

Évaluation 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

Oï Adjiri ADJIRI^{1*}, Tchimou Vincent ASSOMA^{2,4}, Gbombélé SORO², Natchia AKA³, Issa BENGALY² et Nagnin SORO²

¹*Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE), UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire*

²*Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), UFR SRTM, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

³*Laboratoire de physique et géologie marine, Centre de Recherche Océanologique d'Abidjan (CRO), BPV 18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

⁴*Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : oiadjiri@gmail.com

Résumé

L'objectif de cette étude est d'évaluer les aptitudes d'usages des eaux de sources des départements de Daloa et Zoukougbeu dans l'agriculture. Pour y parvenir, au niveau de chaque département, des échantillons d'eau de source ont été prélevés dans des bouteilles en PET de 1,5 L pour le dosage des ions majeurs. Ces différents échantillons ont été conditionnés dans des glacières à une température de $4 \pm 2^\circ\text{C}$ et convoyés au laboratoire pour analyse. Au préalable, la température, le pH, la conductivité électrique, les Solides Totaux Dissous (TDS) et la salinité ont été mesurés *in situ*. Au laboratoire, les cations majeurs ont été dosés par spectrophotométrie d'émission atomique de type ICP. Les chlorures ont été dosés par colorimétrie au thiocyanate de mercure, les sulfates et les nitrates par la méthode de réduction au cadmium et les bicarbonates à partir de la mesure du titre alcalimétrique complet (TAC). Les résultats obtenus ont été soumis à un traitement hydrochimique et comparés aux normes françaises et canadiennes de la qualité des eaux destinées à l'aviculture afin d'indiquer les aptitudes d'usage possibles de ces eaux dans l'agriculture. Ces traitements et comparaison révèlent que les eaux de sources des deux départements peuvent être utilisées sans problème dans l'activité agricole et avicole.

Mots-clés : *Daloa, Zoukougbeu, eaux de source, aptitudes d'usage, hydrochimie, agriculture.*

Abstract

Evaluation of the using aptitudes for the natural spring water in agriculture using hydrochemical techniques : the case of those of the departments of Daloa and Zoukougbeu, Côte d'Ivoire

The objective of this study is to evaluate the using aptitudes for the spring water of departments of Daloa and Zoukougbeu in agriculture. To achieve this, at the level of each department, spring water samples were taken from 1.5 L PET bottles for the determination of major ions. These different samples were packed in coolers at

a temperature of $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and sent to the laboratory for analysis. Beforehand, temperature, pH, electrical conductivity, Total dissolved solids (TDS) and salinity were measured *in situ*. In the laboratory, the major cations were determined by ICP atomic emission spectrophotometry. The chlorides were colorimetrically titrated with mercury thiocyanate, sulphates and nitrates by the cadmium reduction method and bicarbonates from the measurement of the total alkalinity titer (TAC). The results obtained were subjected to a hydrochemical treatment and compared to French and Canadian standard of the water quality for poultry farming in order to indicate the possible capacities of use of these waters in agriculture. These treatments and comparisons reveal that the source waters of the two departments can be used without problem in the agricultural and poultry activity.

Keywords : *Daloa, Zoukougbeu, spring waters, the Using aptitudes, hydrochemistry, Agriculture*

