoir intégré dans ce projet et pour son dévouement vis-à-vis de la filière Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE).

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

Je remercie également Docteur **KONAN Kouakou Séraphin**, Maître de Conférences, pour avoir accepté d'être le Directeur Scientifique de ce mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Docteur **MANGOUA Oi Mangoua Jules**, Maître de Conférences. Merci Docteur pour votre encadrement fructueux, pour votre inestimable soutien scientifique et moral, pour vos précieux conseils et pour votre sympathie ! Vous m'avez beaucoup appris. Merci pour tout ! Que vous prospériez à tous égards.

Je remercie tous les Enseignants de la filière Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE) pour la richesse, la qualité de leurs enseignements et les grands efforts qu'ils déploient pour assurer une formation de qualité à tous leurs étudiants.

Je dis également merci à tous nos aînés du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) : **KOFFI Bérenger, KOUADIO Kouamé Jean Olivier, TOURE Fabrice, OUEDE Blaise et KOUASSI Anne Marie** pour leur soutien et encouragement, plus

particulièrement à **OUATTARA Gningéri Souleymane** pour ces nombreux conseils. Merci chers aînés, pour tout ! Que vous prospérez à tous égards.

Dans les jours d'adversité, quand j'ai senti gronder le tonnerre, quand le doute a voulu s'installer en enlevant mon espérance, j'ai su m'appuyer sur une personne, Mademoiselle **KRE Yon Edwige**. Merci pour tout.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

- ACP** : Analyse en Composantes Principales
- FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
- INS** : Institut National de la Statistique
- ISO** : Organisation Internationale de Normalisation
- LSTE** : Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- ONU** : Organisation des Nations Unies
- ORE** : Observatoire Régional de l'Environnement
- SODECI** : Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire
- UFC** : Unités Formants Colonies
- UNICEF** : Fonds des Nation Unies pour l'Enfance
- USEPA** : Agence de Protection de l'Environnement des Etats-Unis
- UTM** : Mercator Transverse Universelle

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	: Quelques maladies hydriques	9
Tableau II	: Méthodes d'analyse de quelques paramètres chimiques	15
Tableau III	: Poids unitaires des différents paramètres	17
Tableau IV	: Cinq (5) Classe de qualité de l'eau	17
Tableau V	: Critère d'évaluation de la qualité	19
Tableau VI	: Critères d'évaluation du risque chimique lié aux nitrates	20
Tableau VII	: Quantité d'eau consommée /jour/personne.....	24
Tableau VIII	: Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et sources en saison pluvieuse	25
Tableau IX	: Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et sources en saison sèche.....	25
Tableau X	: Caractéristiques des paramètres microbiologiques des eaux de puits et sources.....	28
Tableau XI	: Nombre d'échantillons et représentativité des eaux de puits et de sources dans chaque classe de Kohonen.....	30
Tableau XII	: Indice de qualité des eaux de puits en saison pluvieuse et saison sèche	33
Tableau XIII	: Indices de qualité des eaux de sources	34
Tableau XIV	: Classe microbiologique des eaux de puits.....	35
Tableau XV	: Classe microbiologique des eaux de sources	36
Tableau XVI	: Caractéristique du risque lié aux nitrates pour les eaux de puits.....	37
Tableau XVII	: Caractéristique du risque liée aux nitrates pour les eaux de sources	38
Tableau XVIII	: Exposition au risque.	38
Tableau XIX	: Dose réponse et Estimation du risque d'infection liée aux <i>E. coli</i> pathogènes.....	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Situation géographique de la ville de Daloa.....	3
Figure 2	: Réseau hydrographique de la ville de Daloa	4
Figure 3	: Formation géologique du département de Daloa.....	4
Figure 4	: Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin	5
Figure 5	: Evolution des précipitations et de la température à la station de Daloa	6
Figure 6	: Quelques outils de terrain	11
Figure 7	: Matériel d'analyses chimiques au laboratoire	12
Figure 8	: Les différents sources d'eau.....	13
Figure 9	: Localisation des points d'échantillonnage.....	14
Figure 10	: Représentation simplifiée de la carte auto-organisatrice (SOM)	16
Figure 11	: Type d'usage des différentes sources d'eau	24
Figure 12	: Caractéristique chimique des eaux de puits et sources	27
Figure 13	: Cartes auto-organisatrices de Kohonen	29
Figure 14	: Dendrogramme de classification des cellules de la carte de Kohonen.....	29
Figure 15	: Répartition des classes d'eaux : (a) saison pluvieuse, (b) saison sèche	30
Figure 16	: Poids des paramètres physico-chimiques de la saison pluvieuse	31
Figure 17	: Poids des paramètres physico-chimiques de la saison sèche.....	32
Figure 18	: Pourcentage des différentes classes physico-chimiques des eaux de puits	34
Figure 19	: Pourcentage des différentes classes physico-chimiques des eaux de sources	35

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaires.....	i
Annexe 2 : Procédure de calcul du risque sanitaire microbiologique.....	vi

INTRODUCTION

Introduction

Le droit à l'eau potable et à l'assainissement est un droit de l'homme explicitement reconnu par l'assemblée générale des nations unies en 2010. Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU) 36000 personnes dans le monde meurent quotidiennement par l'insuffisance d'accès aux systèmes d'approvisionnement en eau potable, 2,6 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable et 1,8 millions dont 90 % d'enfants de moins de cinq ans, vivant en Afrique subsaharienne meurent chaque année, de maladies diarrhéiques dues à une contamination bactériologique de l'eau de boisson (Ouattara *et al.*, 2016 ; Unicef, 2017). Dans de nombreux pays en développement, les eaux souterraines constituent la seule source d'eau potable pour une grande partie de la population. Elles sont souvent utilisées sans aucun traitement et il y a donc un risque important d'exposition aux contaminants (Sadler *et al.*, 2016). En Afrique, précisément en Côte d'Ivoire, 65 % de la population urbaine est desservie en eau potable par la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI) et l'autre partie de la population non desservie par la SODECI (35 %) a recours aux eaux de puits traditionnels, de surface, de source, de pluie et des pompes à motricité humaine (Kouadio, 2019). La ville de Daloa, chef-lieu de la région du Haut Sassandra, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire est confrontée aux problèmes d'approvisionnement en eau potable. En effet, l'eau de la rivière Lobo traitée pour l'alimentation en eau de la population de la commune de Daloa, est très riche en matières organiques, micropolluants et autres substances toxiques. La non maîtrise par moment de cette charge polluante donne à l'eau de robinet un aspect organoleptique (couleur, odeurs, goûts) désagréable. Ce problème est quasi général dans les localités desservies à partir des eaux de surface en Côte d'Ivoire. Or, l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux caractéristiques suivantes : incolore, inodore, insipide, exempte de tous germes pathogènes et ne doit pas causer de désagréments (entartrage et/ou corrosion) dans les conduites qui la transportent et les récipients qui la contiennent. En somme, une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas porter atteinte à la santé et doit répondre à un certain confort et plaisir de boire (ORE, 2016). Ainsi le doute sur la qualité de l'eau fournie au robinet oblige une bonne partie de la population de la ville de Daloa à se tourner vers d'autres sources d'approvisionnement, en particulier les eaux de sources et de puits traditionnels. En effet, les populations utilisent de plus en plus les eaux de sources et de puits comme une eau de consommation quand bien même que les études sur la qualité de ces eaux restent très sommaires et même inexistantes pour certaines. Malgré les risques de pollution par les activités anthropiques du fait de leur niveau piézométrique proche de la surface du sol (Dibi, 2008), les eaux de sources et de puits sont beaucoup plus sollicitées pour la boisson. Ce problème fait observer selon les données sanitaires, les infections à transmission hydrique que l'on retrouve

Introduction

dans le diagnostic de santé des populations, notamment la fièvre typhoïde, la diarrhée et le cholera (Diis, 2015 ; Awomon *et al.*, 2018). C'est dans cette optique que cette étude dont le thème est « risques sanitaires liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa » a été initiée. L'objectif général de cette étude est d'évaluer les risques sanitaires liés à la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa. Plus spécifiquement, l'étude vise à :

- évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa ;
- déterminer les risques sanitaires liés aux paramètres chimiques et microbiologiques des eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa.

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire est subdivisé en trois parties structurées comme suit :

- la première partie présente les généralités sur la zone d'étude et sur l'évaluation des risques sanitaires;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude ;
- la troisième partie présente l'analyse et l'interprétation des principaux résultats obtenus, suivie de leur discussion.

Une conclusion qui fait la synthèse des principaux résultats suivie des perspectives et des références ont clos cette étude.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

Généralités

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Situation Géographique

Daloa est une ville du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Chef-lieu du département de Daloa, elle est située dans le quadrilatère de coordonnées Universal Transversal Mercator (UTM), zone 29 Nord, entre les longitudes Ouest 6°24' et 6°29' et les latitudes Nord 6°50' et 6°55' (Figure 1). Elle a une superficie de 530,5 ha. C'est la troisième ville la plus peuplée de la Côte d'Ivoire, avec une population de 255 734 habitants après Abidjan et Bouaké. Elle comprend 39 quartiers (INS, 2014).

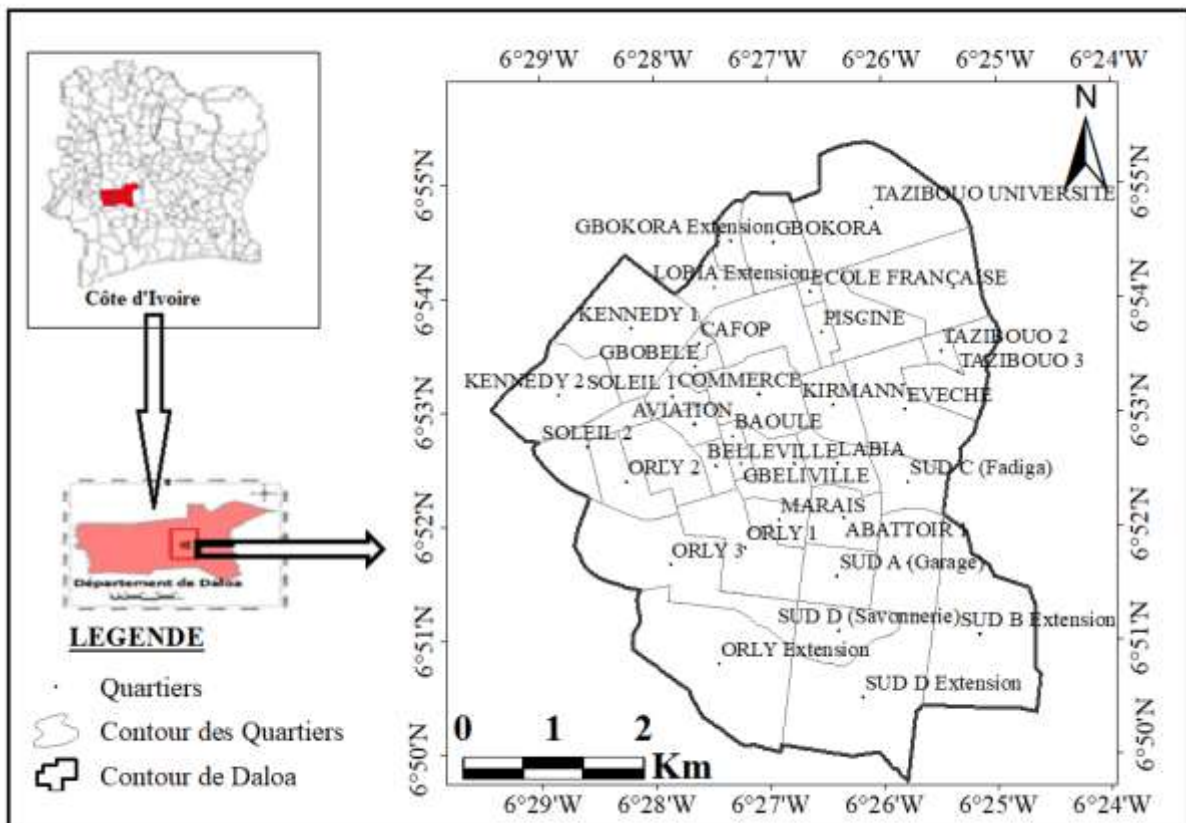


Figure 1 : Situation géographique de la ville de Daloa

1.1.2. Réseau hydrographique

La ville de Daloa est située dans le bassin versant de la Lobo. Le réseau hydrographique de Daloa est peu dense et est constitué des affluents de la rivière Lobo (Figure 2). Les cours d'eaux sont en majorité temporaires du fait qu'ils tarissent en saison sèche.

Généralités

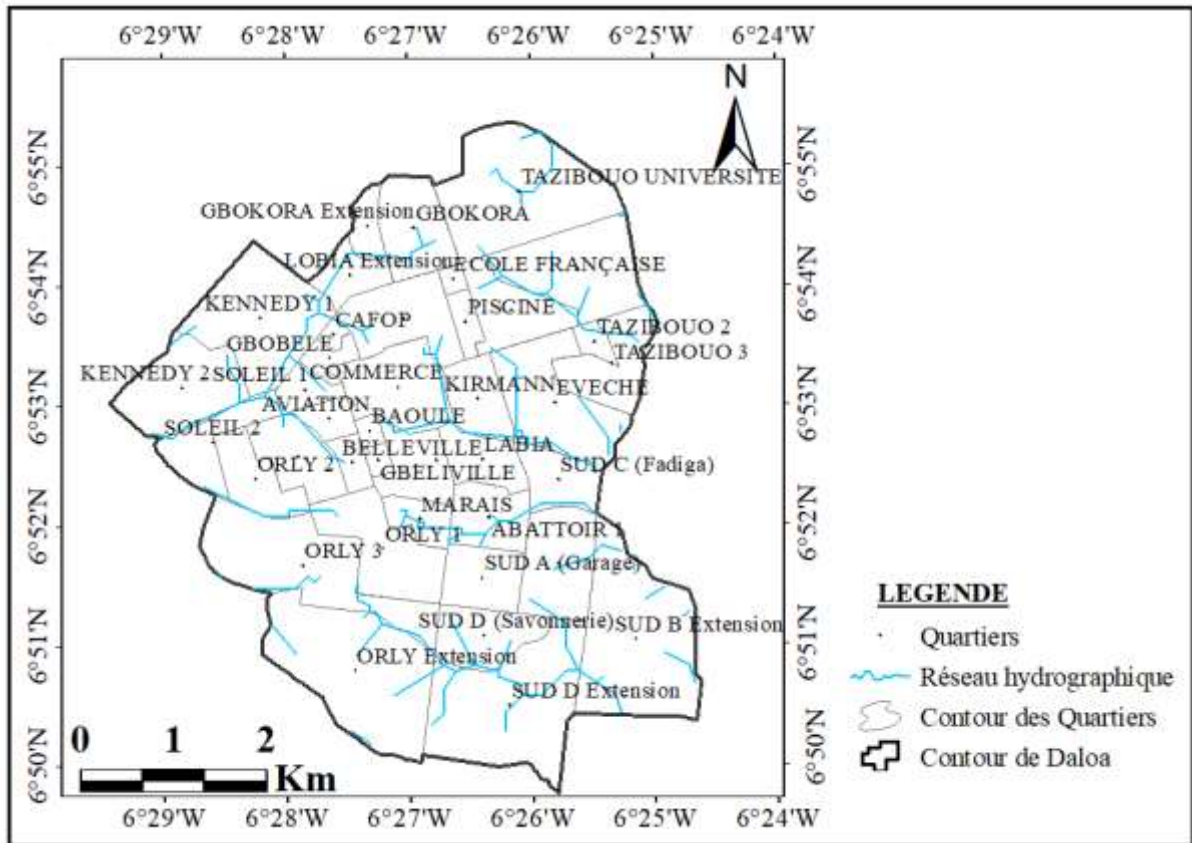


Figure 2 : Réseau hydrographique de la ville de Daloa

1.1.3. Géologie

Les formations géologiques du département de Daloa appartiennent principalement au socle précambrien (précambrien moyen) et se regroupent en deux grandes entités (Figure 3) que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques. Les roches magmatiques rencontrées sont de types plutoniques et volcaniques. Elles sont représentées essentiellement par les granitoïdes. La composition de ces roches varie du granite aux granodiorites (Yao, 2015).

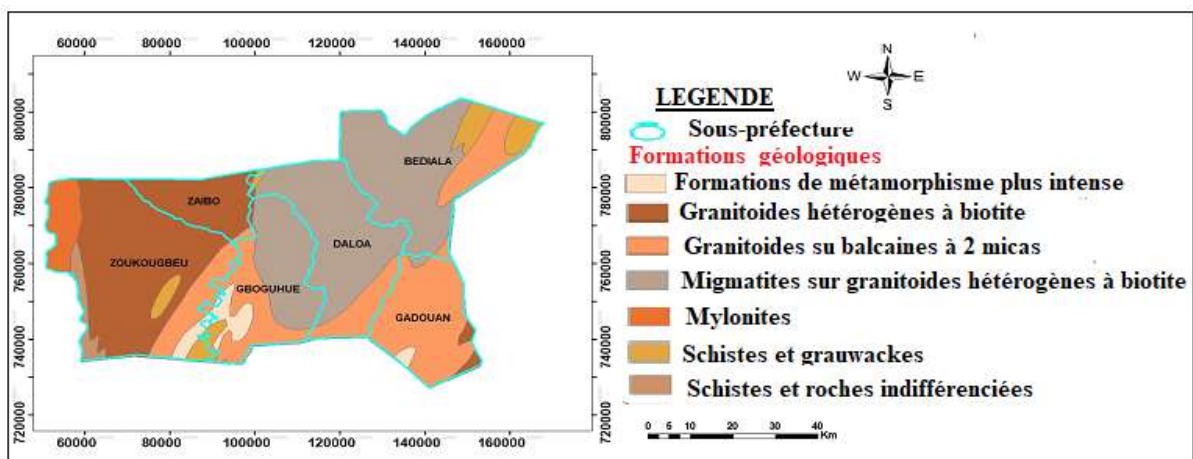


Figure 3 : Formation géologique du département de Daloa

Généralités

1.1.4. Structure Hydrogéologique

Il existe un aquifère composite constitué d'une partie d'altérite et d'une autre partie qui est fissurée (Lachassagne *et al.*, 2011). Les altérites qui font l'objet de cette étude, constituent le premier niveau de réservoir d'eau souterraine en milieu de socle cristallin et cristallophyllien (Maréchal *et al.*, 2004). D'un point de vue hydrogéologique, les zones d'altérites constituent des réservoirs fortement capacitifs des hydrosystèmes en zone de socle (Goné, 2001). C'est l'aquifère qui reçoit le premier, les eaux d'infiltration en provenance des précipitations et dont les réserves sont captées par les puits traditionnels et les puits modernes (Lasm *et al.*, 2004). Ces réserves varient quantitativement en fonction de l'épaisseur d'altération, de la porosité, de la capacité d'emmagasinement et de l'intensité de l'infiltration. Dans ces aquifères peu profonds, la saison sèche se caractérise par un rabattement plus ou moins important du niveau d'eau ; ce qui pourrait dans certains cas conduire à l'assèchement des puits (Dibi, 2008). Dans la région de Daloa, les altérites issues des roches granitiques sont représentées par un mélange de sables et d'argiles avec une proportion plus importante de sable. La partie sableuse constitue les arènes, qui au plan hydrogéologique constituent le niveau le plus perméable (Ligban, 2013). En revanche, les produits d'altération des schistes sont dominés par une phase argileuse importante. Quant aux aquifères de fissures ou de socle, ils constituent de véritables réservoirs d'eau souterraine et présentent souvent l'avantage d'être à l'abri des fluctuations saisonnières et des éventuelles pollutions accidentelles (Jourda, 2005). Dans ces aquifères, l'écoulement des eaux souterraines s'effectue de manière préférentielle et prépondérante le long des fractures, des diaclases et des failles. Ces aquifères sont constitués de roches cristallines d'origines plutonique (granite) ou métamorphique (gneiss, schistes, micaschistes...) (Figure 4).

