



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 :

2018-2019

N° D'ORDRE : 0258 / 2020

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0412000497

MASTER

GEOLOGIE APPLIQUÉE

Option : Mines et Energies

THEME :

Origine de l'acidité des eaux souterraines en zone de socle, approches pétrographique et géochimique : Cas des départements de Daloa et Zoukougbeu (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire).

LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIE DE
L'ENVIRONNEMENT

Présentée par :

ASSI Celeste Mireille Marie-France

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. ADJIRI Oi Adjiri , Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. NIANGORAN Kouadio Charles, Maître-Assitant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 09 / 06 / 2020



**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 :

2018-2019

N° D'ORDRE : 0258 / 2020

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0412000497

MASTER

GEOLOGIE APPLIQUÉE

Option : Mines et Energies

THEME :

Origine de l'acidité des eaux souterraines en zone de socle, approches pétrographique et géochimique : Cas des départements de Daloa et Zoukougbeu (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire).

**LABORATOIRE :
SCIENCES ET
TECHNOLOGIE DE
L'ENVIRONNEMENT**

Présentée par :

ASSI Celeste Mireille Marie-France

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. ADJIRI Oi Adjiri , Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

**Examineur : M. NIANGORAN Kouadio Charles , Maître-Assitant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE**

Soutenu publiquement

le : 09 / 06 / 2020

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
PARTIE 1 : GENERALITES.....	4
1-1. APERCU DE LA ZONE D’ETUDE	5
1-1-1. Présentation de la zone d’étude	5
1-1-1-1. Situation géographique.....	5
1-1-1-2. Cadre physioclimatique.....	6
1-1-1-3. Contexte hydrologique et hydrogéologique	7
1-1-1-3-1. Contexte hydrologique.....	7
1-1-1-3-2. Contexte hydrogéologique	8
1-1-1-4. Contexte pédologique et géologique	9
1-1-1-4-1. Contexte pédologique	9
1-1-1-4-2. Contexte géologique	10
1-1-1-5. Aspects tectoniques	11
1-1-1-6. Signature géochimique.....	12
1-2. GENERALITES SUR QUELQUES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES RESPONSABLE DE L’ACIDITE DES EAUX SOUTERRAINES	12
1-2-1. Potentiel hydrogène	12
1-2-2. Dioxyde de carbone (CO ₂), Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) et ion Hydrogène (H ⁺)	12
1-2-3. Acides organiques secretés par les micro-organismes.....	12
1-2-4. Teneur en silice.....	13
1-2-5. Chlorures	13

1-2-6. Nitrites	13
1-2-7. Nitrates.....	13
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	14
2-1. MATÉRIEL	15
2-1-1. Données cartographiques et hydroclimatiques	15
2-1-2. Acquisition de données de terrain et de laboratoire	15
2-1-2-1. Données de terrain.....	15
2-1-2-2. Données de laboratoire	15
2-1-3. Logiciels	17
2-2. MÉTHODES.....	17
2-2-1. Détermination des caractéristiques pétrographiques des formations géologiques	17
2-2-1-1. Methodes de prélèvement des échantillons	17
2-2-1-2. Observations macroscopiques des échantillons de roche.....	18
2-2-1-3. Observations microscopiques des échantillons de roche	19
2-2-2. Détermination de l'origine de l'acidité des eaux souterraines	20
2-2-2-1. Analyse chimique des échantillons de sols	20
2-2-2-2. Analyse chimique des échantillons d'eau	20
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	12
3-1. RÉSULTATS	22
3-1-1. Etude pétrographique des roches	22
3-1-1-1. Observation macroscopique	22
3-1-1-2. Observation microscopique.....	23
3-1-2. Résultats des analyses physico-chimiques (sols et eaux)	26
3-1-2-1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols.....	26
3-1-2-2. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux	27
3-1-2-3. Etude comparée des paramètres physico-chimiques des sols et eaux	28
3-2. DISCUSSION	29

CONCLUSION GÉNÉRALE	33
RÉFÉRENCES	36
ANNEXES	x

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire :

Aux personnes les plus chères à mes yeux et dans mon cœur, et qui, sans leur soutien et leurs générosités, je n'aurais pas pu atteindre mes objectifs. À ceux qui, durant toutes ces années ont fait de mon existence, la femme que je suis devenue.

À MA MERE et MON PERE, que DIEU vous benisse

À mes frères et mes sœurs

À ma famille et mes amis

À tous ceux qui m'aiment.

REMERCIEMENTS

Avant tout propos, je tiens tout d'abord à remercier DIEU pour la grâce et la faveur qu'il m'a accordé.

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été effectués dans le cadre du stage de fin de cycle pour l'obtention du Diplôme de Master en Géologie Appliquée, Option Mines et Énergies de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa (Côte d'Ivoire). La réalisation de ce mémoire a été rendue possible grâce au soutien et conseils de plusieurs personnes que nous tenons particulièrement à remercier.

Nos remerciements vont, en premier lieu, à l'endroit de la Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, Prof TIDOU Abiba Sanogo épouse KONÉ, Professeur Titulaire des Universités du CAMES d'avoir permis de faire ma formation dans l'institution qu'elle dirige.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Dr KOUAKOU Kouassi Lazare, Maître de Conférences et Directeur de l'UFR Environnement, pour avoir autorisé mon inscription en Géologie Appliquée, Option Mines et Énergies. Nous retenons votre disponibilité pour l'ensemble des étudiants de l'UFR et votre ardeur au travail.

Nos remerciements vont également à l'endroit de Dr DIBI Brou, Maître de conférences, Directeur Scientifique de la présente étude, pour avoir apporté sa rigueur scientifique et bien évidemment ses conseils, qui nous a permis de peaufiner et d'approfondir davantage notre réflexion sur le sujet.

Au Dr NIANGORAN Kouadio Charles, Maître-Assistant, Chef du département de Sciences de la Terre, pour ses conseils avisés.

Au Dr BIÉ Goha René, Maître-Assistant et Responsable de la filière Sciences de la Terre, pour nous avoir acceptés dans cette filière. .

À l'encadreur de ce mémoire, Dr ADJIRI Oi Adjiri, Maître-Assistant, qui malgré ses charges académiques et de recherche ne l'ont pas empêché, ni amoindri son implication dans la conception, le suivi et la correction de ce mémoire. Son aide, ses conseils et sa rigueur scientifique démontre pour moi le signe de sa générosité et de sa grandeur d'âme. Une fois de plus, merci monsieur.

Au Professeur COULIBALY Aoua, Vice-Doyen chargé de la recherche et Directeur à l'UFR STRM de l'Université Félix Houphouët Boigny, qui a donné son accord pour le travail au laboratoire. Soyez -en remercier. ; ,

Au Dr ALLIALY Marc Ephrem, Maître de Conférence et Enseignant-Chercheur à l'UFR STRM de l'Université Félix Houphouët Boigny, qui a accepté de porter un regard critique sur ce mémoire. Soyez -en remercier.

À tout le corps enseignant et administratif de l'Université Jean Lorougnon Guédé, nous disons un grand merci pour les conseils et les encouragements.

À l'ensemble des Doctorants du parcours de STRM de l'Université Félix Houphouet Boigny pour leur soutien et leur contribution à la réalisation de ce mémoire.

LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES

GPS : Global Positionning System

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RDO : Roche de Doboua

RTO : Roche de Toroguhé

RZO : Roche de Zoukangbeu

SEA: Spectromètre d'Emission Atomique

STRM : Sciences de la Terre et des Ressources Minières

TAC : Taux d'Alcalinité Totale

UFR : Unité de Formation et de Recherche

UTM : Universal Transversal Mercator

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Résultats des analyses physico-chimiques des sols.....	27
Tableau II : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux.....	28
Tableau III: Résultats des paramètres physico-chimiques mesurés	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la zone Daloa Zoukougbeu.....	5
Figure 2 : Diagramme ombro-thermique de la région de Daloa (pluie : 1950-2008,)	7
Figure 3 : Carte du réseau hydrographique des départements de Daloa et Zoukougbeu (Ligban,2009).....	8
Figure 4 : Carte géologique de la région du Haut Sassandra (Ahimon, 1990 modifiée)	11
Figure 5 : Matériel utilisé pour la confection de lames minces	16
Figure 6 : Microscope polarisant équipé d'un ordinateur	16
Figure 7 : Carte des points d'échantillonnages	18
Figure 8 : Aspect macroscopique de la roche de Toroguhé	22
Figure 9 : Aspect macroscopique de la roche de Zoukangbeu.....	22
Figure 10 : Aspect macroscopique de la roche de Doboua	23
Figure 11 : Pegmatite en lumière naturelle	23
Figure 12 : Pegmatite en lumière polarisée	24
Figure 13 : Granite à deux micas en lumière naturelle	24
Figure 14 : Granite à deux micas en lumière polarisée	25
Figure 15 : Granite à biotite en lumière naturelle	25
Figure 16 : Granite à biotite en lumière polarisée.....	26

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est une substance liquide transparente, incolore, inodore et insipide à l'état pur, réfractant la lumière et est susceptible de dissoudre un grand nombre de corps. Elle se trouve dans la nature à trois états : gazeuse, solide et liquide

L'eau est un élément indispensable pour la vie et le développement socio-économique d'un pays (Belghiti *et al.*, 2013). Elle participe directement à la qualité de l'environnement. De plus, l'amélioration des conditions de vie des populations passe par un meilleur accès au premier service de base qu'est l'eau.

Cette eau peut être contenue dans le sol et en surface. Celle provenant du sous-sol a généralement pour origine les précipitations. Elle s'infiltré plus profondément dans la terre, circule dans les pores, fissures et autres interstices pour se stocker dans le sous-sol et constituer les nappes d'eaux souterraines. Celle-ci s'écoule vers les sources, les fleuves ou directement dans la mer. Elle peut aussi être captée par l'homme grâce à des puits ou forages (De Marsily *et al.*, 2017).

Au cours de son infiltration dans le sol et au contact avec l'encaissant (roche), acquiert une charge minérale. Sa nature pétrographique est qualifiée d'endogène et qui est formée en profondeur, par solidification de matériau (magama). Ses éléments en solution sont également informatifs sur la nature de l'aquifère. Cependant, cette composition peut être altérée lorsque des substances extérieures (polluants) entrent en contact avec la nappe aquifère.

Malheureusement, ces ressources considérées jadis de bonne qualité par les consommateurs se trouvent aujourd'hui menacées par diverses sources de contamination (ponctuelles ou diffuses).

Dans les départements de Daloa et Zoukougbeu, situés au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, cette ressource constitue la principale source d'alimentation en eau des populations rurales. Plusieurs travaux déjà réalisés dans la zone ont fait ressortir les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux (Ligban *et al.*, 2009, Adjiri *et al.*, 2018). Toutefois, ces études ont ressorti l'origine des pollutions des eaux souterraines. Par conséquent, l'origine de son acidité reste peu connue. Il convient donc de rechercher les éléments contenus dans l'eau qui au contact de la roche pourraient contribuer à l'acidité des eaux souterraines. C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude portant sur le thème « **Origine de l'acidité des eaux souterraines en zone de socle, approches pétrographique et géochimique : cas des départements de Daloa et Zoukougbeu (centre-ouest de la Côte d'Ivoire)** »

L'objectif principal de cette étude est d'identifier **l'origine de l'acidité des eaux souterraines en zone de socle dans les départements de Daloa et Zoukougbeu**. De façon spécifique, il s'agit de :

Introduction

- déterminer la nature lithologique des formations géologiques de la zone d'étude
- caractériser la composition géochimique des sols et des eaux souterraines dans la zone d'étude.

Pour la bonne compréhension du travail réalisé, la rédaction du mémoire s'articulera essentiellement autour de trois parties :

- la première partie traite des généralités sur la zone d'étude ;
- la deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés afin d'atteindre les objectifs;
- la troisième partie, est consacrée à la présentation des résultats obtenus, qui seront discutés par la suite . Une conclusion générale mettra fin à la présente étude.