1. Introduction

L'eau est un élément indispensable pour la vie et le développement socio-économique d'un pays [1]. De ce fait, elle doit être disponible toute l'année en quantité importante et de bonne qualité. En conséquence, pour une région donnée, il est nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur la potentialité en eau, les facteurs de vulnérabilité et les mesures nécessaires à prendre pour la développer, gérer et protéger. De plus, l'amélioration des conditions de vie des populations passe par un meilleur accès au premier service de base qu'est l'eau. L'État de Côte d'Ivoire a si bien compris les enjeux de l'accès à l'eau potable qu'il a initié avec l'appui des partenaires au développement des actions visant à faciliter l'accès au plus grand nombre d'ivoiriens. Cette volonté politique s'est traduite en action par la mise en œuvre du Programme National de l'Hydraulique Humaine (PNHH) dès 1973. Selon le rapport du bilan de l'évaluation du programme national d'hydraulique villageoise paru en mai 1999 [2] au total, 17 779 points d'eau dont 13 312 forages et puits modernes étaient en exploitation. Le taux de couverture en eau potable est passé de 34 % avant l'exécution du programme à 80 % après [3]. Malheureusement, ces acquis ont fait place depuis cette date à une crise généralisée de l'approvisionnement en eau potable dans les villes ivoiriennes [4]. Les départements de Daloa et de Zoukougbeu, situés au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, zone à haute intensivité d'activités agricoles, sont de plus en plus peuplés à cause de la main d'œuvre que nécessitent ces activités et les différentes crises qu'a connues la Côte d'Ivoire. L'accroissement de la population allant de pair avec les besoins d'approvisionnement d'eau potable pour la consommation humaine, il devient donc urgent de rechercher des ressources alternatives pour d'autres types d'usages, notamment celle destinée à l'agriculture. D'autre part, ces deux départements disposent d'importantes ressources d'eaux de source, émergeant naturellement du sous-sol. La connaissance des caractéristiques hydrochimiques par les méthodes de Wilcox et Richard de ces eaux permettra donc d'orienter le décideur sur les différents types d'exploitation possible. Ainsi, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer les aptitudes d'usages possibles de ces eaux de source. Il s'agit donc de façon spécifique (1) d'évaluer la qualité des eaux de source des deux départements selon les méthodes hydrochimiques d'évaluation de la qualité de l'eau destinée à l'agriculture, (2) de comparer les caractéristiques physico-chimiques de ces eaux aux normes françaises, canadiennes [5, 6] de qualité des eaux utilisées dans les activités avicoles.

2. Présentation de la zone d'étude

Les départements de Daloa et Zoukougbeu sont situés au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, entre 6° et 7° longitudes ouest et $6,6^{\circ}$ et $7,2^{\circ}$ latitudes nord. Il est à cheval entre les zones UTM (Universal Transverse Mercator) 29 N et 30 N. Il est limité au nord par le département de Vavoua, au sud par le département d'Issia,

à l'est par département de Zuénoula et Bouaflé et le fleuve Bandama et à l'ouest par le département de Duékoué et Bangolo et le fleuve Sassandra (**Figure 1**). Les départements de Daloa et Zoukougbeu sont distant d'environ 141 km de Yamoussoukro la capitale politique et à environ 383 km d'Abidjan la capitale économique. L'agglomération de Daloa est le chef-lieu de la région administrative du Haut-Sassandra ainsi que le pôle de développement urbain du Centre-Ouest du pays. Le périmètre urbain couvre 9 650,75 ha [7].

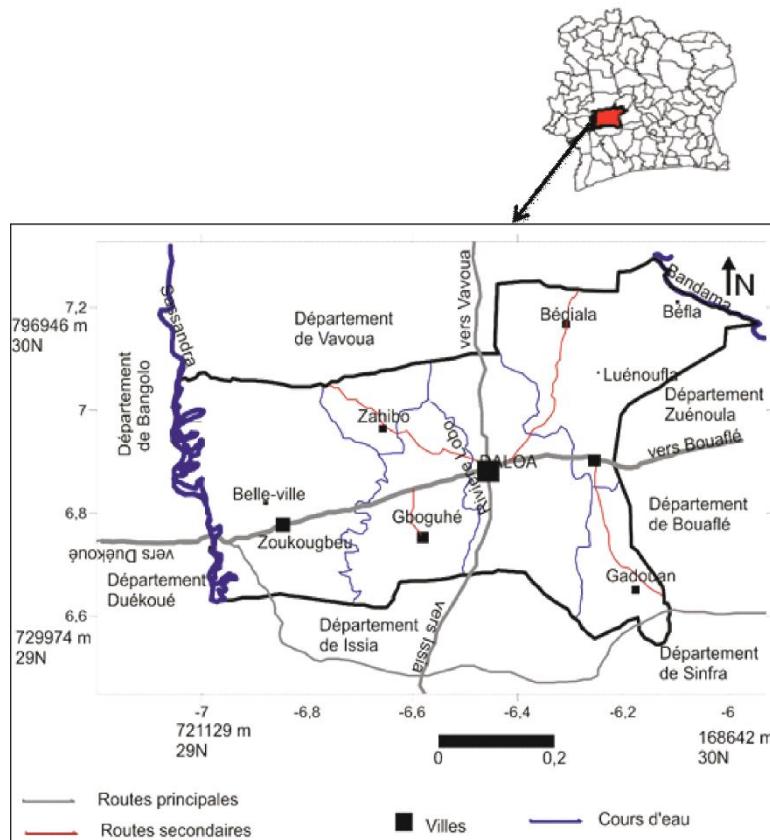


Figure 1 : Présentation des Départements de Daloa et Zoukougbeu

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 compliquée par des intersaisons 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. 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 constitué d'une pénéplaine de faible altitude (**Figure 2**) comprenant dans la partie nord des dômes cristallins (260-400 m) et des bas plateaux (190-250 m). Aussi, la région présente-t-elle des vallées alluviales peu encaissées qui offrent de larges bas-fonds alluvionnaires favorables aux cultures irriguées.