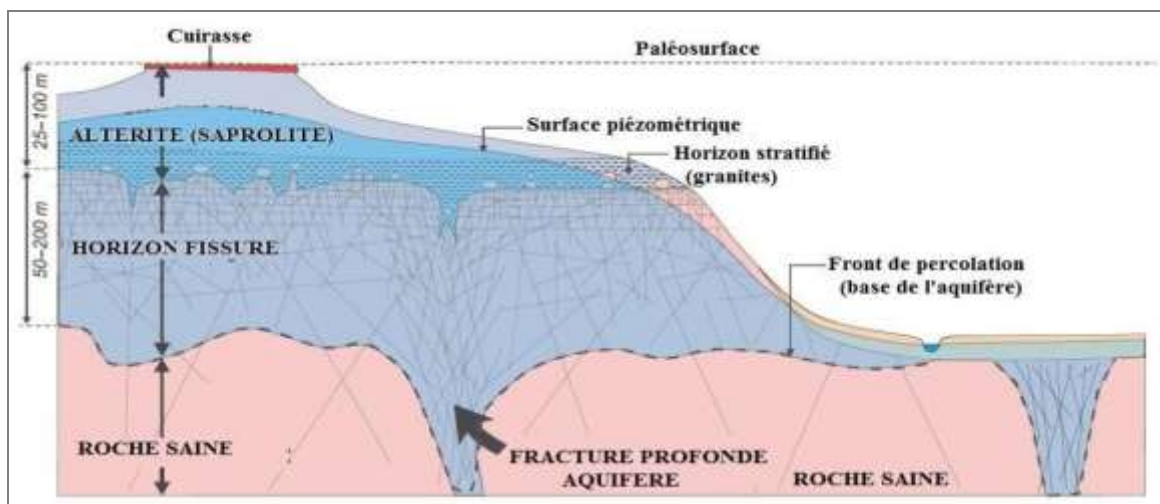


Figure 4 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne *et al.*, 2011)

Généralités

1.1.5. Climat

La ville de Daloa est sous l'influence du régime équatorial de transition atténué (climat baouléen). Ce régime pluviométrique se caractérise par deux saisons (Figure 5) :

- une saison de pluie de Mars à Octobre avec des précipitations moyennes mensuelles variant de 108 à 156 mm ;
 - une saison sèche de Novembre à Février avec des pluies moyennes variant entre 54 à 62 mm.
- Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 25 °C (Tmin) en Juillet et 28 °C (Tmax) en Février.

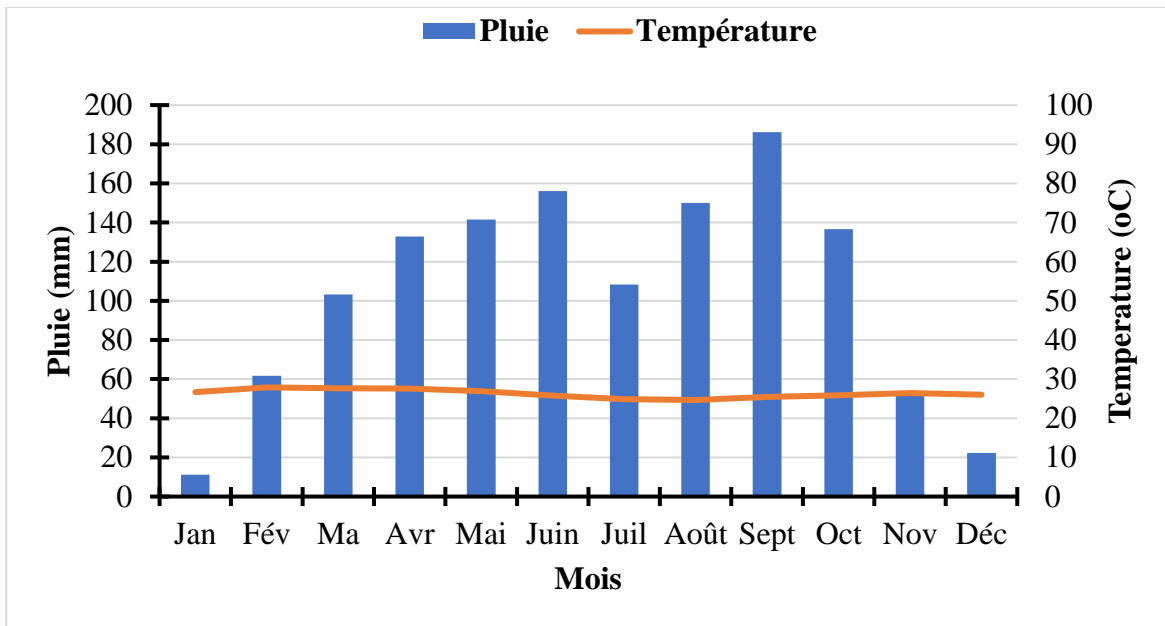


Figure 5 : Evolution des précipitations et de la température à la station de Daloa (1920-2017)

1.1.6. Végétation

Daloa est localisé dans la zone forestière propice à l'agriculture. Cette forêt renferme de nombreuses essences telles que la Samba Triplochiton Scleroxylon, l'Ako Antiaris africana, le bété Mansonia altissima (Yao, 2015). La destruction importante de la forêt fait que progressivement, l'influence de la zone de forêt défrichée se développe et la forêt naturelle devient clairsemée. La forêt dégradée devient de plus en plus l'élément dominant de cette végétation marquée par l'exploitation agricole. L'analyse des superficies cultivées sur le bassin, indique une prédominance des cultures pérennes avec en priorité le couple café-cacao (Koukougnon, 2013).

1.1.7. Approvisionnement en eau potable

La ville de Daloa est alimentée en eau à partir de la rivière Lobo dont la retenue est située à 23 km de la ville de Daloa (Yao, 2015). Le réseau d'adduction et de distribution servant à

Généralités

approvisionner les ménages urbains des départements de Daloa est long de 267,451 km linéaire. A Daloa, seulement 4,3 % des ménages sont raccordés à la Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) et 95,7 % sont non raccordés. Cette population non raccordée a recours aux eaux de puits et de sources (Awomon *et al.*, 2018). L'utilisation de ces eaux de puits et de sources par la population est dû au coût très élevé pour tout éventuel raccordement au réseau d'eau potable.

1.2. Généralité sur l'évaluation des risques sanitaires

L'évaluation des risques sanitaires (ERS) est un processus scientifique qui consiste à évaluer les propriétés toxiques d'un produit chimique ou d'un micro-organisme pathogène et les conditions de l'exposition humaine à ce produit ou à ce micro-organisme. Elle permet de constater la réalité d'une exposition humaine et de caractériser la nature des effets qui peuvent en résulter (National Research Council (NRC), 1983). Le risque sanitaire lié à la consommation de l'eau de boisson est déterminé par le risque sanitaire chimique (RSC) et le risque sanitaire microbiologique (RSM). La démarche générale de l'évaluation du risque sanitaire s'articule en quatre étapes (NRC, 1983 ; Institut de Veille Sanitaire (IVS), 2002) : l'identification du danger, l'étude de la relation dose-réponse, l'estimation de l'exposition et la caractérisation des risques.

1.2.1. Identification du danger

Cette étape consiste d'abord à identifier et à recenser l'ensemble des substances chimiques ou micro-organismes pathogènes potentiellement dangereux pour la santé humaine. Elle conduit ensuite à sélectionner et à justifier ceux qui seront réellement étudiés ainsi qu'à rassembler l'ensemble des connaissances acquises sur leurs effets toxiques. C'est une étude qualitative basée largement sur la littérature (Emmanuel, 2003). L'étape de l'identification du danger est précédée par l'élaboration d'un scénario ou arbre de défaillance (le cadre conceptuel) qui prend en compte la problématique sanitaire posée par les dangers émis ou qui seront émis (Emmanuel, 2003). Le scénario présente les stressors (substances chimiques ou micro-organismes pathogènes), les éléments à risque ou de récepteurs (les individus, milieux ou écosystèmes susceptibles d'être affectés), les échelles spatiales et temporelles des phénomènes (les voies, l'intensité et la durée de transmission).

1.2.2. Evaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition consiste à estimer le niveau de danger auquel le consommateur est exposé au moment de la consommation (Thomas *et al.*, 2015). L'élaboration de l'approche de l'évaluation de l'exposition est basée sur deux processus distincts. Le premier, purement scientifique, est relatif au niveau de contamination de l'eau par la substance chimique ou à la

Généralités

prévalence du pathogène dans l'eau (Haas & Eisenberg, 2001). Le second est basé sur la collecte d'informations relatives aux principaux paramètres que sont : – le potentiel de croissance ou d'inactivation du pathogène (le mode de consommation de l'eau considéré, la durée de stockage et la distribution à l'utilisateur) ; l'estimation de la fréquence, la durée, l'intensité et la taille des portions d'eau ingérées en fonction des populations susceptibles et non susceptibles d'être contaminées ; les données descriptives sur les personnes exposées (âge, sexe, caractéristiques physiologiques) et les voies de pénétration des agents toxiques. Cette étape nécessite l'évaluation des niveaux microbiologiques de l'eau brute suivie de l'étude des changements probables de concentrations avec le traitement, le stockage et la distribution à l'utilisateur (Rose *et al.*, 1991).

1.2.3. Relation dose-réponse

C'est l'évaluation qualitative et/ou quantitative de la nature des effets néfastes sur la santé associée aux agents chimiques ou biologiques qui peuvent être présents dans l'eau (FAO/OMS, 2004). Lorsque les données sont disponibles la relation dose effet doit être établie (Sanaa & Cerf, 2002). On détermine la relation dose-réponse en rassemblant pour un danger donné, des informations qualitatives et quantitatives des effets négatifs sur la santé d'une exposition à différentes doses (Thomas *et al.*, 2015). Les sources de données relatives aux études expérimentales sur volontaires sains et animaux et aux études épidémiologiques disponibles dans la littérature sont prises en compte (Bonnard, 2001). Pour l'évaluation du rapport dose-effet, deux types de modèles existent : les modèles empiriques qui reposent sur l'hypothèse d'une dose minimale et les modèles mécaniques qui ne reposent sur aucun seuil de tolérance ou aucune dose minimale. Les modèles mécaniques englobent les trois principaux modèles utilisés en appréciation quantitative des risques microbiologiques que sont : le modèle exponentiel, le modèle Bêta Poisson et le modèle Weibull-Gamma (Sanaa & Cerf, 2002). Cependant, le modèle Bêta Poisson est mieux adapté aux aliments liquides et est applicable aux bactéries entériques (Vibrio, Salmonella, Shigella, Campylobacter et *E. coli*) (Haas *et al.*, 1999).

1.2.4. Caractérisation du risque

Au cours de la phase de caractérisation des risques, les résultats des trois étapes précédentes sont intégrés pour faire une estimation du risque et produire un conseil approprié pour les gestionnaires du risque (Yu *et al.*, 2012). La caractérisation des risques doit également englober tous les facteurs qui peuvent avoir un effet sur le risque et indiquer le degré de fiabilité de l'estimation du risque. Il faut toutefois noter que la probabilité avec laquelle un danger donné se présente ne peut jamais être réduite à zéro. Il faudra donc toujours accepter un certain niveau

Généralités

de risque. Cette acceptation dépendra fortement de l'effet induit sur la santé de l'homme, de la perception des risques, des aspects culturels, des aspects sociaux et des problèmes économiques qui y sont liés, ainsi que de la législation en vigueur (Emmanuel, 2003).

1.3. Maladies liées à la consommation d'eau souterraine

Snow en 1854 a été la première à établir une corrélation entre la propagation du choléra et la mauvaise qualité de l'eau souterraine (Yoder *et al.*, 2008). Aujourd'hui, de nombreuses maladies sont liées à la qualité de cette eau (Degbey *et al.*, 2011). Elles sont causées par les micro-organismes (les bactéries, les virus et les protozoaires) et les produits chimiques présents dans ces eaux (OMS, 2011). La gastro-entérite est la maladie la plus fréquente associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales (Altzibar, 2015). Par ailleurs, le manque ou la rareté de l'eau est à l'origine de la multiplication et la transmission de certaines maladies (des poux, de la gale, de la teigne) causées par des dermatoses à ectoparasites (Tableau I).

Tableau I : Quelques maladies hydriques (Kouadio, 2019)

Origine	Maladie	Agent pathogène ou paramètre chimique
Micro-organique	Choléra Fièvre typhoïde Dysentérie Gastro-entérite Dracunculose Amibiase Ankylostomiase Hépatite A et E	Vibrio cholerae Salmonella typhi shigella dysenteriae Escherichia coli, Yersinia enterocolitica, Vibrio cholerae, shigella dysenteriae Filaire Amibes Ankylostome Virus (HAV) et Virus (HEV)
Chimique	Fluorose Saturnisme Méthémoglobinémie	Fluor Plomb Nitrates

**DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET
METHODES**

2.1. Matériel

2.1.1. Données

Les données utilisées pour cette étude proviennent des données de pluies (1920-2017) et de températures, des résultats d'analyses microbiologiques, physico-chimiques et chimiques d'échantillons d'eau effectuées après une campagne de prélèvement à partir de dix (10) sources et de (20) puits en mai et novembre 2020 dans la ville de Daloa. Les indicateurs microbiologiques considérés dans cette étude sont : Coliformes totaux, Escherichia coli et Entérocoques fécaux. Les paramètres physico-chimiques et chimiques sont : la température (T), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), Oxygène dissous (OD), potentiel redox (Eh), total des solides dissous (TDS), les nitrates (NO_3^-), les sulfates (SO_4^{3-}), l'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-), l'ortho-phosphate (PO_4^{3-}) et le potassium (K^+).

2.1.2. Réactifs

Ce sont ceux utilisés pour la réalisation de l'analyse chimique au laboratoire :

- phosver3 pour la détermination de l'orthophosphate ;
- potassium 3 pour la détermination du potassium ;
- sulfa ver4 pour la détermination du sulfate ;
- nitra ver pour la détermination du nitrate ;
- nitriver pour la détermination du nitrite.
- ammoniac cyanurate et le réactif salicylate ammoniacal pour la détermination de l'ammonium.

2.1.3. Matériel d'échantillonnage

Plusieurs matériels ont été utilisés dans le cadre de la collecte des données ; nous pouvons citer entre autres :

- un GPS portatif de marque GARMIN, a servi pour le positionnement des points d'échantillonnage ;
- des flacons de 1litre ont servi au prélèvement des différents échantillons pour l'analyse chimique ;
- une glacière contenant des packs réfrigérants (4 °C), a servi à la conservation des échantillons d'eau, afin de limiter les réactions chimiques (Figure 5b) ;
- un carnet de terrain et un crayon pour l'enregistrement des données brutes ;
- un autocollant et un marqueur pour l'étiquetage des échantillons ;
- des verres qui contiennent les différents échantillons pour l'analyse microbiologique ;
- un sceau qui contient l'échantillon à analyser ;

Matériel et Méthodes

- une pissette qui a servi à prélever les échantillons d'eau de puits qui ont été recueillis dans des flacons de capacité (1L) ;
- un multiparamètre portable de marque HACH LANGE HQ40D pour la mesure des paramètres physico-chimiques *in situ* (Figure 6).

