



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

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 : 0351

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0416000698

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

ETUDE COMPAREE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE PUIITS ET DE SOURCES NATURELLES DE LA VILLE DE DALOA (CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)

Présenté par :

KRE Yon Edwige

JURY

**Président : M. KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Directeur : M. DIBI Brou, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

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

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

Soutenu publiquement
le : 27 Février 2021



**UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE**

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

MASTER

Génie de l'Eau et de l'Environnement

THEME :

**ETUDE COMPAREE DE LA QUALITE PHYSICO-
CHIMIQUE DES EAUX DE Puits ET DE SOURCES
NATURELLES DE LA VILLE DE DALOA (CENTRE-
OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)**

Présenté par :

KRE Yon Edwige

JURY

**Président : M. KONAN-WAIDHET Arthur Brice, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Directeur : M. DIBI Brou, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

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

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

ANNEE ACADEMIQUE :

2019-2020

N° D'ORDRE : 0351

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0416000698

LABORATOIRE :

**SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT**

Soutenu publiquement

le : 27 Février 2021

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES 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. Climat.....	4
1.1.3. Hydrographie	4
1.1.4. Végétation et Sols	4
1.1.5. Contexte géologique et hydrogéologique	5
1.1.5.1. Aperçu géologique	5
1.1.5.2. Aspect hydrogéologique.....	6
1.1.6. Situation socio-économique.....	7
1.1.6.1. Populations de la ville de Daloa.....	7
1.1.6.2. Activités économiques	7
1.1.6.3. Approvisionnement en eau potable	8
1.2. Etat des connaissances sur le thème abordé	8
1.2.1. Puits et sources.....	8
1.2.1.1. Définition, classification et usages des puits.....	8
1.2.1.2. Généralités sur les sources naturelles	9
1.2.2. Quelques notions sur les paramètres physico-chimiques et chimique de l'eau	10
1.2.2.1. Paramètres physico-chimiques	10

1.2.2.2. Paramètres chimiques.....	11
1.2.3. Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines	13
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	14
2.1. Données et matériel	14
2.1.1. Données.....	14
2.1.1.1. Données climatiques	14
2.1.1.2. Données hydrochimiques	14
2.1.2. Matériel	14
2.1.2.1. Matériel d'échantillonnage.....	14
2.1.2.2. Matériel de laboratoire	15
2.1.2.3. Matériel de traitement de données	16
2.2. Méthodes	17
2.2.1. Echantillonnage.....	17
2.2.1.1. Choix des sites de prélèvement	17
2.2.1.2. Prélèvement d'échantillons d'eau	18
2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et chimiques	18
2.2.2.1. Mesures <i>in situ</i>	18
2.2.2.2. Mesures au laboratoire	18
2.2.2.3. Validation des mesures.....	19
2.2.3. Méthodes hydrochimiques	19
2.2.3.1. Analyse descriptive simple.....	19
2.2.3.2. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau.....	20
2.2.3.3. Détermination des faciès hydrochimiques	21
2.2.3.4. Analyse statistique multivariée	21
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	22
3.1. Résultats.....	22
3.1.1. Validité des mesures	22

3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et chimiques	22
3.1.2.1. Analyse descriptive simple.....	22
3.1.2.2. Qualité physico-chimique des eaux.....	24
3.1.3. Faciès hydrochimiques.....	27
3.1.4. Origine de la minéralisation des eaux	28
3.1.4.1. Classification hiérarchique ascendante (CHA)	28
3.1.4.2. Minéralisation globale des eaux de puits et sources	29
3.1.4.2.1. Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés	30
3.1.4.2.2. Valeurs propres et variance exprimée des facteurs.....	33
3.1.4.2.3. Cercle de communauté	34
3.2. Discussion.....	38
CONCLUSION	41
REFERENCES	42

DEDICACE

Les mots aussi expressifs soient-ils, restent faibles pour témoigner ma profonde gratitude :

A

Mon père **KRE Amani Freddy** qui a toujours cru en moi. Ton sens élevé de l'amour, du respect, de l'honneur, de la dignité et surtout du travail bien fait a fait de moi une femme respectable et respectueuse. Merci pour ton soutien aussi bien moral, matériel que financier. Jamais je ne saurais estimer les sacrifices et le dévouement que tu as consacrés à mon éducation et à mes études. Merci mon papa chéri !!!

A

Ma mère **ANTCHE Okon Joséphine** pour les efforts consentis, à l'amour et surtout à la prière dont elle a fait preuve longtemps pour que je sois où je suis.

A

Mes frères et sœur **KRE Constant De Muriel, KRE Yvan** et **ANTCHE Anne Christelle** qui souffraient de l'absence d'une grande sœur car étant loin d'eux.

Je vous dédie ce travail...

REMERCIEMENTS

Ce document, bien qu'il porte mes empreintes, est le fruit d'un parcours scolaire, secondaire et universitaire qui a connu bien des moments intéressants mais aussi des moments de peines. Ainsi, avant d'achever ce travail, qu'il me soit permis d'accorder ces pages à tous ceux qui, de près ou de loin, de façon volontaire ou involontaire, ont œuvré à notre formation et à sa réalisation. Il m'est agréable de leur exprimer ma gratitude. Mes remerciements vont à l'endroit des autorités de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa pour l'intérêt qu'elles ont porté à cette étude.

Je tiens particulièrement à remercier Madame **TIDOU Abiba Sanogo** épouse **KONE**, Professeur Titulaire et Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé pour sa bonne gouvernance.

Je remercie Monsieur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Professeur Titulaire, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement qui a accepté de remplir la tâche ardue qui consistait à conduire l'UFR. Je vous réitère mes sincères reconnaissances pour m'avoir inculqué l'amour du travail et surtout du travail bien fait.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur **DIBI Brou**, Maître de Conférences, Directeur du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) et Directeur Scientifique de ce travail, pour m'avoir accordé l'accès à son laboratoire, tous les équipements et surtout pour sa rigueur dans le travail.

Mes remerciements vont à l'endroit de Monsieur **KONAN-WAIDHET Arthur Brice**, Maître de Conférences, Président de ce travail, pour avoir accepté d'apporter sa contribution dans ce travail de recherche scientifique.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadreur Monsieur **EBLIN Sampah Georges**, Maître-Assistant, qui a accepté d'encadrer ce travail et m'a accordé toute son attention et sa patience.

Je tiens aussi à remercier Monsieur **KOUADIO Zilé Alex**, Maître de Conférences, Responsable du parcours Génie de l'Eau et de l'Environnement (GEE) pour tout ce qu'il fait pour l'avancement de ce parcours et pour l'insertion professionnelle des étudiants qui y passent.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Monsieur **MANGOUA Oi Mangoua Jules**, Maître de Conférences, Examineur de ce travail et Monsieur **KOUASSI Hervé**, Maître-

Assistant, respectivement Responsables de Master et de Licence du parcours Génie de l'Eau et de l'Environnement pour tous leurs efforts à l'égard de notre promotion.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les aînés du Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) pour leur soutien et encouragement, plus particulièrement à **KOFFI Bérenger, KOUADIO Kouamé Jean Olivier, TOURE Fabrice, OUEDE Blaise** et **KOUASSI Amino Anne Marie** qui ont bien voulu m'accompagner dans la rédaction de ce mémoire. Merci aussi à **OUATTARA Gningéri Souleymane** appelé affectueusement « mon encadreur du labo » de m'avoir accordé de son temps, sa connaissance et son soutien. Merci chers aînés, pour tout ! Que vous prospériez à tous égards !

A tous mes aimables amis de la filière Génie de l'Eau et de l'Environnement, je leur dis merci pour le soutien moral. 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 des personnes : **BROU Amena Prisca...Oui !**

LISTE DES ABREVIATIONS

ACPN	: Analyse en Composantes Principales Normées
BICICI	: Banque Internationale pour le Commerce et l'Industrie de la Côte d'Ivoire
BNI	: Banque Nationale d'Investissement
BSIC	: Banque Sahélo-Saharienne pour l'Investissement et le Commerce
CHA	: Classification Hiérarchique Ascendante
COOPEC	: Coopérative d'Epargne et de Crédit
HLPE	: Groupe d'Experts de Haut Niveau (the High-Level Panel of Experts)
INS	: Institut National de la Statistique
LSTE	: Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
SEQ-Eaux souterraines	: Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux Souterraines
SGCI	: Société Générale de Côte d'Ivoire
SIB	: Société Ivoirienne de Banque
SODECI	: Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire
UFR	: Unité de Formation de Recherche

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	: Indices caractéristiques des différents types de puits	9
Tableau II	: Méthodes d'analyse au laboratoire.....	19
Tableau III	: Indice de qualité et classe d'aptitude	20
Tableau IV	: Balance ionique.....	22
Tableau V	: Caractéristiques des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux	23
Tableau VI	: Indice par altérations des eaux de puits.....	25
Tableau VII	: Indices de qualité par altération des eaux de sources	25
Tableau VIII	: Qualité spécifique des eaux échantillonnées	26
Tableau IX	: Matrice de corrélation entre les variables dans les eaux de puits	31
Tableau X	: Matrice de corrélation entre les variables dans les eaux de sources.....	32
Tableau XI	: Valeurs propres, variances exprimées et cumul.....	33
Tableau XII	: Coefficients de corrélation des variables centrées réduites avec les facteurs .	33
Tableau XIII	: Coefficients de corrélation des paramètres chimiques avec les facteurs.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Localisation de la ville de Daloa	3
Figure 2	: Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1990-2017)	4
Figure 3	: Carte géologique du département de Daloa.....	5
Figure 4	: Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin	6
Figure 5	: Quelques cultures pratiquées à Daloa.....	7
Figure 6	: Retenue de la Lobo (Daloa, 2020).....	8
Figure 7	: Puits traditionnel à Huberson (Daloa)	9
Figure 8	: Source aménagée de Gbokora.....	10
Figure 9	: Matériel d'échantillonnage.....	15
Figure 10	: Quelque matériel de laboratoire.....	16
Figure 11	: Carte de répartition des points d'échantillonnage	17
Figure 12	: Familles chimiques des eaux de puits de la ville de Daloa.....	27
Figure 13	: Familles chimiques des eaux de sources de la ville de Daloa	28
Figure 14	: Dendrogramme horizontal des eaux de puits (a) et de sources (b).....	29
Figure 15	: Espace des variables dans les eaux de puits sur le plan factoriel F1-F2.....	35
Figure 16	: Espaces des variables dans les eaux de puits sur le plan factoriel F1-F3	35
Figure 17	: Espace des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F2	36
Figure 18	: Espaces des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F3.....	37
Figure 19	: Espace des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F4	37

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Valeurs seuils pour les différents paramètres de chaque altération..... a

Annexe 2 : Fiche d'enquête..... f

INTRODUCTION

Introduction

Dans la plupart des régions du monde, l'eau souterraine est d'une importance capitale (Soro *et al.*, 2019). En effet l'eau prélevée dans les nappes est utilisée en plus de l'approvisionnement en eau potable, en industrie et largement en agriculture (Youmbi *et al.*, 2012). Environ 70% de toutes les eaux souterraines utilisées vont à l'agriculture, principalement l'irrigation. À l'échelle mondiale, entre 20 et 40% des besoins en eau d'irrigation sont satisfaits par les eaux souterraines (AGW-Net, 2015 ; HLPE, 2015).

Dans les zones rurales d'Afrique l'eau souterraine est encore plus importante pour diverses raisons : elle est la principale source d'approvisionnement fiable et un tampon contre la sécheresse (Calow *et al.*, 2010). En Côte d'Ivoire, elle représente une ressource importante pour les activités agropastorales et pour l'alimentation en eau potable de certains ménages ; soit par des puits traditionnels, soit par des sources naturelles ou des forages (Ahoulé *et al.*, 2017). Aussi faut-il ajouter l'utilisation des eaux de surface pour les mêmes besoins dans la plupart des zones urbaines et rurales. Ainsi, pour l'usage domestique, l'eau va subir un traitement de potabilisation. De ce fait, l'eau souterraine qui traverse plusieurs couches au cours de son infiltration subit parfois un traitement partiel car jugée généralement de bonne qualité. Par contre, les eaux de surface sont exposées à la pollution et donc nécessitent un traitement complet. Selon Ebah (2014), plus de 60% de la population du pays est desservie en eau potable et un certain nombre n'a pas accès à cette ressource vitale. L'autre partie de la population non desservie a recours aux eaux de puits traditionnels, de surface, de source et de pluie.

Daloa, capitale de la région du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) est l'une des plus grandes villes de ce pays. Compte tenu des faibles débits des forages en zone de socle (Dibi, 2008), les eaux de surface (rivière Lobo) sont exploitées pour satisfaire les besoins en eau potable des populations de cette ville. Cependant, l'eau de la rivière Lobo, est très riche en matières organiques, micropolluants et autres substances toxiques. Cela est dû à l'enrichissement de l'eau par les engrais des exploitations agricoles situées en amont de la retenue (Yao, 2015 ; Ahoussi *et al.*, 2019). La non maîtrise par moment de ces éléments confèrent à l'eau de robinet un aspect organoleptique (couleur, odeurs, goûts) désagréable. Or, l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre aux caractéristiques suivantes : incolore, inodore, insipide, exempte de tous germes pathogènes (OMS, 2011 ; ORE, 2016). Par conséquent, 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 les eaux de sources naturelles et de puits traditionnels ; quand bien même que certaines études ont mis en exergue la vulnérabilité de ces ressources en eau dues aux facteurs naturels tels que la géologie, le degré de météorisation chimique de divers types de roche, la variation topographique, la variabilité hydro-climatique,

Introduction

combinés à divers facteurs humains (pression démographique, pratiques agricoles, exploitation des décharges incontrôlées et des systèmes d'assainissement) (Ligban, 2013 ; Adjiri *et al.*, 2019 ; Eblin *et al.*, 2019). Ainsi serait-il judicieux de connaître la qualité de ces eaux, les similitudes ou non qui existent entre elles et déterminer celles qui sont aptes pour la boisson ; d'où la nécessité de cette étude intitulée : « Etude comparée de la qualité physico-chimique des eaux de puits et sources naturelles de la ville de Daloa ». L'étude consiste à évaluer la qualité physico-chimique des eaux de puits traditionnels et de sources naturelles utilisées aux fins de consommation humaine, aux dépens de l'eau du réseau publique de la ville de Daloa. Plus spécifiquement, l'étude vise à :

- caractériser les paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux de puits et de sources naturelles de la ville de Daloa ;
- déterminer les faciès hydrochimiques des eaux de puits et de sources naturelles de la ville de Daloa ;
- déterminer l'origine de la minéralisation de ces deux types d'eaux.

Pour une meilleure compréhension, ce mémoire est subdivisé en trois parties structurées comme suit :

- la première partie traite des généralités sur la zone d'étude et des connaissances sur le thème ;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de l'étude ;
- la troisième partie analyse et interprète les principaux résultats obtenus, suivi de leur discussion.

Une conclusion qui fait la synthèse des principaux résultats obtenus suivie des perspectives et des références met fin à ce travail.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

Généralités

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Situation géographique

Située au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire, la ville de Daloa a une superficie de 5 305 km² et est localisée géographiquement entre les longitudes 6°25' à 6°29' Ouest et les latitudes 6°50' à 6°55' Nord et fait partie de la région du Haut-Sassandra. C'est la troisième ville la plus peuplée de la Côte d'Ivoire (INS, 2018) après Abidjan et Bouaké (Figure 1).