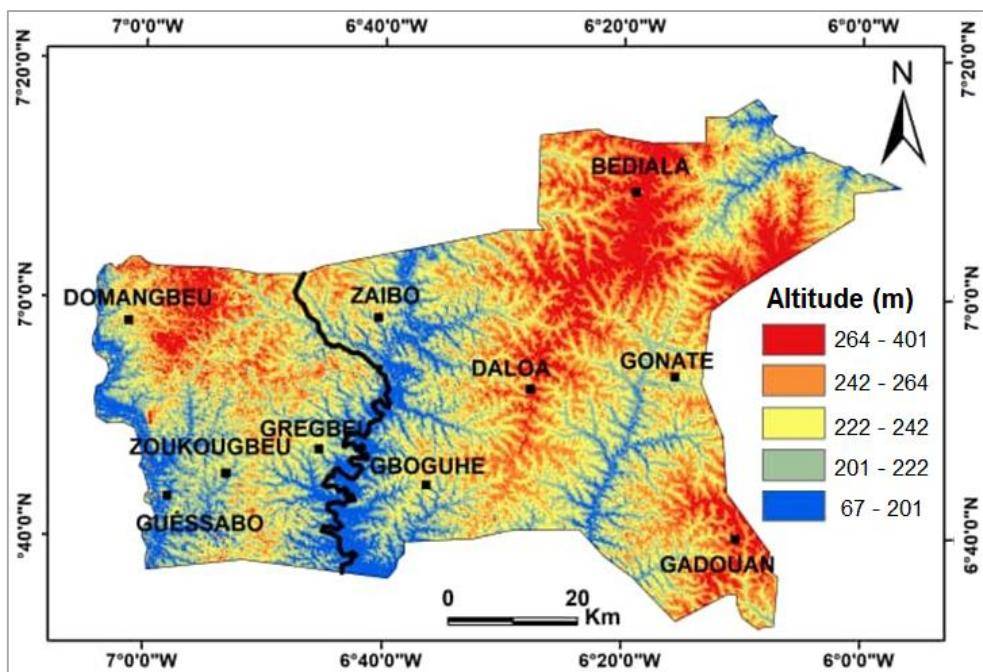


Figure 2 : MNT (Modèle Numérique de Terrain) des départements de Daloa et de Zoukougbeu

En outre, à l'instar de tout le Haut Sassandra, ces deux départements 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 fortement dégradée dans les zones habitées par les activités agricoles et les feux de brousse [8]. Depuis quelques années, une savanisation de la région est progressivement observée. Les sols quant à eux, sont de type remanié et hydromorphe [9]. Les premiers occupent plus de 90 % de la superficie. Ils sont généralement ferralitiques et issus de l'altération des granites. Quant aux sols hydromorphes, ils s'observent le long des cours d'eaux et dans les bas-fonds. Les aptitudes physiques et chimiques de ces deux types de sols sont favorables à la plupart des cultures comme le café, le cacao, l'hévéa, le riz, etc. Au niveau géologique, la région appartient au socle précambrien et regroupe deux grandes formations que sont les roches magmatiques et les roches métamorphiques [9]. 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. Les roches métamorphiques rencontrées sont des migmatites dont les faciès sont de type migmatites anciennes, gneiss migmatitiques, migmatites rubanées et leucomigmatites. Aussi, sont présents des ensembles schisteux constitués de schistes argileux, gréseux et de grès feldspathiques (**Figure 3**). Au plan hydrogéologique, deux grands types d'aquifères sont rencontrés dans la région: les aquifères d'altérites et les aquifères de fractures et/ou de fissures. Les aquifères d'altérites issues des roches granitiques sont représentés par un mélange de sables et d'argiles avec une proportion plus importante de sables qui constituent également les arènes [9]. En milieu schisteux, les produits d'altération sont dominés par une phase argileuse plus importante. Ils sont peu perméables et de porosité importante liée à la taille des grains [9]. Ces aquifères ont une épaisseur moyenne de 10 à 20 m dans les granito-gneiss et de 15 à 40 m dans les schistes [10]. Les nappes d'altérites sont caractérisées par un niveau piézométrique proche de la surface du sol et sont de ce fait très vulnérables à la pollution. Elles se rechargent immédiatement au cours des précipitations et sont caractérisées par un rabattement excessif du niveau piézométrique en saison sèche. L'absence de forage ou le mauvais fonctionnement des pompes ou la mauvaise qualité des eaux du réseau d'eau potable, oblige les populations à avoir recours à ce type d'aquifères. Les aquifères de fissures et de