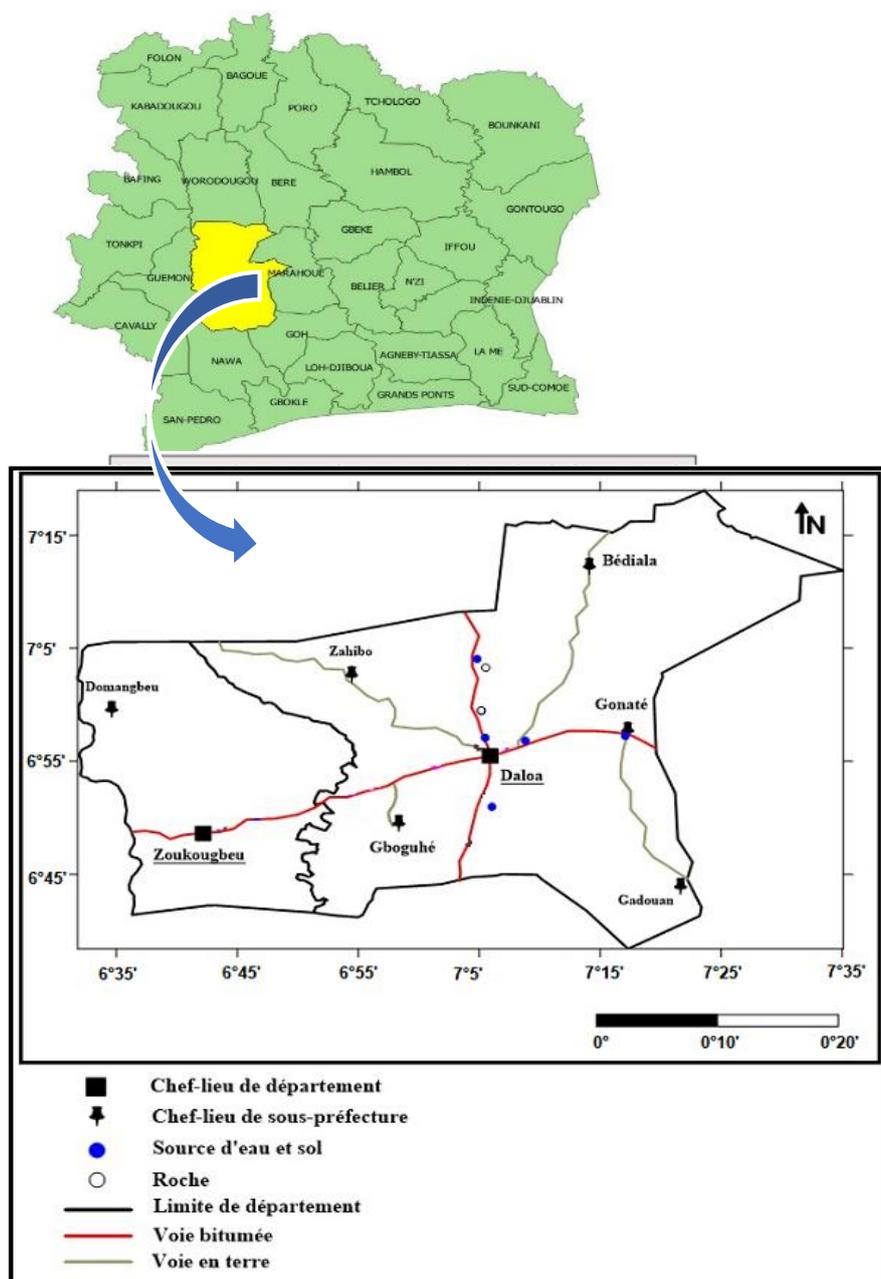
PARTIE 1 : GÉNÉRALITÉS

1-1. APERCU DE LA ZONE D'ETUDE

1-1-1. Présentation de la zone d'étude

1-1-1-1. Situation géographique

La zone d'étude s'étend du département de Daloa au département de Zoukougbeu. Elle couvre une superficie d'environ 5400 km² et se situe entre les latitudes (6,45 et 7,15)° Nord et longitudes (6,35 et 6,31)° Ouest. L'altitude par rapport au niveau de la mer est 262 m (Figure 1). La ville de Daloa est située à 141 km de Yamoussoukro, la capitale politique et à 383 km d'Abidjan, la capitale économique et Zoukougbeu à 444 km d'Abidjan.



1-1-1-2. Cadre physioclimatique

Le climat de la région est de type tropical, localement appelé climat attiéen, avec un régime pluviométrique de type bimodal atténué organisé en quatre saisons. La grande saison des pluies est définie par des inter-saisons et marquée par des orages (Avril à mi-juillet). La petite saison sèche se déroule de mi-juillet à mi-septembre, la petite saison des pluies de mi-septembre à novembre et la grande saison sèche de décembre à mars. Ce climat est caractérisé par de fortes précipitations, une humidité atmosphérique élevée et une faible variation annuelle d'amplitude thermique. Les précipitations minimales moyennes sont de 18 mm en janvier et le maximum est de 210 mm en septembre. Ce climat est caractérisé par de fortes précipitations, une humidité atmosphérique élevée et une faible variation annuelle d'amplitude thermique.

La température moyenne annuelle enregistrée à la station de Daloa est égale à 25,8°C avec des variations mensuelles généralement inférieures à 3°C. Le mois de février est le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 27,6°C, tandis que le mois le plus froid de l'année est le mois d'août, avec une température moyenne de 24,6°C.

Le relief de la zone est constitué d'une pénéplaine de faible altitude et comprenant dans la partie nord des dômes cristallins (260-400 m) et des bas-plateaux (190-250 m). Aussi, la région présente des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables aux cultures irriguées. En outre, à l'instar de tout le Haut Sassandra, les départements de Daloa et de Zoukougbeu sont situés dans le domaine guinéen, secteur forestier mésophile. Ce secteur se caractérise par la forêt dense humide semi-décidue. Cette forêt se retrouve sur la pédiplaine et est dégradée dans les zones habitées (Géomines, 1982 *in* Baka, 2012). Les activités agricoles et les feux de brousse ont fortement dégradé cette végétation. Depuis quelques années, on observe une savanisation de la région

Généralités

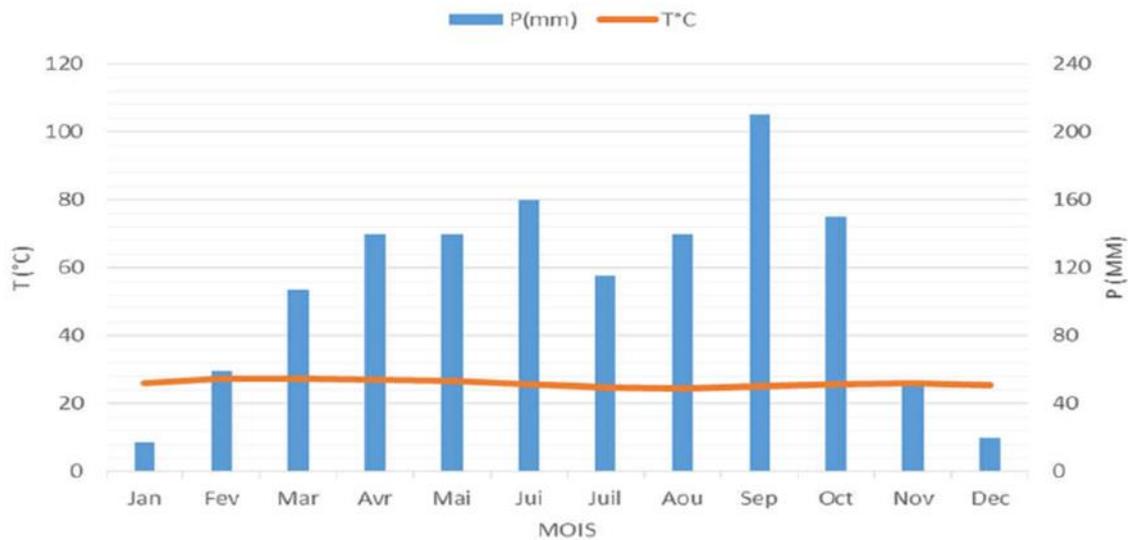


Figure 2 : Diagramme ombro-thermique de la région de Daloa (pluie : 1950-2008)

1-1-1-3. Contexte hydrologique et hydrogéologique

1-1-1-3-1. Contexte hydrologique

La Figure 3 présente un aperçu du réseau hydrographique des départements de Daloa et Zoukougbeu. Sur cette figure, le fleuve Sassandra avec une longueur de 650 km et drainant un bassin versant de 75000 km² est le principal cours d'eau qui régle l'hydrologie de toute la zone. Les réseaux hydrographiques rattachés à son lit sont dominés par les rivières Lobo et Davo qui se situent respectivement dans la partie centrale et sud-est. Le drainage régional s'effectue dans la direction nord-sud.

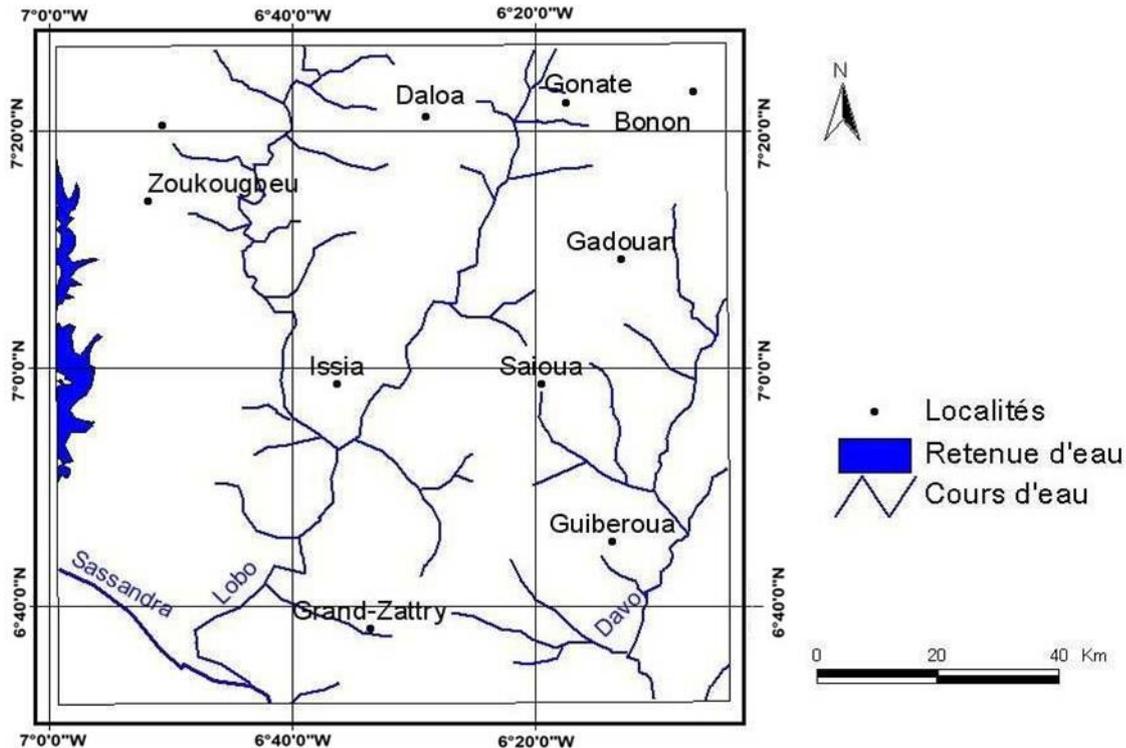


Figure 3 : Carte du réseau hydrographique des départements de Daloa et Zoukougbeu (Ligban,2009)

1-1-1-3-2. Contexte hydrogéologique

Le terme aquifère désigne en hydrogéologie une couche dont la porosité lui permet de contenir de l'eau facilement exploitable. Du point de vue hydrogéologique, comme dans la plupart des zones de socle, dans la zone d'étude on distingue deux grands types d'aquifères :

- les aquifères des altérites ;
- les aquifères de fractures et/ou de fissures.

- **Les aquifères d'altérites**

Dans cette zone, les aquifères d'altérites issues des roches granitiques sont représentés par un mélange de sables et d'argiles avec une proportion plus importante de sables. Ils constituent des réservoirs fortement capacitifs des hydrosystèmes en zone de socle (Lasm *et al.*, 2004). C'est l'aquifère qui reçoit en premier les eaux d'infiltration en provenance des précipitations et dont les réserves sont captées par les puits paysans et les puits modernes (Dibi, 2008). Ces réserves varient quantitativement en fonction de l'épaisseur d'altération, la porosité, la capacité d'emménagement et de l'intensité de l'infiltration. Dans ces aquifères peu profonds, la saison sèche se caractérise par un rabattement plus ou moins important du niveau d'eau ; ce qui pourrait dans certains cas conduire à l'assèchement des puits (Goné, 2001).

La partie sableuse constitue les arènes, qui au plan hydrogéologique constituent le niveau le plus perméable. En revanche, les produits d'altération des schistes sont dominés par une phase argileuse importante. Ils sont peu perméables et de porosité importante liée à la taille des grains. (Ligban, 2013). Ces aquifères ont une épaisseur moyenne de 10 à 20m dans les granito-gneiss et de 15 à 40 m dans les schistes (Soro, 2010).

- **Les Aquifères de fractures**

Les aquifères de fractures (de fissures) ou aquifères discontinus se développent sur le socle cristallin et cristallophyllien ayant préalablement été affecté par la fracturation. Ils sont sous-jacents aux aquifères d'altérites et constituent des réservoirs beaucoup plus intéressants. Ces aquifères naissent généralement à la suite d'événements tectoniques qui affectent les niveaux supérieurs et moyens de l'écorce terrestre (Sawadogo, 1984). Ils s'étendent en moyenne sur une épaisseur de 50 m (Maréchal et *al.*, 2003). En outre leur importance est liée à leurs ouvertures (Soro, 2002).

Contrairement aux aquifères d'altérites, les aquifères de fissures et fractures sont à l'abri des fluctuations saisonnières et de la plupart des divers types de pollution. Pour cela, dans les régions de socle, ces aquifères sont de plus en plus recherchés et exploités à partir des forages pour l'alimentation en eau des populations. Leur productivité est liée à la densité, à la connectivité et à l'importance des fissures et fractures (Wyns et Baltassat 2004 ; Ayraud, 2005 ; Van der Hoven et Solomon, 2005).