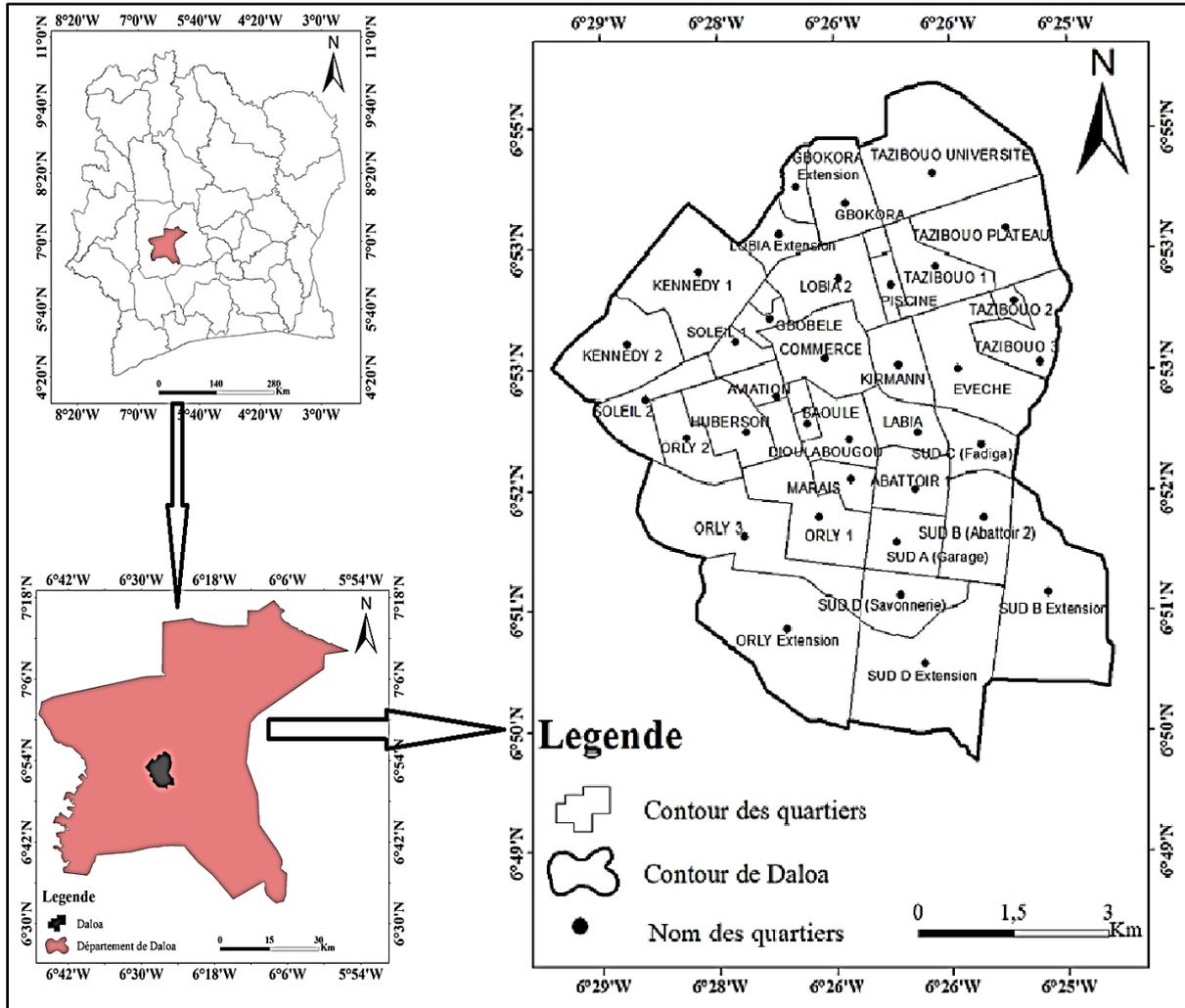


Figure 1 : Localisation de la ville de Daloa

Généralités

1.1.2. Climat

Le climat de la région est de type tropical à deux (2) saisons : une saison des pluies de mars à octobre et une saison sèche allant de novembre à février. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25°C en juillet et 28°C en février (Figure 2). Ce climat est caractérisé par de fortes précipitations. Les précipitations minimales moyennes sont de 13mm en janvier et deux (2) maxima de 150 mm en juin et 167 mm en septembre.

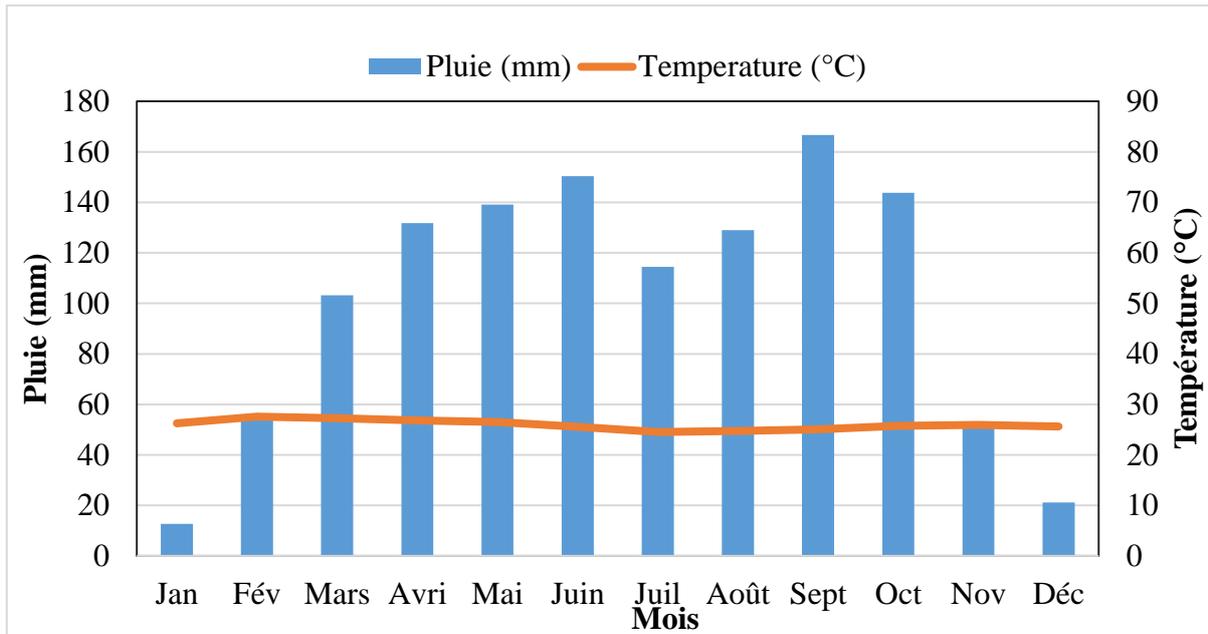


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la station de Daloa (1990-2017)

1.1.3. Hydrographie

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

1.1.4. Végétation et Sols

C'est une zone forestière, sempervirente ; d'où le nom de "cité verte" qui lui est parfois attribué. Sa végétation homogène contient des espèces de bois très recherchés et une diversité de ressources agricoles (Adjiri *et al.*, 2019). Cependant, la dégradation de cette forêt est accélérée par l'intensification des cultures de rente (cacao, café, palmier à huile et hévéa). Les pratiques culturales extensives et itinérantes ainsi que l'exploitation non contrôlée des essences forestières ont fait reculer les limites de cette forêt. Cette situation perturbe gravement le climat de cette localité avec une incidence sur les ressources en eau mobilisables (Die, 2006).

Généralités

Les sols présents à Daloa sont de types remaniés et hydromorphes. Les premiers occupent plus de 90 % de la superficie. Ils sont généralement ferrallitiques et issus de l'altération des granites. Quant aux sols hydromorphes, ils s'observent le long des cours d'eaux et dans les bas-fonds. Les aptitudes physiques et chimiques de ces deux types de sols sont favorables à la plupart des cultures comme le café, le cacao, l'hévéa, le riz... (Adjiri *et al.*, 2020).

1.1.5. Contexte géologique et hydrogéologique

1.1.5.1. Aperçu géologique

On distingue dans la région de Daloa, plusieurs formations géologiques bien distinctes (Figure3). Elles appartiennent principalement au socle précambrien et se regroupent en deux grandes entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques. Les roches magmatiques sont représentées par les granitoïdes : granites à biotite, granites à chlorite, albite et muscovite. Les leucogranites, les granodiorites et les dioritoïdes sont essentiellement constituées de diorites quartziques à albite. Quant aux roches métamorphiques rencontrées, elles sont dominées par des migmatites dont les faciès sont de type migmatites anciennes, gneiss migmatitiques, migmatites rubanées et leucomigmatites. Aussi, sont présents des ensembles schisteux constitués de schistes argileux, gréseux et de grès feldspathiques (Adjiri *et al.*, 2020).

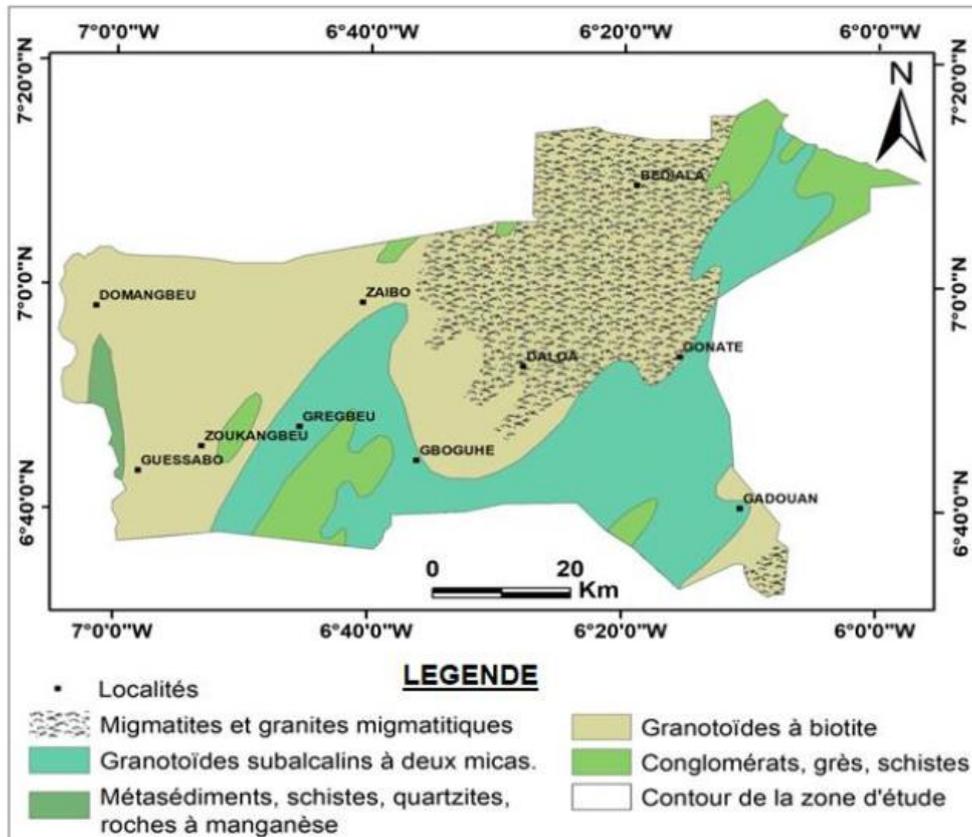


Figure 3 : Carte géologique du département de Daloa (Adjiri *et al.*, 2020)

Généralités

1.1.5.2. Aspect hydrogéologique

Il existe généralement les aquifères composites en milieu de socle : les aquifères d'altérites (superficiels) et les aquifères fracturés (Figure 4) (Koita, 2010 ; Soro *et al.*, 2010). Les altérites 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). 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 (Ligban *et al.*, 2009). 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 (Gnamba *et al.*, 2014). 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...).

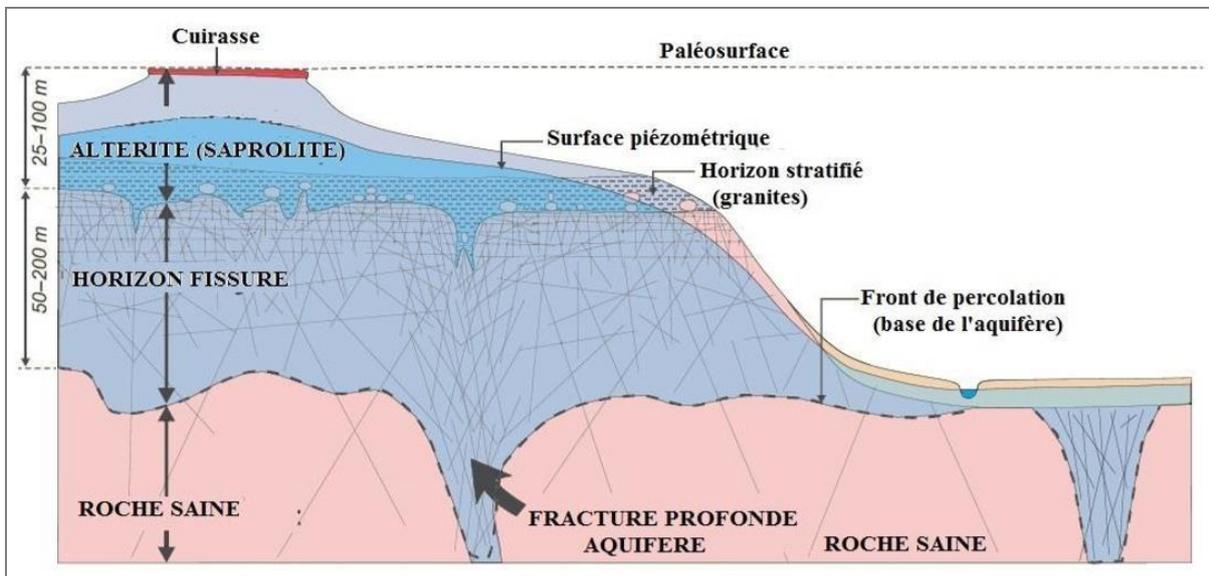


Figure 4 : Schéma simplifié des aquifères sur socle cristallin (Lachassagne *et al.*, 2011)

Généralités

1.1.6. Situation socio-économique

1.1.6.1. Populations de la ville de Daloa

En 2018, la ville de Daloa comptait près de 255 734 habitants (INS, 2018). Ce centre urbain est le siège administratif de l'autorité régionale. De ce fait, elle reçoit plusieurs migrants d'origines diverses avec des modes de vie et des conditions sociales différents sur son territoire. La ville de Daloa a accueilli essentiellement des populations déplacées internes en provenance des régions des 18 Montagnes et du Haut Sassandra suite à la crise militaro-politique déclenchée en septembre 2002 (Koukougnon, 2013).

1.1.6.2. Activités économiques

- Au plan économique, la ville de Daloa se trouve dans la zone agricole la plus productive du pays et bénéficie d'infrastructures routières permettant un trafic régulier de produits vivriers (Koukougnon, 2013). Située en zone de forêt, la ville de Daloa est une zone de forte production vivrière. Elle constitue ainsi une source d'approvisionnement pour la région et l'ensemble du territoire ivoirien. Les cultures pratiquées sont : l'hévéa (Figure 5A), le cacao (Figure 5B), le palmier à huile (Figure 5C), le riz irrigué (Figure 5D). Le cheptel se compose de bovins, d'ovins et de porcins. On y pratique également la pisciculture et l'apiculture.

- Au niveau du Commerce, Daloa a sur son territoire neuf marchés dont 3 grands marchés de plus de trois mille (3000) places où s'exercent différentes activités commerciales et l'on note aussi la présence des commerces dans les différents quartiers de la ville.

- Les Etablissements bancaires représentés à Daloa sont les suivants : SGCI, BICICI, BANQUE ATLANTIC, BSIC, ECOBANK, BNI, SIB, COOPEC...

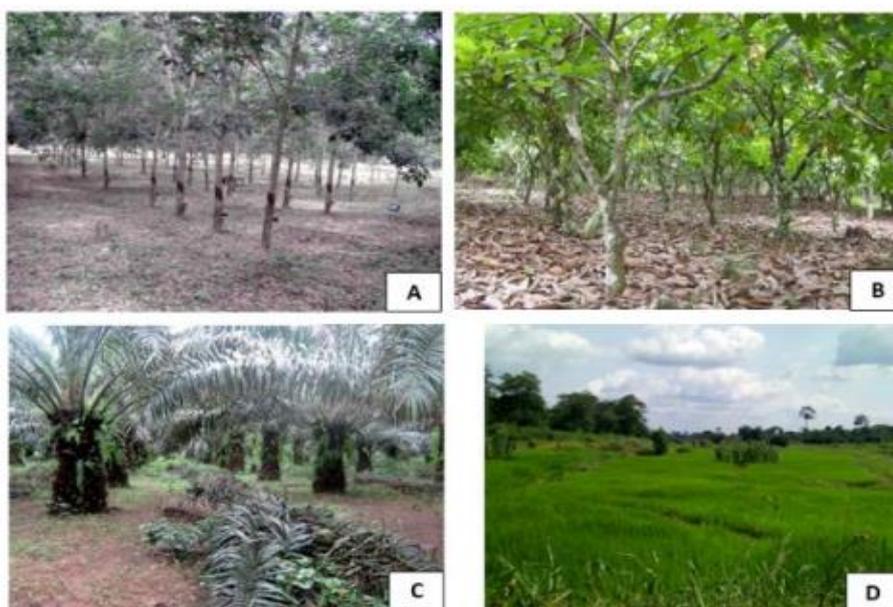


Figure 5 : Quelques cultures pratiquées à Daloa

Généralités

1.1.6.3. Approvisionnement en eau potable

L'approvisionnement en eau potable des populations de la ville de Daloa est assuré par les eaux de surface. Il s'agit de la retenue d'eau sur la rivière Lobo (Figure 6). Cette retenue est située à 25 km de la ville de Daloa. La retenue est captée, traitée et restituée à la population par la Société de Distribution d'Eau en Côte d'Ivoire (SODECI). Cependant, l'intensification de l'agriculture par l'utilisation massive d'intrants chimiques pour améliorer le rendement occasionne la pollution de cette retenue. En effet, elle subit une importante pollution due à l'utilisation d'engrais dans les exploitations agricoles situées en amont. Cela entraîne la prolifération des plantes aquatiques. Aussi, cette retenue fait face à un envasement dont la conséquence est le rétrécissement du lit du cours d'eau dans la zone du seuil et le ralentissement de la vitesse d'écoulement de l'eau et (Yao, 2015).