fractures quant à eux, constituent le principal réservoir d'eau au-dessus de la partie non altérée du socle et sont captés dans les départements de Daloa et Zoukougbeu par des forages pour l'approvisionnement en eau potable des populations rurales et urbaines. Ces dernières abandonnent le plus souvent les eaux du réseau pour des raisons de mauvaise qualité. Ces forages ne peuvent fournir qu'un débit maximum de 10 m³/h pour des profondeurs supérieures à 50 m [11].

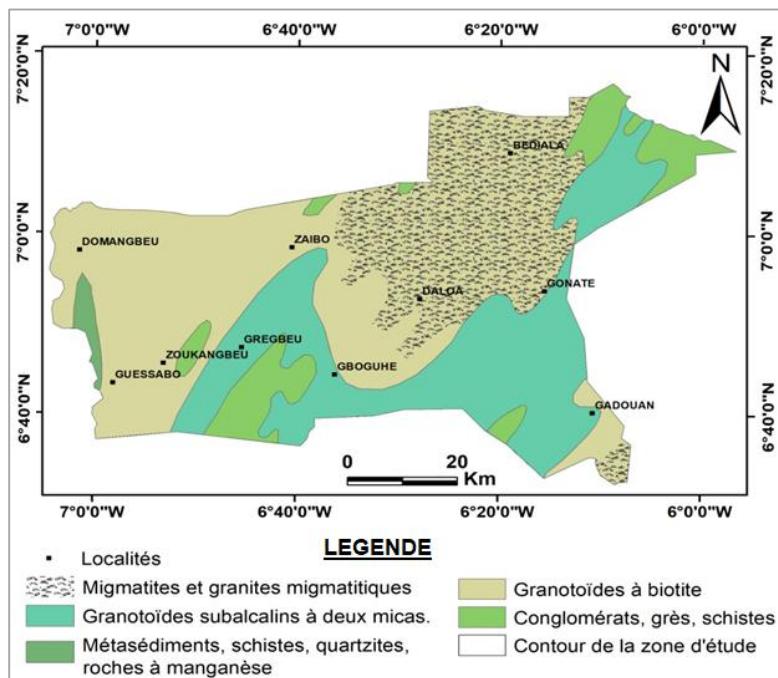


Figure 3 : Carte géologique des départements de Daloa et de Zoukougbeu

3. Matériel et méthodes

3-1. Elaboration des cartes

Les données cartographiques utilisées sont constituées de cartes topographiques et d'une carte géologique du degré carré de Daloa réalisées respectivement à l'échelle 1/50 000 et 1/200 000. La première étape dans l'élaboration du Modèle Numérique de Terrain (MNT) a consisté à numériser les courbes de niveau de des cartes topographiques du degré carré de Daloa. Ces courbes ont ensuite été converties en points situés à égale distance afin de disposer d'informations plus homogènes. Les coordonnées des points obtenus ont été ajoutées aux coordonnées des points cotés relevés sur la carte topographique et à celles des mesures effectuées sur le terrain. Les points correspondant à ces coordonnées ont été interpolés par krigage à l'aide du logiciel ArcGIS pour la réalisation du MNT.

3-2. Prélèvement des échantillons

Pour le prélèvement des échantillons, deux campagnes d'échantillonnage des eaux ont été effectuées en mars 2018 (fin de saison sèche). Le choix de cette période se justifie par le fait que les eaux souterraines sont moins diluées. La première campagne a eu lieu dans la ville de Daloa et la seconde sur les axes Gonaté-Daloa-Zoukougbeu et Daloa-Vavoua-Gboguhé. Elles ont concerné 13 sources d'émergence d'eaux naturelles dans 08 localités différentes dont 4 dans la ville de Daloa, 2 à Toroguhé et 1 pour les autres localités (**Figure 4**).