Les aquifères de fissures et fractures constituent le réservoir principal d'eau de la partie non altérée du socle et sont captés dans la région de Daloa par des forages pour l'approvisionnement en eau des populations.

1-1-1-4. Contexte pédologique et géologique

1-1-1-4-1. Contexte pédologique

Les sols du degré carré de Daloa sont de type remanié et hydromorphe (Ligban et *al.*, 2009). Les premiers occupent plus de 90% de la superficie et sont généralement issus de l'altération des granites. Ils sont caractérisés par la présence de graviers dans la partie supérieure (Tahoux, 1995). Les profils d'altération sont principalement de type ferralitique. 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 de rentes et vivrières (le café, le cacao, l'hévéa, le riz irrigué, etc).

1-1-1-4-2. Contexte géologique

Le socle précambrien ivoirien appartient à la dorsale de Man. Il couvre 97,5% du territoire ivoirien et le bassin sédimentaire côtier occupe les 2,5% restant. La dorsale de Man se subdivise en deux domaines séparés par la faille du Sassandra orientée globalement N-S, large de 3 à 4 km et longue de plusieurs centaines de kilomètres (Yao, 2009). Les départements de Daloa et de Zoukougbeu se situent à l'est de cet accident majeur. Les formations géologiques de cette zone ont été structurées au cours de deux phases orogéniques caractérisées par la nature des roches, les textures et les structures qu'elles ont engendrées (Papon, 1973 ; Ahimon, 1982 ; Bonnot, 1985). D'un point de vue chronologique, on a d'abord l'orogénèse libérienne caractérisée par les phases de la migmatisation et du plissement des roches. Ensuite, l'orogénèse éburnéenne responsable de l'accident du fleuve Sassandra et de toutes les fractures orientées nord-sud de la région de Daloa (Bonnot, 1985). On distingue donc dans cette région, plusieurs formations géologiques bien distinctes (Figure 3). Elles appartiennent principalement au socle précambrien et se regroupent en deux grandes entités que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques (Ligban et *al.*, 2009). Les roches magmatiques sont représentées dans la zone par les granitoïdes que sont : granites à biotite, les granites à chlorite, albite et muscovite. Les leucogranites, les granodiorites et les dioritoides sont essentiellement constituées de diorites quartziques à albite. Les roches métamorphiques sont caractérisées par les migmatites : les faciès migmatitiques rencontrés dans cette zone sont constitués de migmatites anciennes, les gneiss migmatitiques, les migmatites rubanées et les leucomigmatites (Bonnot, 1985). On note aussi la présence d'ensemble schisteux constitués de schistes argileux et gréseux, des grès feldspathiques.

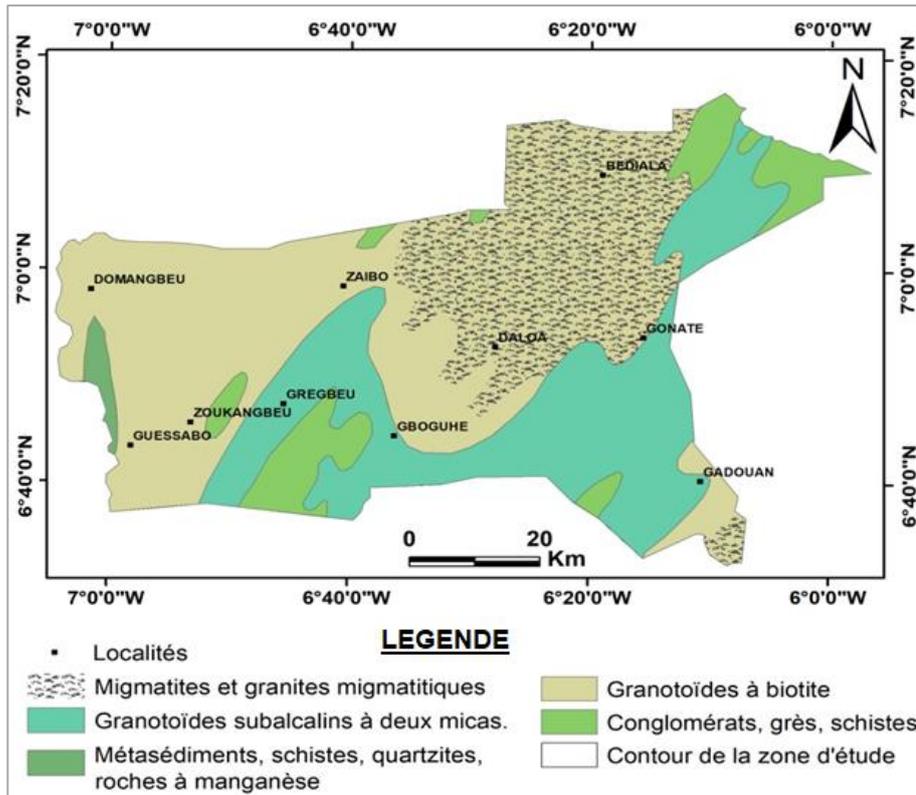


Figure 4 : Carte géologique de la région du Haut Sassandra (Ahimon, 1990 modifiée)

1-1-1-5. Aspects tectoniques

La connaissance des événements géologiques des départements de Daloa et Zoukougbeu s'inspire essentiellement des travaux de (Bonnot, 1985 ; Ahimon, 1982) et de Papon, (1973). Dans ces travaux, il ressort deux phases orogéniques caractérisées par la nature des roches, les textures et les structures qu'elles ont engendrées.

D'un point de vue chronologique, on a d'abord l'orogénèse du Libérien caractérisée par les phases de la migmatitisation et du plissement des roches. Les plis sont de style isoclinal avec des pentes qui varient entre 30° et 60° . Cette phase se situe entre 2750 Ma et 2500 Ma (Papon, 1973).

Ensuite, l'orogénèse éburnéenne à laquelle on attribue la phase tectonique de direction Nord-Sud qui constitue l'un des accidents sub-verticaux de grandes amplitudes. Elle est responsable de l'accident du fleuve Sassandra et de toutes les fractures orientées Nord-Sud de la région de Daloa (Bonnot, 1985). Selon ce même auteur, l'orogénèse éburnéenne est également représentée par la mise en place des roches pyroclastiques et de semi-profondeur.

1-1-1-6. Signature géochimique

Les teneurs en éléments chimiques des différentes roches, à partir des bulletins d'analyses réalisées des missions de levés géologiques réalisés par Ahimon et *al.* (1990) ont montré que les teneurs en SiO₂ sont les plus importantes. Elles varieraient de 49,55 à 76,90 % et indiqueraient que la silicification aurait été beaucoup plus intense dans ces roches. Selon ces mêmes auteurs, les teneurs en Al₂O₃ seraient comprises entre 11,58 et 18,75 % avec une moyenne de 13,82 ± 1,89 %. Toujours pour ces auteurs, dans l'ensemble des roches, l'oxyde de sodium (Na₂O) serait l'alcalin dominant avec une teneur moyenne de 4,32 ± 2,03% contre 2,10 ± 1,49 % pour K₂O. Cependant, les valeurs de Na₂O seraient variables d'une roche à une autre. Pour les alcalino-terreux, les teneurs du CaO vont de 0,55% à 8,10% avec une moyenne de 2,27 ± 2,17%. Pour le MgO, elles seraient comprises entre 0,12 et 11,98 % avec une moyenne de 2,59 ± 3,53%.

1-2. GENERALITES SUR QUELQUES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES RESPONSABLE DE L'ACIDITE DES EAUX SOUTERRAINES

1-2-1. Potentiel hydrogène

Le pH (potentiel d'Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre l'acidité et la basicité d'une solution sur une échelle de 0 à 14,7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de plusieurs facteurs, dont la température et l'eau (Ghazali et *al.*, 2013). L'OMS indique pour les eaux de consommation des valeurs de pH compris entre 6,5 et 9,5.

1-2-2. Dioxyde de carbone (CO₂), Bicarbonate (HCO₃⁻) et ion Hydrogène (H⁺)

La principale source de production du gaz carbonique (CO₂) dans le sol provient essentiellement de l'air, de la respiration des plantes et micro-organismes et des phénomènes de dégradation biologique et chimique des matières organiques en absence d'accident tectonique majeur. Ce gaz, lorsqu'il est dissous dans l'eau donne naissance à plusieurs corps successifs: acides carboniques; bicarbonates (HCO₃⁻), carbonates (CO₃²⁻) et protons H⁺.

1-2-3. Acides organiques secretés par les micro-organismes

Les acides organiques sont des composés organiques ayant des propriétés acides. Ces derniers sont produits par des bactéries ou des levures. On peut citer entre autres, l'acide lactique, l'acide acétique, etc... (Stein, 2007). Ces acides, selon leur nature et leur quantité, peuvent augmenter

directement et indirectement la dissolution minérale. Cependant, la majorité des acides peut, selon les conditions de pH, se dissocier en anions organique et en protons.

1-2-4. Teneur en silice

Les teneurs en silice proviennent essentiellement des minéraux silicatés. Elle ne contribue pas à la dureté de l'eau mais intervient fortement dans la formation des incrustations sous forme de silicate de calcium ou de magnésium (Lauga, 1990). Les silicates sont faiblement solubles dans l'eau et proviennent de la dégradation des minéraux silicatés. Dans l'eau, on les trouve sous forme colloïdale ou soluble, et leur concentration varie normalement entre 5 et 25 mg/l.

1-2-5. Chlorures

Dans l'ensemble, les chlorures proviennent des eaux usées et des effluents industriels. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Aussi, Ils ont une influence sur la faune, la flore aquatique et sur la croissance des végétaux (Makhoukh, 2011). Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé (OMS, 2003). Sa teneur augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau (Rodier et *al.*, 2009).

1-2-6. Nitrites

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantité relativement faibles. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges. Toutefois, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car sa présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (Savary, 2010).

1-2-7. Nitrates

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels (Samake, 2002). Ils proviennent aussi de l'oxydation de l'azote organique et de l'oxydation de l'azote inorganique (ammonium). Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Sa concentration doit être inférieure à 50 mg/L.

PARTIE 2 : MATÉRIEL ET METHODES

2-1. MATÉRIEL

Le matériel est constitué de données et d'outils :

2-1-1. Données cartographiques et hydroclimatiques

Les données et cartes utilisées sont :

- la carte topographique des départements de Daloa et Zoukougbeu à l'échelle 1 /10000 par l'Institut Géographique National de Paris en 1966 et fournit par le Centre de Cartographie et de Télédétection (CCT) ;
- la carte d'urbanisation du département de Daloa réalisée en (1998) et fournie par la mairie de Daloa à l'échelle 1/68000 ;
- les données des paramètres chimiques de sol et des eaux souterraines des départements de Daloa et Zoukougbeu (Diabagaté, 2019) ;
- la carte géologique de la région du Haut Sassandra

2-1-2. Acquisition de données de terrain et de laboratoire

2-1-2-1. Données de terrain

L'acquisition des données a nécessité l'utilisation de matériel suivant:

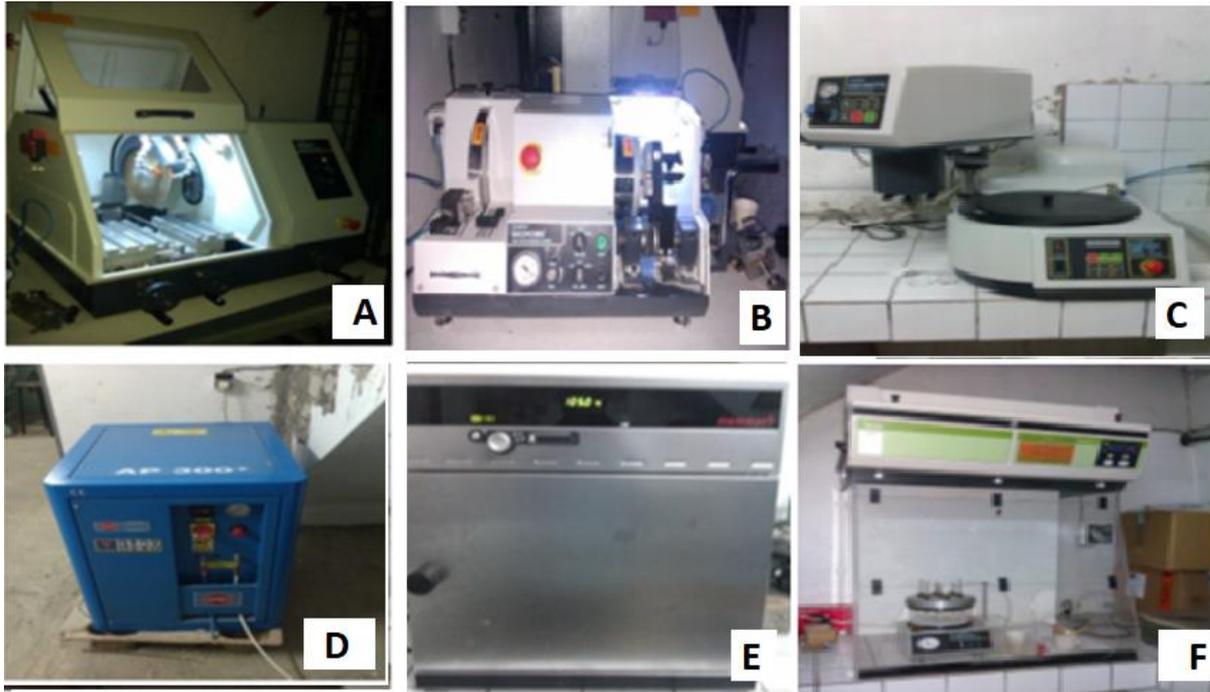
- un appareil photo numérique pour les prises de vue sur chaque affleurement,
- un sac et des sachets à échantillon ainsi que des marqueurs permanents utilisés pour porter des identifiants sur les échantillons (numéro et nom de la localité),
- un marteau de géologue qui a servi à échantillonner les roches sur différents sites,
- un équipement personnel de sécurité (Casque, chaussure et lunette) pour se protéger contre le soleil et les morsures de serpent ;
- une trousse à pharmacie.