Figure 6 : Retenue de la Lobo (Daloa, 2020)

1.2. Etat des connaissances sur le thème abordé

1.2.1. Puits et sources

1.2.1.1. Définition, classification et usages des puits

Un puits (Figure 7) est un trou vertical, généralement cylindrique, permettant d'atteindre la nappe phréatique. Il constitue de ce fait un ouvrage de captage d'eau souterraine. Le puits est composé principalement d'équipements de surface (margelle, couvercle, treuille...), d'un cuvelage qui le protège de l'effondrement des parois et d'une colonne de captage de la nappe (Sampson, 2015). Il est caractérisé par sa profondeur et son diamètre. Ces caractéristiques permettent de distinguer généralement les puits forés à la sondeuse, les puits à pointe filtrante, les puits forés à la tarière et les puits creusés par des outils traditionnels (Tableau I). Par ailleurs,

Généralités

la majorité des puits creusés par les outils traditionnels en Afrique de l'Ouest ne disposent en général pas de tous les équipements de protection.



Figure 7 : Puits traditionnel à Huberson (Daloa)

Tableau I : Indices caractéristiques des différents types de puits (Sampson, 2015)

Diamètre du tubage	Profondeur (p)	Types de puits
Très faible diamètre 2,5-5 cm	$1 < p < 2$ m	Puits à pointe filtrante
Faible diamètre 10 - 20 cm	$4 < p \leq 8$ m	Puits forés à la sondeuse
Grand diamètre 60 - 120 cm	$p \leq 9$ m	Puits creusés par des outils traditionnels
Grand diamètre 60 - 120 cm	$15 \text{ m} \leq p \leq 30$ m	Puits forés à la tarière

1.2.1.2. Généralités sur les sources naturelles

Une source (Figure 8) désigne une sortie, un suintement, une émergence ou un exutoire ponctuel ou diffus d'eaux souterraines à la surface du sol. Les sources sont généralement à l'origine des cours d'eau. Ils peuvent être classifiées suivant :

✓ Les conditions hydrogéologiques d'émergence

Il existe 7 principaux types d'émergence des eaux souterraines : sources de contact ; de faille ; de fracture ; de plissement ; de variation des faciès ; de pointements d'obstacle et d'étranglement de faciès.

✓ La continuité ou non de l'écoulement

On distingue :

- les sources intermittentes, elles tarissent en saison sèche ;
- les sources pérennes, elles émergent toute l'année.

Généralités

✓ Les caractéristiques physico-chimiques

A partir de la composition physico-chimique des eaux, on distingue :

- les sources peu minéralisées ;
- les sources minérales ;
- les sources thermales et les sources thermominérales.



Figure 8 : Source aménagée de Gbokora

1.2.2. Quelques notions sur les paramètres physico-chimiques et chimique de l'eau

1.2.2.1. Paramètres physico-chimiques

- **Température**

La température est un paramètre de confort pour les usagers et donne une idée sur l'origine et l'écoulement de l'eau. Elle accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. Ainsi, un changement brusque de ce paramètre physique de l'eau peut s'avérer néfaste (Tanoh, 2019).

- **pH**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau, c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Il constitue un facteur limitant pour les processus d'épuration (survie des bactéries, nitrification, précipitation du phosphore) (Tanoh, 2019).

Généralités

- **Conductivité électrique**

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Elle constitue un indicateur du degré de la minéralisation globale des eaux car la plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Par contre, les composés organiques sont de mauvais conducteurs. Elle dépend des charges de matières organiques endogènes et exogènes génératrices de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, de la température. Elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (Tanoh, 2019).

1.2.2.2. Paramètres chimiques

- **Fer**

Le fer (Fe^{2+}) est un ion métallique essentiel pour la nutrition tout comme le manganèse (Mn^{2+}). La présence de fer dans l'eau a de multiples inconvénients non pour la santé mais pour des raisons d'esthétique. A une concentration trop élevée dans l'eau, il a des conséquences semblables à celles du manganèse (Mn^{2+}) : colore le linge, donne à l'eau un goût prononcé, fait apparaître la rouille dans les installations, favorise la croissance des ferro-bactéries sur les parois des conduites (Tanoh, 2019).

- **Manganèse**

Le manganèse (Mn^{2+}) est un ion métallique. C'est un élément essentiel à la nutrition mais à un niveau dépassant la norme peut causer des désagréments. Il favorise la croissance des bactéries sur les parois des conduites et cause une odeur surtout dans l'eau chaude, laisse des tâches sur les linges lors de la lessive (Tanoh, 2019).

- **Ammonium, nitrates et nitrites**

L'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-) sont des composés azotés. Leurs présences dans les eaux de puits sont principalement liées aux effluents domestiques, industriels et à l'usage des engrais (Czekaj *et al.*, 2015).

- Des teneurs élevées d'ammonium témoignent d'une pollution d'origine humaine récente. Cependant, cet élément proviendrait aussi de la dissolution des feldspaths.

- Les nitrites proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'ammonium, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et leurs présences d'origine naturelle est très rare (Atteia, 2005). Un excès de

Généralités

nitrites dans les eaux de boisson peut provoquer certains cas de méthémoglobinémie pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon (OMS, 2011).

- Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'ammonium en milieu aérobie (Bonton *et al.*, 2010 ; Sallenave, 2017). Ce sont des polluants azotés souvent rencontrés dans les eaux à des concentrations élevées à cause de leur forte mobilité (Nolan, 2001). En effet, ils sont facilement lixiviables et atteignent facilement les eaux souterraines (Alami *et al.*, 2007). Leur concentration dans les eaux souterraines varie donc en fonction de la perméabilité des terrains traversés. Les nitrates peuvent aussi produire la nitrosamine qui est un composé cancérigène.

- **Chlorures (Cl)**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Leur présence dans l'eau de boisson indique qu'ils proviennent de sources naturelles, d'eaux usées et d'effluents industriels, de rejets urbains contenant du sel de déneigement et d'intrusions d'eau saline (OMS, 2017). La présence de chlorures en concentration élevée dans l'eau peut lui donner un goût désagréable.

- **Calcium**

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4). La concentration en Ca^{2+} est déterminée dans une eau pour des raisons esthétiques et de santé. Une eau à concentration élevée en calcium forme des sels de calcium insolubles et inactifs lors de la lessive, ce qui augmente la consommation de savons. De plus, elle augmente le temps de cuisson des légumes par formation de pectates insolubles. En revanche, l'insuffisance de calcium peut entraîner des maladies cardio-vasculaires (Tanoh, 2019).

- **Magnésium**

Le magnésium (Mg^{2+}) a une grande importance biologique car il entre dans la constitution des os et intervient dans certains systèmes enzymatiques et dans la biogénèse de certaines hormones (Rodier, 2009). A forte concentration, le magnésium confère à l'eau une saveur amère et entraîne une action laxative chez l'homme, surtout chez les enfants (Tanoh, 2019).

- **Sulfates**

Les sulfates (SO_4^{2-}) sont présents dans la plupart des eaux naturelles. De fortes concentrations de sulfates caractérisent les eaux souterraines des nappes situées dans les assises de schistes, de gypses et dans d'autres roches contenant des sulfures (Rodier, 2009).

Généralités

Ils peuvent provenir aussi des déchets industriels (Atteia, 2005). Une eau contenant une teneur élevée de sulfates produira des effets laxatifs chez l'homme (OMS, 2017).

1.2.3. Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (SEQ-Eaux Souterraines)

Le SEQ-Eaux Souterraines est un outil utilisé pour caractériser l'état physico-chimique des eaux souterraines. Ce système permet d'obtenir une image globale de la qualité des eaux. Il définit les aptitudes à satisfaire les équilibres biologiques et les différents usages de l'eau. Le SEQ-Eaux Souterraines permet de définir des classes de qualité à partir des seuils de concentrations définis. Ces seuils de concentrations varient en fonction des usages de l'eau. Le SEQ-Eaux Souterraines est basé sur deux (02) grandes notions (Agences de l'eau, 2003) :

- Les altérations : elles sont au nombre de 14 (annexe1) pour l'usage production d'eau potable et regroupent des paramètres physico-chimiques polluants de même nature ou ayant les mêmes effets sur les milieux aquatiques.
- Les usages et fonctions : susceptibles d'être perturbés par les altérations ; ils comprennent la fonction potentialités biologiques et les usages (alimentation en eau potable, abreuvement, irrigation et aquaculture) et l'état primordial.

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

Matériel et Méthodes

2.1. Données et matériel

2.1.1. Données

Les données utilisées dans cette étude concernent les données climatiques et hydrochimiques.

2.1.1.1. Données climatiques

Il s'agit des données de pluies et de températures sur les périodes de 1990 à 2017. Elles ont été fournies par le Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE).

2.1.1.2. Données hydrochimiques

Les données hydrochimiques concernent les paramètres physico-chimiques et chimiques. Comme paramètres physico-chimiques, il s'agit de la température (T), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), le potentiel rédox (Eh), les solides totaux dissous (TDS) et l'oxygène dissous (OD) qui ont été mesurés *in situ* à l'aide de multi-paramètres portatifs. Pour les paramètres chimiques, on a : les nitrates (NO₃), les nitrites (NO₂), l'ammonium (NH₄), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le sulfate (SO₄), le phosphate (PO₄), le zinc (Zn), l'hydrogénocarbonate (HCO₃), l'aluminium (Al), les chlorures (Cl), le sodium (Na) et le potassium (K) mesurés à l'aide du Spectrophotomètre DR Hach 6000. Ces paramètres mesurés sont ceux de dix (10) sources et dix-neuf (19) puits localisés dans la ville de Daloa pendant la période sèche de l'année 2020 (Novembre).

2.1.2. Matériel

2.1.2.1. Matériel d'échantillonnage

Le matériel d'échantillonnage est constitué de (Figure 8) :

- un GPS de marque Garmin a été utilisé pour la géolocalisation des points à échantillonner ;
- un multiparamètre portatif de marque HQ 40d avec quatre (4) sondes pour la mesure *in situ* des paramètres physico-chimiques ;
- un bloc-notes a servi à noter les valeurs obtenues ;
- des flacons en polyéthylènes pour le prélèvement des échantillons d'eau ;
- un ruban adhésif pour l'étiquetage des flacons d'eau ;
- une glacière pour la conservation des échantillons d'eau pour des analyses au laboratoire.

Matériel et Méthodes



Figure 9 : Matériel d'échantillonnage

2.1.2.2. Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé au laboratoire (LSTE) pour la détermination des paramètres chimique est constitué (Figure 9) :

- des verreries de 250 ml, 100 ml et 50 ml pour contenir les échantillons d'eau ;
- un propipette de 10 ml pour prélever les doses de réactifs tel que le cyclohexanone ;
- un titrateur digital Hach pour déterminer les paramètres tels que : Ca/Mg, HCO_3 , Cl ;

Matériel et Méthodes

- un spectrophotomètre (Hach Lange DR 6000) pour mesurer des concentrations des paramètres chimiques dosés ;

- des réactifs qui sont entre autres :

- le Zincover5 et la solution de cyclohexanone qui ont été utilisés pour doser le Zinc ;
- le Phosver3 pour la détermination du phosphore ;
- l'indicateur de dureté Manver pour déterminer le manganèse ;
- le Calver2 et le vert de bromocrésol-rouge de méthyle (indicateur) ont servi pour doser le calcium ;
- trois (3) réactifs (Acide ascorbique, Aluver3 et Bleaching3 reagent) ont été utilisés pour déterminer l'aluminium...



Figure 10 : Quelques matériels de laboratoire

2.1.2.3. Matériel de traitement de données

Les différents résultats des analyses physico-chimiques sont traités à partir des logiciels de traitement de données tels que :

- **Office Excel 2016** utilisé pour calculer la balance ionique ;
- **DIAGRAMME 5.0** qui constitue un logiciel de modélisation hydrochimique conçu par a permis de réaliser le diagramme de Piper afin de déterminer les faciès hydrochimiques ;
- **STATISTICA 7.1** qui est un logiciel de traitement statistique des données a permis de réaliser les matrices de corrélations, les différents cercles de communauté des plans factoriels afin de connaître l'origine de la minéralisation ;

Matériel et Méthodes

- L'outil SEQ-Eaux souterraines 0.1 a été utilisé pour évaluer la qualité de l'eau au travers de l'indice de qualité et des classes d'aptitude ;

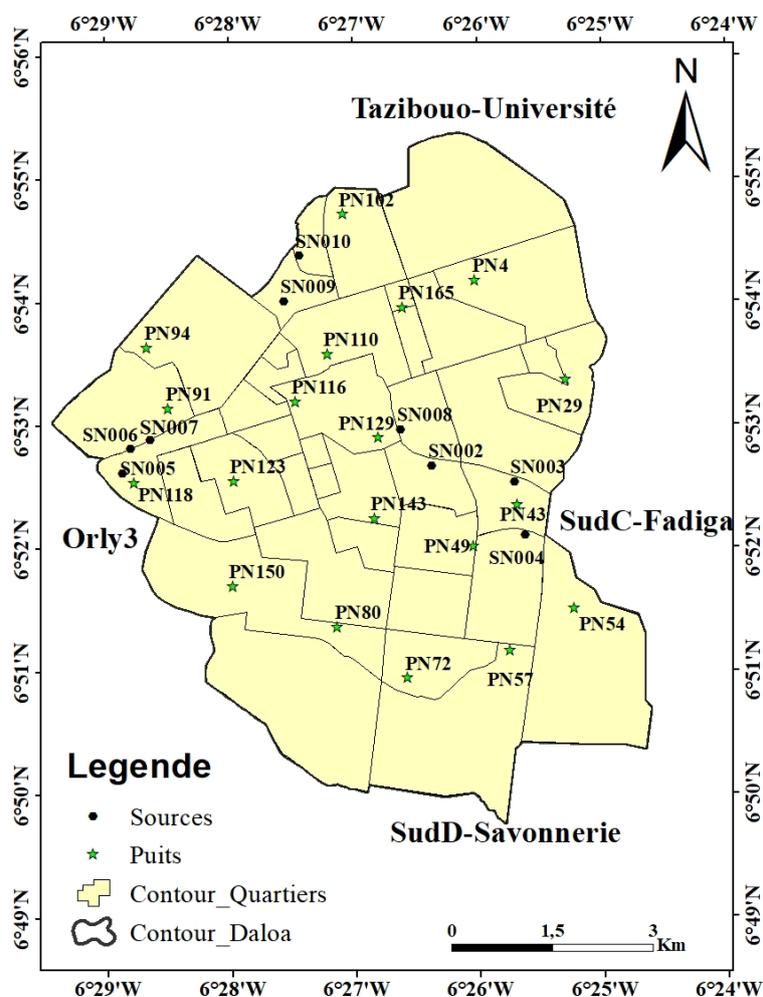
- ArcGis 10.4.1 a servi pour la réalisation des cartes.

2.2. Méthodes

2.2.1. Echantillonnage

2.2.1.1. Choix des sites de prélèvement

Une enquête préliminaire a été menée dans les différents quartiers en vue d'identifier l'origine des problèmes liés à l'eau de puits et de sources. Les observations et questions ont porté sur la protection des sources d'eau contre les sources de pollution, les activités pratiquées et les diverses utilisations de l'eau (Annexe 2). Pour ce faire, ces puits et sources ont été choisis de manière à avoir une image représentative de la qualité de ces eaux dans la ville de Daloa (Figure 10).



Matériel et Méthodes

2.2.1.2. Prélèvement d'échantillons d'eau

Lors de la campagne d'échantillonnage, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de capacité 1 litre, préalablement lavées à l'acide nitrique puis à l'eau distillée. Sur le terrain, avant le remplissage des flacons, ceux-ci ont été lavés trois fois avec l'eau à prélever. Le remplissage des flacons a été fait à ras bord puis fermer hermétiquement afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les échantillons d'eau ont été ensuite transportés dans une glacière à 4 °C au laboratoire pour analyse.