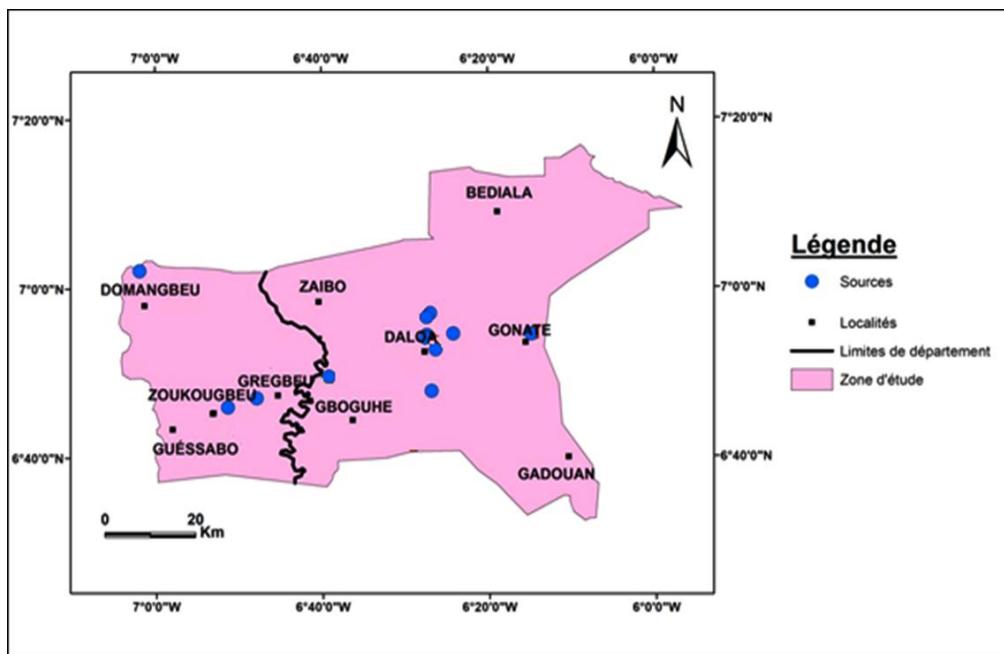


Figure 4 : Points d'échantillonnages des eaux de source

Pour le prélèvement, la démarche suivante a été adoptée : premièrement, un GPS (Global Positionning System) de type Garmin etrex 20 a été utilisé pour le géoréférencement des points à échantillonner et un seau de contenance 5 L pour le prélèvement de l'eau à échantillonner. Deuxièmement, les bouteilles en Polyéthylène (P.E.T) de 1 L devant contenir les échantillons, ont été rincées 3 fois avec l'eau à analyser, puis remplies jusqu'à ras-bord et fermées hermétiquement sans laisser de bulles d'air. Une fois les bouteilles remplies, elles ont été conservées dans des glacières où elles ont été maintenues à une température basse d'environ (4°C). Ce conditionnement permet d'éviter le dégazage de l'eau et la précipitation de certains éléments chimiques.

3-3. Analyse des échantillons

Les analyses ont été réalisées au bout de 48 heures après la prise des échantillons. Auparavant, les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité électrique, le potentiel d'oxydoréduction et le Total des Solides Dissous (TDS) ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multiparamètre de marque HACH HQ40d. Pour la mesure, la sonde du multiparamètre a été introduite dans l'eau contenue dans le seau ayant servi aux prélèvements et les valeurs des différents paramètres cités précédemment sont lues sur l'écran après stabilisation des valeurs affichées. Au laboratoire, les chlorures ont été dosés par colorimétrie au thiocyanate de mercure, les sulfates et nitrates par la méthode de réduction au cadmium. Les teneurs en bicarbonates, ont été mesurées à l'aide d'un titrimètre digital de type HACH, puisque le titre alcalimétrique est nul quand le pH est inférieur à 8,3. Le dosage s'est donc fondé sur la neutralisation d'un volume d'eau (100 mL) par un acide minéral (solution titrante d'acide sulfurique dilué, H_2SO_4 à 0,16 N selon la minéralisation de l'eau) en utilisant le vert méthyl rouge de bromocrésol comme indicateur coloré. La détermination des ions HCO_3^- s'est faite à partir de la **Relation :**

$$HCO_3^-(mg/L) = 1,219 \times TAC \quad (1)$$

Avec **TAC** : taux d'alcalinité totale en mg/L de $CaCO_3$.

Pour la mesure de la turbidité, l'échantillon a été introduit dans un flacon de mesure normalisé et mesuré conformément à la norme ISO 702, dans un turbidimètre de marque PCE-TUM 50. Quant aux cations, ils ont été dosés à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission atomique (ICP-AES) de marque IRIS dont la source est du plasma généré par couplage inductif conformément à la norme ISO-11885.