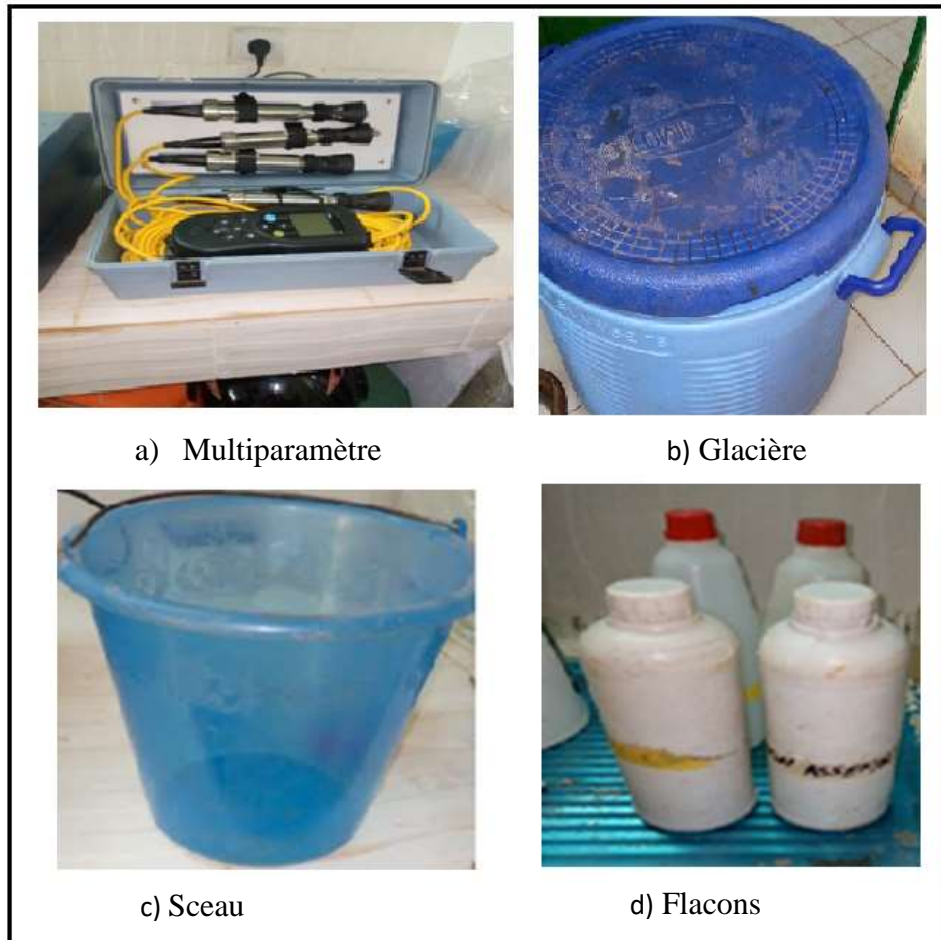


Figure 6 : Quelques outils de terrain

2.1.4. Matériel de laboratoire

Le matériel de laboratoire est composé :

- une boîte de pétri pour les cultures ;
- un filtre de 0,45 μ m pour la filtration de l'eau ;
- des verreries (flacons, béchers, éprouvettes, burettes, pipettes) pour la préparation des échantillons d'eau à analyser ;
- des réactifs de chaque paramètre à déterminer ;
- un spectrophotomètre DR 6000 pour la mesure des paramètres chimiques (Figure 7).



Figure 7 : Matériel d'analyses chimiques au laboratoire

2.1.5. Matériel de traitement des données

Le matériel de traitement des données est constitué des logiciels suivants :

- le logiciel Excel a été utilisé pour organiser les données et la réalisation des histogrammes ;
- le logiciel Word a servi à rédiger le mémoire et faire les mises en forme ;
- le logiciel R Studio qui est un langage de programmation complet a été utilisé pour faire le traitement statistique des données et la réalisation des graphiques ;
- le logiciel ArcGis 10.4.1 a été utilisé pour la réalisation des différentes cartes.

2.2. Méthodes

2.2.1. Enquêtes

Des enquêtes menées en octobre 2020, auprès de 60 ménages par des questionnaires et des observations sur l'environnement immédiat des puits et sources en vue d'identifier des problèmes liés à ces différentes sources d'eau destinées à la consommation (Figure 8). Les observations ont porté sur les activités pratiquées aux environs des puits et sources. Les questionnaires ont concerné les diverses utilisations de ces eaux, la quantité d'eau consommée par jour et le mode de traitement appliqué aux eaux (Annexe 1).



a) Source

b) Puits traditionnel

Figure 8 : Différentes sources d'eau dans la ville de Daloa

2.2.2. Echantillonnage

Des campagnes d'échantillonnage ont été effectuées en mai 2020 (saison des pluies) et en novembre 2020 (saison sèche), au niveau de 20 puits et 10 sources sélectionnés (Figure 9). Pour analyser les paramètres chimiques, les échantillons d'eaux ont été prélevés dans des flacons de 1L. Avant les prélèvements, les flacons ont été soigneusement lavés et étiquetés. Au moment du remplissage, les flacons sont à nouveau rincés trois fois avec l'échantillon qu'ils doivent contenir afin de s'assurer qu'il n'y a pas d'apports extérieurs. Les échantillons pour l'analyse microbiologique ont été prélevés dans des verres de 500 mL stérilisés pour éviter la contamination par des micro-organismes. Après le remplissage ceux-ci sont conservés à l'abri de la lumière dans des glacières contenant des packs réfrigérants (4 C), afin de limiter les réactions chimiques ou biologiques. Ils sont ensuite transportés au laboratoire pour les différentes analyses.

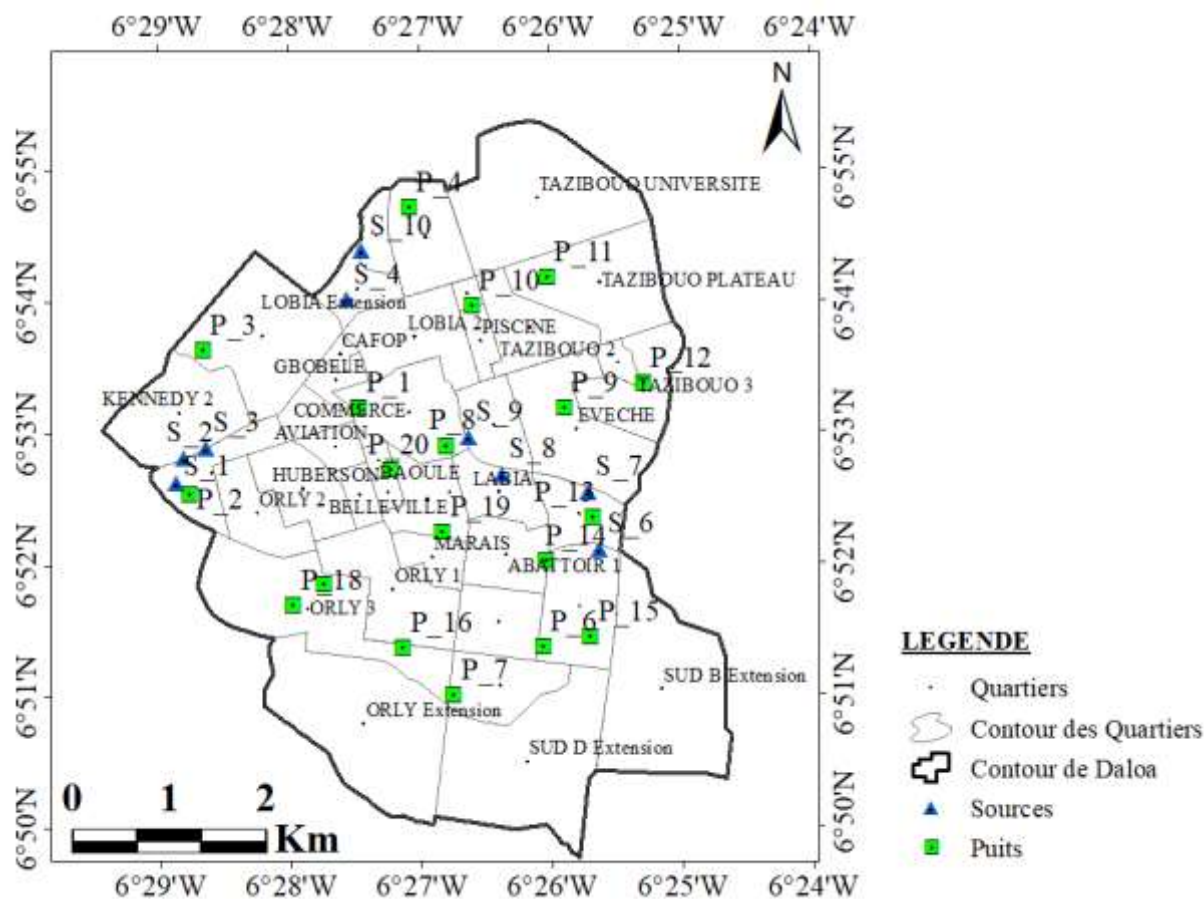


Figure 9 : Localisation des points d'échantillonnage

2.2.3. Analyse des paramètres physico-chimiques sur le terrain

Le potentiel hydrogène (pH), la température (T), la conductivité (CE), oxygène dissous (OD), potentiel redox (Eh) et le total des solides dissous (TDS) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre HQ40D. Pour les mesures, la sonde de l'appareil est rincée avec de l'eau désionisée puis avec l'eau à analyser avant d'être plongée dans un seau contenant l'échantillon. La lecture est faite une fois la valeur stabilisée.

2.2.4. Analyses des paramètres chimiques au laboratoire

Dans le cadre de cette étude, certains paramètres chimiques ont été analysés au Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'UJLOG (Daloa, Côte d'Ivoire).

L'analyse des paramètres chimiques tels que le sulfate (SO_4^{2-}), l'ammonium (NH_4^+), le nitrite (NO_2^-), le nitrate (NO_3^-), l'ortho-phosphate (PO_4^{3-}) et le potassium (K^+) a été effectuée avec le spectrophotomètre HACH DR 6000. Le principe du spectrophotomètre est basé sur la loi de Beer-Lambert. Selon cette loi, lorsqu'un faisceau de lumière traverse une solution colorée, l'absorption d'une partie de la lumière incidente dépend de l'épaisseur de la solution traversée et de la concentration des substances absorbantes. De façon pratique, après avoir rempli deux

cuves d'eau de puits ou de sources à analyser dont l'un sert de témoin, nous procédons premièrement à la lecture du témoin (sans réactif). Ensuite, la Lecture de la concentration de l'élément recherché sera faite après avoir ajouté le réactif et observé le temps de réaction indiqué (Tableau II).

Tableau II : Méthodes d'analyse de quelques paramètres chimiques

Paramètres chimiques	Norme	Coloration observées	Méthode d'analyse
NO ₂ ⁻	NF T 90 013	Rose	Spectrométrie d'absorption moléculaire
NO ₃ ⁻	NF T 90 012	Ambre	
NH ₄ ⁺	NF T 90 015	Jaune	
SO ₄ ²⁻	NF T 90 040	Blanche	
PO ₄ ³⁻	NF T 90 023	Bleu	
K ⁺	NFT 90 020	Blanc argenté	Spectrométrie d'absorption atomique

2.2.5. Tests statistiques

2.2.5.1. Analyse descriptive simple

Cette méthode consiste à déterminer la variation spatiale des différents paramètres physico-chimiques et microbiologiques à partir de leurs valeurs maximales, minimales, moyennes et leurs écarts types par rapport aux directives de l'OMS (2017). Il s'agit d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus.

2.2.5.2. Application du Self Organizing Maps ou SOM

Les données physico-chimiques des eaux souterraines (puits et sources) de la ville de Daloa ont été soumises à une méthode d'analyse multivariée. La méthode adoptée est celle de la différenciation physico-chimique entre les différentes sources d'eaux par l'application des SOM (Self-Organising Maps). Elle permet de déterminer les origines et les principaux mécanismes de la minéralisation des eaux à travers les corrélations entre les variables. Elle permet aussi de caractériser chaque source d'eau puis de comparer la composition de ces différentes sources d'eau entre eux afin de faire ressortir les ressemblances et les dissemblances. Le but des réseaux de neurones artificiels (RNA) utilisés dans ce travail est de mettre en évidence les phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux. Pour ce faire, 12 paramètres physico-chimiques (T, pH, CE, OD, TDS, Eh, K⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻ et NH₄⁺) mesurés dans les eaux de puits (nappes d'altérites) et sources, constituent les paramètres d'entrée du modèle dont les "poids" dans les différents échantillons ont été estimés à la sortie sur la carte de Kohonen. Les neurones obtenus à partir de la carte sont regroupés à l'aide d'une procédure de classification hiérarchique ascendante dont le principe de regroupement est basé sur le critère

de Ward. Il consiste à regrouper au mieux les échantillons ayant un comportement similaire sur un ensemble de variables afin de donner une vision plus globale à la carte (Figure 9).

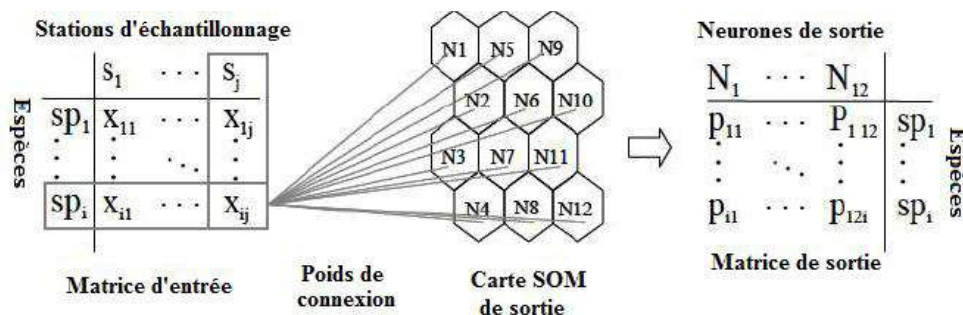


Figure 10 : Représentation simplifiée de la carte auto-organisatrice (SOM) (Aguilar-Ibarra, 2004)

2.2.6. Détermination de l'indice de qualité physico-chimique

La méthode de l'indice de qualité des eaux souterraines (IQES) a été utilisée pour évaluer la qualité physico-chimique des eaux de puits et de sources de la zone d'étude. Cette méthode a déjà été employée par (Bhuiyan *et al.*, 2016) pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans le District de Lakshimpur au Bangladesh.

2.2.6.1. Choix des poids unitaires et relatifs des paramètres

Des poids unitaires sont attribués à chaque paramètre physico-chimique en tenant compte de leur importance dans la détermination de la qualité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable (Tableau III). L'importance des paramètres a été matérialisée sur une échelle numérique de cinq niveaux. Ensuite, le poids relatif (W_i) de chaque paramètre est déterminé à partir de l'équation 1 (Bhuiyan *et al.*, 2016) :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{10} w_i} \quad (\text{Eq 1})$$

W_i : poids relatif et w_i : poids unitaire du i ème paramètre.

Tableau III : Poids unitaires des différents paramètres (Kouadio, 2019)

Paramètres	Recommandation l'OMS	Poids unitaire (w_i)
T°C	25	2
pH	6,5-8,5	4
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	500	1
TDS (mg/L)	600	5
NO_3^- (mg/L)	50	5
NO_2^- (mg/L)	3	5
NH_4^+ (mg/L)	1,5	3
SO_4^{2-} (mg/L)	250	4
PO_4^{3-} (mg/L)	5	4
K^+ (mg/L)	12	3

2.2.6.2. Indice de qualité par paramètre (q_i)

La qualité de l'eau en fonction de chaque paramètre est déterminée selon l'équation 2 (Srinivas & Nageswararao, 2013) :

$$q_i = 100 \frac{V_i}{S_i} \quad (\text{Eq 2})$$

V_i : concentration de chaque paramètre chimique dans l'échantillon d'eau en mg/L ; S_i : valeur guide pour chaque paramètre chimique en mg/L.

2.2.6.3. Calcul de l'indice global de qualité

Pour calculer l'indice global de qualité (IQE), le sous-indice (SI) est d'abord déterminé pour chaque paramètre suivant l'équation 3 (Srinivas & Nageswararao, 2013) :

$$SI_i = q_i * W_i \quad (\text{Eq 3})$$

IQE est obtenu en faisant la somme des sous-indices de tous les paramètres. Pour les 10 paramètres retenus dans le cadre de cette étude, IQE est calculé suivant l'équation 4 :

$$IQE = \sum_i^{10} SI_i \quad (\text{Eq 4})$$

Tableau IV : Cinq (5) Classe de qualité de l'eau (Sudhakar *et al.*, 2014)

Classe de l'eau	Indice de qualité de l'eau (IQE)	Qualité de l'eau
1	$0 \leq IQE \leq 25$	Excellente
2	$26 \leq IQE \leq 50$	Bonne
3	$51 \leq IQE \leq 75$	Mauvaise
4	$76 \leq IQE \leq 100$	Très mauvaise
5	$IQE > 100$	Impropre à la boisson

2.2.7. Analyse des paramètres microbiologiques

La méthode de dénombrement se fait par le principe de filtration sur membrane : les bactéries présentes dans l'échantillon à analyser sont retenues sur un filtre dont les pores sont inférieurs à la taille des bactéries (0,45 µm de diamètre). Le filtre qui a retenu les bactéries contenues dans l'eau, est ensuite déposé sur un milieu de culture approprié où les bactéries puisent les éléments nécessaires à leur croissance et se développent. Après incubation, les unités formant colonies (UFC) sont comptées pour évaluer la qualité microbiologique de l'eau. Selon le milieu de culture où est déposé le filtre, on met en évidence la présence de différents types de microorganismes.

2.2.7.1. Dénombrement des Coliformes totaux et Escherichia coli

Le dénombrement des coliformes se fait selon la norme ISO 9308-1.2000. Concernant le dénombrement des Coliformes totaux, les milieux de culture contenus dans les boîtes de Pétri ont été incubés à une température de 37 °C pendant 24 heures ± 2 heures. Après incubation, les coliformes caractérisés par la couleur rose sur gélose ont été comptés. Concernant les *E. coli*, les milieux ont été incubés à une température de 44 °C pendant 24 heures ± 2 heures. Les colonies caractéristiques des *E. coli* (colonies roses) sur COMPASS ont fait l'objet d'un comptage.

2.2.7.2. Dénombrement des Entérocoques fécaux

Les Entérocoques fécaux ont été dénombrés selon la norme ISO 7899-2.2000. Après filtration comme précédemment décrite pour le dénombrement des coliformes. Les milieux de culture contenus dans les boîtes de Pétri ont été incubés à 37 °C pendant 24 heures ± 2 heures. Les colonies caractéristiques des streptocoques de couleur rouge ont été comptées. Après, le comptage des colonies a été calculé selon l'équation 5 de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO 7218, 2007) :

$$N = \frac{\sum c}{v \cdot d} \quad (\text{Eq 5})$$

N : nombre d'unités formant colonies par ml des bactéries (ufc/ml) ;

ΣC : somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues (ufc);

V : volume de l'inoculumensemencé (mL) ;

d : taux de dilution.

2.2.8. Détermination des classes de qualité microbiologique

Les classes de qualité microbiologique des eaux souterraines ont été définies (Tableau V).