2-1-2-2. Données de laboratoire

- **Matériel utilisé pour la confection des lames minces**

Le matériel de laboratoire utilisé pour la confection des lames minces est composé de tronçonneuses (géocut, géoform), de polisseuse, de four ou étuve , d'une hotte et d'un compresseur à air (Figure 5).

Ce matériel est disponible et a été utilisé au Laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie (LGSM) de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et de Ressources Minière (STRM) de l'Université Félix Houphouët Boigny.



A : tronçonneuse Géocut ; B : tronçonneuse Géoform ; C : polisseuse ; D : compresseur à air ; E : four ou étuve ; F : hotte

Figure 5 : Matériel utilisé pour la confection de lames minces

- **Matériel utilisé pour les analyses pétrographiques**

Le matériel utilisé pour les analyses pétrographiques est composé d'un microscope polarisant connecté à un ordinateur (Figure 6).



Figure 6 : Microscope polarisant équipé d'un ordinateur

2-1-3. Logiciels

Plusieurs logiciels ont été utilisés au cours de ces travaux, à savoir :

- **Logiciels ArcGIS 10.2** pour la numérisation et l'élaboration des cartes ;
- **Tableur EXCEL 2016 de Microsoft-office** pour la réalisation de base des données des paramètres chimiques.

2-2. MÉTHODES

2-2-1. Détermination des caractéristiques pétrographiques des formations géologiques

2-2-1-1. Methodes de prélèvement des échantillons

Pour la présente étude, les échantillons d'eaux ont été prélevés sur les axes Daloa- Gonaté-Zoukougbeu et Daloa-Vavoua-Gboguhé.

Des prélèvements d'échantillons de roches et de sols ont été effectués dans les environs des points d'eau échantillonnés et conditionnés dans des sachets alimentaires.

En ce qui concerne les eaux , deux campagnes d'échantillonnage ont été effectuées en mars 2018. Elles ont concerné 13 sources d'émergence d'eaux naturelles.

Avant l'échantillonnage, le pH a été mesuré *in situ* avec un multiparamètre de marque HACH HQ40d. Au cours de l'échantillonnage les démarches suivantes ont été adoptée : les échantillons ont été prélevés dans des flacons de 1 litre. Pour éviter toutes contaminations, les flacons sont rincés 3 fois avec l'eau à analyser, puis remplis jusqu'au bord et fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air afin d'éviter le dégazage de l'eau et la précipitation de certains éléments chimiques. Une fois les flacons remplis, ils sont conservés dans une glacière, pour maintenir une température basse d'environ 4°C. Les analyses ont été réalisées au bout de 48 heures après la prise d'échantillons.

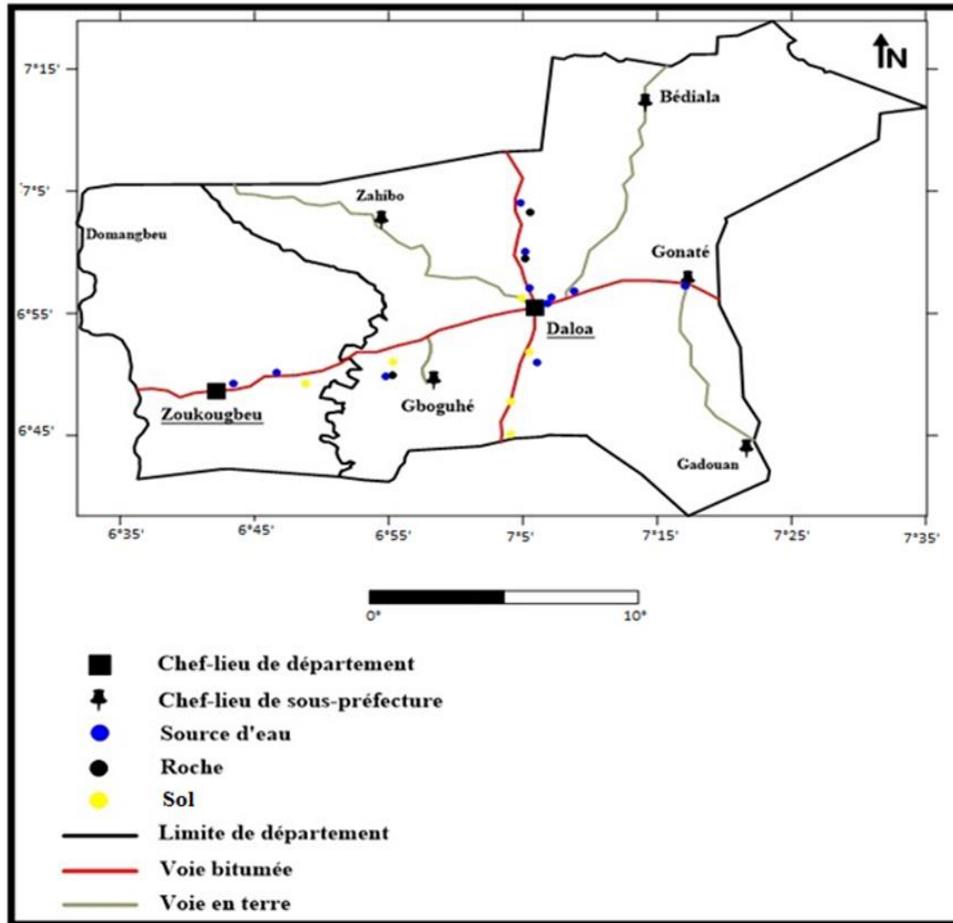


Figure 7 : Carte des points d'échantillonnages

2-2-1-2. Observations macroscopiques des échantillons de roche

L'analyse structurale a consisté à faire des observations sur les roches (déformation, éléments structuraux). Les observations pétrographiques sur le terrain ont consisté à décrire les unités lithologiques observées sur les différents affleurements rencontrés. Au total, 27 échantillons ont été prélevés. Au laboratoire, les observations macroscopiques ont montré des similarités au niveau des roches. Les échantillons de roches étaient tous identiques. Par conséquent nous avons procédé par élimination de ces roches dans chaque localité. A ce niveau, trois (03) types d'échantillons de roches ont été identifiés : RTO, RZO et RDO

Ensuite, identifier la roche en se basant sur les différents critères de classification dont la texture, la structure, la composition minéralogique et la couleur. Cette analyse nous permet souvent d'identifier les échantillons de roche sur le terrain. Toutefois, pour une confirmation de ces résultats, une observation microscopique s'avère nécessaire.

2-2-1-3. Observations microscopiques des échantillons de roche

- Confection des lames minces

La description microscopique devrait nous permettre de faire une identification formelle de la roche. Cette description des échantillons de roches prélevés a été faite au Laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie (LGSM) de l'UFR STRM à partir des échantillons de roches collectés.

Une fois au laboratoire, la confection des lames minces a suivi la démarche suivante : l'appareil géocut a permis le sciage des échantillons de roche en faisant des coupes parallèles d'environ 1 cm. Ensuite, détacher une plaque de roche dans laquelle on découpe un fragment ayant la taille d'un morceau de sucre. Ce sucre va subir un premier polissage à la polisseuse qui fonctionne à partir du compresseur à air. La face du sucre polie est ensuite collée sur la face de la lame polie de sorte à éviter la présence d'air. L'ensemble lame-sucre est passé au géoform afin de réduire au maximum la taille du sucre. Ainsi réduit, la polisseuse va permettre d'obtenir des lames minces.

- Observation des lames minces réalisées

Une fois confectionnées, ces lames ont été observées au microscope polarisant au sein dudit laboratoire. La démarche a consisté à décrire succinctement les différents minéraux présents dans la lame mince, en lumière naturelle puis en lumière polarisée. Elle permettra l'identification des minéraux cardinaux et accessoires. Enfin, le nom de la roche sera donné à partir des critères (texture, composition minéralogique, clivage, relief, mâcle, angle d'extinction, teinte de polarisation).

Pour la description, au microscope la démarche suivante a été adoptée:

Description en lumière naturelle : Lumière dont les photons ne vibrent que dans un seul plan.

Les caractéristiques à identifier sont :

- 1-La forme (automorphe, xenomorphe) ;
- 2-La couleur et pléochroïsme ;
- 3-Le relief et le plan de clivage ;
- 4-Présence d'altération.

Description en lumière polarisée : Lumière passant à travers deux polaroids orientés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre (analyseur et le polariseur sont orientés à 90° l'un par rapport à l'autre). Les caractéristiques à décrire sont :

- 1-L'angle d'extinction ;

- 2- Le mâcle et zonation ;
- 3- La biréfringence.
- 4- L'allongement

2-2-2. Détermination de l'origine de l'acidité des eaux souterraines

2-2-2-1. Analyse chimique des échantillons de sols

la décomposition de la matière organique par les microorganismes libère le nitrite, le nitrate, l'ammonium. La production d'acide organique par les microorganismes du sol, la respiration des organismes vivants favorisent l'acidité. Ainsi, plus la production de la biomasse est élevée (plus ça pousse), plus forte est la source d'acidité. Cette analyse nous permet d'identifier les éléments chimiques des sols à savoir : le nitrite, le nitrate, l'ammonium et le pH au sein du laboratoire du Centre de Recherche Océanologique.

Le mode opératoire utilisé pour le dosage des échantillons est le suivant :

Préparation des échantillons, nous avons :

1. sécher et écraser les échantillons de sols ;
2. tamiser les échantillons écrasés ;
3. prélever la quantité nécessaire pour l'analyse chimique donnée ;

Dosage chimique, nous avons :

1. ajouté 50 ml d'eau distillée ;
2. agité pendant au moins deux heures ;
3. prélevé 30 ml du surnageant ;
4. ajouté 1 ml de sulfanilamide ;
5. effectué la lecture au spectrophotomètre ;

Lecture au spectrophotomètre, nous avons :

- 1- réalisé le spectre d'absorption d'une solution colorée ;
- 2- fait la courbe d'étalonnage ;

2-2-2-2. Analyse chimique des échantillons d'eau

Les analyses chimiques ont porté sur K^+ , Cl^- , HCO_3^- et NO_3^- . Les chlorures ont été dosés par colorimétrie au Thiocyanate de mercure. Pour les teneurs en hydrogénocarbonates, on a mesuré le titre alcalimétrique couplé (TAC) à l'aide d'un titrimètre digital de type HACH, puisque le titre alcalimétrique est nul quand le pH est inférieur à 8,3. Ce dosage s'est donc fondé sur la neutralisation d'un volume d'eau (100 mL) par un acide minéral (H_2SO_4 à 0,16N ou à 1,6N

Matériel et Méthodes

selon la minéralisation). En utilisant le vert méthyl rouge de bromocrésol comme indicateur coloré. La détermination des HCO_3^- s'est faite à l'aide de la relation :

HCO_3^- (mg/L) = 1,219 x TAC, avec TAC : taux d'alcalinité totale en mg/L de CaCO_3 .

Quant au cation K^+ , ils ont été dosés par spectrophotomètre d'émission atomique (ICP-AES) dont la source est du plasma généré par couplage inductif conformément à la norme ISO-11885.

PARTIE 3 :
RESULTATS ET
DISCUSSION

3-1. RÉSULTATS

3-1-1. Etude pétrographique des roches

3-1-1-1. Observation macroscopique

- Roche de Toroguhé (RTO)

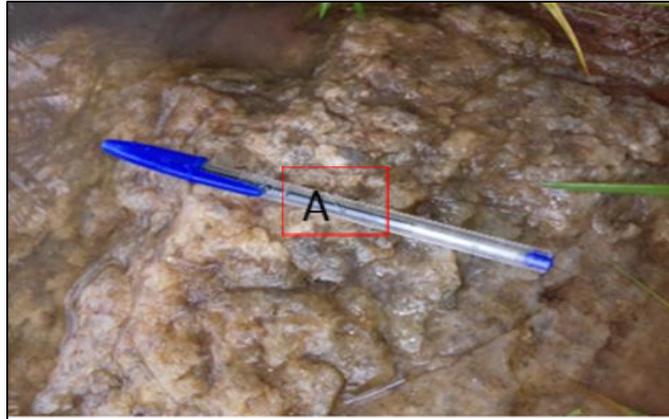


Figure 8 : Aspect macroscopique de la roche de Toroguhé

L'échantillon prélevé sur ce site montre un aspect massif (Figure 8). Il est de couleur leucocrate altérée par endroit. La texture est grenue avec une prédominance de quartz, de feldspath calcosodiques et potassiques (orthose), de biotite. Aussi, elles se caractérisent par des cristaux de grandes tailles multi-centimétriques à multi-métriques. C'est une roche semi-profondeur d'origine filonienne : il s'agit donc d'une pegmatite.