3-4 Evaluation des aptitudes d'usages possibles en agriculture

Pour évaluer les usages possibles de ces ressources en eau souterraine dans le développement agricole, le taux d'absorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium (% Na), le Résidu Sec (RS) et la Pression Osmotique (Π) des différents échantillons ont été calculés. Les valeurs de ces paramètres ont été comparées aux valeurs recommandées pour un usage agricole. Aussi, le diagramme de Wilcox (% Na en fonction de la conductivité) et celui de Richards (SAR en fonction de la conductivité) ont été établis. En effet, ces auteurs préconisent de tenir compte de la conductivité, c'est-à-dire de la salinité de l'eau, du danger d'alcalinisation des sols et des concentrations des éléments nocifs pour les plantes, notamment le bore. Pour ces derniers, des teneurs très élevées en sels (sodium et bore) sont nuisibles aux plantes. Le bore constitue l'un des éléments le plus dangereux dans les eaux destinées à l'agriculture, car une teneur élevée en bore provoque des effets toxiques sur les plantes. Quant au sodium, sa combinaison avec les sols diminue leurs perméabilités. Ces différentes variables sont obtenues partir des **Formules** suivantes :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}} \quad (2)$$

$$\text{RS} = 0,7 \times \text{CE} \quad (3)$$

$$\Pi = 0,00036 \times \text{CE} \quad (4)$$

$$\% \text{Na} = 100 \times \frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \quad (5)$$

Afin d'évaluer la qualité des eaux pour l'élevage de volailles (élevage le plus pratiqué dans la région), les valeurs des éléments physiques et chimiques mesurés, ont été opposées à celles des valeurs guides européennes admises pour des activités de volailles.

4. Résultats

4-1. Mesures *in situ*

Le **Tableau 1** présente les résultats des mesures effectuées *in situ* dans les deux départements.

Tableau 1 : Moyennes des mesures effectuées *in situ*

Localités	pH	T (en °C)	CE (en $\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (en ppm)	Turbidité en NTU
Département de Zoukougbeu					
Zoukougbeu	4,5	27,5	37,7	17,1	64,1
Z.Carrefour	4,9	26,4	46,5	21,1	146
Zoupangbeu	4,6	26,2	219	100	23,5
Madoguhe	4,7	26,4	69,7	31,8	90,7
Département de Daloa					
Toroguhé 1	4,9	26,7	69,9	31,7	186
Toroguhé 2	4,9	27,3	107	47,6	1,2
Gbokora (DV)	4,5	28,5	72,4	31,8	23,3
Gbetitapia	4,4	26,3	33,7	15,3	2,1
Sapia	4,3	28,6	76,9	33,7	48,2
Gonaté	4,3	29,2	87,3	37,7	4,9
CMA A (DV)	5,1	29,9	169	80	1,2
CMA B (DV)	5	29,3	159	75,6	0,3
Labia (DV)	5	29,5	76,3	35,9	5,3
Tous les sites	Min	4,3	26,2	33,7	0,3
	Max	5,1	29,9	219	186
	Moy	4,7	27,8	94,2	45,9
	VG	6,5-9,5	22	1400	<5

nd : Non défini; CMA : nom d'une église protestante situé à proximité du site ; Z. : Zoupangbeu

VG : Valeur Guide OMS [12] pour eau potable (consommation humaine), DV : Daloa ville

Ces eaux de sources naturelles sont pour la plupart acides avec une valeur de pH minimum de 4,3 relevée à la source de Gonaté et celle de Sapia et maximum de 5,1 relevées à la source de CMA A (ville de Daloa). Les températures sont élevées (26,2 à 29,9 °C). Elles sont proches de la température ambiante (24,6 à 27,6°C). Au contraire, les conductivités électriques sont relativement faibles avec des valeurs comprises entre 33,7 et 218,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elles sont inférieures aux valeurs guides OMS [12], pour une eau à consommation humaine. En outre, les valeurs de TDS enregistrées confirment les tendances observées au niveau des conductivités. Elles varient de 15,3 à 100,2 ppm. La turbidité quant à elle oscille entre 0,3 UTN à la source de CMA B (Daloa ville) et 146,6 UTN à la source de Toroguhé. Ces valeurs sont fonction de l'état d'aménagement des sources. Ainsi, les sources non aménagées (CMA B, Toroguhé 1, Zoupangbeu carrefour...) ont enregistrées les valeurs les plus élevées.