2.2.2. Détermination des paramètres physico-chimiques et chimiques

2.2.2.1. Mesures *in situ*

Lors des prélèvements, les paramètres physico-chimiques des eaux tels que la température (T), le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), l'oxygène dissous (OD), les Solides Totaux Dissous (TDS) et le potentiel redox (Eh) sont mesurés *in situ*. Cette mesure a été faite dans un récipient préalablement rincé, dans lequel il contenait les échantillons d'eaux de puits et de sources. L'appareillage utilisé sur le terrain est constitué d'un pH-mètre Hach pour la mesure du pH, d'un conductimètre Hach pour la mesure de la conductivité électrique (CE), de la température (T), d'une sonde ORP Hach pour le potentiel redox et une sonde LDO Hach pour la mesure des solides totaux dissous (TDS). La valeur est prise lorsque celle-ci se stabilise totalement. Ces échantillons sont étiquetés par des codes (P1,2,3... pour les puits et S1,2,3... pour les sources) et transportés au laboratoire pour les analyses.

2.2.2.2. Mesures au laboratoire

Les méthodes d'analyse des paramètres chimiques sont présentées dans le Tableau II. Les ions sulfates, nitrates, fer, manganèse, ammonium, nitrites, orthophosphore, zinc ont été dosés par spectrométrie d'absorption moléculaire. Le dosage des ions magnésium, calcium, chlorures et hydrogénocarbonates a été effectué par la méthode titrimétrie. Les eaux échantillonnées concernent 19 puits et 10 sources en Novembre 2020. Les différentes analyses se sont effectuées au Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

Matériel et Méthodes

Tableau II : Méthodes d'analyse au laboratoire

Paramètres	Méthodes	Normes
Nitrate, Phosphate	Spectrométrie d'absorption moléculaire	NFT 90 012
Ammonium,	Spectrométrie d'absorption moléculaire	NFT 90 015
Sulfate	Spectrométrie d'absorption moléculaire	NFT 90 040
Chlorures	Titrimétrie	NFT 90 014
Sodium/ Potassium	Spectrométrie d'absorption atomique	NFT 90 020
Calcium/ Magnésium	Titrimétrie	NFT 90 036
Fer	Spectrométrie d'absorption moléculaire	NFT 90 017
Hydrogénocarbonate	Titrimétrie	NFT 90 036

2.2.2.3. Validation des mesures

La validation des mesures se fait par le calcul de la balance ionique. C'est une méthode utilisée pour vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Ce calcul se fait par la vérification de l'échelle des anions majeurs (HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- et SO_4^{2-}) et des cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+). En théorie, la somme des anions exprimée en méq/L doit correspondre exactement à la somme des cations également exprimée en méq/L (Walter, 2010). Le calcul se traduit par l'équation 1 suivante :

$$\text{BI} = \sum \text{anions} = \sum \text{cations} \quad (1)$$

Cependant, une balance ionique (BI) parfaitement équilibrée s'obtient rarement. Alors, il est nécessaire de déterminer le pourcentage d'erreur (ERR) suivant l'équation 2 :

$$\text{ERR} = \frac{\sum \text{cation} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \times 100 \quad (2)$$

- si $\text{ERR} < 5\%$, alors l'analyse est jugée satisfaisante ;
- si $5\% < \text{ERR} < 10\%$, alors l'analyse est jugée acceptable ;
- si $\text{ERR} > 10\%$, alors l'analyse est douteuse et doit être reprise pour revérification.

2.2.3. Méthodes hydrochimiques

2.2.3.1. Analyse descriptive simple

Cette méthode consiste à déterminer la variation spatiale des différents paramètres physico-chimiques à partir de leurs valeurs maximales, moyennes et minimales en les comparant aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé. En effet, l'eau de consommation

Matériel et Méthodes

humaine doit respecter les limites de qualité physicochimique fixées par l’OMS. Ces limites de qualité sont en fait des limites de sécurité sanitaire exprimées, pour chaque substance chimique jugée dangereuse pour la santé et uniquement celles-ci, en limite maximale par litre d’eau. Pour ce faire, le logiciel STATISTICA 7.1 a été utilisé pour déterminer les valeurs maximales, moyennes et minimales de chaque paramètre aussi bien pour les eaux de puits que celles des sources.

2.2.3.2. Evaluation de la qualité physico-chimique de l’eau

Le Système d’Évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines ou SEQ-Eaux Souterraines, est un outil utilisé pour caractériser l’état physico-chimique des eaux souterraines par la détermination de l’indice de qualité de chaque paramètre, de l’indice global de qualité et des classes d’aptitude. Un des objets de l’indice global de qualité est de traduire de manière simple, la qualité d’une eau. Pour cela, les valeurs de concentrations de chacun des paramètres susceptibles de contribuer à l’évaluation de la qualité d’une eau, sont transformées en une unité commune sans dimension qui varie entre 0 (eau de mauvaise qualité) à 100 (eau de très bonne qualité). En fonction de la valeur de cet indice, il est attribué une classe de qualité matérialisée par l’une des 4 couleurs suivantes (Tableau III). Le SEQ-Eaux Souterraines prend en compte 22 paramètres concernant les paramètres physico-chimiques. Cependant, dans cette étude, 12 paramètres physico-chimiques (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , OD, pH, CE, Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- et K^+) ont été utilisés. Cela du fait que certains paramètres n’ont pas été pris en compte.

Tableau III : Indice de qualité et classe d'aptitude (Agences de l'eau, 2003)

Classe	Indice de qualité	Classes d’aptitude
Bleu clair ]75 – 100]	Eau de qualité optimale pour être consommée
Bleu foncé ]50 - 75]	Eau de qualité acceptable, mais pouvant le cas échéant, faire l’objet d’un traitement de désinfection
Jaune ]25 - 50]	Eau non potable nécessitant un traitement de potabilisation
Rouge 	[0 - 25]	Eau inapte à la production d’eau potable

Matériel et Méthodes

2.2.3.3. Détermination des faciès hydrochimiques

La méthode hydrochimique nécessaire pour la classification des eaux est l'utilisation du diagramme de Piper sous le logiciel Diagramme 5.0. (Kouzana *et al.* (2007) ; Oga *et al.* (2009) ; Ahoussi *et al.* (2012b, 2013)). Ainsi, le diagramme de Piper est utilisé pour déterminer les différentes classes des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa ainsi que l'évolution de leur chimisme face aux polluants urbains. La classification chimique des eaux est basée sur une répartition graphique des cations majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , (Na^+ et K^+)) et anions majeurs (HCO_3^- , (Cl^- et NO_3^-), SO_4^{2-}) dans le diagramme triangulaire de Piper.

2.2.3.4. Analyse statistique multivariée

L'approche statistique utilisé dans ce travail est basée sur la classification Hiérarchique Ascendante (CHA) et l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN).

- la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) est utilisée pour le regroupement des eaux et l'identification des facteurs responsables de ces regroupements (Yidana *et al.*, 2008 ; AW S. *et al.*, 2011).

- l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN) est une méthode hydrochimique qui a permis l'étudier des phénomènes à l'origine de la minéralisation des eaux dans ce travail. En effet, L'ACPN est une analyse factorielle, en ce sens qu'elle produit des facteurs (ou axes principaux) qui sont des combinaisons linéaires des variables initiales, hiérarchisées et indépendantes les unes des autres. On appelle parfois ces facteurs des « dimensions latentes », du fait qu'ils sont « l'expression de processus généraux dirigeant la répartition de plusieurs phénomènes qui se retrouvent ainsi corrélés entre eux » (Guerrien, 2003). Cette analyse a pour but de comprendre les corrélations qui existent entre les différentes variables prises deux à deux, de choisir les différents axes factoriels, la contribution de chaque variable à la constitution des axes factoriels et les différents mécanismes qui interviennent dans la minéralisation des eaux souterraines. Les analyses ont porté sur 21 paramètres tels que : T, pH, Eh, OD, TDS, CE, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Al^{3+} , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} et Zn^{2+} . Ces analyses statistiques sont réalisées sous le logiciel STATISTICA 7.1.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats et Discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Validité des mesures

La balance ionique entre les cations majeurs et les anions majeurs est résumée dans le Tableau IV.

Tableau IV : Balance ionique

Puits	Cation méq/L	Anion méq/L	ERR %	Sources	Cation méq/L	Anion méq/L	ERR %
P1	1 932,9	4 802,1	-42,6	S1	1 307,9	5 317,7	-60,5
P2	1 831,6	7 145,2	-59,2	S2	1 067,2	3 539,2	-53,7
P3	1 569,3	3 254,5	-34,9	S3	864,4	2 305,9	-45,5
P4	2 230,8	6 138,7	-46,7	S4	704,5	1 389,5	-32,7
P5	1 797,0	4 992,8	-47,1	S5	732,3	2 407,8	-53,4
P6	1 272,1	2 655,7	-35,2	S6	677,2	2 772,1	-60,7
P7	3 015,9	28 576	-80,9	S7	518,1	5 263,8	-82,1
P8	846,73	3 176,9	-57,9	S8	399,8	3 302,5	-78,4
P9	1 021,8	2 967,2	-48,8	S9	363,2	2 120,9	-70,8
P10	2 211,3	10 254,1	-64,5	S10	420,6	3 292,2	-77,3
P11	1 636,5	3 301,3	-33,7				
P12	4 360,6	32 975,9	-76,6				
P13	2 928,9	7 700,7	-44,9				
P14	801,98	2 644,6	-53,5				
P15	3 180,1	9 144,2	-48,4				
P16	3 500,6	31 000	-79,7				
P17	1 069,8	2 238,6	-35,3				
P18	1 228,1	3 717,9	-50,3				
P19	671,9	2 098,3	-51,5				

Il existe un déficit au niveau des cations pour l'ensemble des eaux échantillonnées. Cela a permis de calculer le pourcentage d'erreur. La lecture de ce résultat se fait en valeur absolue. Donc, il est en moyenne largement supérieur à 5% pour l'ensemble des données, démontrant ainsi que l'analyse est douteuse et doit être reprise pour revérification.

3.1.2. Caractéristiques physico-chimiques et chimiques

3.1.2.1. Analyse descriptive simple

Les résultats d'analyse descriptive simple sur les paramètres physico-chimiques des eaux de puits et de sources de Daloa sont présentés dans le Tableau V.

Résultats et Discussion

Tableau V : Caractéristiques des paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux

	Puits			Sources			OMS (2017)
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	
T	28,34 ± 0,63	27,10	29,50	28,44 ± 0,58	27,40	29,50	25
pH	5,34 ± 0,62	3,64	6,32	4,89 ± 0,18	4,40	5,04	6,5-8,5
CE	409,99 ± 521,2	70,50	1868	114,6 ± 52,19	61,90	228,00	
OD	3,88 ± 1,32	1,81	6,08	1,98 ± 1,02	1,05	4,14	
Eh	284,22 ± 43,19	176,50	336,80	314,3 ± 31,26	255,40	358,40	
TDS	49,67 ± 17,87	24,40	80,30	27,03 ± 13,1	19,20	55,10	<600
NO₃	80,84 ± 110,1	5,70	485,10	37,51 ± 21,2	13,80	76,70	50
NO₂	0,27 ± 0,53	0,02	1,75	0,07 ± 0,10	0,02	0,33	3
NH₄	0,84 ± 2,02	0,00	8,88	0,22 ± 0,23	0,00	0,70	<35
PO₄	0,83 ± 0,39	0,09	1,47	0,96 ± 0,36	0,39	1,53	5
Na	24,09 ± 8,19	3,60	41,09	12,72 ± 9,14	2,71	25,80	<200
K	13,77 ± 14,61	2,00	51,40	5,71 ± 2,49	3,80	11,80	12
Fe	0,15 ± 0,11	0,03	0,50	0,15 ± 0,12	0,03	0,45	0,3
SO₄	10,47 ± 20,56	0,00	84,00	2,30 ± 2,98	0,00	10,00	<250
Mn	0,68 ± 0,61	0,20	2,10	0,58 ± 0,65	0,20	2,40	0,1
Ca	31,37 ± 26,86	1,20	100,40	6,92 ± 3,80	2,40	14,80	<100-300
Mg	19,06 ± 16,32	0,73	60,99	4,20 ± 2,31	1,46	8,99	50
Cl	25,75 ± 24,53	2,50	108,20	16,63 ± 13,03	6,30	50,40	250
Al	0,08 ± 0,13	0,00	0,48	0,03 ± 0,04	0,01	0,14	0,1-0,2
Zn	0,09 ± 0,07	0,01	0,25	0,11 ± 0,06	0,00	0,19	3
HCO₃	40,24 ± 71,35	0,00	276,00	2,38 ± 1,85	0,00	4,40	

Moyenne (moy) ; minimum (min) et maximum (max)

Résultats et Discussion

Le pH des eaux de puits analysées varie de 3,64 à 6,32 avec une moyenne de $5,34 \pm 0,62$ et celui des sources varie de 4,40 à 5,04 avec une moyenne de $4,89 \pm 0,18$. Les pH de ces eaux sont inférieurs à la valeur recommandée par l'OMS (2017) qui est de 6,5 à 8,5. La température des eaux est élevée (en moyenne $28,34^{\circ}\text{C}$ pour les puits et $28,44^{\circ}\text{C}$ pour les sources) par rapport à la norme de l'OMS (2017) qui est de 25°C . Les eaux de puits présentent des conductivités électriques qui varient de 70,50 à 1 868 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une moyenne de $409,99 \pm 521,18 \mu\text{S}/\text{cm}$ tandis que les eaux de sources ont des conductivités faibles (61,90 à 228 $\mu\text{S}/\text{cm}$) avec une moyenne de $114,61 \pm 52,19 \mu\text{S}/\text{cm}$. La concentration en nitrates est fortement élevée dans les eaux de puits (80,84 mg/L en moyenne) avec une valeur maximale de 485,10 mg/L tandis que les eaux de sources présentent des concentrations en nitrates faibles dans l'ensemble. Cependant les points S1 et S7 ont des valeurs supérieures à la norme (70,9 et 76,70 mg/L). Aussi ces eaux sont-elles riches en ion manganèse (Mn^{2+}), ion ferreux (Fe^{2+}) et ion potassium (K^{+}).

3.1.2.2. Qualité physico-chimique des eaux

➤ Qualité des eaux en fonction des altérations

Les Tableaux (VI et VII) présentent les qualités de l'usage production d'eau potable sur cinq (5) altérations pour les eaux de puits et sources.

Résultats et Discussion

Tableau VI : Indice par altérations des eaux de puits

	Matières organiques oxydables	Fer et manganèse	Minéralisation et salinité	Nitrates	Matières azotées hors nitrates
P1	63,50	25,00	73,47	50,30	72
P2	54,63		88,41	28,05	
P3	47,00		76,70	94,30	
P4	54,63		61,90	52,00	
P5	63,25		59,91	85,10	
P6	47,30		68,85	82,40	
P7	69,94		70,04	23,96	
P8	49,85		74,98	68,90	
P9	60,00		66,65	69,00	
P10	66,38		63,18	23,85	
P11	64,00	25,00	79,30	70,20	67,61
P12	44,60		63,79	14,30	
P13	67,44		72,65	49,15	
P14	46,30		64,03	82,90	
P15	52,88		67,45	25,95	
P16	65,63		63,66	22,56	
P17	52,38		72,08	72,70	
P18	58,44		71,86	61,00	
P19	58,25		65,12	70,90	

Tableau VII : Indices de qualité par altération des eaux de sources

	Matières organiques oxydables	Fer et manganèse	Minéralisation et salinité	Nitrates	Matières azotées hors nitrates
S1	69,50	25,00	72,01	39,55	77,58
S2	72,13		71,89	58,40	
S3	71,94		68,03	78,10	
S4	70,56		77,97	86,20	
S5	74,69		69,23	72,20	
S6	58,88		66,33	68,30	
S7	72,31		72,00	36,65	
S8	71,94		66,00	78,90	
S9	71,63		67,12	74,20	
S10	55,38		70,30	56,20	

Qualité optimale
 Qualité acceptable
 Non potable
 Inapte

Résultats et Discussion

La qualité de ces altérations varie d'excellente à mauvaise. L'altération « Minéralisation et salinité » est d'excellente qualité aussi bien pour les eaux de puits que celles des sources. En plus de cette altération s'ajoute pour les sources l'altération « Matières organiques oxydables » qui est de qualité excellente. Les indices de ces altérations sont compris entre 55,38 et 88,41. On remarque aussi que certains puits et sources ne présentent pas d'indice pour certaines altérations du fait que leurs valeurs sont largement inférieures aux guides d'évaluation de SEQ-Eaux Souterraines. Les altérations « Fer et manganèse » et « Nitrates » de certains puits et sources sont les plus déclassants. Elles désignent les paramètres dépassants la norme et dangereux pour l'homme.