- Roche de Zoukangbeu (RZO)

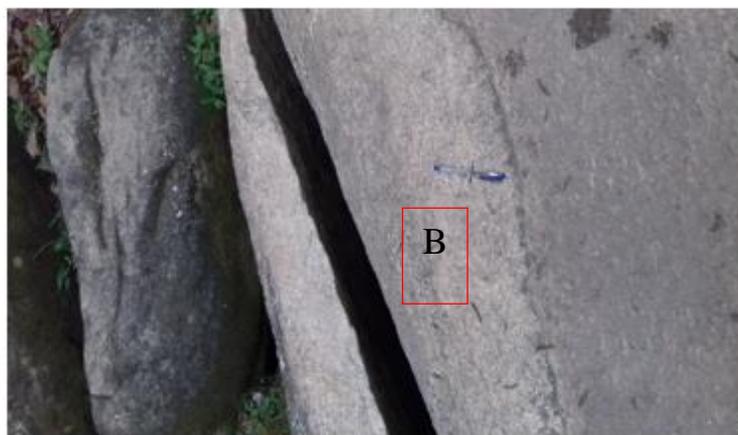


Figure 9 : Aspect macroscopique de la roche de Zoukangbeu

L'échantillon prélevé sur ce site montre un aspect massif (Figure 9). Il est de couleur mésocrate. La roche présente une texture grenue. À l'oeil nu, certains minéraux sont visibles et reconnaissables. Ils sont millimétriques à centimétriques notamment, le quartz, le feldspath, la muscovite la biotite et les minéraux ferromagnésiens. Elle est d'origine plutonique : c'est un granite à deux micas.

- Roche de Doboua (RDO)



Figure 10 : Aspect macroscopique de la roche de Doboua

L'échantillon prélevé sur ce site montre un aspect massif (Figure 10). Il est de couleur mesocrate. La texture est grenue contenant une abondance de quartz, de biotite et peu de feldspath. Les biotites y sont petites inférieures, à 1 mm. Ces granites dans lesquels les biotites sont inégalement réparties, leur donnant ainsi un aspect nébuleux, ont été qualifiés d'hétérogènes . C'est une roche d'origine plutonique .Il s'agit d'un granite à biotite.

3-1-1-2. Observation microscopique

- Roche de Toroguhé (RTO)

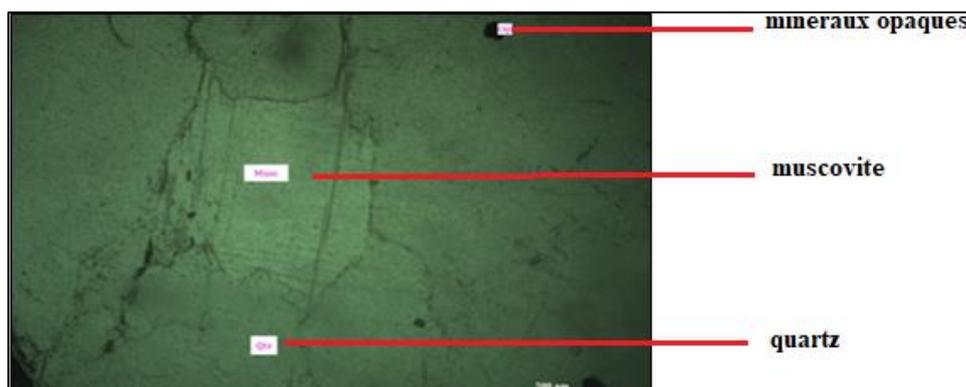


Figure 11 : Pegmatite en lumière naturelle

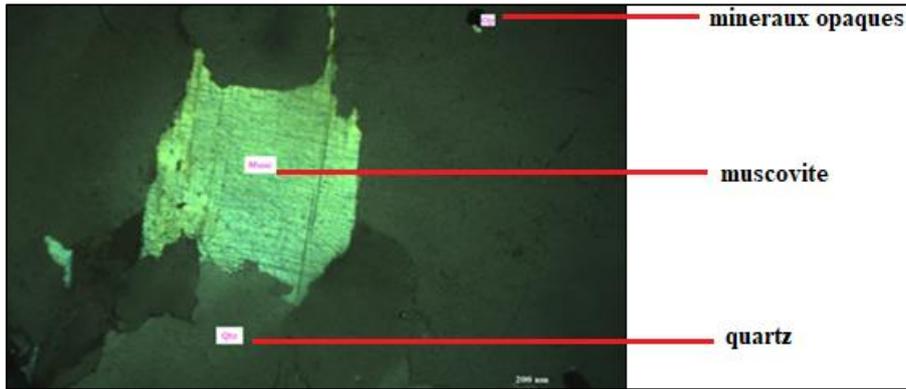


Figure 12 : Pegmatite en lumière polarisée

A ce niveau , on observe un débris de quartz, de muscovites avec présence de macles et de minéraux opaques.

En lumière naturelle : la muscovite est de forme automorphe, de couleur incolore limpide, souvent en baguettes allongées ayant un seul clivage (01) parfait en section longitudinale. Son relief moyen et une faible altération sans cassure. Quant au quartz, son relief est très faible avec absence de clivage puis il ne s'altère guère.

En lumière polarisée : elle présente une extinction droite ($\alpha=0^\circ$) avec une teinte violette vive et pure violée sensiblement indigo du 2^e ordre et une biréfringence moyenne. Le quartz ,quant à lui, présente des teintes de biréfringence grises ou blanches. Son extinction est souvent roulante du premier ordre.

- **Roche de Zoukangbeu (RZO)**

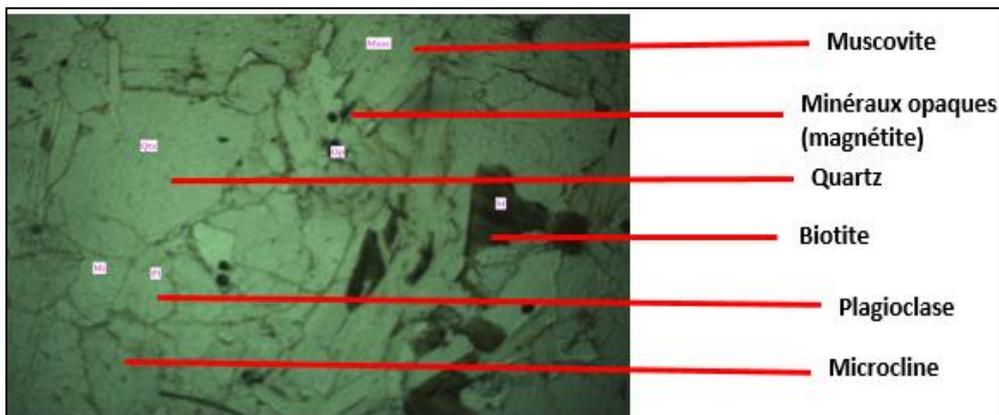


Figure 13 : Granite à deux micas en lumière naturelle

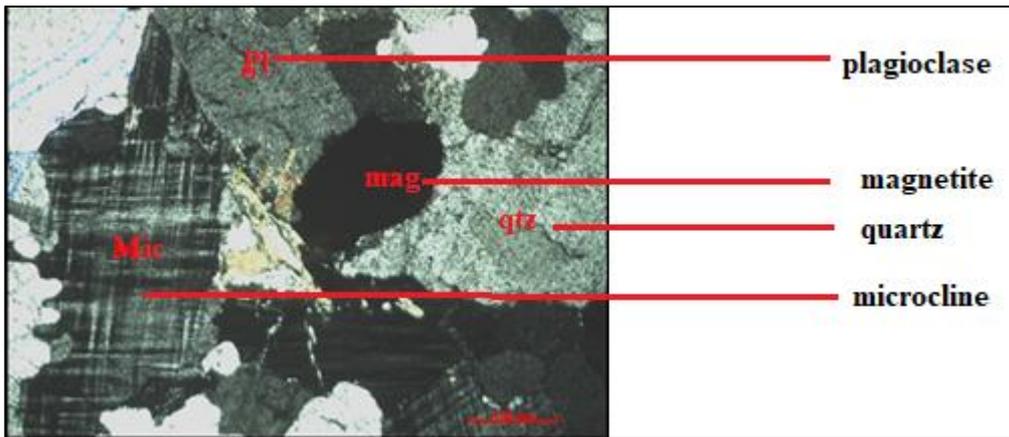


Figure 14 : Granite à deux micas en lumière polarisée

En lumière naturelle : cette roche présente une texture grenue avec une quantité importante de quartz xénophorme. Les plagioclases et les microclines sont aussi xénophormes en quantité moyenne. Nous avons aussi la présence de muscovites avec présence de mâcles, de biotites et de minéraux opaques (magnétite).

En lumière polarisée : la biotite est omniprésente dans les granites et associée à des cristaux de muscovites bien visibles alors que ce minéral ne se rencontre qu'en traces dans ce type de roche. La microcline est de couleur grise plus ou moins foncée avec une marbrure. On note aussi la présence de deux moitiés de cristal de teintes différentes. Quand aux plagioclases ,on note également une teinte grise plus ou moins claire répartie en bandes parallèles (mâcle polysynthétique).

- **Roche de Doboua (RDO)**

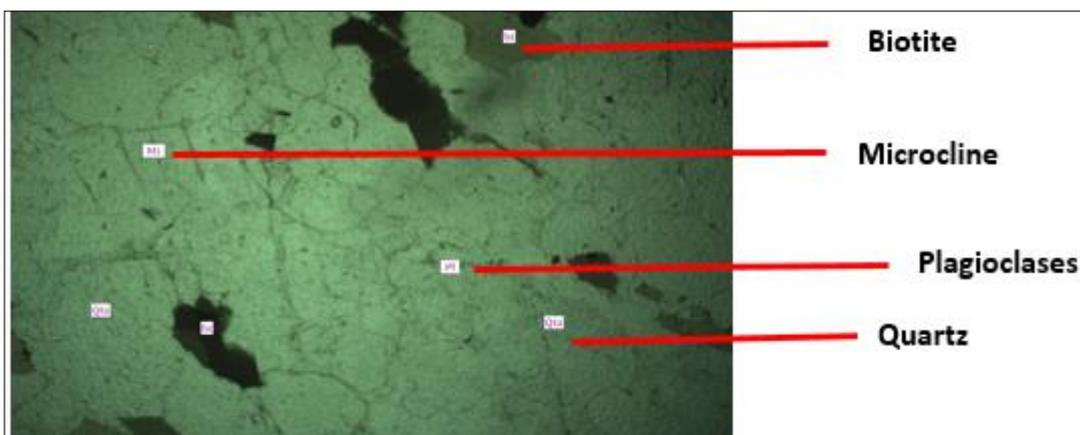


Figure 15 : Granite à biotite en lumière naturelle

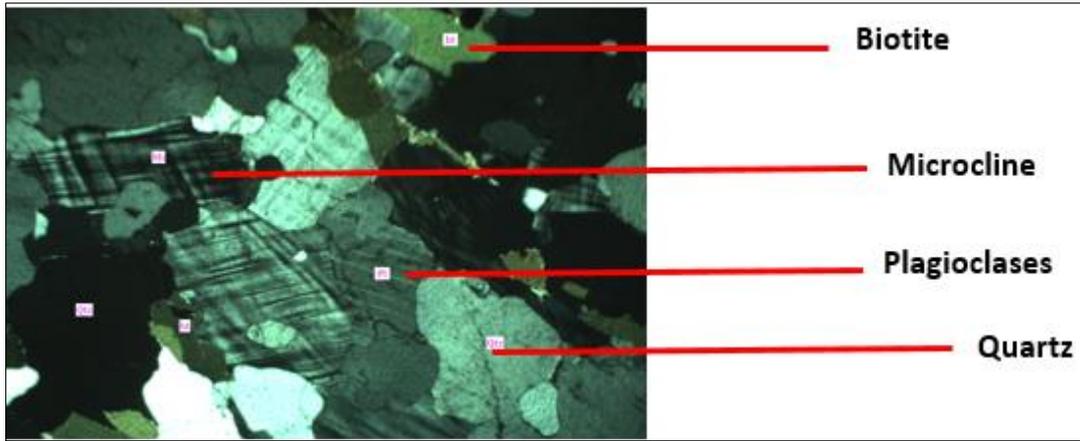


Figure 16 : Granite à biotite en lumière polarisée

En lumière naturelle : cette roche présente une texture grenue avec une quantité importante de quartz automorphe. Les plagioclases et les microclines sont aussi xénophormes en quantité moyenne. Aussi la biotite est colorée en brun-vert avec un seul clivage (001) parfait en section longitudinale. Son pléochroïsme est direct de brun-vert foncée à jaune clair et un relief moyen. La biotite est souvent altéré avec des auréoles pléochroïques.

En lumière polarisée : la biotite a une extinction droite (par rapport au plan du clivage). Sa teinte de polarisation est grise-bleue ou grise-violet sensible du 4^e ordre avec une biréfringence forte ou très forte. La microcline possède un mâcle presque rectangulaire (mâcles de Carlsbad) fréquente et des mâcles polysynthétiques constantes.