Tableau V : Critère d'évaluation de la qualité (Kouadio, 2019)

Qualité de l'eau	Bonne	Médiocre	Mauvaise
Indicateurs microbiologiques			
Coliformes totaux (ufc.100 ml ⁻¹)	0	11-150	>150
Escherichia coli (ufc.100 ml ⁻¹)	0	1-10	>10
Entérocoques fécaux (ufc.100 ml ⁻¹)	0	1	>1

2.2.9. Détermination des risques sanitaires liés aux paramètres chimiques et microbiologiques

2.2.9.1. Risque sanitaire chimique

2.2.9.1.1. Identification du danger

Pour l'évaluation du risque sanitaire chimique, deux groupes de substances chimiques à effets indésirables sur la santé humaine ont été définis (USEPA, 2006). Il s'agit des substances à effets non cancérigènes et non mutagènes (effets à seuil) et des substances à effets cancérigènes et mutagènes (effets sans seuil). Les nitrates appartenant aux substances à effet à seuil ont été retenus d'une part à cause de leur concentration élevée dans les eaux de puits et de sources de certains quartiers de Daloa et d'autre part, à cause des affections qu'ils provoquent chez les nourrissons (méthémoglobine), chez les femmes enceintes dans le premier trimestre de la grossesse (malformation congénitale) et chez les adultes (toxicité) (EspejoHerrera *et al.*, 2015). Dans cette étude, les critères d'évaluation ont été basés sur les affections liées aux enfants de moins de trois mois et des personnes adultes (Rojas *et al.*, 2015).

2.2.9.1.2. Évaluation de l'exposition aux nitrates

L'évaluation de l'exposition consiste à estimer la concentration et la dose journalière de nitrate absorbée capable de causer une infection chez un individu ou dans une population. Les scénarios élaborés ont été l'exposition des enfants de moins de 3 mois (nouveaux nés jusqu'à 3 mois) et des adultes aux concentrations de nitrates au cours de la saison sèche et pluvieuse. L'évaluation du risque par la méthode probabiliste basée à la fois sur les données de l'exposition et de son effet sur la santé a été utilisée dans cette étude. La probabilité cumulative (PC) est obtenue à partir de l'équation 6 (Sadler *et al.*, 2016) :

$$PC(\%) = \frac{i}{n+1} * 100 \quad (\text{Eq 6})$$

Matériel et Méthodes

Avec :

PC : probabilité cumulative ;

i : le i^{ème} point et n : nombre de point total.

Les concentrations de nitrates ont été déterminées à 50 % et 90 % de PC d'exposition pour chaque scénario. La dose moyenne journalière (DMJ) est calculée à partir de l'équation 7 (Sadler *et al.*, 2016) :

$$DMJ = (C_{EXP} * \frac{Q}{pc}) \quad (\text{Eq 7})$$

Avec :

DMJ : dose moyenne journalière (mg/kg/j) ;

C_{EXP} : concentration de nitrates (mg/L) ;

Q : quantité moyenne d'eau ingérée par jour et par personne (L/j) ;

pc : poids corporel (kg).

Les données relatives à la quantité d'eau ingérée par jour et par personne et au poids corporel des enfants de moins de 3 mois et des adultes sont consignées dans le tableau VI. La quantité moyenne d'eau ingérée a été calculée en faisant le produit des taux d'ingestion et des poids corporels.

Tableau VI : Critères d'évaluation du risque chimique lié aux nitrates (Kouadio, 2019)

Paramètres	Enfants de moins de 3 mois (Filles)	Enfants de moins de 3 mois (Garçons)	Adultes
Quantité d'eau ingérée par jour (Q)(L/J)	0,74 (naissance) 1,18 (3 mois)	0,76 (naissance) 1,31 (3 mois)	2
Poids corporel (pc)(kg)	3,2 (naissance) 5,8 (3 mois)	3,3 (naissance) 6,4 (3 mois)	70
Valeur guide de nitrate (VG)(mg/L)	50	50	50
Dose journalière admissible (DJA) (mg/kg/j)	3,7	3,7	3,7
Dose journalière entraînant la méthémoglobinémie (mg/kg/j)	37,1 -108,6	37,1 -108,6	33-150

2.2.9.1.3. Relation dose-réponse suite à l'exposition aux nitrates

L'objectif de cette étape est de définir la relation entre le niveau d'exposition aux nitrates et la probabilité qu'il provoque un effet néfaste. Pour une exposition orale, elle est estimée par la

dose journalière admissible (DJA). Dans cette étude, la méthémoglobinémie est l'affection considérée. Les valeurs de référence de la DJA recommandées par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'OMS ont été utilisées pour l'évaluation du risque (Sadler *et al.*, 2016).

2.2.9.1.4. Caractérisation du risque lié aux nitrates

La caractérisation du risque par la méthode de quotient de danger (QD) a été utilisée pour estimer les effets de la méthémoglobinémie suite à l'exposition aux nitrates. Il est le rapport entre un niveau d'exposition et un niveau de référence (Yu *et al.*, 2012). Il fournit une valeur simple mais utile pour la comparaison des risques pour la santé (Cao *et al.*, 2011). Un QD supérieur à 1 indique l'existence d'un risque important et un QD inférieur à 1 exprime un risque moindre (Yu *et al.*, 2012). Le quotient de danger a été calculé avec la valeur guide de nitrates de 50 mg/L pour les nourrissons jusqu'aux enfants de 3 mois. Il a été estimé à C_{EXP50} et C_{EXP90} qui correspondent aux valeurs de nitrates auxquelles sont exposées respectivement la population moyenne (50 %) et les personnes les plus exposées (90 %), en utilisant l'équation 8 ci-dessous (Sadler *et al.*, 2016) :

$$QD_{VG} = \frac{C_{EXP}}{VG} \quad (\text{Eq 8})$$

Avec :

QD_{VG} : quotient du danger estimé à partir de la valeur guide ;

C_{EXP} : concentration d'exposition à C_{EXP50} et C_{EXP90} (mg/L) ;

VG : valeur guide (mg/L).

Pour l'exposition chronique aux nitrates dans l'eau potable, le quotient de danger a été calculé avec la dose journalière admissible pour les adultes. Il a été estimé également à C_{EXP50} et C_{EXP90} en utilisant l'équation 9 (Sadler *et al.*, 2016) :

$$QD_{DJA} = \frac{DMJ}{DJA} \quad (\text{Eq 9})$$

Avec :

QD_{DJA} : quotient du danger estimé à partir de dose journalière admissible ;

DMJ : dose moyenne journalière (mg/kg/j) ;

DJA : dose journalière admissible (mg/kg/j).

2.2.9.2. Risque sanitaire microbiologique

2.2.9.2.1. Identification du danger

Des souches pathogènes d'*Escherichia coli* ont été choisies comme danger. Ce choix est dû au fait qu'elles sont la première cause de diarrhées infectieuses bactériennes chez les nourrissons jusqu' aux enfants de 3 ans (Rappeli *et al.*, 2005). Leur prévalence dans les eaux de puits en Afrique de l'ouest a également été pris en compte (Nola *et al.*, 2013). Elles sont par ailleurs plus utilisées dans l'application de la méthode d'évaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA) lié à l'eau (Shrestha *et al.*, 2015). Dans l'application de cette méthode, les *E. coli* pathogènes (ECP) ont été généralement estimés sur la base du ratio existant entre les ECP et la population totale des *E. coli*. En Côte d'Ivoire, la prévalence élevée des *E. coli* dans les eaux de boisson a été prouvée (Dunne *et al.*, 2001). Le risque de tous les *E. coli* pathogènes est calculé sur la base de l'impact lié à *E. coli* qui est le pathogène de référence (Haas *et al.*, 1999).

2.2.9.2.2. Evaluation de l'exposition aux *E. coli* pathogènes

Dans cette étude, la seule voie de consommation considérée est la boisson de l'eau de puits et de source. Pour cela, la qualité microbiologique liée à *E. coli* pathogènes de l'eau de boisson stockée dans les ménages et le taux de consommation ont été utilisés pour estimer l'exposition. Les ménages retenus sont ceux dans lesquels l'eau de puits destinée à la boisson n'a subi aucun traitement. Aussi cette eau est stockée et séparée des eaux destinées aux autres usages (Thomas *et al.*, 2015). Les valeurs des *E. coli* pathogènes sont transformées en valeurs log-normales car elles ne suivent pas une distribution normale. La moyenne des *E. coli* pathogènes est calculée de même que sa prévalence (PR) dans les eaux. La dose moyenne journalière des *E. coli* pathogènes consommée est évaluée selon l'équation 10 (Thomas *et al.*, 2015) :

$$DMJ = C * Q \quad (\text{Eq 10})$$

Avec :

DMJ : Dose moyenne journalière (ufc/j) ;

C : concentration des *E. coli* pathogènes (ufc/L) ;

Q : quantité moyenne d'eau consommée par jour et par personne (L/j).

2.2.9.2.3. Relation dose-réponse suite à l'exposition aux *E. coli* pathogènes

Pour l'évaluation du rapport dose-effet, le modèle Bêta-Poisson est utilisé selon l'équation 11 (Haas *et al.*, 1999) :

$$P_{inf} = 1 - \left[1 + \frac{d}{d_{50}} (2^{\frac{1}{\alpha}} - 1)\right]^{-\alpha} \quad (\text{Eq 11})$$

P_{inf} : probabilité de maladie ou d'infection ;

d : dose moyenne de l'agent pathogène ingérée (la dose d suit une loi de Poisson : d'où le nom attribué au modèle) ;

d_{50} : dose médiane (provoquant l'infection chez 50 % des personnes ayant consommé l'eau) ;

α : paramètre qui décrit la sensibilité de l'hôte (suivant une loi Bêta) et qui est spécifique à l'agent pathogène considéré (Sanaa & Cerf, 2002).

$\alpha = 0,373$ et $d_{50} = 7,336$.

2.2.9.2.4. Caractérisation du risque lié aux *E. coli* pathogènes

La caractérisation du risque lié aux *E. coli* pathogènes a été utilisée pour estimer les effets diarrhéiques suite à l'exposition aux *E. coli* pathogènes. Elle consiste à calculer la probabilité d'infection annuelle ($P_{inf,A}$). Une $P_{inf,A}$ supérieure à 10^{-4} indique un risque diarrhéique et une $P_{inf,A}$ inférieure à 10^{-4} indique aucun risque (OMS, 2017). Elle est calculée à partir de l'équation 12 (Thomas *et al.*, 2015) :

$$P_{inf,A} = 1 - (1 - P_{inf,j})^{365} * PR \quad (\text{Eq 12})$$

$P_{inf,A}$: probabilité annuelle d'infection ;

$P_{inf,j}$: probabilité d'infection journalière ;

PR : prévalence.

Avec : $P_{inf,j} = D * P_{inf}$

D : dose moyenne de l'agent pathogène ingérée ;

P_{inf} : probabilité d'infection de la maladie.

Toutes ces données ont permis d'élaborer le processus de calcul du risque d'infection diarrhéique au sein de la population (Annexe 2).

**TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET
DISCUSSION**

3.1. Résultats

3.1.1. Résultats des enquêtes

3.1.1.1. Types d'usages des différentes sources d'eau

La figure 11 présente les types d'usage des différentes sources d'eau de consommation dans la ville de Daloa. Parmi les ménages 40 % utilisent l'eau de source pour la boisson ; ensuite 45 % utilisent l'eau de puits et 15 % utilisent l'eau du réseau public pour la boisson. Cela montre que les eaux de puits et sources sont les plus utilisées pour la boisson dans la ville de Daloa. Tandis que pour la cuisson 10 % des ménages utilisent l'eau de source, 30 % l'eau de puits et 60 % l'eau du réseau public. Pour la lessive 5 % utilisent l'eau de source, 45 % l'eau de puits et 50 % l'eau du réseau public, enfin pour la vaisselle 5 % utilisent l'eau de source, 35 % l'eau de puits et 60 % l'eau du réseau public.

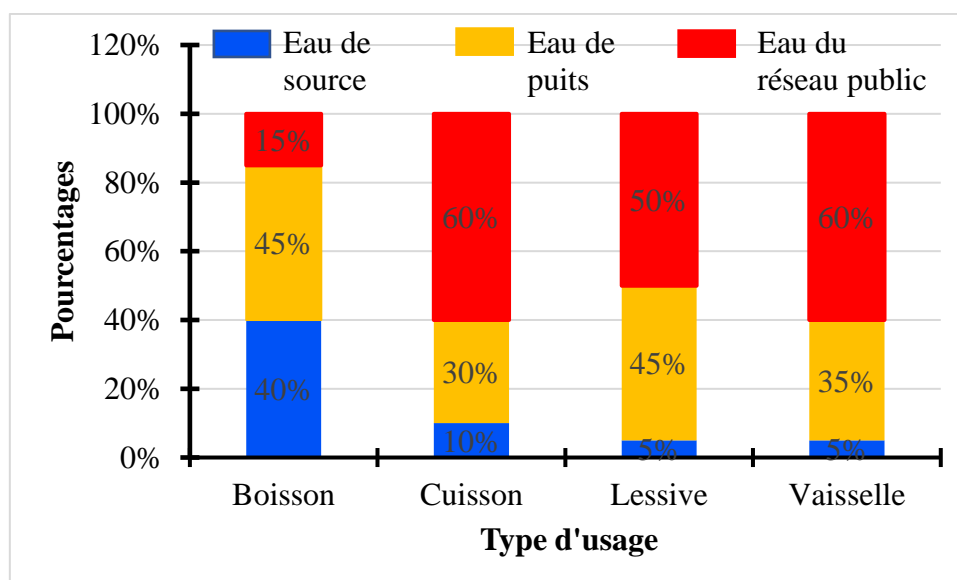


Figure 11 : Type d'usage des différentes sources d'eau

3.1.1.2. Consommation d'eau

Le tableau VII montre que 50 % et 40 % des ménages enquêtés consomment respectivement entre 0,5 L et 1,5 L et entre 1,6 et 2,5 L d'eau par jour. Les autres (10 %) consomment entre 2,6 et 3 L d'eau par jour. La consommation d'eau moyenne par jour et par personne est estimée à $1,6 \pm 0,7$ litre / jour / personne.

Tableau VII : Quantité d'eau consommée /jour/personne

Ménages	Proportion de ménages	Consommation d'eau par jour et par personne
30	50 %	0,5-1,5 litres
24	40 %	1,6-2,5 litres
6	10 %	2,6-3 litres

3.1.1.3. Méthode de traitement des eaux de puits et de sources destinée à la consommation

Les résultats d'enquête ont montré que 78 % des ménages filtrent l'eau de puits destinée à la boisson et 15 % des ménages utilisent la méthode de décantation. Quant aux eaux de sources celle-ci ne subissent aucun traitement.

3.1.2. Qualité physico-chimique et microbiologique

3.1.2.1. Résultats du traitement statistique

3.1.2.1.1. Analyse descriptive simple

❖ Paramètres physico-chimiques

Les tableaux VIII et IX présentent les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de puits et de sources étudiées.

Tableau VIII : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et de sources en saison pluvieuse

Paramètres	Eaux de puits			Eaux de sources			l'OMS (2017)
	Min	Moy $\pm \sigma$	Max	Min	Moy $\pm \sigma$	Max	
T (°C)	19,70	28,1 \pm 2,1	29,8	28,5	29,2 \pm 0,6	30	25
pH	4,9	5,65 \pm 0,4	6,4	4,9	5,2 \pm 0,13	5,39	6,5-8,5
CE (μ S/cm)	0	345,7 \pm 482,2	1686	58,2	116,15 \pm 54,4	224	< 500
OD (mg/L)	1,9	4,3 \pm 1,25	6,1	1,3	2,26 \pm 1,02	4,36	-
TDS (mg/L)	25,2	56,2 \pm 16,3	82,2	17,2	30,6 \pm 13,8	59	< 600
Eh (mv)	152	232,1 \pm 46,7	334,4	251,8	275,7 \pm 18,45	302,8	-

Min : Minimum ; **Moy** : Moyenne, **Max** : Maximum, σ : Ecart-type

Tableau IX : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et de sources en saison sèche

Paramètres	Eaux de puits			Eaux de sources			l'OMS 2017
	Min	Moy $\pm \sigma$	Max	Min	Moy $\pm \sigma$	Max	
T (°C)	27,1	28,34 \pm 0,6	29,5	27,4	28,4 \pm 0,6	29,5	25
pH	3,64	5,34 \pm 0,6	6,32	4,4	4,89 \pm 0,2	5,04	6,5-8,5
CE (μ S/cm)	70,5	409,99 \pm 521,2	1868	61,9	114,6 \pm 52,2	228	< 500
OD (mg/L)	1,81	3,88 \pm 1,32	6,08	1,05	2 \pm 1,02	4,14	-
TDS (mg/L)	24,4	49,7 \pm 17,9	80,3	19,2	27,03 \pm 13,09	55,1	< 600
Eh (mv)	176,5	284,2 \pm 43,2	336,8	255,4	314,3 \pm 31,3	358,4	-

Dans la zone d'étude, la température ne présente pas de grandes variations d'un puits à un autre. Dans la saison pluvieuse, elle a un minimum de 19,7 °C et un maximum de 29,8 °C avec une moyenne de 28,1 \pm 2,1 °C. Dans la saison sèche, elle varie de 27,1 °C à 29,5 °C avec une moyenne de 28,34 \pm 0,6 °C. Pour les eaux de sources elle varie de 28,5 °C à 30 °C avec une

Résultats et Discussion

moyenne de $29,2 \pm 0,6$ °C dans la saison pluvieuse et varie de 27,4 °C à 29,5 °C, avec une moyenne de $28,4 \pm 0,6$ °C dans la saison sèche. Comparativement aux directives de l'OMS qui stipulent que la température doit être inférieure ou égale à 25 °C ; ces résultats montrent que la température de ces eaux ne respecte pas la directive de l'OMS. Les eaux de puits dans la saison pluvieuse, présentent un pH minimum de 4,9 et un maximum de 6,4 avec une valeur moyenne de $5,65 \pm 0,4$. Dans la saison sèche, le pH varie de 3,64 à 6,32 avec une moyenne de $5,34 \pm 0,6$ contrairement aux eaux de sources qui présente un minimum de 4,9 et un maximum de 5,39 avec une moyenne de $5,2 \pm 0,13$ dans la saison pluvieuse. Quant à la saison sèche le pH varie de 4,4 à 5,04 avec une moyenne de $4,89 \pm 0,2$. La norme de l'OMS indique que le pH doit être compris entre 6,5-8,5. Pourtant les valeurs moyenne du pH dans les deux saisons sont inférieure à la norme, ce qui montre que ces eaux sont très acides. La moyenne de la conductivité dans la saison pluvieuse est de $345,7 \pm 482,2$ µs/cm et cette conductivité varie de de 0 à 1686 µs/cm. Dans la saison sèche, la conductivité varie de 70,5 à 1868 µs/cm avec une moyenne de $409,99 \pm 521,2$ µs/cm pour les eaux de puits. Pour les eaux de sources dans la saison pluvieuse, elle varie de 58,2 à 224 µs/cm avec une moyenne de $116,15 \pm 54,4$ µs/cm. Dans la saison sèche elle varie de 61,9 à 228 µs/cm avec une moyenne de $114,6 \pm 52,2$ µs/cm. La valeur guide de l'OMS est de 500 µs/cm. Cette valeur est supérieure aux conductivités moyennes obtenues pendant les deux saisons pour les eaux de puits et de sources. Ces eaux sont caractérisées dans l'ensemble par une faible conductivité. Les TDS mesurés pour les eaux de puits et sources dans la saison sèche et pluvieuse sont tous inférieurs à 600 mg/L.