➤ Qualité globale des eaux de puits et sources naturelles de la ville de Daloa

En se basant sur les indices, l'outil SEQ-Eaux Souterraine a permis de connaître de manière spécifique la qualité des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa (Tableau VIII).

Tableau VIII : Qualité spécifique des eaux échantillonnées

Points	Indices	Classe	Points	Indices	Classe
P1	25,00	Inapte	S1	25,00	Inapte
P2	28,05	Non potable	S2	58,40	Acceptable
P3	47,00	Non potable	S3	68,03	Acceptable
P4	52,00	Acceptable	S4	70,56	Acceptable
P5	59,91	Acceptable	S5	69,23	Acceptable
P6	47,30	Non potable	S6	58,88	Acceptable
P7	23,96	Inapte	S7	36,65	Non potable
P8	49,85	Non potable	S8	66,00	Acceptable
P9	60,00	Acceptable	S9	67,12	Acceptable
P10	23,85	Inapte	S10	55,38	Acceptable
P11	25,00	Inapte			
P12	14,30	Inapte			
P13	49,15	Non potable			
P14	46,30	Non potable			
P15	25,95	Non potable			
P16	22,56	Inapte			
P17	52,38	Acceptable			
P18	58,44	Acceptable			
P19	58,25	Acceptable			

La qualité des eaux de puits part d'acceptable à inapte. En effet, six (6) puits ont une qualité acceptable, six (6) sont inaptes et sept (7) sont impropres à la consommation humaine. En ce

Résultats et Discussion

qui concerne les eaux de sources, la qualité est acceptable de façon générale, pendant la saison sèche (Novembre 2020). Seule, la source S1 (source Fatima) est inapte à la consommation.

3.1.3. Faciès hydrochimiques

Le report des résultats des analyses des eaux de puits et de sources sur le diagramme triangulaire de Piper met en évidence l'incidence du faciès lithologique sur la qualité des eaux et permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification. On remarque sur le diagramme de Piper (Figure 11) que les eaux de puits appartiennent aux familles des eaux :

- chlorurées sodi-potassiques ou sulfatées sodiques (9 échantillons),
- chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (5 échantillons),
- hydrogénocarbonatées calciques et magnésiennes (5 échantillons).

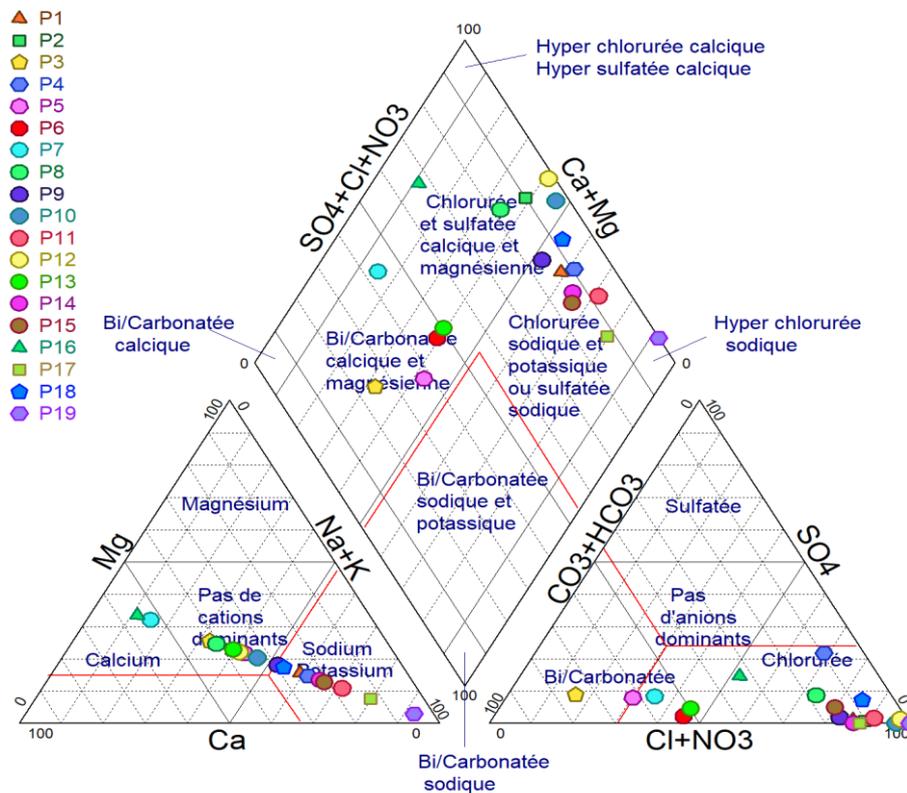


Figure 12 : Familles chimiques des eaux de puits de la ville de Daloa

En ce qui concerne les eaux de sources, le diagramme triangulaire de Piper présente (Figure 12) deux (2) grandes familles des eaux :

- chlorurées sodi-potassiques ou sulfatées sodiques (9 échantillons),
- chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (1 échantillon). Cependant les eaux chlorurées calciques ou sulfatées sont très minéralisées, les eaux chlorurées sodiques ou

Résultats et Discussion

sulfatées sont faiblement minéralisées tandis que les eaux hydrogénocarbonatées représentent les familles des eaux dont la minéralisation est élevée.

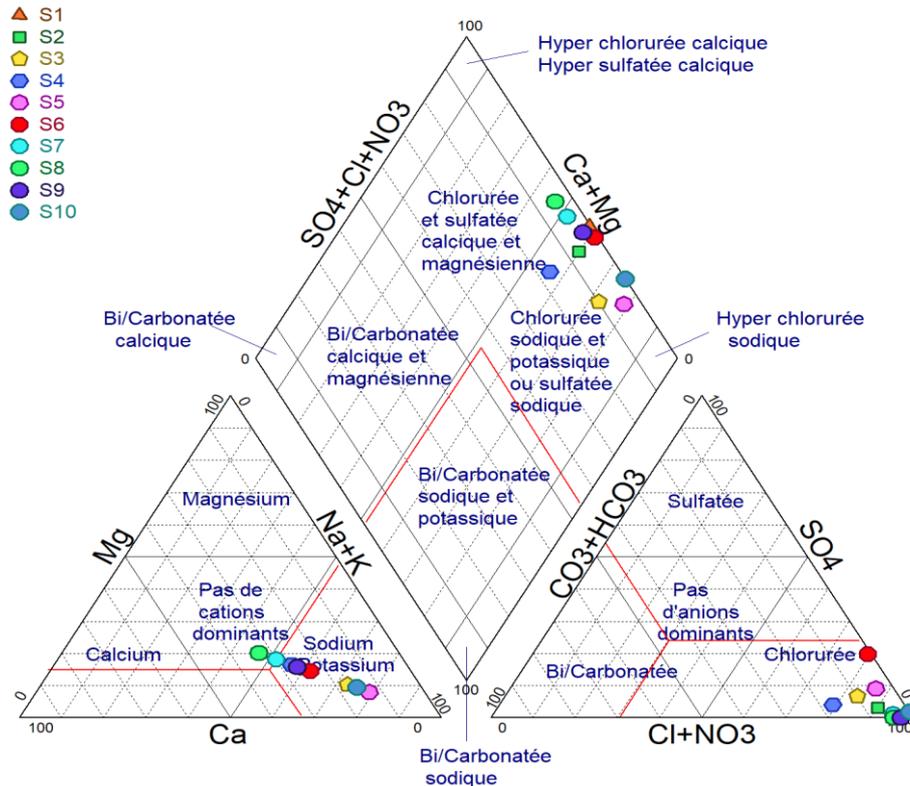


Figure 13 : Familles chimiques des eaux de sources de la ville de Daloa

3.1.4. Origine de la minéralisation des eaux

3.1.4.1. Classification hiérarchique ascendante (CHA)

Le dendrogramme (Figure 13) issu de la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a mis en évidence les principaux regroupements des puits et des sources de la ville de Daloa. Suivant le dendrogramme horizontal (Figure 13a), les puits peuvent être regroupés en deux (2) classes. Ces deux classes expriment à elles seules 94,55% de l'information recherchée :

- classe 1 : Ce sont les eaux fortement minéralisées dont les éléments minéraux (HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ et NO_3^-) sont mis en solution par dissolution de certains minéraux de la roche tels que la calcite, la dolomite, le feldspath et par une contamination anthropique. Elle concerne les puits P12 (puits-40-logements), P16 (puits-Abattoir2-décharge) et P7 (puits-Marais).

- classe 2 : elle présente les eaux peu minéralisées et regroupe 84,21% des puits, dont P1, P19, P3, P10, P11, P2, P15, P6, P8, P5, P9, P13, P18, P4, P17, P14.

Au niveau des eaux de sources (Figure 13b), il existe trois (3) différentes classes qui totalisent 82,26% de l'information :

Résultats et Discussion

- classe 1 : elle concerne 30% des sources (S7, S8 et S4) dont les eaux sont très faiblement minéralisées.
- classe 2 : elle regroupe 50% des sources (S10, S6, S9, S5 et S3). Ces eaux sont faiblement minéralisées.
- classe 3 : il s'agit de 20% des sources (S2 et S1) dont la minéralisation est dans l'ensemble moyenne.

De ce fait, toutes les eaux de sources de la ville de Daloa semblent être dans les couches superficielles.

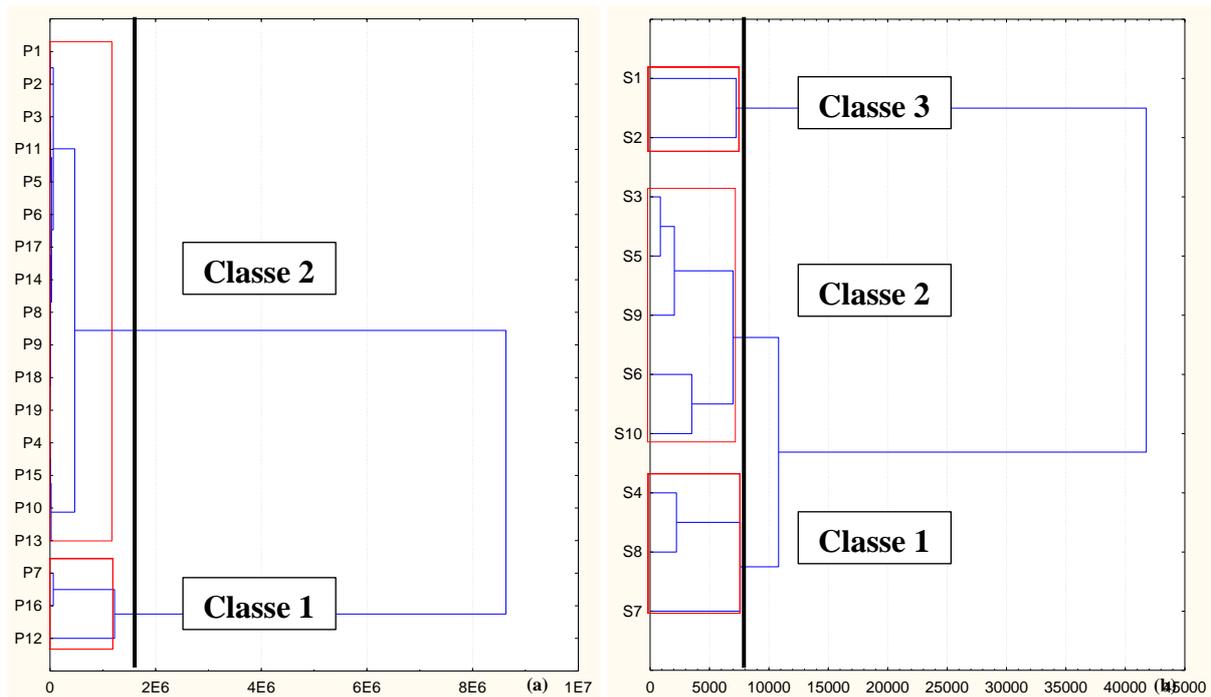


Figure 14 : Dendrogramme horizontal des eaux de puits (a) et de sources (b)

3.1.4.2. Minéralisation globale des eaux de puits et sources

L'analyse en composantes principales normée a été réalisée sur 29 échantillons et 21 paramètres que sont : le potentiel d'hydrogène (pH), la température (T), la conductivité électrique (CE), les solides totaux dissous (TDS), l'oxygène dissous (OD), le potentiel redox (Eh), le sulfate (SO_4), le fer (Fe), le phosphate (PO_4), le zinc (Zn), l'aluminium (Al), l'ammonium (NH_4), le manganèse (Mn), les nitrates (NO_3), les nitrites (NO_2), le potassium (K), le sodium (Na), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le bicarbonate (HCO_3) et les chlorures (Cl). Cette analyse a permis de calculer les coefficients de corrélation entre les paramètres pris deux à deux, les variances exprimées pour chaque axe factoriel et leur cumul et les cercles de communautés.

Résultats et Discussion

3.1.4.2.1. Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés

Dans cette étude, la matrice des corrélations permet d'analyser les relations bilatérales existant entre les différents paramètres physico-chimiques et chimiques des eaux de puis et des eaux de source. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous. La matrice de corrélation des eaux de puits (Tableau IX) montre qu'il existe :

- des bonnes corrélations entre CE et Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ ; NH₄ et NO₂, HCO₃ ($r > 0,75$) ;
- des corrélations moyennes entre NO₃ et Ca, Mg, Cl, K ; CE et NH₄ ; pH et HCO₃ ($r > 0,50$) ;
- des corrélations négatives entre NH₄ et OD, Eh ; pH et Fe, Al ($r > -0,50$) etc.

Aussi existe-il trois (3) types de corrélation entre les paramètres pris deux à deux pour les eaux de sources (Tableau X) :

- des bonnes corrélation entre TDS et OD, Al ; NO₂ et Al ; Mn et NH₄ ($r \geq 0,70$) ;
- des corrélations moyennes entre T et CE, NO₃, Na, Ca, Mg ; HCO₃ et pH ; ($r \geq 0,50$) ;
- des corrélations négatives entre Eh et Na, Ca, Mg ; HCO₃ et OD, Eh, TDS ($r \geq 0,50$) etc.