4-2. Analyses de laboratoire

Les résultats des analyses chimiques réalisées au laboratoire sont présentés par le **Tableau 2**:

Tableau 2 : Résultats des analyses chimiques réalisées au laboratoire

Localités	SOURCES								
	NO_3^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	Cl^- mg/L	HCO_3^- mg/L	Na^+ mg/L	Ca^{2+} mg/L	Mg^{2+} mg/L	K^+ mg/L	BI
Zoukougbeu	5,3	9	4,7	5,9	1,3	1,6	0,2	0,8	-37
Z.Carrefour	6,6	11	6,4	36,6	3,5	1,2	0,9	1	-55
Zoukpangbeu	38,1	2	16	5,4	8,8	9,2	3,1	2,7	1
Madoguhe	7,5	14	9,7	5,1	5,3	0,8	0,2	1,6	-39
Toroguhé 1	9,7	7	6,3	13,1	3,4	2	0,2	1	-40
Toroguhé 2	14,2	0	8,9	13,4	4,9	4,8	1,4	1,5	-7
Gbokra	7,9	9	9,2	8,5	5,08	2	2,2	1,5	-14
Gbetitapia	1,7	4	4,4	7,3	2,4	0,8	0,2	0,7	-32
Sapia	6,2	6	9,9	6,8	5,47	1,2	0,4	1,6	-24
Gonaté	7,9	1	9,5	6,1	5,25	1,2	0,7	1,6	-14
CMA A	3	3	24	2,4	9,8	0,1	0,5	2,1	-22
CMA B	2,6	7	26	3,6	21	0,4	1	5,7	9
Labia	14	17	12	3,6	3,1	0	0,4	0,8	-60
Min	1,7	0	4,4	2,4	1,3	0	0,2	0,7	
Max	38,1	17	26	36,6	21	9,2	3,1	5,7	
Moy	9,6	6,9	11,3	9,5	6,1	1,9	0,9	1,7	
VG	50	250	250	200	200	70	50	12	

BI : Balance ionique ; VG : Valeur Guide OMS [12] pour eau potable (consommation humaine)

L'analyse du **Tableau 2** révèle que dans l'ensemble, les teneurs en ions majeurs des eaux de source sont faibles. Elles sont inférieures aux valeurs guides de potabilité de l'OMS [12], pour une consommation humaine. Cependant, certaines sources comme celle de Zoukougbeu présentent des concentrations élevées en nitrates de 38,07 mg/L.

4-3. Aptitudes d'usages des eaux de source en agriculture

4-3-1. Aptitudes d'usages pour l'irrigation

Dans les départements de Daloa et Zoukougbeu, les observations faites au cours des visites de terrains effectuées par notre équipe de recherche ont permis de constater que les eaux de sources sont utilisées pour l'irrigation, surtout en saison sèche. En conséquence, l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux pourraient influencer les caractéristiques du sol et avoir des répercussions sur le rendement agricole. Le **Tableau 3** présente les différentes valeurs de SAR, % Na, résidu sec (RS), pression osmotique (π) calculées pour les eaux de source identifiées.

Tableau 3 : Résultats des valeurs de SAR, % na, résidu sec (RS) et pression osmotique (π)

Points d'échantillonnages	SAR (mEq/L)	Teneur Na ⁺ %	Résidu sec (RS) (mg/L)	π (atm)
Zoukougbeu	0,4	0,9	26,3	0,01
Carrefour	0,5	1,4	32,5	0,01
Zoukangbeu	0,6	2,2	153,2	0,07
Madoguhé	1,3	2,7	48,7	0,02
Toroguhé	0,6	1,5	48,9	0,02
Gosséa	0,4	1,3	74,5	0,03
Gbokora	0,5	1,6	50,6	0,02
Gbétitapia	0,6	1,1	23,5	0,01
Sapia	1	2,5	53,8	0,02
Gonaté	0,9	2,3	61,1	0,03
CMA A	2,7	4	118	0,06
CMA B	3,8	11,7	111,5	0,05
Labia	0,9	1,4	53,1	0,02