❖ Paramètres chimiques

La figure 12 présente les concentrations moyennes des paramètres chimiques dans la saison pluvieuse et la saison sèche des eaux de puits et de sources de Daloa. Les nitrates se présentent comme l'élément dominant dans les eaux de puits dans les deux saisons et dans les eaux de sources dans la saison sèche. Exceptée la valeur moyenne du nitrate dans la saison sèche et du potassium dans les deux saisons qui est au-dessus des directives de l'OMS (NO_3^- : 50 mg/L ; K^+ : 12 mg/L) dans les eaux de puits, les moyennes des autres ions en saison sèche et pluvieuse respectivement dans les eaux de puits et sources sont conformes aux directives de l'OMS.

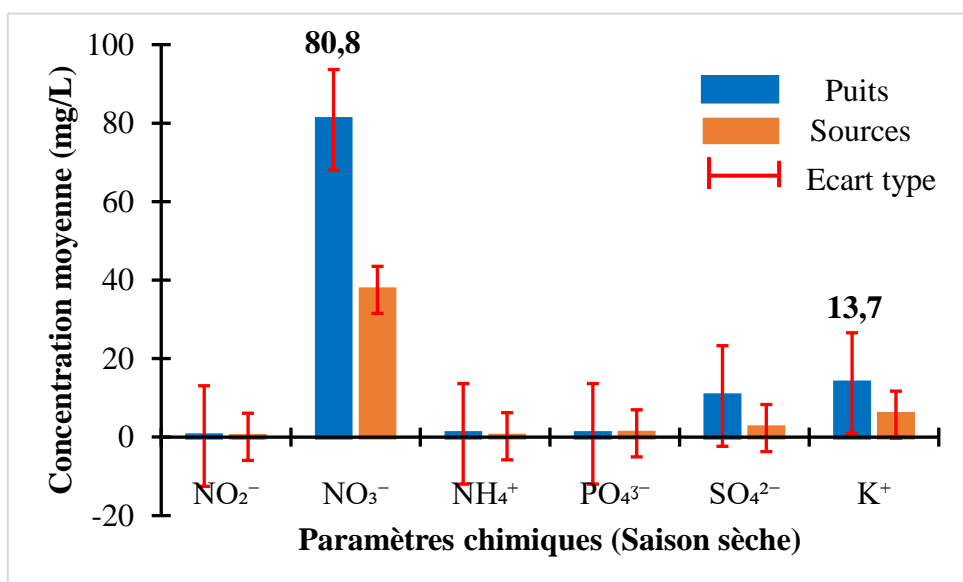
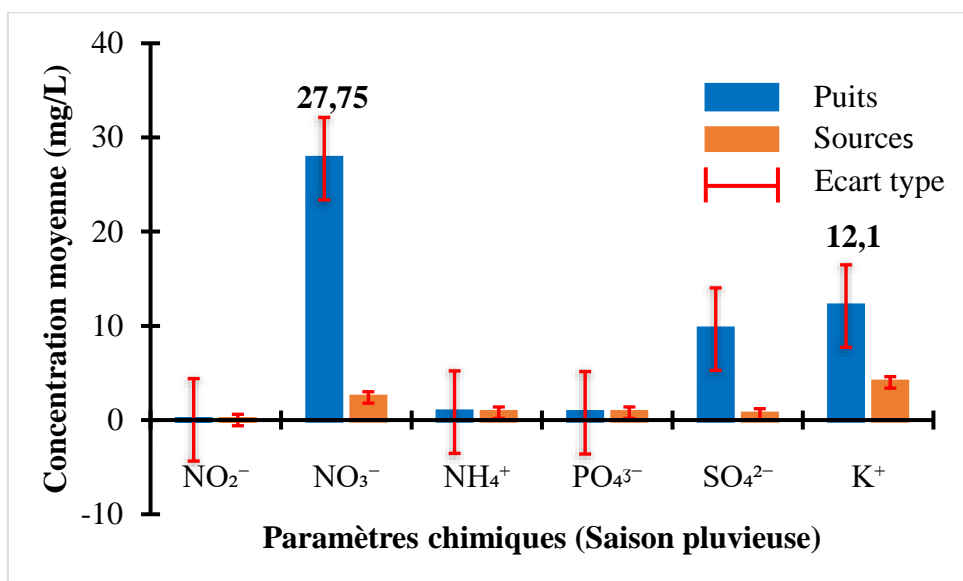


Figure 12 : Caractéristique chimique des eaux de puits et sources

❖ Paramètres microbiologiques

Le Tableau X présente les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types des paramètres microbiologiques (Coliformes totaux, Escherichia coli et Entérocoques fécaux) des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa. Les différentes moyennes déterminées sont comparées aux valeurs guides de l'OMS.

Tableau X : Caractéristiques des paramètres microbiologiques des eaux de puits et sources

	Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux (ufc/100 ml)	Escherichia coli (ufc/100 ml)	Entérocoques fécaux (ufc/100 ml)
	Directives de l’OMS (ufc/100ml)	0	0	0
Eaux de puits	Maximum	23000	2900	3500
	Minimum	100	0	0
	Moyenne	5564,5 ± 6614	382 ± 710	571 ± 904
Eaux de sources	Maximum	13400	2800	260
	Minimum	100	0	0
	Moyenne	4230 ± 5344	497 ± 880	75 ± 98

Les analyses microbiologiques montrent la présence de bactéries de types Coliformes totaux, Escherichia coli et Entérocoques fécaux. Les Coliformes totaux sont présents dans tous les puits et sources de Daloa. La concentration de Coliformes totaux varie de 100 ufc/100 ml à 23000 ufc/100 ml avec une moyenne de 5565,5 ± 6614,5 ufc/100 ml pour les eaux de puits et varie de 100 ufc/100 ml à 13400 ufc/100 ml avec une moyenne de 4230 ± 5344 ufc/100 ml pour les eaux de sources. La concentration des Escherichia coli varie de 0 ufc/100 ml à 2900 ufc/100 ml avec une moyenne de 382 ± 710,3 ufc/100 ml pour les puits et varie de 0 ufc/100 ml à 2800 ufc/100 ml avec une moyenne de 497 ± 880 ufc/100 ml pour les eaux de sources. Enfin pour les Entérocoques fécaux la concentration varie de 0 ufc/100 ml à 3500 ufc/100 ml avec une moyenne de 571 ± 903,7 ufc/100 ml pour les eaux de puits et varie aussi de 0 ufc/100 ml à 260 ufc/100 ml avec une moyenne de 75 ± 98,01 ufc/100 ml pour les sources. Comparativement aux directives de l’OMS qui stipulent que les paramètres microbiologiques doivent être égale à 0 ufc/100 ml pour une eau destinée à la consommation humaine. Ces résultats montrent que ces trois (3) paramètres microbiologiques retrouvés dans les eaux de puits et sources de Daloa ne respectent pas les directives de l’OMS.

3.1.2.1.2. Carte de Kohonen

❖ Taille de la carte de Kohonen

Les données obtenues regroupant les 12 paramètres physico-chimiques (T, pH, CE, OD, TDS, Eh, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, SO₄²⁻ et K⁺) ont été analysées à l’aide de l’approche statistique des réseaux de neurones de Kohonen. En se basant sur la répartition homogène des échantillons, une carte de Kohonen de 25 cellules (5 lignes × 5 colonnes) est choisie pour projeter les 59 échantillons d’eaux souterraines dont 30 en saison pluvieuse (mai 2020) et 29 en saison sèche (novembre 2020) (figure 13). Cette carte a été obtenue après plusieurs itérations pendant la

Résultats et Discussion

phase d'apprentissage qui consiste à indiquer l'évolution de la distance moyenne au nœud le plus proche dans la carte. Dans notre cas, après plusieurs itérations des valeurs de RLEN, on observe une forte décroissance de la courbe aboutissant à un plateau dans la partie finale avec des valeurs de RLEN = 400 pour les deux saisons (Figure 12).

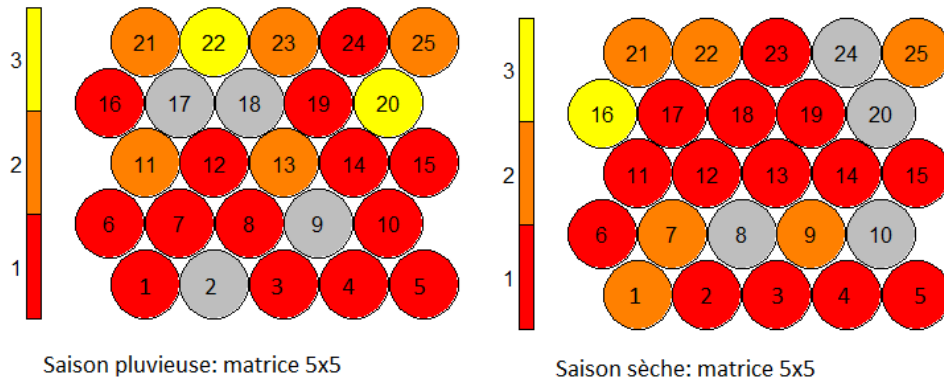


Figure 13 : Cartes auto-organisatrices de Kohonen

❖ Classification hiérarchique ascendante de la carte de Kohonen

Les dendrogrammes issus de la classification a permis de regrouper l'ensemble des échantillons d'eaux souterraines en trois (3) classes sur une distance euclidienne de 12 (Figure 13). Cette distance permet de rassembler les cellules par paire de groupes ayant les mêmes ascendants donc une forte relation.

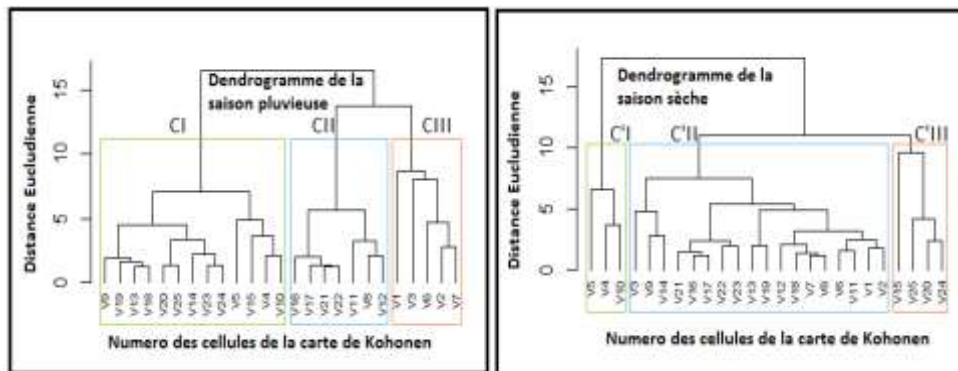


Figure 14 : Dendrogramme de classification des cellules de la carte de Kohonen

❖ Répartition et dénombrement des échantillons d'eau sur la carte de Kohonen

Les cartes de distribution (distribution maps), issues de la carte de Kohonen permettent de visualiser la répartition des échantillons des différents groupes générés à partir des dendrogrammes à une distance euclidienne de 12 en fonction des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines (Figure 14).

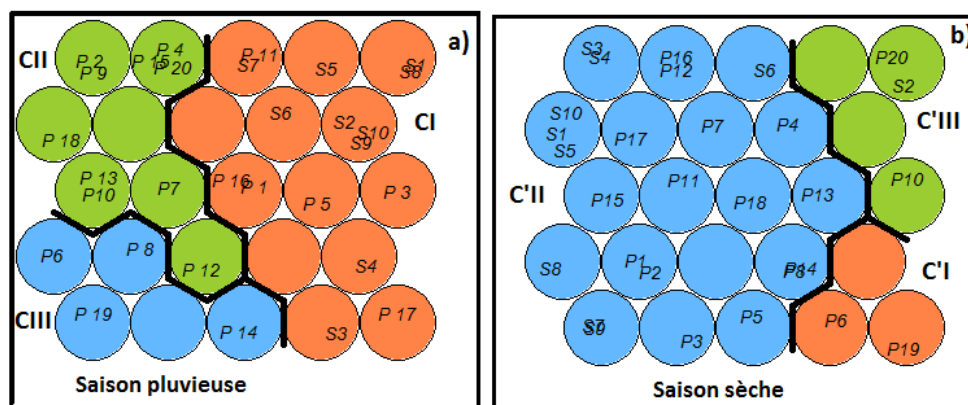


Figure 15 : Répartition des classes d'eaux : (a) saison pluvieuse, (b) saison sèche

En saison pluvieuse, sur un effectif de 30 échantillons d'eaux, on remarque que les classes CII et CIII apparaissent homogènes et se caractérisent par le regroupement d'eaux de puits. La classe CI est plus ou moins hétérogène car constituée à la fois d'échantillons de puits et de sources dont les proportions varient d'une classe à une autre (Figure 14a).

En saison sèche, sur un effectif de 29 échantillons d'eaux, on remarque que la classe C'I apparait homogène et se caractérise par le regroupement d'eaux de puits. Les classes C'II et C'III sont plus ou moins hétérogènes car constituées à la fois d'échantillons de puits et de sources dont les proportions varient d'une classe à une autre (Figure 14b).

Tableau XI : Nombre d'échantillons et représentativité des eaux de puits et de sources dans chaque classe de Kohonen

Saison pluvieuse	Echantillon	% puits	% sources
CI	16	30	100
CII	10	50	0
CIII	4	20	0
Saison sèche	Echantillon	% puits	% sources
C'I	2	11	0
C'II	24	75	90
C'III	3	10	10

❖ **Différenciation et particularités physico-chimiques des eaux**

L'importance des paramètres physico-chimiques dans la classification des points d'échantillonnage est indiquée dans les figures 15 et 16.

- En saison pluvieuse (Figure 15) :

La classe CI majoritairement constituée d'eau de sources présente une concentration de T très élevée et Eh élevée ; cette classe présente également des concentrations moyennement représentées en NH_4^+ , TDS, OD et NO_3^- et faiblement représentés en pH, K^+ , PO_4^{3-} , CE, NO_2^- , et SO_4^{2-} ;

Résultats et Discussion

La classe CII est homogène (constituée seulement d'eau de puits) et présente des concentrations en T très élevée et TDS et OD élevés. Elle présente des concentration moyenne en pH ; Eh et NO_3^- , les autres paramètres sont faiblement ou très faiblement représentés.

La classe CIII est homogène comme la classe CII. Cette classe présente un PO_4^{3-} très faible. Cette classe présente des teneurs particulièrement moyennes en K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , Eh ; TDS et OD. La température demeure très élevée avec un pH basique et une CE élevée.

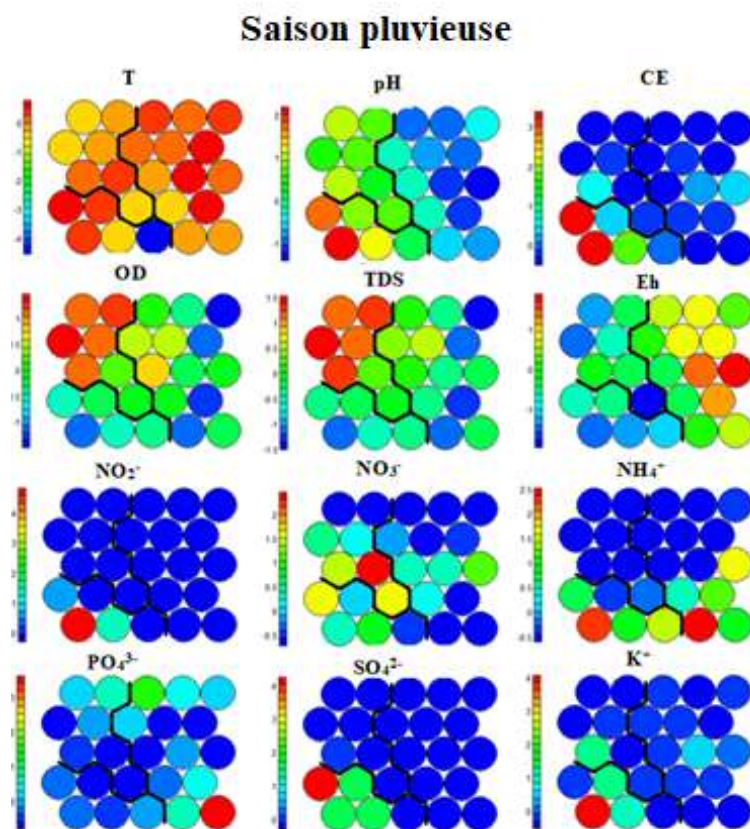


Figure 16 : Poids des paramètres physico-chimiques de la saison pluvieuse

- En saison sèche (Figure 16) :

La classe C'I présente une concentration élevée en T, pH et CE. Cette classe présente des teneurs particulièrement moyennes en TDS, Eh, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , K^+ , SO_4^{2-} et PO_4^{3-} . Les autres paramètres sont faiblement ou très faiblement représentés ;

La classe C'II constituée essentiellement d'eau de puits et de sources, présente une Eh élevée et une concentration moyenne en T, PO_4^{3-} , TDS et pH. Les autres paramètres présentent des concentrations faibles ou très faible. ;

La classe C'III étant hétérogène (constituée d'eau de puits et de sources), elle présente une T ; PH ; TDS ; Eh ; OD et K^+ légèrement élevée. Cette classe présente également une concentration en PO_4^{3-} élevée. Les autres paramètres physico-chimiques ont une concentration faible.