Résultats et Discussion

Tableau IX : Matrice de corrélation entre les variables dans les eaux de puits

	T	pH	CE	OD	Eh	TDS	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	Na	K	Fe	SO ₄	Mn	Ca	Mg	Cl	Al	Zn	HCO ₃	
T	1,0																					
pH	0,6	1,0																				
CE	0,3	0,3	1,0																			
OD	-0,5	-0,3	-0,4	1,0																		
Eh	0,0	-0,3	-0,4	0,3	1,0																	
TDS	-0,4	-0,3	-0,3	0,9	0,2	1,0																
NO₃	-0,2	-0,5	0,6	0,1	-0,1	0,2	1,0															
NO₂	0,3	0,2	0,5	-0,5	-0,4	-0,4	0,2	1,0														
NH₄	0,2	0,4	0,7	-0,5	-0,6	-0,5	0,2	0,8	1,0													
PO₄	0,0	0,3	0,1	-0,1	-0,4	0,0	0,0	0,1	0,3	1,0												
Na	-0,1	-0,2	-0,4	0,0	0,1	0,2	-0,2	-0,1	-0,1	0,4	1,0											
K	0,0	-0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,7	0,0	-0,1	0,2	0,1	1,0										
Fe	-0,4	-0,5	-0,3	0,1	0,2	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,1	-0,1	1,0									
SO₄	0,5	0,5	0,9	-0,4	-0,4	-0,3	0,3	0,2	0,4	0,0	-0,6	0,1	-0,3	1,0								
Mn	0,0	0,0	-0,4	0,1	0,3	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,0	-0,2	-0,1	-0,3	1,0							
Ca	0,3	0,3	0,9	-0,3	-0,4	-0,2	0,6	0,3	0,6	0,2	-0,4	0,3	-0,4	0,8	-0,3	1,0						
Mg	0,3	0,3	0,9	-0,3	-0,4	-0,2	0,6	0,3	0,6	0,2	-0,4	0,3	-0,4	0,8	-0,3	0,8	1,0					
Cl	0,2	0,0	0,8	-0,2	-0,2	-0,1	0,6	0,1	0,2	-0,1	-0,4	0,4	-0,3	0,8	-0,3	0,7	0,7	1,0				
Al	-0,4	-0,6	-0,1	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	-0,2	-0,4	-0,2	0,2	0,6	-0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	1,0			
Zn	-0,1	0,3	0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,2	0,3	0,5	0,2	0,1	-0,6	0,1	0,0	-0,1	0,1	0,1	-0,2	-0,1	1,0		
HCO₃	0,3	0,6	0,9	-0,5	-0,6	-0,4	0,2	0,5	0,8	0,2	-0,4	-0,1	-0,3	0,8	-0,3	0,8	0,8	0,5	-0,3	0,3	1,0	

Résultats et Discussion

Tableau X : Matrice de corrélation entre les variables dans les eaux de sources

	T	pH	CE	OD	Eh	TDS	NO ₃	NO ₂	NH ₄	PO ₄	Na	K	Fe	SO ₄	Mn	Ca	Mg	Cl	Al	Zn	HCO ₃	
T	1,0																					
pH	-0,3	1,0																				
CE	0,6	0,2	1,0																			
OD	0,0	-0,5	0,1	1,0																		
Eh	-0,4	-0,5	-0,4	0,6	1,0																	
TDS	0,0	-0,5	0,1	0,7	0,7	1,0																
NO₃	0,7	-0,1	0,5	0,1	-0,4	0,1	1,0															
NO₂	-0,5	0,2	0,1	0,7	0,5	0,7	-0,1	1,0														
NH₄	-0,1	0,4	0,3	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,0	1,0													
PO₄	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	-0,6	0,2	0,4	1,0												
Na	0,5	0,4	0,6	-0,4	-0,7	-0,4	0,2	-0,4	0,3	0,2	1,0											
K	0,5	-0,8	0,3	0,6	0,3	0,6	0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	1,0										
Fe	0,1	-0,2	0,2	-0,1	0,1	-0,1	0,1	-0,2	0,3	-0,1	-0,4	0,2	1,0									
SO₄	0,3	-0,8	-0,2	0,4	0,3	0,4	-0,1	-0,3	-0,1	0,3	-0,1	0,8	-0,1	1,0								
Mn	0,2	0,1	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,7	0,5	0,5	-0,2	-0,2	0,2	1,0							
Ca	0,5	0,1	0,6	-0,3	-0,7	-0,3	0,4	-0,4	0,0	-0,5	0,7	0,3	-0,1	-0,1	0,0	1,0						
Mg	0,5	0,1	0,6	-0,3	-0,7	-0,3	0,4	-0,4	0,0	-0,5	0,7	0,3	-0,1	-0,1	0,0	0,8	1,0					
Cl	-0,4	0,0	0,1	-0,1	0,1	-0,2	-0,1	0,2	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	0,0	-0,4	-0,1	0,1	0,1	1,0				
Al	-0,2	0,2	0,3	0,7	0,4	0,7	0,1	0,9	-0,2	0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,2	0,1	1,0			
Zn	0,4	0,3	0,0	-0,7	-0,5	-0,7	0,0	-0,7	0,3	0,2	0,4	-0,2	0,3	0,0	0,3	0,1	0,1	-0,4	-0,7	1,0		
HCO₃	-0,3	0,5	-0,4	-0,6	-0,5	-0,7	-0,3	-0,4	0,3	-0,2	0,3	-0,6	-0,3	-0,3	0,3	0,2	0,2	0,0	-0,5	0,3	1,0	

Résultats et Discussion

3.1.4.2.2. Valeurs propres et variance exprimée des facteurs

Le Tableau XI présente les quatre (4) premiers facteurs avec leurs valeurs propres et les différents pourcentages exprimés.

Tableau XI : Valeurs propres, variances exprimées et cumul

	Puits				Sources			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	7,60	36,20	7,60	36,20	6,34	30,19	6,34	30,19
Total variance	3,47	16,50	11,07	52,70	4,19	19,97	10,53	50,17
Cumul valeur propre	2,12	10,08	13,18	62,78	3,20	15,24	13,73	65,39
Cumul variance	1,98	9,45	15,17	72,23	2,59	12,35	16,33	77,75

Au niveau des puits, les 4 premiers facteurs expriment 72,23% de l'information dont 36,20% pour le facteur 1, 16,50% pour le facteur 2, 10,08% pour le facteur 3 et 9,45% pour le facteur 4. Ainsi, le couple F1-F2 exprime 52,70% et F1-F3 totalise 62,78% de l'information. Cependant, l'analyse s'est faite sur les trois premiers facteurs, à cause de la faible corrélation ($r = 0,5$) existante entre le facteur F4 et les variables (Tableaux XII et XIII). En ce qui concerne les eaux de sources, les 4 premiers facteurs totalisent 77,75% de la variance totale. Les deux premières composantes ont un cumul de 50,17% et le couple F1xF3 totalise 65,39% de la variance. Au vue de ces pourcentages exprimés, les mécanismes qui contrôlent l'évolution chimique des eaux de sources de Daloa sont largement contenus dans ces quatre facteurs.

Tableau XII : Coefficients de corrélation des variables centrées réduites avec les facteurs

Paramètres physico-chimiques	Puits				Sources			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F1
T	-0,5	-0,3	0,1	0,5	-0,4	-0,8	-0,3	-0,2
pH	-0,5	-0,6	0,2	0,3	-0,5	0,5	0,5	-0,4
CE	-0,9	0,3	-0,1	0,0	-0,3	-0,6	0,3	-0,6
OD	0,5	0,4	0,2	-0,1	0,9	-0,4	0,0	-0,3
Eh	0,6	0,2	-0,1	0,4	0,9	0,1	-0,2	0,1
TDS	0,5	0,4	0,4	-0,3	0,9	-0,4	0,0	-0,3

Résultats et Discussion

Tableau XIII : Coefficients de corrélation des paramètres chimiques avec les facteurs

Paramètres chimiques	Puits				Sources			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
NO₃	-0,4	0,8	0,1	-0,3	-0,2	-0,7	0,4	0,1
NO₂	-0,6	-0,2	-0,3	-0,4	0,7	0,2	0,5	-0,4
NH₄	-0,8	-0,3	-0,2	-0,4	-0,3	0,3	-0,2	-0,6
PO₄	-0,2	-0,2	0,7	-0,4	0,2	0,3	-0,5	-0,7
Na	0,4	-0,2	0,5	-0,4	-0,7	-0,2	0,1	-0,5
K	-0,1	0,7	0,4	0,0	0,3	-0,8	-0,3	0,1
Fe	0,5	0,2	-0,6	-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,2
SO₄	-0,9	0,2	0,0	0,3	0,3	-0,4	-0,8	0,0
Mn	0,3	-0,2	0,0	0,3	-0,3	0,2	-0,4	-0,6
Ca	-0,9	0,3	0,1	0,0	-0,6	-0,6	0,3	0,0
Mg	-0,9	0,3	0,1	0,0	-0,6	-0,6	0,3	0,0
Cl	-0,7	0,5	0,1	0,2	0,0	0,2	0,5	0,3
Al	0,3	0,5	-0,6	-0,2	0,6	-0,1	0,6	-0,4
Zn	-0,2	-0,5	-0,3	-0,5	-0,7	0,1	-0,5	0,0
HCO₃	-0,9	-0,2	-0,1	-0,1	-0,6	0,5	0,0	0,2

3.1.4.2.3. Cercle de communauté

La lecture pour chacun des facteurs retenus sur la base des corrélations avec les 21 variables permet de déterminer leur signification concrète. Dans notre analyse, on voit sur les Figure (14 et 15) les espaces réduits des trois (3) premières composantes principales. Le facteur F1 est défini par Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , CE, NH_4^+ , SO_4^{2-} , OD et Eh (Figure 14). La conductivité électrique (CE) montre une minéralisation globale de l'eau. Les variables telles que HCO_3^- , Mg^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} et NH_4^+ sont en générale issues de l'hydrolyse acide et l'altération de la roche et le regroupement de OD et Eh montre le phénomène d'oxydo-réduction. La position de tous ces éléments de part et d'autre indique qu'ils sont gouvernés par deux mécanismes différents (contact eau-roche et phénomène d'oxydo-réduction). Le facteur F2 est déterminé par NO_3^- et K^+ . Vu les teneurs parfois élevées de NO_3^- dans les eaux et la corrélation ($r = 0,68$) qui existe entre ces deux éléments permet d'affirmer que ce facteur représente un axe de minéralisation lié aux apports superficiels (pollution anthropique). Quant au facteur F3 (Figure 15), il est

Résultats et Discussion

représentatif du PO_4^{2-} , Al^{3+} et Fe^{2+} . Leur position de part et d'autre de l'axe montre qu'ils sont gouvernés par deux mécanismes différents (apports superficiels et dissolution des roches).

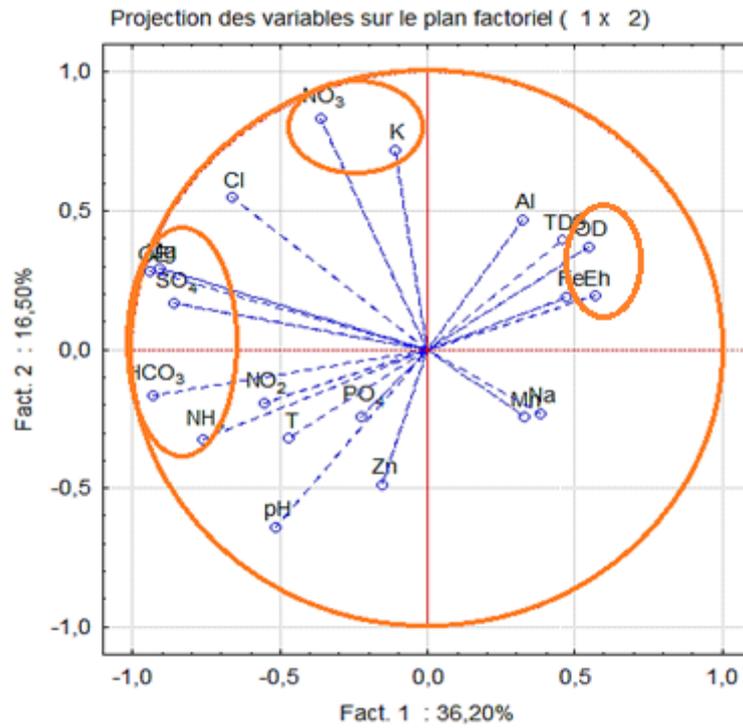


Figure 15 : Espace des variables dans les eaux de puits sur le plan factoriel F1-F2

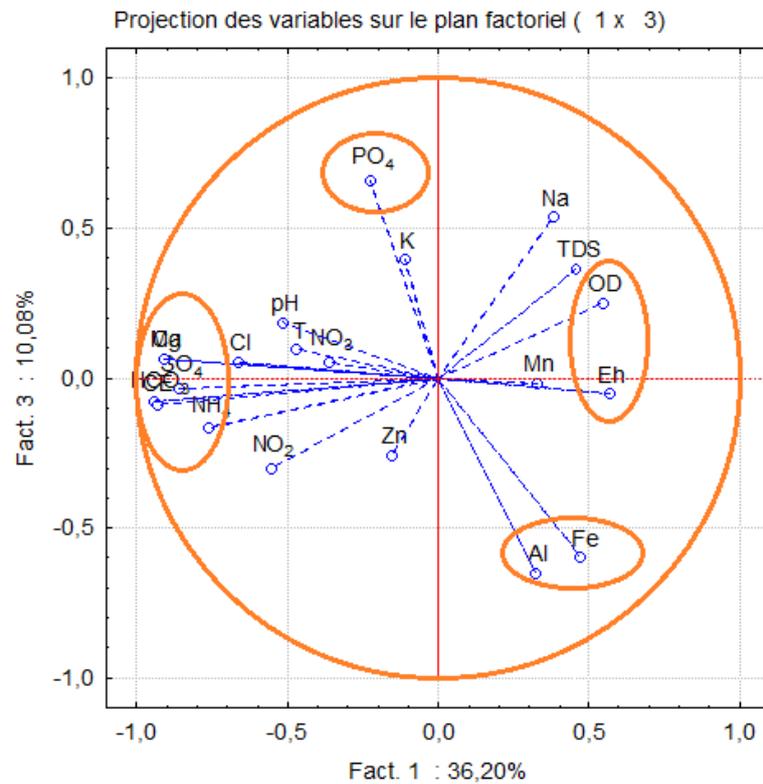


Figure 16 : Espaces des variables dans les eaux de puits sur le plan factoriel F1-F3

Résultats et Discussion

Pour les eaux de sources, le choix des facteurs s'est porté sur quatre facteurs. Le facteur F1 exprime 30,19% de la variance et est déterminé par Eh, OD, TDS, NO₂, Na et Zn (Figure 16). Ce regroupement traduit une minéralisation liée au phénomène d'oxydo-réduction et au contact eau-roche. De plus, ce phénomène est dominant dans l'acquisition de la minéralisation. Le facteur F2 exprime 19,97% et est représentatif du potassium (K) et de la température (T). La relation qui existe entre ces deux éléments montre qu'il s'agit d'une minéralisation liée aux apports superficiels. Le facteur F3 qui exprime 15,24% de la variance est représentatif seulement du sulfate (SO₄) (Figure 17). Cet élément proviendrait de la dissolution de certaines roches contenant des sulfures. Quant au facteur 4 (Figure 18), il est dominé par le phosphate (PO₄). Il proviendrait de la mise en solution de l'apatite.

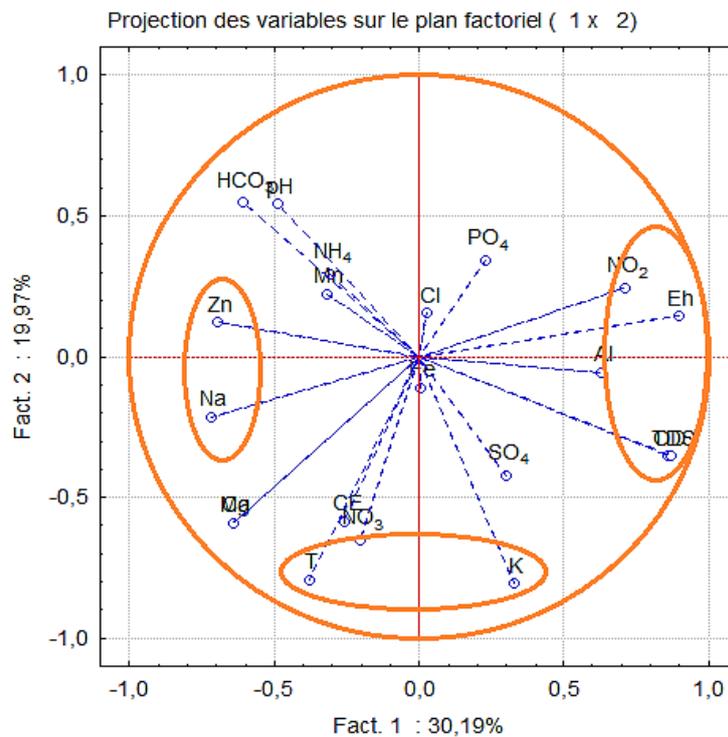


Figure 17 : Espace des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F2

Résultats et Discussion

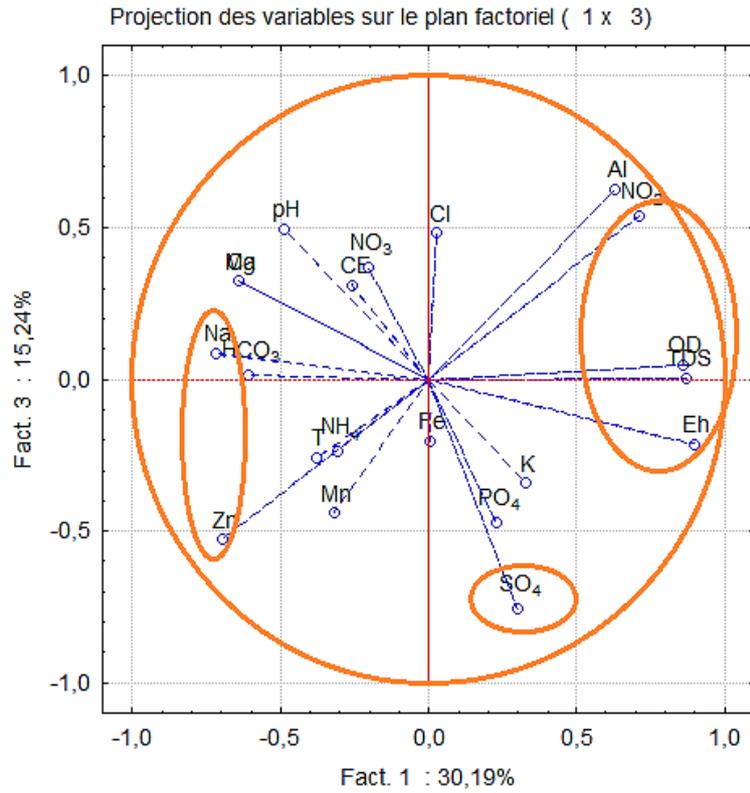


Figure 18 : Espaces des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F3

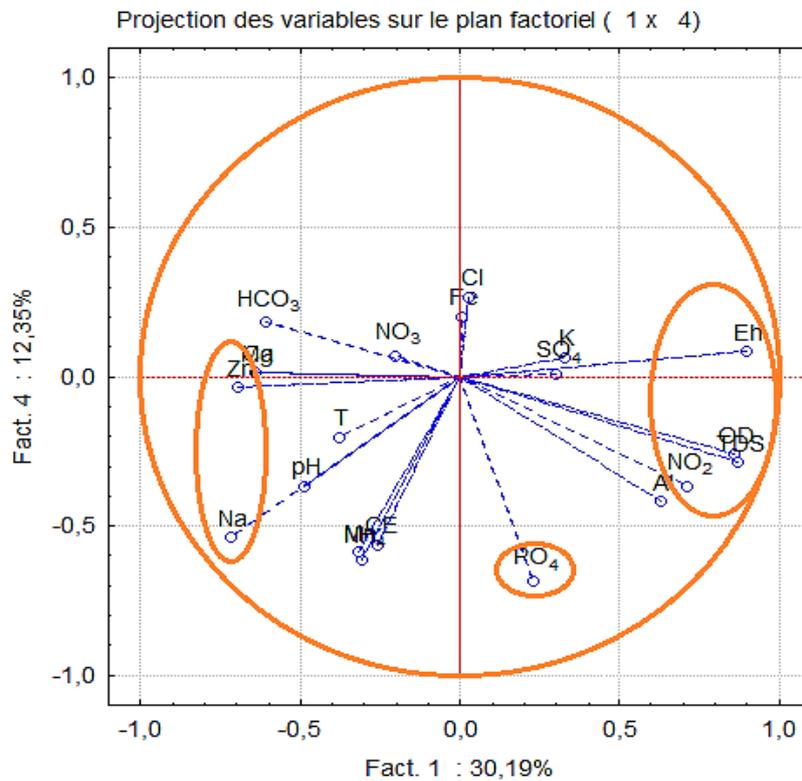


Figure 19 : Espace des variables dans les eaux de sources sur le plan factoriel F1-F4

Résultats et Discussion

3.2. Discussion

Caractéristiques physico-chimiques et chimiques des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa.