3-1-2. Résultats des analyses physico-chimiques (sols et eaux)

3-1-2-1. Résultats des analyses physico-chimiques des sols

Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de sols et des eaux sont présentés dans le tableau I

Tableau I : Résultats des analyses physico-chimiques des sols

LOCALITES	N°Echéant	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH
Gonaté	S1	0,4	0,95	151	5,97
Sapia	S2	0,02	0,41	13,9	5,56
Madoguhé	S3	0,3	0,68	78	5,23
Toroguhé	S4	0,02	0,56	15,2	5,18
Gbokora	S5	0,29	0,38	69	5,02
Tapéguhé	S6	0,06	0,27	88	5,92
Dagbaboua	S7	0,003	1,98	324	3,3
Zakoua	S8	0,35	0,24	111	4,12
Dagbaboua	S9	0,34	0,26	125	4,42
Tchebloguhé	S10	0,02	0,33	117	4,17
Gbétitapia S	S11	0,26	0,49	81	4,34
Zoukangbeu	S12	0	0,48	84	4,73
Zoukougbeu	S13	0,31	0,57	100	5,11
Zoukougbeu	S14	0,15	0,7	126	4,38
Zoukougbeu	S15	0,01	0,12	110	4,4
Zoukougbeu	S16	0,08	0,59	85	5,05
Zakogbue carrefour	S17	0,62	0,89	62	5,49
	Minimum	0	0,12	13,9	3,3
	Maximum	0,62	1,98	324	5,97
	Moyenne	0,19	0,58	102,36	4,85
	Ecartype	0,18	0,42	67,53	0,71

Le pH moyen du sol est de 4,84. Dans l'ensemble, les sols ont un pH qui varie entre 3,3 et 5,97 respectivement dans les localités de Dagbaboua et de Gonaté. Ainsi, les sols des différentes localités ont un caractère acide.

Les concentrations du nitrate, nitrites et d'ammonium dans les différents sols varient respectivement entre 13,9 et 324 mg/l, entre 0 et 0,62 mg/l et entre 0,12 et 1,94 mg/l. Les teneurs moyennes sont respectivement 102,35 mg/l, 0,19 mg/l et 0,58 mg/l.

3-1-2-2. Résultats des analyses physico-chimiques des eaux

Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons des eaux sont présentés dans le tableau II

Tableau II : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux

Localités	pH	K(mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl(mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Zoukangbeu	4,62	2,72	5,49	16	38,07
Toroguhé	4,95	1,51	13,42	8,9	14,17
ZouKougbeu	4,55	0,8	5,98	4,7	5,31
Gbokora	5,17	1,04	6,1	6	0,9
Etat Major	5,91	3,31	34,16	9	0,5
Artisanat	5,06	6,66	2,44	9	1,7
Gonaté	4,38	1,62	6,1	9,5	7,97
Gbetitapea	4,49	0,75	7,32	4,4	1,77
Carrefour-z.	4,9	1,09	36,6	6,4	6,64
Sapia	4,38	1,68	6,83	9,9	6,2
Madoguhé	4,75	1,65	5,12	9,7	7,53
Labia	5	3,6	3,1	0	0,8
CMA	5	2,4	9,8	0,1	2,1
Min	4,38	0,75	2,44	0	0,5
Max	5,91	6,66	36,6	16	38,07
Moy	4,85	2,21	10,95	7,2	7,20
Ec	0,30	1,16	7,89	3,32	5,98

Les valeurs de pH des eaux souterraines des départements de Daloa et Zoukougbeu sont relativement faibles. Dans les eaux de source, elles varient de 4,38 à Sapia à 5,91 à l'Etat major avec une moyenne de 4,85 et un écart-type de 0,3. Toutes ces eaux ont donc des valeurs de pH inférieures aux valeurs guides OMS comprises entre 6,5 et 9,5. Les eaux présentent également des concentrations faibles en ions. Les teneurs mesurées sont inférieures aux valeurs guides de potabilité de l'OMS (2011). Cependant, certaines eau de sources comme celle de Zoukangbeu présentent des concentrations élevées en nitrates de 38,07 mg/l. Des dispositions particulières doivent donc être prises au niveau de cette source pour prévenir sa pollution en nitrates.

3-1-2-3. Etude comparée des paramètres physico-chimiques des sols et eaux

Les paramètres physico-chimiques mesurés des échantillons de sols et des eaux sont présentés dans le tableau III

Tableau III: Résultats des paramètres physico-chimiques mesurés

Localités	Sols		Eaux	
	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)	pH	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Toroguhé	5,18	15,2	4,95	4,95
Zoukangbeu	4,73	84	4,62	38,08
Min	4,73	15,2	4,62	14,17
Max	5,18	84	4,95	38,08
Moy	4,95	49,6	4,78	26,12

Le pH des eaux est nettement similaire à celui du pH des sols avec une moyenne allant de 4,78 à 4,95 respectivement dans les localités de Toroguhé et Zoukangbeu. Ces valeurs de pH moyen sont inférieures aux valeurs de pH des eaux de consommation recommandées par l'O.M.S (2011) qui sont comprises entre 6,5 et 8,5. Le caractère acide des sols aurait une influence sur le pH des eaux souterraines de la région. On note également que les teneurs en nitrate dans les sols sont plus élevées que celles des eaux. Elles varient entre un minimum de 14,17 (mg/l) à Toroguhé et un maximum de 84 (mg/l) à Zoukangbeu. Ces teneurs présentent certes des avantages pour les sols cultureux, mais sont dangereuses pour les eaux de proximités (eaux de surfaces et souterraines).

En dehors de ce paramètre, l'analyse du tableau II révèle que les teneurs ioniques des eaux de source sont faibles. Aucune concentration ne dépasse les valeurs guides de potabilité définies par l'OMS (2011).

3-2. DISCUSSION

Les départements de Daloa et Zoukougbeu sont situés dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément dans le domaine protérozoïque. Les formations géologiques identifiées sont le granite à deux micas, les pegmatites et les granites à biotite. Ces formations sont en accords avec celles identifiées par Ahimon *et al.*, (1990) dans le degré carré de Daloa. Dans l'ensemble, le pH moyen des différents échantillons est de 4,85. Cette valeur moyenne du pH montre que ces eaux sont acides, avec une acidité plus prononcée pour les sources dans les localités de Gbokora et Etat Major (pH de 5,97 à 5,17).

Le caractère acide de ces eaux pourrait s'expliquer par le fait que les eaux souterraines sont des nappes d'altérites. Plusieurs auteurs (Ligban *et al.*, 2009 ; Catherine, 2004; Nilsson *et al.*, 1982 ; Bourrié, 1976) s'accordent sur le fait que les eaux d'altérites sont plus acides que les eaux des

nappes profondes. Plusieurs travaux réalisés dans le socle en Côte d'Ivoire ont révélé ce caractère acide des eaux souterraines. Il s'agit des travaux de Ligban et *al.*, (2009) dans le degré carré de Daloa et Adiaffi, (2008) dans la zone de contact "socle-bassin sédimentaire ". Toutefois, ces eaux sont très peu minéralisées.

Au niveau physico-chimique, les paramètres mesurés *in situ* révèlent que le pH moyen est de 4,81. Cette valeur montre que les eaux sont acides. Ce caractère acide pourrait s'expliquer par le fait qu'elles seraient issues de nappes d'altérites. En effet, plusieurs auteurs (Ligban et *al.*, 2009 ; Ahoussi et *al.*, 2013 ; et Adjiri et *al.*, 2018) ont montré dans leurs différents travaux que les eaux de puits et de sources de cette région sont issues de nappes peu profondes. Pour Ahoussi et *al.*,(2013) l'acidification de ces eaux serait due à la disparition des minéraux primaires facilement altérables, à la non-dissociation de l'acide organique et de l'acide carbonique qui jouent un rôle de tampon pour limiter l'acidité de l'eau et à la forte transpiration de la forêt qui accroît la diminution du pH. Cependant, Ligban et *al.*, (2009) attribuent cette acidité à l'abondance de quartz comme l'en témoignent les types de formations identifiés (des migmatites avec des intrusions granitiques). Ainsi, l'abondance de quartz conférerait aux roches une résistance au phénomène d'hydrolyse responsable de la minéralisation des eaux souterraines.

En effet, la présence de forêts dans la zone et une pluviométrie abondante favorisent la décomposition de la matière organique ainsi qu'une production de CO₂ respiré par les plantes dans la zone non saturée. Ce CO₂ qui a une signature biogénique, est transporté dans le sol par les eaux d'infiltration avec formation de l'acide carbonique. Cet acide carbonique formé se dissocie en donnant le bicarbonate et un proton H⁺ qui contribue à l'acidification des eaux (Adiaffi et *al.*,(2009) ; Adiaffi (2008)).

Les ions H⁺ et HCO₃⁻ confèrent respectivement aux eaux souterraines l'essentiel de leur acidité et alcalinité.

L'ion bicarbonate représente l'anion le plus fréquent dans les eaux du socle en Afrique de l'Ouest (Cefigre, 1990) et de ce fait il donne son nom au faciès bicarbonaté calcique. Il se pose donc la question de l'origine de cet ion dans les eaux souterraines. Ne disposant pas d'analyses d'eaux de pluie et de surface, nous nous sommes donc référés à la littérature pour essayer de connaître la provenance de cet ion dans les eaux. Au Burkina Faso, Savadogo (1984) a montré que l'eau de pluie avant de parvenir au sol contenait déjà du gaz carbonique dissous mais en petite quantité (0,45 méq/L) et que les eaux de surface s'enrichissaient en bicarbonate au cours du ruissellement. L'auteur affirme que les eaux souterraines contiennent trois fois plus de bicarbonate que les eaux de surface et dix fois plus que les eaux de pluie. Au Cameroun, Djeuda

(1987) trouve un résultat identique. Partant de ces résultats, nous pouvons dire que la grande partie des bicarbonates rencontrés dans les eaux souterraines est acquise lors de l'infiltration des eaux de pluie.). L'abondance des ions bicarbonates dans ces eaux pourrait s'expliquer par l'hydrolyse des minéraux silicatés et cela en rapport avec le temps de séjour de l'eau dans la nappe.

Les ions H^+ , peuvent également provenir de la dissociation des acides carboniques produits par les plantes lors de la décomposition des feuilles mortes.

Concernant les sels nutritifs, le nitrate constitue l'un des composés azotés dominants dans les eaux souterraines des deux départements. Rodier et *al.*(2009) ont montré que les valeurs en nitrates des eaux naturelles oscillent généralement entre 0 et 15 mg/L. La source de Zoukangbeu avec la concentration maximale de 38,07 mg/L enregistre une valeur supérieure à quelques dizaines d'unité. Toutefois, cette teneur indique que ces eaux sont de bonne qualité car elle reste inférieure à la valeur guide de 50 mg/L proposée par l'OMS (2011).

La problématique de l'origine de la pollution par les nitrates des eaux souterraines dans les aquifères de fissures en Afrique de l'Ouest a intéressé plusieurs travaux (Savadogo, 1984 ; Faillat et Rambaud, 1988 ; Faillat et Blavoux, 1989 ; Faillat, 1990 ; Onugba,1990 ; Faillat et Rambaud, 1991 ; Travi et Mudry, 1997 ; Biemi, 1992 ; Soro, 2002 ; Ahoussi, 2008). Ces auteurs ont signalé la présence dans les eaux souterraines de fortes concentrations de nitrates de plus en plus récurrentes. Une origine agricole des nitrates dans les eaux souterraines en zone tropicale humide en général et dans la zone d'étude en particulier est encore peu probable en raison de la faible utilisation des engrais due à un faible pouvoir économique des populations, des habitudes agricoles ainsi que des pratiques culturelles. Dans le contexte géologique de notre zone d'étude, ce cas semble être très probable notamment dans les métasédiments birimiens. L'origine des nitrates est donc à chercher entre la décomposition de la matière organique émanant de la déforestation, le lessivage des sols et les apports d'azote par les eaux météorites (Faillat ,1986 ; Faillat et Rambaud, 1988; Yao (2009) ;Yao et *al.* (2012)).

Le potassium K^+ provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Dans la zone, les teneurs en potassium varient de 1,51 mg/L dans la source de Toroghué à 2,72 mg/L à Zoukangbeu. Cette valeur observée dans ces localités est inférieure à la limite de potabilité définie pour les eaux de consommation humaine. Elles sont donc bonnes pour l'alimentation en eau potable.

Les chlorures ont une origine exclusivement météorique en l'absence de pollution anthropique et de dépôts évaporitiques. La zone d'étude étant exclusivement située en région de socle et à plus de 250 km de l'océan, l'origine de cet élément ne peut être attribué uniquement

Résultats et Discussion

aux précipitations. En effet, lors du déplacement de la mousson vers le continent, celle-ci subit un effet de pluviollessivage au cours des différents événements pluvieux diminuant ainsi sa concentration en sel notamment en NaCl. Ainsi, les pluies qui tombent à l'intérieur du continent, loin de la côte, sont appauvries en chlorures (Mathieu, 1976). En zone de socle, le chlore peut provenir de l'altération, minéraux accessoires communs des roches métamorphiques, ou des chloropatites appartenant aux roches basiques (Tapsoba 1995 ; Soro 2002).