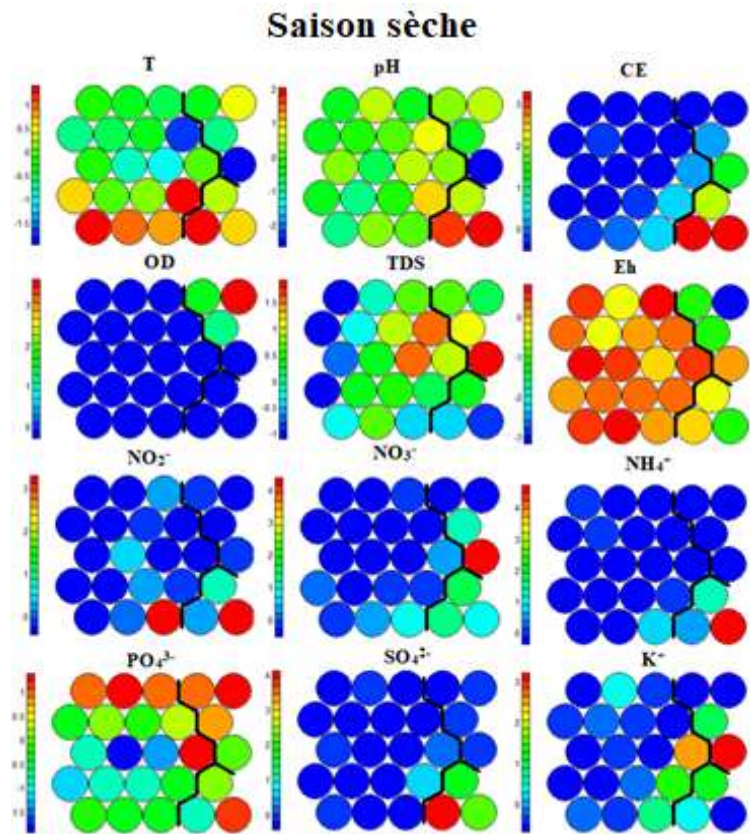


Figure 17 : Poids des paramètres physico-chimiques de la saison sèche.

3.1.2.2. Indice de qualité physico-chimique des eaux de puits et de sources

La qualité des eaux souterraines (Puits et sources) de Daloa a été étudiée à partir de l'évaluation de l'indice de qualité. Cette qualité a été évaluée sur la base de plusieurs paramètres (pH, CE, T, TDS, NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , PO_4^{3-} et K^+).

3.1.2.2.1. Indice de qualité des eaux (IQE) de puits

Les valeurs de IQE obtenues dans les eaux de puits varient de 23,96 à 190,92 et de 20,14 à 146,35 respectivement pendant la saison sèche et la saison pluvieuse. L'analyse des résultats montrent que la qualité des eaux étudiées varie d'excellente à impropre à la boisson (Tableau XII).

Résultats et Discussion

Tableau XII : Indice de qualité des eaux de puits en saison pluvieuse et saison sèche

Eaux de puits	Saison pluvieuse		Eaux de puits	Saison sèche	
	IQE (%)	Qualité de l'eau		IQE (%)	Qualité de l'eau
P 1	24,51	Excellente	P1	27,71	Bonne
P 2	20,66	Excellente	P2	29,35	Bonne
P 3	62,33	Mauvaise	P3	49,47	Bonne
P 4	21,72	Excellente	P4	24,84	Excellente
P 5	45,62	Bonne	P5	92,42	Très mauvaise
P6	87,23	Très mauvaise	P6	101,67	Impropre à la boisson
P7	44,02	Bonne	P7	29,39	Bonne
P 8	52,24	Mauvaise	P8	58,18	Mauvaise
P 9	21,04	Excellente			
P10	62,68	Mauvaise	P10	190,92	Impropre à la boisson
P 11	23,69	Excellente	P11	29,15	Bonne
P 12	43,79	Bonne	P12	35,44	Bonne
P 13	70,67	Mauvaise	P13	78,11	Très mauvaise
P 14	37,83	Bonne	P14	55,19	Mauvaise
P 15	24,10	Excellente	P15	27,02	Bonne
P 16	35,80	Bonne	P16	44,7	Bonne
P 17	40,07	Bonne	P17	35	Bonne
P 18	28,15	Bonne	P18	23,91	Excellente
P 19	146,35	Impropre à la boisson	P19	126,37	Impropre à la boisson
P 20	20,14	Excellente	P20	23,06	Excellente
Indice Global de qualité	45,6	Bonne	Indice Global de qualité	56,9	Mauvaise

La figure 17 illustre la répartition des classes d'eaux de puits. Pendant la saison sèche, les eaux de puits de qualité excellente ($0 \leq IQE \leq 25$) représentent 16 % dans l'ensemble des eaux étudiées. Les classes bonne ($26 \leq IQE \leq 50$), mauvaise ($51 \leq IQE \leq 75$), très mauvaise ($76 \leq IQE \leq 100$) et impropre à la boisson ($IQE > 100$) correspondent respectivement 47 %, 10 %, 11 % et 16%. Concernant la saison pluvieuse les eaux de puits excellente, bonne, mauvaise, très mauvaise et impropre à la boisson sont respectivement 35 %, 35 %, 20 %, 5 % et 5 %. La

Résultats et Discussion

majorité des eaux de puits (63% et 70 %) en saison sèche et saison pluvieuse a un indice IQE inférieur à 50 qui représente la limite supérieure des eaux de bonne qualité.

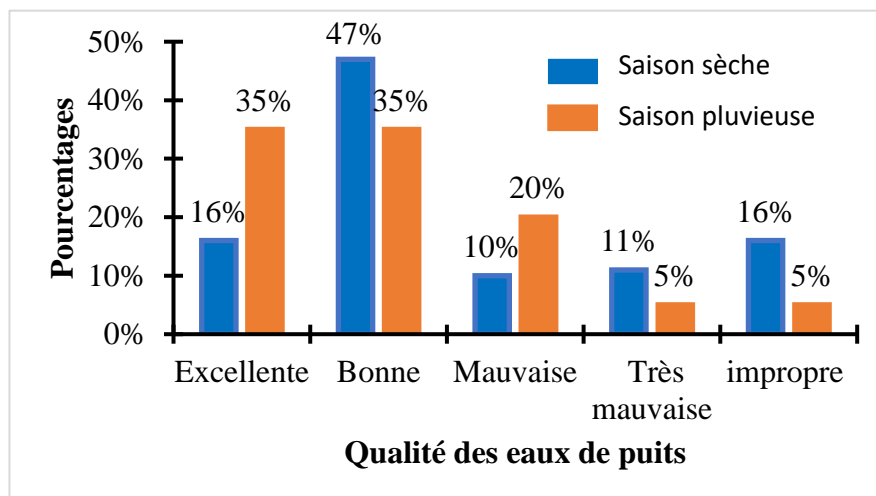


Figure 18 : Pourcentage des différentes classes physico-chimiques des eaux de puits

3.1.2.2.2. Indice de qualité des eaux de sources

Les valeurs de IQE obtenues pour les eaux de sources varient de 23,96 à 42,2 et de 20,04 à 42,25 respectivement pendant la saison sèche et la saison pluvieuse. Les résultats montrent que la qualité des eaux étudiées varie d'excellente à bonne (Tableau XIII).

Tableau XIII : Indices de qualité des eaux de sources

Eaux de sources	Saison pluvieuse		Saison sèche	
	IQE (%)	Qualité de l'eau	IQE (%)	Qualité de l'eau
S 1	26,06	Bonne	34,53	Bonne
S 2	20,85	Excellente	28,2	Bonne
S 3	42,25	Bonne	29,91	Bonne
S 4	38,62	Bonne	29,99	Bonne
S 5	20,04	Excellente	23,96	Excellente
S 6	23,19	Excellente	36,03	Bonne
S 7	27,86	Bonne	33,95	Bonne
S 8	20,49	Excellente	38,64	Bonne
S 9	21,01	Excellente	42,20	Bonne
S 10	20,64	Excellente	24,10	Excellente
Indice de qualité global	26,1	Bonne	32,2	Bonne

Résultats et Discussion

La figure 18 illustre la répartition des classes d'eaux de sources. Les eaux de sources de qualité excellente ($0 \leq IQE \leq 25$) sont respectivement 20 % et 60 % pour la saison sèche et pluvieuse. Pour les eaux de bonne qualité ($26 \leq IQE \leq 50$) correspondent respectivement 80 % et 40 % pour la saison sèche et pluvieuse. La majorité (100 %) des eaux étudiées a un indice IQE inférieur à 50 qui représente la limite supérieure des eaux de bonne qualité. Le même constat est fait en saison pluvieuse.

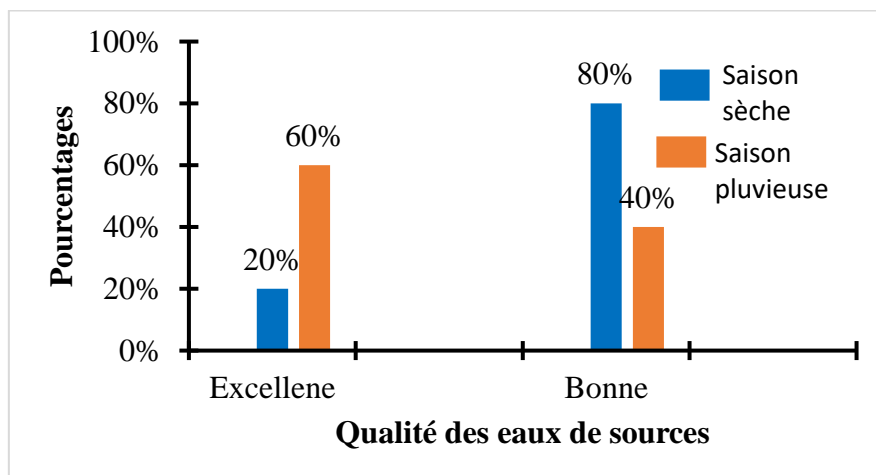


Figure 19 : Pourcentage des différentes classes physico-chimiques des eaux de sources

3.1.2.3. Classes de qualité microbiologique de eaux de puits et sources

Les tableaux (XIV et XV) présentent les différentes classes de qualité microbiologique des eaux de puits et de sources de Daloa.

Tableau XIV : Classe microbiologique des eaux de puits.

	Indicateur de qualité	Coliformes totaux (ufc/100ml)	Escherichia coli (ufc/100ml)	Entérocoques fécaux (ufc/100ml)	Total
Bonne	Nombre de puits	0	3	2	5
	Pourcentage	0 %	15 %	10 %	9 %
Médiocre	Nombre de puits	2	3	0	5
	Pourcentage	10 %	15 %	0 %	9 %
Mauvaise	Nombre de puits	18	14	18	50
	Pourcentage	90 %	70 %	90 %	82 %

Tableau XV : Classe microbiologique des eaux de sources

	Indicateur de qualité	Coliformes totaux (ufc/100ml)	Escherichia coli (ufc/100ml)	Entérocoques fécaux (ufc/100ml)	Total
Bonne	Nombre de sources	0	3	4	7
	Pourcentage	0 %	30 %	40 %	23 %
Médiocre	Nombre de sources	1	1	0	2
	Pourcentage	10%	10%	0 %	7 %
Mauvaise	Nombre de sources	9	6	6	21
	Pourcentage	90%	60%	60%	70%

Il indique que 82 % des eaux de puits et 70 % des eaux de sources sont de mauvaise qualité contre seulement 9% des eaux de puits et 23 % des eaux de sources qui sont de bonne qualité. Les eaux de qualité médiocre représentent 9 % pour les eaux de puits et 7 % pour les eaux de sources. Par ailleurs, les Coliformes totaux sont présents dans l'ensemble des puits dans 9 sources alors que l'absence des Escherichia coli et des Entérocoques fécaux dans certains puits (15 % et 10 %) et sources (30 % et 40 %) est observée. Une analyse du risque microbiologique permettra de déterminer le niveau de risque lié à la consommation de ces eaux.

3.1.3. Risque sanitaire lié aux paramètres chimiques et microbiologiques

3.1.3.1. Risque sanitaire lié à la présence des nitrates dans les eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa

3.1.3.1.1. Concentrations en nitrates dans les eaux de puits et sources

- **Eaux de puits**

La caractérisation chimique des eaux de puits a montré que les concentrations de nitrates varient de 5,7 à 485,5 mg/L, avec une moyenne de $80,8 \pm 110,1$ mg/L pendant la saison sèche et varie de 0,1 à 89 mg/L avec une moyenne de $27,8 \pm 28,5$ mg/L en saison pluvieuse. Les résultats de l'analyse descriptive simple des eaux de puits ont montré que les valeurs les plus élevées de nitrates, supérieures à la valeur guide de l'OMS de 50 mg/L, ont été enregistrées pendant la saison sèche. Sur la base de cette observation, le risque sanitaire lié aux nitrates a été évalué au cours des deux saisons.

- **Eaux de sources**

La caractérisation chimique des eaux de sources a montré que les concentrations de nitrates varient de 13,8 à 76,7 mg/L, avec une moyenne de $37,5 \pm 21,2$ mg/L en saison sèche et de 0 à

Résultats et Discussion

6,5 mg/L, avec une moyenne de $2,4 \pm 2,4$ mg/L en saison pluvieuse. Les résultats de l'analyse descriptive simple des eaux de sources ont montré que les valeurs les plus élevées de nitrates, supérieures à la valeur guide de l'OMS de 50 mg/L, ont été enregistrées pendant la saison sèche. Sur la base de cette observation, le risque sanitaire lié aux nitrates a été évalué au cours des deux saisons.

3.1.3.1.2. Exposition et estimation du quotient de danger lié aux nitrates

Les tableaux (XVI et XVII) présente les concentrations d'exposition, la dose moyenne journalière (DMJ) et l'estimation du quotient de danger lié aux nitrates (QD).

Tableau XVI : Caractéristique du risque lié aux nitrates pour les eaux de puits

		Scenarios	C _{EXP50}	C _{EXP90}	DMJ ₅₀	DMJ ₉₀	QD ₅₀	QD ₉₀
Saison pluvieuse	Enfants (naissances -3mois)	Filles	23,4	25,9	5,41-4,76	6-5,3	0,468	0,518
		Garçons	23,4	25,9	5,39-4,79	6-5,3	0,468	0,518
	Adultes		23,4	25,9	0,67	1	0,18	0,2
Saison sèche	Enfants (naissances-3mois)	Filles	39	137,5	9,02-7,93	31,8-28	0,78	2,75
		Garçons	39	137,5	8,98-7,98	31,7-28,1	0,78	2,75
	Adultes		39	137,5	1,11	4	0,3	1,06

Les doses moyennes journalières (DMJ₅₀, DMJ₉₀) de nitrates ont respectivement été obtenues pour les enfants filles (naissances - 3mois), des enfants garçons (naissances - 3 mois) et les adultes en saison pluvieuse et saison sèche. Pour une exposition des enfants de moins de 3 mois (filles et garçons) et les adultes à 50 percentiles des concentrations de nitrates, les valeurs du quotient de danger (QD₅₀) sont inférieures à 1 pour les eaux en saison pluvieuse et saison sèche. Le risque de la méthémoglobinémie est faible dans l'ensemble des populations. Quant aux valeurs du quotient de danger pour l'exposition à 90 percentiles des concentrations de nitrates (QD₉₀), elles sont supérieures à 1 pour l'ensemble des puits pour les enfants de moins de 3 mois comme pour les adultes en saison sèche. On constate que le risque de la méthémoglobinémie est élevé en saison sèche. Contrairement en saison pluvieuse elles sont inférieures à 1 (Tableau XVI).

Tableau XVII : Caractéristique du risque liée aux nitrates pour les eaux de sources

		Scenarios	C _{EXP50}	C _{EXP90}	DMJ ₅₀	DMJ ₉₀	QD ₅₀	QD ₉₀
Saison pluvieuse	Enfants (naissances-3mois)	Filles	1,7	6,5	0,39-0,35	1,5-1,3	0,034	0,13
		Garçons	1,7	6,5	0,39-0,35	1,5-1,3	0,034	0,13
	Adultes		1,7	6,5	0,05	0	0,013	0,05
Saison sèche	Enfants (naissances-3mois)	Filles	29,75	13,8	6,88-6,05	3,2-2,8	0,595	0,276
		Garçons	29,75	13,8	6,85-6,09	3,2-2,8	0,595	0,276
	Adultes		29,75	13,8	0,85	0	0,23	0,106

Les doses moyennes journalières (DMJ₅₀ et DMJ₉₀) de nitrates ont respectivement été obtenues pour les enfants filles (naissances, 3 mois), des enfants garçons (naissances, 3 mois) et les adultes en saison pluvieuse et saison sèche. Pour une exposition des enfants de moins de 3 mois (filles et garçons) et les adultes à 50 et 90 percentiles des concentrations de nitrates, les valeurs du quotient de danger (QD₅₀ et QD₉₀) sont inférieures à 1 pour ces eaux en saison pluvieuse et saison sèche. Le risque de la méthémoglobinémie est faible dans l'ensemble des populations (Tableau XVII).

3.1.3.2. Risque sanitaire microbiologique lié aux *E. coli* pathogènes

3.1.3.2.1. Concentrations des *E. coli* pathogènes dans les eaux de puits et de sources

Les résultats d'analyse ont révélé la présence d'*E. coli* pathogène dans 85 % des eaux de puits et dans 70 % des eaux de sources. La charge bactérienne moyenne (497 ufc.100 mL⁻¹) dans les eaux de sources est plus élevée que celle des puits (382 ufc.100 mL⁻¹).

3.1.3.2.2. Exposition aux *E. coli* pathogènes

Le tableau XVIII présente une probabilité d'ingérée de l'eau contaminée par *E. coli* pathogènes et la dose d'ingérée des *E. coli* pathogènes.

Tableau XVIII : Exposition au risque.

Variable	Valeur pour les eaux de puits	Valeur pour les eaux de sources
Charge moyenne des <i>E. coli</i> pathogènes (ufc.L ⁻¹)	382 ufc/L	497 ufc/L
Quantité d'eau ingérée par jour (L/jour/personne)	1,6 ± 0,7 L/j/p	1,6 ± 0,7 L/j/p
Dose ingérée des <i>E. coli</i> pathogènes (ufc/jour /personne)	611 ,2 germes/j/p	795,2 germes/j/p
Probabilité de consommer de l'eau contaminée par les <i>E. coli</i> pathogènes /jour /personne	83,3 %	68,6 %

Résultats et Discussion

Les ménages qui stockent l'eau avant la boisson représente 98 % de l'ensemble des ménages enquêtés. La quantité moyenne d'eau ingérée est estimée à $1,6 \pm 0,7$ litre/jour/personne. La charge moyenne d'*E. coli* multipliée par la quantité moyenne d'eau ingérée par jour et par personne (1,6) permet d'estimer la dose moyenne journalière d'*E. coli* pathogène ingérée par jour et par personne pour les eaux de puits et de sources. Elle est estimée à 611,2 germes/jour/personne pour les eaux de puits et 795,2 germes/jour/personne pour les eaux de sources. La probabilité d'ingérer de l'eau contaminée par *E. coli* pathogène est déterminée en multipliant la proportion des personnes consommant l'eau conservée sans traitement (98 %) par la proportion des eaux contenant les *E. coli* (85 % et 70 %) respectivement pour les eaux de puits et de sources. La probabilité d'ingérer de l'eau contaminée par *E. coli* pathogènes est de 83,3 % pour les eaux de puits et 68,6 % pour les eaux de sources.