L'analyse de la balance ionique a été réalisée. Les puits et les sources présentent tous une balance ionique déséquilibrée. Ces défaillances pourraient être les résultats des erreurs commises lors de l'analyse des données. Selon Kouassi *et al.* (2013), deux causes peuvent dans ce cas être invoquées : les méthodes analytiques utilisées sont peu précises ou bien un ou plusieurs éléments en solution n'ont pas été dosés.

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la ville de Daloa a montré que dans l'ensemble les eaux de puits et de sources sont acides. En effet, les pH moyens des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa sont respectivement $5,34 \pm 0,62$ et $4,89 \pm 0,18$. Or, l'intervalle de valeurs de pH recommandé par l'OMS (2017) est 6,5–8,5 pour une eau potable. Les pH des eaux analysées sont inférieurs aux valeurs guides de l'OMS (2017). Ce résultat est en accord avec ceux des autres auteurs (Ligban *et al.*, 2009 ; Ahoussi *et al.*, 2013 ; Adjiri *et al.*, 2019) qui ont travaillé sur les eaux souterraines en milieu de socle. L'acidité des eaux souterraines pourrait être due à un processus biogéochimique ou anthropogénique : processus régi par le CO₂ du sol généré à travers la respiration des racines des plantes et de la décomposition de la matière organique dans les couches superficielles du sol sous l'action des activités biologiques. Selon Adjiri *et al.* (2019), l'acidité des eaux pourrait s'expliquer par le fait qu'elles seraient issues de nappes d'altérite. Cependant, Ligban *et al.* (2009) attribuent cette acidité à l'abondance de quartz comme l'en témoignent les types de formations identifiés (migmatites avec des intrusions granitiques). Les températures moyennes des eaux étudiées sont de 28,34°C pour les puits et 28,44°C pour les sources. Ces températures mesurées sont relativement proches de celles des valeurs de la température ambiante en saison sèche dans la zone, indiquant un équilibre thermique entre l'aquifère et l'atmosphère. Cet équilibre thermique est confirmé par la faible profondeur des puits échantillonnés. Ces puits présentent des températures sensiblement égales à celle observée par (Soro, 2014) dans le bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (28,7°C). En revanche, elles restent au-dessus de celles obtenues par plusieurs auteurs (Ligban *et al.*, 2009 ; Adjiri *et al.*, 2019) ayant travaillé dans la zone et (Ahoussi *et al.*, 2018 ; N'Guettia *et al.*, 2019) ayant mené leurs études dans certaines villes de la Côte d'Ivoire. Les eaux de puits prélevées ont une minéralisation élevée avec une conductivité électrique moyenne de $409,99 \pm 521,2 \mu\text{S/cm}$ où certains points d'eau dépassent la norme de l'OMS (2011) qui est de 500 $\mu\text{S/cm}$ tandis que celles des sources restent faiblement minéralisées. Cette faible minéralisation s'explique par le faible temps de contact eau-roche. Cependant, la conductivité

Résultats et Discussion

des eaux souterraines varie en fonction de la nature géologique des aquifères, de son épaisseur et du temps de séjour de l'eau dans l'aquifère (Orou *et al.*, 2016). La faible minéralisation des eaux souterraines en zone de socle a été signalée par certains auteurs (Goné *et al.*, 2004 ; Ligban *et al.*, 2009 ; Yapo *et al.*, 2016). La teneur en ions nitrates est très élevée dans les eaux de puits avec une moyenne de $80,84 \pm 110,1$ mg/l. cette valeur est supérieure à celle de l'OMS. L'abondance des ions NO_3^- dans les eaux de puits et de sources montre qu'ils sont d'origine anthropique. En effet, les travaux de Eblin *et al.* (2019) dans la ville de Daloa montrent des teneurs élevées de nitrates dans les eaux de puits (en moyenne 55,97 mg/l). Selon ces auteurs, leur présence serait due à l'urbanisation et aux eaux usées provenant des fosses septiques défectueuses et non à l'agriculture. D'autres auteurs tels que Abbou *et al.* (2014) et Heriarivony *et al.* (2016) respectivement au Maroc et à Madagascar, ont montré que les teneurs élevées de nitrates dans les eaux de puits témoignent d'une pollution chimique récente et d'origine humaine. Par ailleurs, la consommation de ces eaux pourrait affecter la santé humaine. Le fer et le manganèse sont présents dans certains points à des concentrations élevées. Ces ions donnent à l'eau une couleur rougeâtre, colore le linge. Leur présence dans les aquifère pourrait être due aux formations géologiques comme l'ont signalé Ahoussi *et al.* (2013) dans l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire.

L'étude de la qualité des eaux par la méthode des indices avec l'outil "SEQ-Eaux souterraine" a montré que la qualité des eaux part d'acceptable pour les puits P4, P5, P9, P17, P18 et P19 à inapte pour les puits P1, P7, P10, P11, P12 et P16. En revanche, celle des eaux de sources est acceptable dans l'ensemble. Seulement, la source S1 (source Fatima) est inapte pour la consommation. La dégradation de la qualité des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa est liée principalement aux altérations « Fer et manganèse » et « Nitrates ». Cette méthode vient donc confirmer l'analyse descriptive faite par plusieurs auteurs précités sur les eaux souterraines en zone de socle. Pour eux, en plus des puits, les sources aussi captent les eaux issues des nappes superficielles.

Faciès hydrochimiques des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa

Les résultats issus de l'analyse hydrochimique a permis de mettre en évidence trois (3) types de faciès (chloruré sodi-potassique ou sulfaté sodique, chloruré sulfaté calcique magnésien et bicarbonaté calcique et magnésien) pour les eaux de puits et deux (2) types (chloruré sodi-potassique ou sulfaté sodique et chloruré sulfaté calcique magnésien) pour les eaux de sources avec une prédominance chlorurée sodi-potassique ou sulfatée sodique. Ce résultat est similaire à ceux de Ligban *et al.* (2017) dans le degré carré de Daloa. Il stipule que les eaux de sources

Résultats et Discussion

naturelles présentent un faciès chloruré sodi-potassique. Dans les eaux naturelles, la présence de Na^+ et Cl^- est liée à la dissolution de l'halite (Na-Cl) que l'on trouve dans les formations du Trias. Une augmentation de ces paramètres est due au phénomène d'échange de base, car l'eau interagit avec les minéraux argileux qui fixent un ion calcium après libération de deux ions sodium (Gouaidia *et al.*, 2017). Ce résultat diffère de celui de nombreux auteurs qui ont étudié l'hydrochimie des aquifères du socle en Afrique de l'Ouest. Ils ont abouti à la conclusion selon laquelle le faciès bicarbonaté calcique est le plus abondant dans les eaux souterraines du socle (Oga *et al.*, 2009 ; N'Guettia *et al.*, 2019). Des travaux effectués hors de la Côte d'Ivoire, en milieu de socle par Rabilou *et al.* (2018) dans la région de Zinder au Niger et par N'tcha *et al.* (2020) dans la commune de Natitingou au Bénin mettent également en évidence la prédominance du faciès hydrogénocarbonaté.

Origine de la minéralisation des eaux de puits et de sources de la ville de Daloa

Au regard des résultats des analyses en composantes principales normées, les paramètres chimiques influençant la minéralisation des eaux de la ville de Daloa selon les matrices de corrélation sont : Ca, Mg, HCO_3 , NH_4 , SO_4 , K, NO_3 , PO_4 , Al et Fe pour les puits et OD, Eh, TDS, NO_2 , T, K, SO_4 , PO_4 et NH_4 pour les sources pendant la saison sèche. En effet, il semble que trois (3) principaux mécanismes gouvernent l'origine de la minéralisation des eaux du socle de Daloa : le temps de séjour (contact eau-roche), les apports superficiels et le phénomène d'oxydo-réduction. Ce résultat corrobore les travaux de Soro (2014) dans le bassin versant du Haut Bandama à Tortiya et de Ligban *et al.* (2009) dans le degré carré de Daloa. En effet, dans ces couches d'altérite l'acquisition des ions se fait de manière rapide. Cela est dû au temps de contact eau-roche faible et de l'utilisation incessante de ces points d'eau. Malgré l'échantillonnage fait en saison sèche, le phénomène de pluviolessivage et d'infiltration peut s'expliquer par le fait que les nappes se soient rechargées en minéraux par les eaux de pluies. Car c'est en ce moment que ces eaux ont eu le temps d'atteindre l'aquifère. L'ACPN a permis de mettre en évidence les polluants azotés et phosphorés d'origine anthropique (NO_3 , NO_2 et PO_4). Cela montre la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère exploité par les puits et sources. Selon Ligban *et al.* (2009) la similarité des caractéristiques hydrogéochimiques des eaux de puits et des eaux de sources montre une origine superficielle de l'aquifère. Selon ces auteurs, les sources seraient l'exutoire d'une nappe d'altérites plus superficielle que celle captée par les puits.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la ville de Daloa a permis de caractériser cette ressource naturelle. Les analyses physico-chimiques montrent que les eaux sont acides ($3,64 < \text{pH} < 6,32$) et très faiblement minéralisées au niveau des sources et peu accentuée pour les puits. Les paramètres chimiques de qualité sont pour la plupart au-dessous de la norme de potabilité de l'OMS, excepté en quelques points où des teneurs de nitrates, potassium et manganèse sont élevées, dépassant parfois largement la norme. Les eaux de la ville de Daloa se regroupent autour de deux principales familles d'eaux dont les eaux sulfatées et les eaux chlorurées et trois familles pour les puits où s'ajoute, en plus des deux premières familles, la famille hydrogencarbonatée. Cependant, seule la famille chlorurée sodi-potassique prédomine dans la ville de Daloa. La caractérisation hydrochimique a permis de montrer que les différents processus responsables de l'acquisition du chimisme des eaux de puits et de sources de Daloa sont : le temps de séjours des eaux au contact eau-roche, le phénomène d'oxydo-réduction et l'infiltration des substances liées aux activités anthropiques. Par conséquent, les eaux de puits et de sources subissent une dégradation de leur qualité.

Cette étude a donné des résultats certes intéressants mais méritent d'être complétés par d'autres investigations notamment :

- Une étude qui intègre les paramètres de pollution organique (DBO, DCO, COT et pesticides), minérale (NO_3 , NO_2 , PO_4 ...ainsi que les métaux lourds) et les indicateurs de contamination fécale ; Ces travaux permettront de disposer d'une base de données pour un suivi de la qualité des eaux de puits et de sources issues des nappes d'altérite de la ville ;
- Une étude hydrogéologique pour déterminer l'étendue du réservoir afin de mettre en place des zones de protection.

Pour une bonne gestion de la qualité des eaux de puits et de sources naturelles de la ville de Daloa, il est recommandé de :

- Sensibiliser les populations sur l'usage excessif des engrais chimiques et les risques sanitaires qui en sont liés ;
- Proposer des mesures de protection contre toutes activités susceptibles de contaminer les eaux ;
- Délocaliser ou interdire toutes activités dangereuses situées dans les zones de protection afin de préserver la qualité des eaux souterraines.

REFERENCES

Références

- Abbou B.M., Fadil F. El haji M. & Zemzami M. (2014). Impact anthropique sur la qualité des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Taza (Maroc). *European Scientific Journal*, 10(5) : 117-137.
- Adjiri O.A., Assoma T.V., Soro G., Aka N., Bengaly I. & Soro N. (2020). Evaluation des aptitudes d'usages des eaux de sources naturelles dans l'agriculture à partir de techniques hydrochimiques : cas de celles des départements de Daloa et Zoukougbeu, Côte d'Ivoire. *Afrique Sciences*, 16(1) : 204-217.
- Adjiri O.A., Kone B., Aka N., Djabakate I. & Dibi B. (2019). Caractérisation physico-chimique et source de la minéralisation des eaux souterraines des départements de Daloa et Zoukougbeu, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(4) : 2388-2401.
- Agence de l'eau. (2003). Système d'évaluation de la qualité de l'eau des eaux souterraines – SEQ-Souterraines. Rapport de présentation. Rhône-Méditerranée (Corse), 73 p.
- AGW-Net., BGR., IWMI., Cap-Net., RAOB. & IGRAC. (2015). Les eaux souterraines et la sécurité alimentaire. In : L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique. Hannover (Allemagne). (9) : 4-7.
- Ahoulé D.G., Yao A.M.J., Yapo O.B., Gnagne A.E. & Mambo V. (2017). Caractérisation hydrochimique de la nappe phréatique de la ville d'Abidjan : cas des communes d'Abobo, d'Attécoubé, de Koumassi et de Yopougon. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 44 : 51-57.
- Ahoussi K.E., Keumean K.N., Kouassi A. & Koffi Y.B. (2018). Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man : cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6) : 3018-3033.
- 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.

Références

- Ahoussi K.E., Silue F. & Dongo K. (2019). Etude des caractéristiques physiques et chimiques des eaux de surface de la zone forestière de Côte d'Ivoire : cas de la rivière Lobo à Daloa. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25 : 1375-1388.
- Alami I.I., Zeraouli M., Addou M., Mokhtari A. & Soulaymani A. (2007). Evaluation de la pollution nitrique de la nappe phréatique de la zone côtière du Gharb (M'nasra) au Maroc entre 1993 et 2003. *Afrique Science*, 03(3) : 378 – 390.
- Atteia O. (2005). Chimie et pollution des eaux souterraines. Edition Lavoisier TEC & DOC, 390 p.
- Aw S., N'goran E.B.Z., Siaka S. & Parinet B. (2011). Intérêt de l'analyse multi dimensionnelle pour l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 38 : 2573-2585.
- Bonton. A., Rouleau A., Bouchard C. & Rodriguez J.M. (2010). Assessment of groundwater quality and its variations in the capture zone of a pumping well in an agricultural area. *Agricultural Waste Management*, 97 : 824-834.
- Calow C.R., MacDoanald A.M., Nicol A.L. & Robins N.S. (2010). Ground water security and drought in Africa : Linking availability, access and demand. *Ground Water*, 48(2) : 246-256.
- Czekaj J., Jakobczyk K. S., Rubin H., Sitek S. & Witkowski A.J. (2015). Identification of nitrate sources in groundwater and potential impact on drinking water reservoir (Goczałkowice reservoir, Poland). *Physics and Chemistry of the Earth.*, 30 : 1-12.
- Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans la région d'Aboisso (Sud-est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de l'Université de Cocody Abidjan (Côte d'Ivoire), 167 p.
- Die K.K. (2006). Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire. Mémoire de fin de formation de l'EIER-ETSHER (Ouagadougou), 77 p.
- Ebah B. (2014). Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire. Rapport de développement durable, Abidjan (Côte d'Ivoire), 56 p.
- Eblin S.G., Konan K.S., Mangoua O.M.J., Nedeff V., Barsan N., Sandu V.A. & Sandu I. (2019). Nitrate pollution of groundwater based on GIS in the city of Daloa, West-central Côte d'Ivoire. *Revista de Chimie*, 70(7) : 2579-2583.