CONCLUSION

Conclusion

L'étude réalisée sur les eaux souterraines (puits et forages) des départements de Daloa et Zoukougbeu a permis de connaître les caractéristiques des eaux des nappes peu profondes de cette zone. Il ressort de ce travail que les eaux de ces nappes sont acides, avec un pH qui varie de 4,62 à 4,95, pour une moyenne de 4,81. Ces eaux sont faiblement minéralisées dans l'ensemble. L'acidification de ces eaux serait due à l'hydrolyse des minéraux silicatés et à la dissociation de l'acide carbonique, espèce prépondérante dans les eaux .

Cette acidité peut aussi être occasionnée par l'action des micro-organismes et des animaux qui libèrent au cours de leur respiration, une quantité de CO_2 qui va l'hydrolyse en permettant, d'une part la formation de HCO_3^- , et d'autre part, en milieu fermé, l'augmentation du pH.

Au niveau chimique, les nitrates observés dans les eaux peuvent provenir du pluviollessivage de la voûte forestière et des réactions d'oxydoréductions de matières organiques. Quant aux chlorures, ils proviennent de la pluie et du lessivage des sols.

Les approches pétrographique et géochimique nous ont permis de montrer que l'acidité des eaux souterraines est due à un processus biogéochimique et anthropogénique .

Conclusion

Recommandations

Au terme de cette étude, nous voulons faire quelques recommandations relatives à l'utilisation des ressources alternatives d'eaux :

- traiter les eaux de sources et puits avant leur consommation ;
- aménager les sources d'eaux et puits ;
- sensibiliser les populations quant à l'utilisation abusives des intrants agricoles.

Perspectives

Cette étude a permis d'avoir une idée sur la qualité physico-chimique des eaux de la zone d'étude, de comprendre leur minéralisation, leur impact sur la santé et leur implication dans le développement régional. Cependant pour mieux évaluer l'impact sur la santé et leur implication dans le développement humain des ressources alternatives d'eaux il faudrait :

- prendre en compte les caractéristiques microbiologiques de ces ressources alternatives d'eaux ;
- étudier une large gamme d'éléments chimiques incluant bien évidemment les métaux lourds;
- faire le dosage des pesticides utilisés dans la zone pour l'agriculture. dans la zone d'étude à la décomposition de la matière organique et à l'hydrolyse des silicates.

RÉFÉRENCES

Références

- Adiaffi B., (2008). Apport de la géochimie isotopique, de l'hydrochimie et de la télédétection à la connaissance des aquifères de la zone de contact "socle-bassin sédimentaire" du Sud Est de la Côte d'Ivoire, Thèse de doctorat en sciences, UFR sciences de la terre, Université Paris Sud Orsay (Paris,France), 230 p.
- Adiaffi B., Marlin C., Oga Y.M.S., Massault M., Noret A., Biemi J. (2009). Paleoclimatic and deforestation effect on the coastal fresh groundwater resources of SE Ivory Cost from isotopic and chemical evidence. *Journal of hydrology*, 369 : 130-141.
- Adjiri O.A, Aka N., Soro T.D., Affessi A.C, Konaté D., Soro N. (2018). Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa : impacts sur la santé et implications dans le développement régional. *astee-technique sciences methodes*, 12 : 89-114.
- Ahimon O.A. (1990). Notice explicative de la carte géologique à 1/200 000, feuille de Daloa. Direction de la géologie, Abidjan, 28 p.
- Ahoussi K.E., Soro N., Soro G., Lasm T., Oga M.S., Zade S.P. (2008). Groundwater pollution in Aficans biggest towns: case of the town of Abidjan (Côte d'Ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 20(2) : 302-316.
- Ahimon O.A. (1982). Demi-degré carré nord de Daloa. Rapport de fin de levé du secteur compris entre le fleuve Sassandra et la rivière Lobo. Direction de la géologie, Abidjan, 23 p.
- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G.M., Soro N., Biémi J. (2013). Étude hydrochimique 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.
- Ayraud V. (2005). Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : Application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes. Thèse de doctorat unique, UFR Structure et Propriété de la Matière , Université de Rennes 1 (Renne, France), 312 p.
- Baka D. (2012). Géométrie, hydrodynamisme, des réservoirs, fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat ,UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody (Abidjan , Côte d'Ivoire), 260 p.

Références

- Belghiti M.L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El M.R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknès , Maroc. *Larhyss Journal*, 14 : 21-36.
- Bonnot H. (1985). Rapport de fin de levé géologique du demi degré carré nord de Daloa, partie située à l'Est de la rivière Lobo à 1/ 200 000, Direction de la géologie, Abidjan, 27 p.
- Bourrié G. (1976). Relations entre le pH, l'alcalinité et les équilibres de CO₂ dans les eaux naturelles. *Science du Sol*, 3 : 145-159.
- Catherine G. (2004). Hydrochimie de petit bassin versant: apports à la connaissance du fonctionnement géochimique du sol et de la qualité de l'eau des cours d'eau. Diplômes d'habilitation à diriger des recherches, Université de Rennes 1 (Rennes, France), 80 p.
- Cefigre (1990). L'Hydrogéologie de l'Afrique de l'Ouest, Synthèse des connaissances sur l'hydrogéologie du socle cristallin et cristallophyllien et du sédimentaire ancien de l'Afrique de l'Ouest. 2^{ieme} Ed, Maîtrise de l'eau, Paris, 147 p.
- De Marsily G. et Besbes M. (2017). Les eaux souterraines. *Responsabilité & environnement*, 86 : 25-30.
- Djabakaté I. (2019). Paramètres chimiques et source lithologique de la minéralisation : cas des eaux souterraines des départements de daloa et zoukougbeu. Mémoire de master, Université de Daloa , Côte d'Ivoire, 68 p.
- Dibi B. (2008). Cartographie des sites potentiels d'implantation des points d'eau dans le département d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) : Apport du SIG et de l'analyse multicritère. Thèse de doctorat unique, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 164 p.
- Djeuda H.B. (1987). Géologie et hydrogéologie d'un secteur de la zone mobile d'Afrique centrale : région de Poli, Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat, UFR Science de la Terre Université de Science de Technologie et Médicale de Grenoble, France, 307 p.
- Faillat J.P. (1990). Origine des nitrates dans les nappes de fissures de la zone tropicale humide, Côte d'Ivoire. *Journal of Hydrol*, 113 : 231-264.
- Faillat J.P. et Rambaud A. (1991). Deforestation and leaching of nitrogen as nitrates into underground water in intertropical zones, Côte d'Ivoire. *Environment Geology*, 17(2) : 63-166.

Références

- Faillat J.P. et Blavoux B. (1989). Caractères hydrochimiques des nappes des roches endogènes fissurées en zone tropicale humide, Côte d'Ivoire. *Journal of African Earth Sciences*, 9(1) : 31- 40.
- Faillat J.P. et Rambaud A. (1988). La teneur en nitrates des nappes de fissures de la zone tropicale humide en relation avec les problèmes de déforestation. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences*, 306 : 1115-1120.
- Faillat J.P. (1986a). Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés : Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest). *Hydrogéologie*, 3 : 65-76.
- Faillat J.P. (1986 b). Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, UFR Environnement, Université Languedoc de Montpellier, France, 534 p.
- Geomines (1982). Inventaire hydrogéologique appliqué à l'hydraulique villageoise. Carte de Gagnoa, Cahier n° 24 République de Côte d'Ivoire, Ministère des Travaux publics et des transports, Direction centrale de l'hydraulique , 30 p.
- Ghazali D., Zaid A. (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri, Maroc. *Larhyss Journal*, 12 : 25-36.
- 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, UFR Sciences de la Terre, Université Abobo-Adjamé (Côte d'Ivoire), 179 p.
- Lauga. R. (1990). Pratique du forage d'eau et utilisation des crépines en genie civil et en forages profonds. 1^{ère} Ed, Eds Seesam, Paris, 79 p.
- Lasm T., Kouamé F., Soro N., Jourda J.P.R. & Biémi J. (2004). Analyse géostatistique de la fracturation extraite de l'imagerie spatiale aéroportée et satellitaire : Application à la région de Man-Danané. *Revue ivoirienne des sciences et Technologie*, 5 : 135-154.
- Ligban R. (2013). Caractérisation hydrogéologique et origine des eaux de sources naturelles dans le degré carré de Daloa. Thèse de doctorat en Géosciences et Environnement, UFR Environnement , Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 135 p.

Références

- Ligban R., Gone D.L., Kamagate B., Saley M.B. et Biemi J. (2009). Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(1) : 38-47.
- Maréchal J.C., Robert W., Patrick L., Kambhampati S. & Frédéric T. (2003). Anisotropie verticale de la perméabilité de l'horizon fissuré des aquifères de socles : concordance avec la structure géologique des profils d'altération. *Comptes Rendus Géosciences*, 335 : 451-460.
- Mathieu P. (1976). Influence des apports atmosphériques et du pluviollessivage forestier sur la qualité des eaux des bassins versants en Côte d'Ivoire. *Cahiers ORSTOM série Géologie*, 7(1) : 11-32.
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A. Clooster V.(2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental). *Larhyss Journal*, 9 : 149-169.
- Matini L., Moutou, J.M., Kongo M. (2009). Hydrochemical assessment of groundwater in urban areas south-west of Brazzaville Congo. *Africa Science*, 05(1) : 82-98.
- Nilsson S.I., Miller H.G. & Miller J.D. (1982). Forest growth as a possible cause of soil and water acidification : an examination of the concepts. *Oikos*, 39(1) : 40-49.
- OMS (2003). Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. 2nd Ed, World Health Organisation, Geneva, 16 p.
- OMS (2011). Guidelines for Drinking-water Quality, Recommendations. (4th edn), WHO Library, (Zurich, Switzerland), 518 p
- Onugba A. (1990). Contribution à la connaissance des systèmes aquifères de la haute Bénoué (Nigeria). Etude hydrochimique et isotopique de zones témoins du socle et du sédimentaire. Vulnérabilité des forages à la pollution. Thèse de Doctorat, UFR des sciences ,Université d'Avignon , France, 230 p.
- Papon A. (1973). Géologie et minéralisation du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Bulletin de la Direction des mines et de la géologie, Abidjann, 208 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R. (2009). L'Analyse de l'Eau , 9^{ème} edn, Paris (France), 25 p.

Références

- Samake H. (2002). Analyse physico-chimique et bactériologique au LNS des eaux de consommation de la ville de Bamako durant la période 2000 et 2001. Mémoire de thèse, UFR de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie, Université de Bamako, Mali, 77 p.
- Savadogo A.N.(1984). Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta, étude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse de doctorat, UFR de Sciences, Université de Grenoble, France, 350 p.
- Savary P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. 1^{ère} Ed., Territorial, Voiron (France), 261 p.
- Soro N. (2002). Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du degré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : Implication hydrologique et hydrogéologique. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences Naturelles, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 272 p.
- Soro G. (2010). Évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire) : hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du District de Yamoussoukro et du département de Tiébissou, Thèse de doctorat, UFR de Geosciences, Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 250 p.
- Stein H. (2007). Feeding the pigs' immune system and alternatives to antibiotics. *London Swine Conference*, 3-4 April 2007, Londres, Angleterre, pp 65-82.
- Tahoux T.M. (1995). Effets des systèmes énergétiques sur l'environnement : le cas de la Côte d'Ivoire. Rapport final du programme énergétique Africain, BAD, Abidjan, 99 p.
- Tapsoba S.A. (1995). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud de la Côte d'Ivoire) : hydrochimie, isotopie et indice cationique de vieillissement des eaux souterraines. Thèse de doctorat, UFR Environnement, Université nationale de Côte d'Ivoire, 200 p.
- Travi Y., Mudry J. (1997). Méthode pour l'évaluation et la gestion du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahéenne d'Afrique de l'Ouest. *Revue d'Hydrogéologie*, 3 : 13-21.

Références

- Van der Hoven, S.J. & Solomon D.K. (2005). Natural and temporal variation in groundwater chemistry in fractured, sedimentary rocks: scale and implications for solute transport. *Applied geochemistry*, 20(5) : 861-873.
- Wyns R. & Baltassat J.M. (2004). Application of magnetic resonance soundings to groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 17(1) : 21-34.
- Yao K.T, Oga M.S., Fouché O., Baka D., Pernelle C., Biémi J. (2012). Évaluation 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 Sciences*, 6(6) : 7069-7086.
- Yao K.T. (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 unique, UFR des Sciences de la Terre ,Université de Cocody (Abidjan, Côte d'Ivoire), 285 p.

ANNEXES

ANNEXES 1

Dosage des sels azotés :

1ere PARTIE : DOSAGE DES NITRATES AVEC L'ACIDE SULFOSALCYLIQUE

I- INVENTAIRE DES REACTIFS

Acide sulfurique C= 1,84 g/l

Acide acétique cristallisable à 1,05 g/ml

Alcali, sodium à 200 g/l de NaOH et 50 g/l de Na₂EDTA (200 g de NaOH + 50 g de Na₂EDTA)

Azoture de sodium à 0,5 g/l (0,05 g de N₃Na)

Salicylate de sodium à 10 g/l (1g)

Nitrate à 1000 mg/l (7,215 g de KNO₃)

II- MESURE DES NUTRIMENTS (AZOTE)

Dosage des nitrates par la méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique

a)-Objet

La présente méthode reprend la norme internationale ISO

b)-Principe

Mesurage spectrométrique du composé jaune issu de la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique (formé par addition à l'échantillon de la salicylate de sodium et de l'acide sulfurique) après traitement de l'alcali.