3.1.3.2.3. Relation dose réponse et risque d'infection lié aux *E. coli* pathogènes

Le tableau XIX présente l'estimation de la relation dose réponse et les résultats du risque d'infection liés aux *E. coli* pathogènes.

Résultats et Discussion

Tableau XIX : Dose réponse et Estimation du risque d'infection liée aux *E. coli* pathogènes

Variables	Valeur pour les eaux de puits	Valeur pour les eaux de sources
Charge moyenne des <i>E. coli</i> pathogènes en log (ufc. L ⁻¹)	2,58(ufc/L)	2,69(ufc/L)
Quantité d'eau consommée en log (L/jour/personne)	0,2 L/j/personne	0,2 L/j/personne
Dose ingérée des <i>E. coli</i> pathogènes en log (UFC/jour /personne)	0,52 germes/jour/personne	0,54 germes/jour/personne
Dose-réponse	0,114	0,12
Risque d'infection par les <i>E. coli</i> pathogènes /jour /personne	0,06	0,065
Taux de prévalence	0,85	0,7
Risque d'infection par les <i>E. coli</i> pathogènes /ans/personne	0,99	0,99
Risque de maladie diarrhéique /ans/personne	0,79	0,79
Proportion des ménages exposés	0,98	0,98
Risque de maladie diarrhéique par ans par rapport aux ménages exposés	0,77	0,77

Le risque d'infection annuel lié aux *E. coli* pathogènes est estimé à 0,99 pour les eaux de sources et puits. De même, la probabilité pour un consommateur d'eau non désinfectée de contracter une maladie diarrhéique est élevée (0,79) pour ces deux sources d'eau. Au sein des ménages qui conservent l'eau de puits et source non désinfectée avant la boisson, le risque est estimé à 0,77 pour les deux types d'eau et une relation dose réponse qui est de 0,114 pour les eaux de puits et 0,12 pour les eaux de sources.

3.2. Discussion

Le résultat de l'enquête montre que la quantité moyenne d'eau consommée dans la ville de Daloa est estimée à $(1,6 \pm 0,7)$ litre / jour / personne) et est similaire aux résultats de Kouadio (2019) dans la ville d'Agboville.

Ce résultat montre que 98 % des ménages conservent l'eau destinée à la consommation. Cela se traduit par la baisse du niveau d'eau pendant la saison sèche et aussi à cause de la longue distance parcourue tous les jours par la population. Ce mode de conservation d'eau est aussi une pratique des ménages de Ouagadougou (Santos, 2006). Les eaux de puits subissent une filtration (78 %) et une décantation (15 %) dans certains ménages. Ces résultats sont conformes aux résultats de Awomon *et al.* (2018) qui montrent que 55,71 % des ménages subissent un traitement par filtration et 25,86 % par décantation dans le quartier de Orly.

Les eaux de sources conservées dans les ménages ne subissent aucun traitement, ce qui pourrait exposer les populations à des maladies hydriques. En effet, selon Kouadio (2019), la non désinfection des eaux est le principal facteur de risque sanitaire lié à la consommation d'eau de puits dans la ville d'Agboville.

3.2.1. Qualité physico-chimique et microbiologique

L'étude physico-chimique des eaux de puits et de sources de Daloa a permis d'avoir plusieurs résultats.

La température (T) moyenne des eaux de puits et de sources respectivement en saison sèche (28,34 °C et 28,4 °C) et en saison pluvieuse (28,1 °C et 29,2 °C), est similaire à celle des eaux de socle en Côte d'Ivoire obtenue par Soro, (2002) à Grand-Lahou et par Oga *et al.* (2009) dans La Région de Tiassalé. La température élevée dans les eaux de puits et de sources de Daloa pourrait être due à l'influence de la température ambiante sur les eaux prélevées.

Les eaux de puits et de sources de la ville de Daloa ont respectivement un potentiel hydrogène (pH) moyen en saison sèche (5,3 et 4,9) et saison pluvieuse (5,6 et 5,2) inférieure à la valeur recommandée par l'OMS (6,5-8,5), ceci montre le caractère acide de ces eaux. Cette acidification serait due à la disparition des minéraux primaires facilement altérables, à la non dissociation de l'acide organique et de l'acide carbonique qui jouent un rôle de tampon pour limiter l'acidité de l'eau et à la forte transpiration de la forêt qui accroît la diminution du pH. Ces valeurs sont en accord avec celle obtenue par Goné *et al.* (2004) sur les eaux souterraines du département d'Agboville. Selon Adjiri *et al.* (2018) les eaux de puits et de sources dans la région de Daloa sont issues de nappes peu profondes.

Résultats et Discussion

Les eaux étudiées présentent en moyenne une conductivité électrique (CE) en saison sèche (409,99 $\mu\text{s/cm}$ et 114,6 $\mu\text{s/cm}$) et en saison pluvieuse (345,7 $\mu\text{s/cm}$ et 116,15 $\mu\text{s/cm}$). Ce résultat confère une faible minéralisation dans les eaux de puits et sources de Daloa. En accord avec Kamagaté *et al.* (2011), cette faible minéralisation est à mettre en rapport avec la nature silicatée des matrices rocheuses traversées dont l'altération et la mise en solution des éléments chimiques sous forme ionique sont particulièrement lentes.

La valeur moyenne du nitrate (80,8 mg/L) pour les eaux de puits en saison sèche est supérieure à la valeur recommandée par l'OMS (50 mg/L), cela montre que ces eaux de puits en saison sèche ne doivent pas être utilisées pour la boisson afin de prévenir des risques potentiels de maladies. En effet, l'ingestion d'une eau riche en nitrates peut provoquer des maladies telles que la méthémoglobine chez les enfants. Par ailleurs, selon Soro *et al.* (2019) dans la région des lacs, la présence de concentrations élevées en nitrates dans les eaux peut indiquer aussi que l'eau contient des bactéries très dangereuses pour la santé. Le nitrate est polluant commun des eaux souterraines, il est généralement issu de l'agriculture (utilisation des engrais), des eaux usées domestiques et des fumures animales (Soro *et al.*, 2019). Dans cette étude la présence des nitrates dans les eaux serait due à une communication entre les latrines et les puits.

La valeur du potassium (K^+) pour les eaux de puits dans la saison sèche et pluvieuse est supérieur aux directives de l'OMS, cela montre que le potassium serait issu de l'altération des minéraux de la roche et aussi des activités anthropiques. Ce résultat est en accord avec celui de Ahoussi *et al.* (2013) dans les eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire.

Les cartes de Kohonen montrent deux groupes d'eaux dont l'un homogène et l'autre hétérogène indépendamment de la saison. L'apparition des groupes d'eaux homogènes se traduirait par la présence probable de nappes isolées par endroit (Kamagaté *et al.*, 2011). L'hétérogénéité traduite par la présence dans un même groupe d'eaux de puits et de sources montrerait que l'origine de l'eau et la nature de l'aquifère n'influencent pas significativement cette classification.

Au regard des individus des trois classes des cartes de Kohonen, le regroupement des variables composées par des valeurs élevées des paramètres physico-chimiques (T, OD, TDS, pH et Eh) et des valeur moyenne des paramètres chimiques (K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ et NO_2^-) pourraient indiquer des phénomènes de mise en solution tels que les réactions d'oxydoréductions ensuite les apports liés aux activités anthropiques et surtout l'hydrolyse acide des minéraux de la roche au cours des deux saisons.

Le calcul des indices de qualité des eaux souterraines donne des résultats qui nous ont permis d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de puits et de sources de Daloa. Le résultat de

Résultats et Discussion

l'indice global de qualité (45,6) en saison pluvieuse indique que ces eaux sont dans l'ensemble de bonne qualité physico-chimique puisque leur indice global est inférieur à 50 qui représente la limite supérieure des eaux de bonne qualité. Tandis qu'en saison sèche ces eaux sont de mauvaise qualité parce que leur indice globale (56,9) est supérieur à cette limite. Cette mauvaise qualité serait due aux différentes concentrations élevées des paramètres chimiques présents dans certains puits. Ces paramètres sont entre autres le nitrate et ammonium qui à fortes concentrations dans une eau de boisson supposent une contamination. Les eaux de sources dans les deux saisons sont respectivement de bonne qualité. Ces résultats de qualité des eaux de sources sont conformes aux résultats de Sudhakar *et al.* (2014) qui présente une bonne qualité (27,7) pour les eaux de sources de l'India.

Les analyses microbiologiques montrent la présence des bactéries de type *E. Coli* dans les eaux de puits et de sources de Daloa. Cette contamination pourrait être due aux matières fécales humaines ou animales. Cela montre que les eaux sont soumises à une pollution microbiologique (Ahoussi *et al.*, 2012b).

La présence des Coliformes totaux dans les eaux de puits et sources montre que la contamination de ces eaux peut être causée par les rejets domestiques, l'existence des puits à proximité des fosses septiques et d'une infiltration d'eau de surface dans les puits. Ces causes rejoignent celles détectées dans l'étude menée dans la Garonne par Ayad *et al.* (2016).

Ces eaux renfermant des Entérocoques fécaux sont donc non potables dans la mesure où les directives de l'OMS exigent l'absence totale de cette flore dans les eaux destinées à la consommation. D'après les travaux de Youmbi *et al.* (2013) à Yaoundé, la présence en nombre important de streptocoques fécaux dans les eaux de puits et source atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines, donc il aurait une communication entre les aquifères qui contiennent ces eaux et les matières fécales.

La mesure microbiologique a permis d'apprécier la qualité des eaux de puits et de source de la ville de Daloa. De façon générale, nous pouvons dire que les eaux de puits et de sources présentent une mauvaise qualité microbiologique. Cette mauvaise qualité montre que ces eaux subissent une pollution anthropique due aux eaux d'infiltration des fosses septiques, au manque de traitement et de mesures d'hygiène élémentaires lors des opérations de puisage. Ce résultat est identique aux résultats de Kouadio, (2019) pour les eaux de puits dans la ville d'Agboville.

3.2.2. Risque sanitaire lié aux paramètres chimiques et microbiologiques

Les résultats du risque sanitaire liés aux nitrates ont montré des valeurs du quotient de danger à 50 % et 90 % pour les différents scénarios. Les eaux de puits (saison pluvieuse) et les eaux de sources (saison sèche et saison pluvieuse) présentent un quotient de danger (QD₅₀ et QD₉₀) inférieur à 1. Ces résultats ont été observés chez les enfants comme chez les adultes. La consommation de ces eaux pendant ces saisons, ne présente aucun risque pour les enfants et pour les adultes quel que soit la fréquence d'exposition, ce qui est similaire aux résultats de Kouadio (2019) dans la ville d'Agboville en saison des pluies.

La saison sèche, présente une valeur QD₅₀ (0,78) et QD₉₀ (2,75) des eaux de puits pour les enfants de moins de 3 mois. Le QD₉₀ supérieur à 1 indique un risque élevé de la méthémoglobinémie infantile à court terme. Ce résultat est en accord avec ceux de Wongsanit *et al.* (2015) en Thaïland. Ce résultat a également été obtenue en Indonésie par Sadler *et al.* (2016) et à Agboville pendant la grande saison des pluies par Kouadio (2019) pour une exposition des enfants de moins de 3 mois des eaux de puits. Au niveau des adultes, la valeur du QD₉₀ (1,06) est supérieure à 1. Le risque de la méthémoglobinémie existe chez les adultes exposés aux fortes concentrations de nitrates ($C_{EXP90} = 137,5 \text{ mg. L}^{-1}$) au cours de la saison sèche. L'ingestion de la dose moyenne journalière (DMJ₅₀ et DMJ₉₀) de nitrates au cours des deux saisons pour les eaux de puits et de sources exposerait les nourrissons et les enfants de 3 de 3 mois à la méthémoglobinémie. Ce qui est en accord avec la dose journalière de nitrates liée à la méthémoglobinémie infantile obtenue par Kouadio (2019).

Les valeurs du risque d'infection annuel par personne lié aux *E. coli* pathogènes (0,99) et des risques de maladies diarrhéiques annuels par personne (0,77) pour les eaux de puits et sources sont supérieures à la valeur acceptable de risque par an et par personne de l'OMS (2017) qui est de 10^{-4} . Ces résultats sont en accord avec ceux de Kouassi *et al.*, (2015) à Korhogo et de Kouadio, (2019) d'Agboville qui ont observé un risque d'infection annuel élevé lié à *E. coli* pour la consommation des eaux de puits en Côte d'Ivoire. Selon l'OMS la contamination microbienne suivie d'une infection gastro-intestinale pourrait aggraver le risque de la méthémoglobinémie pour les nouveau-nés nourris au biberon. Les valeurs de risque obtenues indiquent la détérioration de la qualité des eaux de puits et de sources et un risque élevé de santé publique lié à la consommation de ces eaux.

CONCLUSION

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer le risque sanitaire lié à la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources dans la ville de Daloa. Les risques sanitaires chimiques et microbiologiques ont été évalués respectivement selon la méthode probabiliste et la méthode d'évaluation quantitative du risque microbiologique (QMRA). Pour ce faire, les enquêtes, la qualité physico-chimique et microbiologique de ces eaux ont été évaluée et le risque sanitaire chimique et microbiologique a été déterminé. L'enquête a montré que les eaux conservées qui ne subissent pas de désinfection sont le facteur du risque sanitaire le plus influent. L'indice global de qualité des paramètres physico-chimiques a montré que les eaux de puits présentent une bonne qualité en saison pluvieuse et mauvaise qualité en saison sèche. Par contre, les eaux de sources présentent une bonne qualité physico-chimique au cours des deux saisons. Les eaux de puits et de sources de Daloa présentent une mauvaise qualité microbiologique. La consommation des eaux de puits et de sources présente à court terme, un risque d'infection diarrhéique très élevé lié aux *E. coli* pathogènes et une exposition à la méthémoglobinémie chez les enfants de moins de 3 mois et les adultes liée aux nitrates pour les eaux de puits au cours de la saison sèche.

Pour réduire le taux de risque sanitaire au niveau chimique et microbiologique, il est important de :

- développer un modèle de prédiction de la demande en chlore des eaux de puits et de sources basé sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques pour le traitement de l'eau ;
- caractériser des métaux lourds afin d'évaluation les risques sanitaires chimiques liés à ces polluants.

REFERENCES

Références

- Adjiri O.A., Aka N., Soro T.D., Afessi A.C., Konaté D. & Soro N. (2018). Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa : impacts sur la santé et implications dans le développement régional. *astee-tsm.fr*, 12 : 89-114.
- Aguilar I.A. (2004). Les peuplements de poissons comme outil pour la gestion de la qualité environnementale du réseau hydrographique de la Garonne. Thèse de Doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Toulouse, France, 178 p.
- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G. & Biemi J. (2013). Etude hydro-chimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences*, 63 : 4703-4719.
- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G., Soro N. & Biemi J. (2012b). Caractérisation Physico-Chimique et Bactériologique des Ressources en eau des Localités Situées Aux Abords de la lagune Ébrié dans la commune de Marcory (District d'Abidjan, Côte Ivoire) : cas du village d'Abia Koumassi. *European Journal of Scientific Research*, 89 (3) : 359-383.
- Altzibar J.M., Zigorraga C., Rodriguez R., Leturia N., Garmendia A., Rodriguez A., Alkorta M. & Arriola L. (2015). Outbreak of acute gastroenteritis caused by contamination of drinking water in a factory, the Basque Country. *Journal Water Health*, 13(1) : 168-173.
- Awomon A.D.F., Coulibaly M., Niamke G.M. & Santos D.S. (2018). La problématique de l'approvisionnement en eau potable et le développement des maladies a transmission hydrique dans les quartiers d'extension Orly de la ville de Daloa (Côte d'Ivoire). *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 1(2) : 91-108.
- Ayad W. & Kahoul M. (2016). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie) [Assessment of physicochemical and bacteriological quality of Well water in the region of ElHarrouch (N.E- Algeria)]. *Journal. Mater Environnement Sciences*, 7(4) : 1288-1297
- Bhuiyan M.A.H., Bodrud-Doza M.D., Towfiqul A.R.M., Rakib M.A., Safiur Rahman M.A. & Ramanathan L. (2016). Assessment of groundwater quality of Lakshimpur district of Bangladesh using water quality indices, geostatistical methods, and multivariate analysis. *Environment Earth Sciences*, 75 : 1-23.
- Bonnard R. (2001). Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque. Rapport final de l'unité évaluation des risques sanitaires directions des risques chroniques. 70 p.