Références

- Gbamélé K.S., Konan K.S., Kouassi K.L., Brou L.A., Konan K.F. & Bini K.D. (2020). Evaluation de la Contamination Chimique des Eaux Souterraines par les Activités Anthropiques : Cas de la Zone d'Ity-Floleu Sous-Préfecture de ZouanHounien, Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 16(6) : 248-274.
- Gnamba F.M., Gnanagne T., Lasm T., Biémi J. & Kouakou Y.K.N. (2014). Analyse de la productivité des aquifères de fissures du socle Paléoprotérozoïque de la région de Katiola (centre-nord de la côte d'ivoire). *European Scientific Journal*, 10(5) : 79-98
- Goné D.L. (2001). Contribution de l'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines à la compréhension du fonctionnement des systèmes hydrauliques en milieu fissuré de la région semi-montagneuse de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse de doctorat 3e cycle, Université Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), 179 p.
- Goné D.L., Savané I. & Goblé M.M. (2004). Caractéristiques physico-chimiques majeures des eaux des aquifères fissurées de la région d'Agboville (Sud-Est de la côte d'ivoire). *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 5 : 117-133.
- Gouaidial L., Laouar MS., Défaflia N. & Zenati N. (2017). Origine de la minéralisation des eaux souterraines d'un aquifère dans une zone semi-aride, cas de la nappe de la merdja, nord-est algérien. *International journal of environment & water*, 6(2) : 104-118.
- Groupe d'Experts de haut niveau (The High-Level Panel of Expert: HLPE) (2015). Water for food security and nutrition. *HLPE REPORT*, 9 : 25-26.
- Guerrien M. (2003). L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales, *Cahiers des Amériques latines*, 43 : 181-192.
- Heriarivony S.C., Razanamparany B. & Rakotomalala J.E. (2016). Variations spatio temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la commune rurale d'Antanifotsy, Yakinankaratra, Madagascar. *Larhyss Journal*, 27 : 239-255.
- INS (Institut National de la Statistique) (2018). Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) Résultats globaux. INS (Abidjan-côte d'Ivoire), 26 p.
- Koita M. (2010). Caractérisation et modernisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone du socle-région Dimokro-Bongouanou (centre-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des sciences et techniques du Languedoc, Université Montpellier II (Montpellier, France), 180 p.

Références

- Kouassi A.M., Mamadou A., Ahoussi K.E. & Biémi J. (2013). Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques : cas de la côte d'ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 21 & 22 : 138-166.
- Koukougnon W.N.G. (2013). Milieu urbain et accès à l'eau potable: cas de Daloa (Centre-Ouest de la Cote d'Ivoire). Thèse unique de l'UFR Science de l'Homme et de la Société, Université Félix Houphouet Boigny (Abidjan, Cote d'Ivoire), 363 p.
- Kouzana L., Mammou B.A. & Gaaloul N. (2007). Intrusion marine et salinisation des eaux d'une nappe phréatique côtière (Korba, Cap-Bon, Tunisie). *Geo-EcoTrop.*, 31 : 57-70.
- 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, pp. 145-161
- 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 Technologies*, 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.
- Ligban R., Goné D.L., Kamagaté B., Saley B.M & Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 3(1) : 38-47.
- Ligban R., Mangoua O.M.J., Kouadio Z.A., Douagui A., Kouamé K.A. & Goné L.D. (2017). Caractérisation chimique des eaux de sources naturelles dans le degré carré de Daloa, au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 13(2) : 62 – 72.
- 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) :1-17.

Références

- N'Guettia K.G., Aboua K.N., Dongui G.A., Mangoua O.M.J. & Goné D.L. (2019). Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de la Baya, Est Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological Chemical Science*, 13(1) : 574-585.
- N'tcha T., Sambienou G.W., Alassane A., Boukari M., Kaki C. & Mama D. (2020). Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines des aquifères de socle de la commune de Natitingou au Bénin. *European Scientific Journal*, 16(6) : 65-94.
- Nolan B.T. (2001). Relating nitrogen sources and aquifer susceptibility to nitrate in shallow groundwater of the United States. *Groundwater*, 39 : 290 - 299.
- Oga M-S., Lasm T., Yao K.T., 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*, 3 : 72-87.
- OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4ième Edition intégrant le premier additif, Genève : 539 p.
- OMS. 2011. Guidelines to Drinking-water Quality (fourth edition). Genève : 564 p.
- ORE (Observatoire Régional de l'Environnement) (2016). L'eau en Poitou-Charentes. Notion clé : Qu'est-ce qu'une eau potable ? 7 p.
- Orou K.R., Ahoussi K.E., Soro N., Coulibaly K.J., Kissiedou K.E.P., Tanoh A.G. & Soro T.D. (2016). Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de grand-morié et d'azaguié dans le département d'agboville au sud-est de la côte d'ivoire *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 28 : 243 – 272.
- Ouattara A., Méité A., Dally T., Ouattara H. & Kati-Coulibaly 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.
- Rabilou M.S., Mousbahou M.M.A., Laouali S.M., Ibrahim N. & Habou I. (2018). Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux Souterraines Du Socle De La Région De Zinder (Niger) Pendant La Saison Des Pluies Et La Saison Sèche. *European Scientific Journal*, 14(27) : 317-345.
- Rodier J. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 9^{ème} édition, Paris, 1579 p.

Références

- Sallenave R. (2017). Nitrate in Drinking Water. College of agricultural, consumer and environmental sciences. New Mexico State University, 8 p.
- Sampson H. (2015) Les eaux souterraines. Une ressource rurale importante : Les puits privés d'eau en milieu rural. *Imprimeur de la reine pour l'Ontario*, 15 : 48 p.
- 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 Science*, 13(3) : 1870-1889.
- Soro G., Soro N., Ahoussi K.E., Lasm T., Kouamé F.K., Soro T.D. & Biémi J. (2010). Evaluation des propriétés hydrauliques des aquifères fracturés des formations cristalline et métamorphique dans la région des Lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *Estudios Geológicos*, 66(2) : 227-242.
- Soro T.D. (2014). Evolution des ressources en eau du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire) dans un contexte de variabilité et de changement climatiques : impacts hydrologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques. Thèse de Doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire), 243 p.
- Tanoh K.N.B. (2019). Optimisation du système de potabilisation de l'eau de la rivière Mé (Sud de la Côte d'Ivoire). Mémoire de fin de formation, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa, Côte d'Ivoire), 62 p.
- Walter J. (2010). Les eaux souterraines à salinité élevée autour du lac Saint-Jean, Québec : origine et incident. Mémoire en Sciences de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi, (Québec, Canada), 111 p.
- Yameogo S.O. (2008). Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso qualité et vulnérabilité. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. 254 p.
- Yao A.B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 192 p.

Références

- Yao T.K. (2009). Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du sud-ouest de la Côte d'Ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie. Thèse de doctorat, Université Cocody (Côte d'Ivoire), 337 p.
- Yao T.K., Oga M-S., Fouche O., Baka D., Pernelle C. & Biemi J. (2012). Evaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical : cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 6(6) : 7069-7089.
- Yapo I.R., Mambo V., Ligban R., Dao D., Bonfoh B., Alder C.A., Stamm C. & Yao-Ohou M.J. (2016). Caractérisation saisonnière des eaux de puits à usage maraîchère et domestique de Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological Chemical Science*, 10(3) : 1433-1449.
- Yidana S.M., Ophori D. & Banoeng-Yakubo B. (2008). A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data – The Ankobra Basin, Ghana. *Journal of Environmental Management*, 86 : 80-87.
- Youmbi T.G.J., Feumba R., Wethe J., Ekodeck G.E. & De Marsily G. (2012). Evaluation de l'adéquation des eaux souterraines à des fins domestiques et d'irrigation : une étude de cas du bassin de la rivière Mingoa, Yaoundé, Cameroun. *Journal des ressources en eau et de la protection*, 4 : 285-293.

ANNEXES

Annexes

Annexe 1: Valeurs seuils pour les différents paramètres de chaque altération

Altération Goûts et Odeurs

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Odeur	seuil à 25°C	1	3	20	
Saveur	seuil à 25°C	1	3	20	

Altération Matières organiques oxydables

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Oxydabilité au permanganate en milieu acide à chaud	mg/l O ₂	1	5	10	
Carbone organique dissous	mg/l C	3	6	12	

Altération Fer et manganèse

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Fer	µg/l	50	200	10000	
Manganèse	µg/l	20	50	1000	

Altération Particules en suspension

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Turbidité	NTU	0.4	2	3750	
Matières en suspension	mg/l	2	5	5000	

Altération Coloration

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Couleur	mg/l Pt	1	15	200	

Altération Micro-organismes

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
<i>Escherichia coli</i>	N/100 ml	0	20	20000	

Annexes

Entérocoques	ou	N/100 ml	0	20	10000	
Streptocoques fécaux						
Coliformes totaux		N/100 ml	0	50	50000	

Altération Minéralisation et salinité

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Conductivité (1)	μS/cm à 20°C	>= 180 et <= 400	> 400 et <= 2500	<180 ou > 2500 et <= 4000	> 4000
Dureté	d°F	>= 8 et <= 40		< 8 ou > 40	
pH		>= 6.5 et <= 8.5	> 8.5 et <= 9.0	< 6.5 et >= 5.5 ou > 9.0 et <= 9.5	< 5.5 ou > 9.5
Résidu sec (1)	mg/l	>=140 et <= 300	> 300 et <= 2000	< 140 ou > 2000 et <= 3000	> 3000
Chlorures (2)	mg/l	25	200		> 200
Sulfates (2)	mg/l	25	250		> 250
Calcium	mg/l	>= 32 et <= 160		< 32 ou > 160	
Fluorures	mg/l	>= 0.7 et <= 1.5	< 0.7	> 1.5 et <=10	> 10
Magnésium	mg/l	30	50	400	
Potassium	mg/l	10	12	70	
Sodium	mg/l	20	200		
TAC	d°F	>= 8 et <= 40		< 8 ou > 40	

Altération Nitrates

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Nitrates	mg/l NO ₃	25	50	100	

Annexes

Altération Matières azotées hors nitrates

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Ammonium	mg/l NH ₄	0.05	0.5	4	
Nitrites	mg/l NO ₂	0.05	0.1	0.7	

Altération Micropolluants minéraux

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Arsenic	µg/l	5	10	100	
Bore	µg/l	50	1000		
Cadmium	µg/l	1	5		
Chrome total	µg/l	25	50		
Cuivre	µg/l	100	200	4000	
Cyanures	µg/l	25	50		
Mercure	µg/l	0.5	1		
Nickel	µg/l	10	20	40	
Plomb	µg/l	5	10	50	
Sélénium	µg/l	5	10		
Zinc	µg/l	100	5000		
Aluminium	µg/l	50	200		
Antimoine	µg/l	2	5	10	
Argent	µg/l	5	10	200	
Baryum	µg/l	100	700		

Altération Pesticides

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Atrazine	µg/l	0.05	0.10	2	
Atrazine-déséthyl	µg/l	0.05	0.10	2	
Diuron	µg/l	0.05	0.10	2	
Isoproturon	µg/l	0.05	0.10	2	

Annexes

Lindane	µg/l	0.05	0.10	2	
Simazine	µg/l	0.05	0.10	2	
Terbuthylazine	µg/l	0.05	0.10	2	
Aldrine	µg/l	0.01	0.03	2	
Dieldrine	µg/l	0.01	0.03	2	
Heptachlore	µg/l	0.01	0.03	2	
Heptachlore-époxyde	µg/l	0.01	0.03	2	
Total Parathion ⁽¹⁾	µg/l	0.05	0.10	2	
Simazine-déséthyl	µg/l	0.05	0.10	2	
Pesticide (autre) par substance identifiée (2)	µg/l	0.05	0.10	2	
Pesticides (somme) ⁽³⁾	µg/l	0.10	0.50	5	

Altération Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Benzo(a)pyrène	µg/l	0.005	0.01	0.2	
HAP somme (4)*	µg/l	0.05	0.1	1	

Altération Poly-Chloro-Biphényles

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
PCB somme (7)*	µg/l	0.2	0.5	5	

Annexes

Altération Micropolluants organiques (autres)

Paramètres	Unités	Bleu clair	Bleu foncé	Jaune	Rouge
Tétrachloréthylène	µg/l	5	10	200	
Trichloréthylène	µg/l	5	10	200	
Total tétrachloréthylène et trichloréthylène	µg/l	5	10	200	
Benzène	µg/l	0.5	1	10	
Chloroforme	µg/l	5	10	100	
Détergents anioniques	µg/l	100	200	500	
Dichloréthane-1,2	µg/l	1	3	60	
Hexachlorobenzène	µg/l	0.005	0.01	0.1	
Hydrocarbures dissous	µg/l	5	10	1000	
Indice phénol	µg/l	0.25	0.5	100	
Tétrachlorure de carbone	µg/l	1	2	20	
Trichloréthane-1,1,1	µg/l	100	200	500	
Total trihalométhanes *	µg/l	50	100	2000	

Annexes

Annexe 2 : Fiche 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 ?

Annexes

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

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

Eau	Source	Puits	Lac	Citerne	SODECI	Fontaine publique	Autres eaux
Durée							
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

Annexes

Usage \ Eau	Source	Puits	Lac	Citerne	SIDECI	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 :

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

Annexes

- 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 ?
.....
- 12-Si non pourquoi ?.....
- 13-Lavez-vous les mains :

Annexes

	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				

14-Où jetez-vous les déchets ménagers ?

Déchets ménagers	Ordures ménagères	Eaux usées
Lieu de déversement		
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		

15-Pourquoi ?

RESUME

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de puits et de sources et expliquer les phénomènes à l'origine de la minéralisation de ces eaux, des analyses physico-chimiques ont été effectuées sur 29 échantillons d'eau dans la ville de Daloa. L'analyse descriptive des paramètres physico-chimiques a montré que les eaux sont acides dans l'ensemble avec une minéralisation peu accentuée pour les eaux de puits et très faible pour celles des sources. Les teneurs en nitrates sont parfois très élevées et au-dessus de la norme de potabilité OMS des eaux de consommation. Le diagramme de Piper a révélé que les eaux de puits et sources sont à 80% chlorurées sodi-potassiques. Quant à l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACPN), elle a mis en évidence trois grands phénomènes dans l'acquisition de la minéralisation des eaux : la dissolution de certaines roches au travers des réactions chimiques, le faible temps de séjour faible et les apports d'eaux par infiltrations superficielles. L'analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) a permis d'identifier deux groupes d'eau pour les puits et trois groupes d'eau au niveau des sources de compositions chimiques différentes. Dans l'ensemble, la qualité des eaux souterraines de Daloa part de bonne à moyenne et nécessite dans tous les cas, un traitement spécifique avant consommation.

Mots clés : Eaux souterraines, Qualité physico-chimique, SEQ-Eaux Souterraines, Daloa, minéralisation.

ABSTRACT

In order to evaluate the physico-chemical quality of well and spring waters and to explain the phenomena at the origin of the mineralization of these waters, physico-chemical analyses were carried out on 29 waters samples in the city of Daloa. The descriptive analysis of the physico-chemical parameters showed that the waters are acidic on the whole, with little mineralization in the case of well waters and very little in the case of spring waters. Nitrate levels are sometimes very high and above the WHO drinking water standard. The Piper diagram revealed that the well and spring waters are 80% chlorinated sodi-potassium. As for the Normalized Principal Component Analysis (NPCA), it highlighted three main phenomena in the acquisition of water mineralization: the dissolution of certain rocks through chemical reactions, the low residence time and the water contributions by surface infiltrations. The Ascending Hierarchical Classification (AHC) analysis identified two water groups for the wells and three water groups for the springs with different chemical compositions. Overall, the quality of groundwater in Daloa ranges from good to average and requires in all cases, a specific treatment before consumption.

Key words: Groundwater, physico-chemical quality, SEQ-Groundwater, Daloa, mineralization.