En même temps l'alcali, on ajoute du sel disodique de l'acide éthylènediamine-tétraacétique (Na₂EDTA) pour empêcher la précipitation des sels de calcium et de magnésium. L'adjonction d'azoture de sodium vise enfin à neutraliser l'interférence des nitrites

c)-Réactifs

Les réactifs sont préparés à partir de produits de qualité analytique reconnue et de l'eau distillée.

Acide sulfurique, p = 1,84 g/ml

Acide acétique cristallisable, p = 1,05 g/ml

-Alcali, solution, p_{NaOH} = 200 g/l , p_{Na₂EDTA} = 50 g/l obtenu par dissolution avec précaution 200 ± 2 g de pastilles d'hydroxyde de sodium dans environ 800ml d'eau. Ajouter 50 ± 0,5 g de sel disodique de l'acide éthylènediamine-tétraacétique (Na₂EDTA) dihydraté ((CH₂-N(CH₂COOH)CH₂-COONa)₂.2H₂O), laisser refroidir à la température ambiante et compléter à 1 litre avec de l'eau dans une fiole jaugée. Conserver dans une bouteille en polyéthylène. Il est stable indéfiniment.

Azoture de sodium, solution, p_{NaN₃} = 0,5 g/l.

Dissoudre avec précaution $0,05 \pm 0,005$ g d'azoture de sodium dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter au volume. Conserver dans une bouteille de verre ; il est stable indéfiniment.

Salicylate de sodium, solution, $\text{pHO-C}_6\text{H}_4\text{-COONa} = 10$ g/l.

Dissoudre $1 \pm 0,1$ g de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau. Préparer cette solution au moment de l'emploi.

-Nitrate, solution mère étalon à 1000 mg/l.

Dissoudre $7,215 \pm 0,001$ g de nitrate de potassium (KNO_3), (préalablement séché à 105°C pendant au moins 2 heures) dans une fiole jaugée de 1 litre, avec environ 750 ml d'eau. Compléter au volume avec de l'eau. Conserver la solution dans une bouteille en verre pendant une durée ne dépassant 2 mois.

Nitrate, solution étalon à 100 mg/l.

Transvaser à la pipette 5 ml de la solution mère dans une fiole jaugée de 50 ml et compléter au volume avec l'eau.

Nitrate, solution étalon d'essai à 1 mg/l.

Dans une fiole jaugée de 500 ml, ajouter à la pipette 5 ml de la solution étalon de nitrate. Compléter au volume avec de l'eau. Préparer la solution au moment de l'emploi.

d)-Appareillage

Matériel courant de laboratoire et

Spectromètre à double faisceaux (C'est la méthode à l'acide sulfosalicylique. La limite de détection est comprise dans la gamme 0,003 à 0,013 mg/l avec des cuves de 40mm et une prise d'essai de 25 ml maximum (les cuves qui ont été utilisées sont de 10 mm). Pour les échantillons très colorés, une correction est prévue.

Les mesures ont été faites à l'aide d'un spectromètre UV-16.

Capsules d'évaporation de volume environ 5 ml.

Bain d'eau bouillante.

Bain d'eau, thermoréglable, pouvant maintenir une température de $25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$.

e)-Échantillons

Après leur prélèvement, les échantillons sont transportés au laboratoire où ils sont aussitôt analysés après être filtré sur du filtre en fibre de verre.

f)-Mode opératoire

Prise d'essai

Le volume de la prise d'essai est de 20 ml de l'échantillon filtré.

Essai à blanc

Un essai à blanc est effectué parallèlement au dosage, en utilisant 5 ml d'eau distillée à la place de la prise d'essai. Soit A_b unités de l'absorbance mesurée.

-Etalonnage

Dans une série de capsules d'évaporation propres, introduire respectivement, 1;2 ;3 ;4 et 5 ml de la solution étalon d'essai de nitrate correspondant respectivement à des quantités de nitrate de $m(N) = 1 ;2 ;3 ;4$ et 5 μg dans les capsules respectives.

Développement de la coloration

Ajouter 0,5 ml \pm 0,005 ml de solution d'azoture de sodium et 0,2 ml \pm 0,002 ml d'acide acétique cristallisable. Attendre au moins 5 minutes, puis faire évaporer le mélange à sec dans le bain d'eau bouillante. Ajouter ensuite 1 ml \pm 0,01 ml de solution de salicylate de sodium homogénéiser et faire à nouveau évaporer à sec. Retirer la capsule du bain d'eau et laisser refroidir à la température ambiante. Ajouter 1 ml \pm 0,01 ml d'acide sulfurique puis dissoudre le résidu dans la capsule en agitant légèrement. Laisser le mélange reposer pendant environ 10mn. Ajouter alors 10 ml d'eau, puis 10 ml de la solution d'alcali.

Transvaser quantitativement le mélange dans une fiole jaugée de 25 ml, sans compléter au volume. Placer la fiole dans le bain d'eau à $25^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 10 mn. Retirer la fiole et compléter au volume avec de l'eau.

Mesurages spectrométriques

Mesurer l'absorbance de solution à 415 nm dans les cuves de 50mm d'épaisseur, par rapport à de l'eau dans la cuve de référence Soit A_s unités de l'absorbance mesurée

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Soustraire l'absorbance de l'essai à blanc des absorbances de chaque solution étalon et tracer la courbe d'étalonnage faisant apparaître l'absorbance en fonction de la masse de nitrate, $m(N)$, en microgramme

Dosage

Introduire dans une capsule d'évaporation la prise d'essai de volume $V = 20\text{ml}$ pour suivre comme indiqué plus haut

Correction tenant compte de l'absorption de la prise d'essai

Pour les échantillons très colorés, on effectue les opérations prévues sur une seconde Prise d'essai, en l'absence toutefois de solution de salicylate de sodium. Soit A_t l'absorbance mesurée.

g)- Expression des résultats

L'absorbance due aux nitrates dans la prise d'essai, A_r , est donné par la relation.

$$A_r = A_s - A_b - A_t$$

La masse de nitrate, $m(N)$, exprimée en microgrammes, correspondant à la valeur A_r de l'absorbance est déterminée à l'aide de la courbe d'étalonnage.

La teneur en nitrate de l'échantillon, exprimée en milligrammes par litre, est donnée par la formule : $\frac{m(N)}{V}$ est le volume en millilitre, de la prise d'essai.

Cette méthode à l'acide sulfosalicylique a pour limite de détection comprise dans la gamme 0,003 à 0,013mg/l avec les cuves de 40mm et une prise d'essai de 25 ml maximum ; il a été utilisé cette fois-ci des cuves de 10mm

Les mesures ont été faites à l'aide d'un spectrophotomètre UV-16

2eme PARTIE : DOSAGE DE L'AZOTE NITREUX (NO_2^-)

I- PRINCIPE ET METHODE

La méthode décrite, fondée sur la réaction de Griess, est une des plus sensibles et des plus spécifiques pour l'analyse des eaux naturelles.

Les ions nitrites forment un diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide ($pH < 2$) selon la réaction :

$NH_2SO_2C_6H_4-NH_2 + H^+ (NH_2SO_2C_6H_4-NH_2) + H_2O$ Puis le diazoïque réagit avec le N-naphtyl-éthylène diamine pour former le colorant Ce colorant rose absorbe à la longueur d'onde de nm

REACTIFS :

Réactif : Solution de sulfanilamide

Pour ml de réactif :

diluer ml HCl conc Dans environ ml d'ED ou déminéralisé,

-dissoudre g de sulfanilamide dans cette solution et compléter à ml cette solution est stable indéfiniment

Réactif : Solution de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine

Dans ml d'ED, dissoudre g de dichlorhydrate de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine conserver cette solution au froid et à l'abri de la lumière A renouveler tous les mois ou dès qu'il se développe une coloration brune

Solution Etalon primaire de nitrite

Sécher à pendant plusieurs heures du $NaNO_2$ anhydre de pureté garantie Dissoudre g dans l'eau ED, compléter à ml et ajouter ml de chloroforme Transférer la solution dans un flacon en verre brun ml contient μ mole de N-NO

2.4. Solution Etalon secondaire de nitrite

Diluer 100 fois la solution étalon primaire pour obtenir la solution secondaire 1 ml contient 0.05 μ mole de N- NO_2 . Cette solution ne se conserve que quelques heures

3-MODE OPERATOIRE

Rincer une éprouvette de 50 ml avec l'eau à analyser et y introduire 50 ± 1 ml de l'échantillon

Ajouter 1 ml du réactif 1 et mélanger,

Laisser reposer 2 à 8 mn,

Ajouter 1 ml du réactif 2 et mélanger à nouveau,

Attendre au moins 10 mn mais pas plus de,

Mesurer l'absorbance en cuve de 10 cm de trajet optique à la longueur d'onde de 543 nm, en prenant de l'eau distillée comme référence. Soit A_{tr}

3.1. ETALONNAGE

- Préparer l'étalon secondaire,
- Préparer une gamme de solution étalon : 0.1 – 0.2 – 0.5 – 1,0 umole/l, ect.
- Faire 2 analyses de chacun de ces étalons.

3.2. BLANCS

Blanc de turbidité :

C'est l'absorbance de l'échantillon brut mesurée par rapport à l'eau distillée Soit b_t .

3.2.2 Blanc des réactifs :

C'est l'absorbance produite par les réactifs eux-mêmes. Disposer d'eau exempte de NO
Prendre ED ou de l'eau déminéralisée fraîchement préparée et y ajouter les réactifs comme pour une analyse normale. Faire 2 déterminations et mesurer l'absorbance par rapport à l'eau distillée. Soit b_r

4-CALCULS, EXPRESSION DES RESULTATS

Soit :

A_{tr} : l'absorbance mesurée pour l'échantillon traité b_t : l'absorbance mesurée pour le blanc de turbidité

b_r : l'absorbance mesurée pour le blanc de réactifs

$$A = A_{tr} - b_t - b_r$$

Cette valeur est reportée sur la courbe d'étalonnage pour en déduire la concentration de l'échantillon.

On peut également déterminer la pente P de la droite d'étalonnage en umole/l par unité d'absorbance Dans ce cas la concentration est :

$$[N-NO_2] \text{ umol./l} = P \times A$$

Unités d'expression de l'azote nitreux

Pour exprimer la concentration en	Multiplier les umoles/l Par
Mg / l d'azote nitreux (N-NO ₂)	0,014
Mg / l de nitrite (NO ₂)	0,046

Résumé

L'eau est une ressource naturelle précieuse et essentielle pour de multiples usages: domestiques, industriels et agricoles. Sa qualité est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité à la fois chez l'homme, les animaux et les plantes. Cette étude vise à déterminer l'origine de l'acidité des eaux souterraines à partir des approches pétrographique et géochimique des départements de Daloa et Zoukougbeu. Les eaux sont dans l'ensemble acides et faiblement minéralisées. L'acidité des eaux souterraines est due à un processus biogéochimique et anthropogénique. L'acidité de ces sols est due à la nature géologique des roches environnantes car elles ont une quantité importante de quartz qui est composé de la silice. Ce processus est lié dans la zone d'étude à la décomposition de la matière organique et à l'hydrolyse des silicates. La présence de forêts galeries et de forêts classées et une pluviométrie relativement abondante, favorisent la décomposition de la matière organique dans la région. La couleur brune des eaux de surface due à une charge importante en matière organique tout le long de l'année rend compte de l'activité biologique qui se développe au niveau des sols. La minéralisation des eaux souterraines de la région a pour origine, l'altération des roches, l'hydrolyse des minéraux silicatés tels que l'anorthite dans les plagioclases et la décomposition des minéraux ferromagnésiens comme la biotite. A cela s'ajoute le pluviollessivage des sols.

Mots clés : Géochimie , pluviollessivage , eau souterraine , minéralisation

ABSTRACT

Water is a precious and essential natural resource for multiple uses: domestic, industrial and agricultural. His quality is a factor influencing the state of health and mortality at a time at the man, the animals and the plants. This study aims to determine the origin of acidity of groundwater from petrographic and geochemical approaches of Daloa and Zoukougbeu departments. The waters are generally acidic and weakly mineralized. The acidity of groundwater is due to biogeochemical and anthropogenic process. The acidity of these soils is due to the geological nature of the surrounding rocks because they have a significant amount of quartz which is composed of silica. The process linked in the study area to the decomposition of organic matter and the hydrolysis of silicates. The presence of gallery forests and classified forest and relatively abundant rainfall favor the decomposition of organic matter in the region. The brown color of surface water due to a large load of organic matter throughout the year reflects the biological activity that develops at the soil level. The mineralization of the region's groundwater comes from the weathering of rocks, the hydrolysis of minerals silicates such as anorthite in plagioclases and the decomposition of ferromagnesian minerals such as biotite. Added to this is rainfall of the soil.

Keywords: Geochemical, throughfall, underground water, mineralization