Références

- Cao Q., Yu Q. & Connell D.W. (2011). Health risk characterisation for environmental pollutants with a new concept of overall risk probability. *Journal Hazard Mater*, 187(1-3) : 480-487.
- Degbey C., Makoutode. M., Agueh V., Dramaix M. & Brouwer C. (2011). Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey-Calavi (Bénin). *Santé*, 21(1) : 47-58.
- Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de Doctorat unique, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 164 p.
- Direction de l'Informatique et de l'Information Sanitaire (DIIS). (2015). Rapport Annuel sur la situation Sanitaire (RASS), Abidjan, MSHP, 110-315 p.
- Dunne E.F., Angoran.B.H., Kamelan T.A., Sibailly T.S., Monga B. B., Kouadio L., Roels T.H., Wiktor S.Z., Lackritz E.M., Mintz E.D. & Luby S. (2001). Is drinking water in Abidjan, Côte d'Ivoire, safe for infant formula. *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*, 28(4) : 393-398.
- Emmanuel E. (2003). Evaluation des risques sanitaires et Eco toxicologiques liés aux effluents hospitaliers. Sciences et techniques du déchet. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquée (Lyon, France), 246 p.
- Espejo-Herrera N., Cantor K.P., Malats N., Silverman D.T., Tardón A., GarcíaClosas R., Serra C., Kogevinas M. & Villanueva C.M. (2015). Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain. *Environmental Research*, 137 : 299-307.
- FAO/OMS (2004). Caractérisation des dangers liés à la présence de pathogènes dans les aliments et dans l'eau - directives. Évaluation des Risques Microbiologiques, (3) 80 p.
- Goné D.L., Savane I. & Goble M.M. (2004). Caractéristiques physico-chimiques majeurs des eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *Revue Ivoire Sciences et Technologies*, 5 : 117-133.
- Goné L. (2001). Contribution des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à l'étude du fonctionnement des systèmes hydrauliques en milieu fissuré de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat 3eme Cycle, Université Abobo-Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire), 182 p.
- Haas C. & Eisenburg J.N.S. (2001). Risk assessment. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health-Assessment of Risk and Risk Management for Water-Related Infectious Disease. WHO, Geneva, Switzerland : 161-183

Références

- Haas C.N., Rose J.B. & Gerba C.P. (1999). *Quantitative Microbial Risk Assessment*, John Wiley and Sons, Inc., New York (USA) 449 p.
- INS (2014). Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) 1998. Données sociodémographiques et économiques des localités, résultats définitifs par localités, région des lagunes, 26 p.
- Institut de Veille Sanitaire (2002). *Evaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages polluées par le fioul rejeté par l'ERIKA, après dépollution*. Paris, 61 p.
- ISO 7218 (2007). *Microbiology of food and animal feeding stuffs-General requirements and guidance for microbiological examinations*. Third edition, 66 p. ISSN : 2028-2508
- Jourda J.P. (2005). *Méthodologie d'application des techniques de télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude des aquifères fissurés d'Afrique de l'Ouest. Concept de l'hydrotechnique spatiale : cas des zones tests de la Côte d'Ivoire*. Thèse Doctorat Sciences Naturelles de l'Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 429 p.
- Kamagaté B., Goné D.L., Doumouya I., Ouattara I., Ouedraogo M., Bamba A. & Savané I. (2011). Relation nappe-rivière dans le bassin versant du Bandama en milieu de socle fissuré en Côte d'Ivoire : approche couplée hydrochimie-télédétection. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(1) : 206-216.
- Kouadio A.N.B. (2019). *Évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des eaux de puits traditionnels par les ménages à faibles revenus en milieu urbain : cas de la ville d'Agboville (Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat, Hydrochimie. UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 184 p.
- Kouassi M.R., Koné R., Kouakou Y.E., Silué B., Cissé G. & Soro N. (2015). Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risque sanitaire associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire). *Environnement Risque Santé*, 14 : 230-241. doi : 10.1684/ers.2015.0781.
- Koukougnon W.G. (2013). *Milieu urbain et accès à l'eau potable : cas de Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de l'Homme et de la Société, Université Félix Houphouët Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 364 p.
- Lachassagne P., Wyns R. & Dewandel B. (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23 : 145-161.

Références

- Lasm T., Kouamé F., Soro N., Jourda J.P.R. & Biémi J. (2004). Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire. Application à la région de Man-Danané. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 5 : 135-154.
- Ligban R. (2013). Caractérisation hydrogéologique et origine des eaux de sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre-ouest ; Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 135 p.
- Maréchal J.C., Dewandel B. & Subrahmanyam K. (2004). Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer. *Water resources Research*, 40(11) : 19 p.
- National Research Council (1983). Risk assessment in the federal government: managing the process. National Academy Press, Washington DC: 191 p.
- Nola M., Nougang M.E., Ewoti1 N.O.V., Mougang L.M., Krier F. & Chihib. N.E. (2013). Detection of pathogenic Escherichia colistrains in groundwater in the Yaoundé region (Cameroon, Central Africa). *Water Environment Journal*, 27 : 328-337.
- Oga M.S., Lasm T., Yao T.K., Soro N., Saley M.B., Kouassi D. & Gnamba F. (2009). Caractérisation chimique des eaux des aquifères de Fracture : Cas de La Région de Tiassalé en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 31(1) : 72-87.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson : Quatrième Edition intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. Genève. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO : 223-429.
- OMS (2011). Guidelines to Drinking-water Quality (fourth edition). ISBN 978 92 4 154815 1 (NLM classification: WA 675), 564 p.
- ORE (Observatoire Régional de l'Environnement) (2016). L'eau en Poitou-Charentes. Notion clé : Qu'est-ce qu'une eau potable ? 7p.
- Ouattara A., Meite A., Dally T., Theodor H. & Kati-C S. (2016). Étude de la qualité des eaux de consommation dans la localité de N'Zianouan s/p de Tiassalé et des quartiers précaires de trois communes du District d'Abidjan (Koumassi, Treichville, Attécoubé). *Journal of Applied Biosciences*, 102 : 9708-9715.
- Rappelli P., Folgosa E., Solinas M.L, Dacosta J.L, Pisanu C., Sidat M., Melo J., Cappuccinelli P. & Colombo M.M. (2005). Pathogenic enteric Escherichia coli in children with and without diarrhoea in Maputo, Mozambique. FEMS. *Medical Microbiology and Immunology*, 43(1) : 67-72.

Références

- Rojas F.A.Y., Pacheco A.J.G., Alberich M.V.E., Sansores S.A.C. & Camargo-Valeroc M.A. (2015). Spatial distribution of nitrate health risk associated with groundwater use as drinking water in Merida, Mexico. *Applied Geography*, 65 : 49-57
- Rose J.B., Haas C.N. & Regli S. (1991). Risk assessment and the control of waterborne giardiasis. *American Journal of Public Health*, 81(6) : 709-713.
- Sadler R., Maetam B., Edokpolo B., Connell D., Yu J., Stewart D., Park M.-J., Gray D. & Laksono B. (2016). Health risk assessment for exposure to nitrate in drinking water from village wells in Semarang, Indonesia. *Environmental Pollution*, 216 : 738-745.
- Sanaa M. & Cerf O. (2002). La démarche d'analyse quantitative des risques de maladies infectieuses transmises par les aliments. *Epidemiol. Santé Anima.*, 41 : 157-168.
- Santos D.S. (2006). Accès à l'eau et enjeux socio-sanitaires à Ouagadougou–Burkina Faso. *Espace Populations Sociétés*, 271-285.
- Shrestha S., Haramoto E., Malla R. & Nishida K. (2015). Risk of diarrhoea from shallow groundwater contaminated with enteropathogens in the Kathmandu Valley, Nepal. *Journal Water Health*, 13(1) : 259-269.
- Soro G., Soro D.T., Fossou M.R., Adjiri O.A. & Soro N. (2019). Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(3) : 1870-1889.
- Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse De Doctorat Ès Sciences Naturelles, Université de Cocody-Abidjan (Abidjan, Côte d'Ivoire), 272p.
- Srinivas R.G. & Nageswararao G. (2013). Assessment of Groundwater quality using Water Quality Index. *Archives of Environmental Science*, 7 : 1-5.
- Sudhakar G., Swarnalatha G., Venkataratnam V. & Vishnuvardhan Z. (2014). Water quality index for groundwater of Bapatla Mandal, coastal Andhra Pradesh, India. *International Journal Environmental. Science*, 5 (1) : 23-33.
- Thomas K., McBean E., Shantz A. & Murphy H.M. (2015). Comparing the microbial risks associated with household drinking water supplies used in peri-urban communities of Phnom Penh, Cambodia. *Journal Water Health*, 13(1) : 243-258.
- UNICEF (2017). Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement : rapport 2017. ISBN 978-92-4-251289-2 (Classification NLM: WA 670), 116 p.

Références

- United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2006). List of drinking water contaminants and MCLs: National Primary Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html> (13-6-2013).
- Wongsanit J., Teartisup P., Kerdsueb P., Tharnpoophasiam P. & Worakhunpiset S. (2015). Contamination of nitrate in groundwater and its potential human health: a case study of lower Mae Klong river basin, Thailand. *Environment Science and Pollution Research*, 22 : 11504-11512.
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p.
- Yoder J., Roberts V., Craun G.F., Hill V., Hicks L., Alexander N.T., Radke V., Calderon R.L., Hlavsa M.C., Beach M.J. & Roy, S.L. (2008). Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking in United States 2005 - 2006. *MMWR*, 57(09) : 39-62.
- Youmbi J.G.T., Feumba R., Njitat V.T., Marsily G. & Ekodeck G.E. (2013). Water pollution and health risks at Yaoundé, Cameroon. *Comptes Rendus Biologies*, 336(5-6) : 310-316.
- Yu Q.J., Cao Q. & Connell D.W. (2012). An overall risk probability-based method for quantification of synergistic and antagonistic effects in health risk assessment for mixtures: theoretical concepts. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(7) : 2627-2633.

ANNEXES

Annexe 1 : FICHES D'ENQUETE.

Questionnaire d'enquête

Il s'agit d'un travail de recherche et les résultats ne seront publiés qu'à des fins scientifiques. En outre, personne ne saurait être inquiété pour les réponses fournies. Nous vous remercions de votre collaboration.

Nom de l'enquêteur.....

Date de l'enquête.....

Heure: début..... Fin.....

I – IDENTIFICATION

Nom et prénoms de l'enquêté

.....

1-Age de l'enquêté..... Sexe : M : F :

2-Ethnie.....3-Situation matrimoniale :

4-Nombre d'habitants.....5-Nombre d'enfant de moins de 5 ans.....

6-Quelles sont vos activités professionnelles ?.....

7-Quels sont vos revenus ?.....

8-Niveau d'instruction :

Primaire : Secondaire : Supérieur : Alphabète :

9-Nom du quartier.....

10-Type habitat.....

II – SOURCE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET USAGES

1-Quelles sont vos sources d'approvisionnement en eau ?

Source : Puits : Lac : Citerne : SODECI : fontaine publique : Autres sources (à préciser)

2-Pourquoi ?.....

3-Quelle sont les caractéristiques esthétiques de l'eau ?

Eau	Source	Puits	Lac	Citerne	SODECI	Fontaine Publique	Autres eaux
Caractéristiques							
Couleur							
Gout							
Odeur							

4-La quantité d'eau disponible est- elle suffisante ?

Annexes

Durée \ Eau	Source	Puits	Lac	Citerne	SODECI	Fontaine publique	Autres eaux
Toute l'année							
Une partie de l'année							
Insuffisante							
Cela dépend							

5- Enregistrez-vous des périodes de pénurie d'eau ? Oui : Non :

6- Si oui lesquelles ?.....

7- Quel usage faites-vous avec ces sources d'eau

Usage \ Eau	Source	Puits	Lac	Citerne	SODECI	Fontaine Publique	Autres eaux
Boisson							
Cuisson							
Lessive							
Vaisselle							
Douche							
Arrosage							
Nettoyage							
Autres usages							

8- Etes-vous abonnés à la SODECI ? Oui : Non :

9- Si oui, quelle quantité d'eau de la SODECI consommez-vous en moyenne (nombre de récipients) ?

Jour.....Semaine.....Mois.....

10- Quel est le coût moyen par facture ?

11- Si vous n'êtes pas abonnés, quelle quantité d'eau des autres sources utilisez-vous (nombre de récipients) ?

12- Achetez-vous l'eau du réseau d'adduction de la SODECI chez les abonnés ?

Oui : Non :

13- Si oui, quel est le coût moyen par récipient ?.....

14- Si vous utilisez l'eau de puits, disposez-vous d'un puits ?

Oui : Non :

Annexes

15- Si oui, en quelle année a-t-il été construit ?..... Ou réhabilité ?.....

16- Combien de personnes en moyenne utilisent ce puits ?.....

17-Si non, à quelle distance se trouve le puits de votre maison ?.....

18-Si vous utilisez l'eau de source

A quelle distance se trouve la source de votre maison ?.....

19-Comment transportez-vous l'eau à votre domicile ?.....

20-Quelles sont les mesures de protection prises dans le transport de ces eaux ?

.....

21-Si non, pourquoi ?.....

III – HYGIENE ET ASSAINISSEMENT

1-Conservez-vous les eaux de consommation ? Oui : Non :

2-Si oui, quels sont les récipients utilisés pour cette conservation ?

Jarre : Bassine : Seau : Bidon : Tonneau : Citerne :

3-Autres (à préciser)

4-L'eau de ces récipients est-elle bien couverte ? Oui : Non :

5-Si non, pourquoi ?.....

6-Comment entretenez-vous ces récipients de stockage ?

Lavage à l'eau + éponge + savon : Lavage à l'eau seule+ éponge :

Rinçage à l'eau uniquement :

7-Renouvelez-vous l'eau conservée ? Oui : Non :

8-Si oui, quelle est la durée de la conservation ?

Un jour : Deux jours : Une semaine : Autre :

9-Apportez-vous de traitements à l'eau avant la consommation ?

Oui : Non :

10-Si oui, lesquels ?

Eau de javel : Chauffage : Autres :

11-Si oui, l'utilisation de ces traitements a-t-elle des effets sur votre santé ? Lesquelles

Annexes

?.....

12-Si non pourquoi ?.....

13-Lavez-vous les mains :

	Eau simple	Eau et Savon	Pas du tout	Eau et cendre
Après les selles				
Après avoir lavé les fesses des enfants				
Avant la préparation des repas				
Avant de manger				

Où jetez-vous les déchets ménagers ?

Déchets ménagers Lieu de déversement	Ordures ménagères	Eaux usées
Dans la cour de la maison		
A côté de la maison		
Sur une parcelle vide		
Dans la poubelle		
Sur la place publique		
Enterré dans la cour de la maison		
Dans les cours d'eau		
Dans les caniveaux		
Sur les voies		
Dans les marécages		
Autres		

13-Pourquoi ?

IV- MALADIES HYDRIQUES

1-Pensez-vous que la consommation de l'eau de puits et d'eau de source est source de maladies ?

Oui : Non :

2-Si oui, desquelles souffrez-vous régulièrement :

Choléra : Diarrhée : Gastro-intestinales : Autres.....

3- Soignez-vous dans les centres de santé ? Oui : Non :

Annexes

4- Si non pourquoi ?.....

5- A combien vous revient chaque traitement ?.....

6- Avez-vous toujours les moyens financiers pour payer les soins et acheter les médicaments ?

Oui : Non :

7-Si non, quelles sont les mesures que vous prenez ?.....

8-Pensez-vous qu'elles sont les plus convenables à votre santé ? Oui : Non

9- Si non Pourquoi ?.....

10-Quel est le consentement à payer (CAP) pour avoir une eau potable.....

11-Quelles sont vos suggestions pour une bonne alimentation en eau ?.....

Annexe 2 : Procédure de calcul du risque sanitaire microbiologique (Kouadio, 2019).

Variable	Description	Modèle, valeur et distribution	Sources
C	Concentration <i>E. coli</i> pathogènes par litre	Valeur log-normal d' <i>E. coli</i> pathogènes obtenue	Analyse microbiologique
V	Volume d'eau consommé par jour	Transformation en log-normal	Données enquêtes
E	Exposition à l'eau de boisson	$E = C * V$	Calcul
R	Dose-réponse	$P_{inf} = 1 - [1 + \frac{d}{d_{50}} (2^{\frac{1}{a}} - 1)]^{-a}$	(Sanaa & Cerf, 2002),
$P_{inf,j}$	Risque d'infection par jour	$E * r$	Calcul
PR	Taux de prévalence	% des puits contenant <i>E. coli</i> pathogènes	Analyse microbiologique
$P_{inf,A}$	Risque annuel d'infection	$1 - (1 - P_{inf,j})^{365} * PR$	(Thomas <i>et al.</i> , 2015)
P_{illinf}	Risque de maladie diarrhéique en cas d'infection	80 -100 %	(Qadri <i>et al.</i> , 2005)
P_{ill}	Risque de maladie diarrhéique par ans	$P_{inf,A} * P_{illinf}$	Calcul
P_p	Proportion des personnes exposées	% de personnes consommant l'eau de puits conservée dans les ménages	Données enquêtes
P_{illp}	Risque de maladie diarrhéique	$P_p * P_{ill}$	Calcul

Résumé

Le doute sur la qualité de l'eau du robinet fournie par la société de distribution d'eau de la Côte d'Ivoire (SODECI) dans la ville de Daloa, amène les populations à s'approvisionner à partir des sources alternatives (sources naturelles et puits traditionnels) qui pourraient exposer les populations à des maladies hydriques. L'objectif de cette étude est d'évaluer le risque sanitaire lié à la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits et de sources de Daloa. La méthodologie repose sur une enquête et une analyse des paramètres physico-chimiques et microbiologiques pendant la saison sèche et pluvieuse ainsi que la détermination du risque sanitaire lié aux nitrates et aux *E. coli* pathogènes. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel R studio et Excel. Les résultats de cette étude ont montré que le risque sanitaire lié aux nitrates pour les eaux de puits pendant la saison sèche à un quotient de danger (QD₉₀) supérieur à 1. Le résultat du risque sanitaire lié aux *E. coli* pathogènes montre que la consommation des eaux de puits et de sources présente un risque d'infection annuel par personne (0,99) et un risque de maladies diarrhéiques annuel par personne (0,77) supérieurs à la valeur acceptable de risque par an et par personne de l'OMS qui est de 10⁻⁴. Les populations sont donc exposées aux risques diarrhéiques et aux risques méthémoglobinémies en consommant les eaux de puits et de sources sans traitement.

Mots Clés : Daloa, eau, puits traditionnels, risque sanitaire, sources naturelles

ABSTRACT

Doubts about the quality of tap water supplied by the water distribution company of Côte d'Ivoire (SODECI) in the city of Daloa, leads the population to obtain water from alternative sources (natural springs and traditional wells) which could expose the population to waterborne diseases. The objective of this study is to assess the health risk related to the physico-chemical and microbiological quality of well and spring water in Daloa. The methodology is based on a survey and analysis of physico-chemical and microbiological parameters during the dry and rainy seasons as well as the determination of the sanitary risk related to nitrates and pathogenic *E. coli*. The data were processed using R studio and Excel software. The results of this study showed that the nitrate health risk for well water during the dry season has a hazard quotient (DQ₉₀) greater than 1. The health risk result for pathogenic *E. coli* shows that consumption of well and spring water has an annual per capita risk of infection (0.99) and an annual per capita risk of diarrheal disease (0.77) above the WHO acceptable per capita risk value of 10⁻⁴. Populations are therefore exposed to diarrheal and methemoglobinemia risks by consuming untreated well and spring water.

Key Words : Daloa, Water, traditional wells, health risk, natural springs