CMA : nom d'une église protestante située à proximité du site

A l'analyse du **Tableau 3**, il ressort que le taux d'absorption du sodium (SAR) des eaux souterraines varie de 0,1 à 3,8 mEq/L avec une moyenne 1 mEq/L. Les valeurs du SAR calculées permettent d'isoler une seule classe d'eau : eau d'excellente qualité, à faible danger d'alcalinisation. Le pourcentage de sodium varie 0,1 % à 11,7 %. Ces eaux appartiennent donc à la classe des eaux d'excellentes qualités pour l'agriculture. Le RS des eaux souterraines oscille entre 23,5 et 214,9 mg/L, avec une moyenne de 87,9. La pression osmotique quant à elle est comprise entre 0,01 et 0,13 atm. Le RS et la pression osmotique permettent d'isoler deux classes : la classe des eaux à faible salinité et celle des eaux à salinité moyenne. Le report des valeurs des teneurs en sodium en pourcentage et du SAR en fonction de celles de la conductivité électrique (respectivement diagramme de Wilcox et de Richards) permet de mieux apprécier la qualité des eaux identifiées (**Figure 5**). Dans les deux départements ces eaux appartiennent pour la plupart à la classe des eaux de qualité excellentes pour l'irrigation dans le diagramme de Wilcox. Quant au diagramme de Richards, il permet d'identifier deux catégories d'eaux d'irrigation :

- La première catégorie concerne la classe C1 S1 ($0 < C1 > 250 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $0 < S1 > 14$) de qualité excellente, comprenant 09 points d'eau soit 69 % des eaux échantillonées;
- La deuxième catégorie correspond à la classe C2 S1 ($250 < C2 > 750 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $0 < S1 > 14$) de qualité acceptable, comprenant 4 points d'eaux soit 31 % de points d'eaux échantillonés.

Que ce soit au niveau du diagramme de Wilcox et de Richards, ces eaux présentant une légère tolérance aux sels. Elles peuvent donc être toutes utilisées à des fins agricoles.

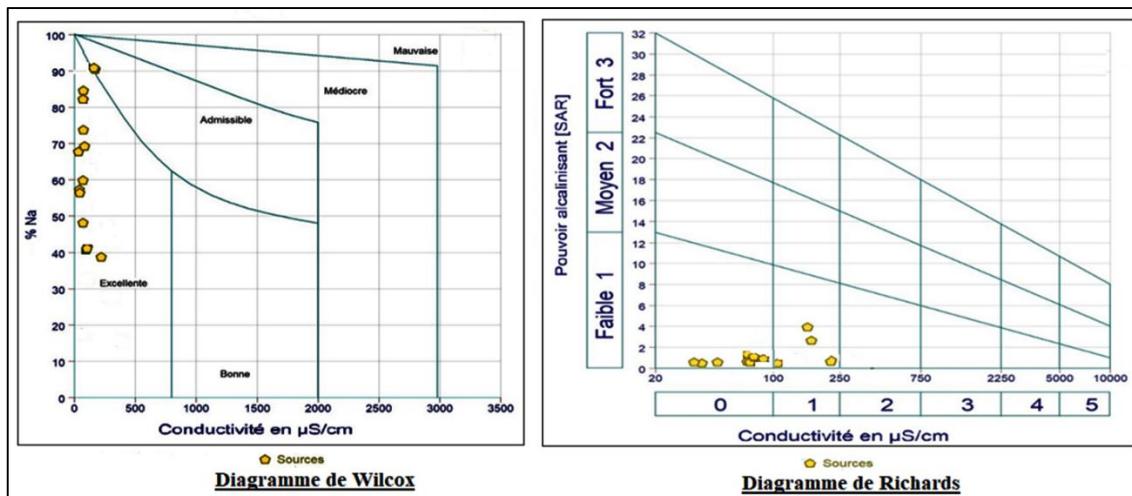


Figure 5 : Classification des eaux dans les Diagramme de Wilcox et Richards

4-3-2. Aptitudes d'usages pour l'activité avicole

L'eau constitue un nutriment essentiel pour la volaille. Un approvisionnement suffisant en eau propre et de bonne qualité est primordial pour optimiser le rendement des génotypes modernes sélectionnés pour l'aviculture. Le **Tableau 4** présente les paramètres physico-chimiques des eaux identifiées comparés aux normes françaises et canadiennes [5, 6] de la qualité des eaux destinées à l'activité avicole.

Tableau 4 : Comparaison des paramètres physico-chimiques aux normes françaises et canadiennes

	Eaux de Source	Normes françaises et canadiennes	unités
pH	4,3 - 5,1	5,5-6,5	
Température	26,2-29,9	nd	°C
Conductivité	33,7 - 219	nd	µS/cm
Calcium	0 - 9,2	1000	mg/L
Sodium	1,3 - 21	nd	mg/L
Potassium	0,7 - 5,7	nd	mg/L
Magnésium	0,2 - 3,1	nd	mg/L
sulfate	0 - 17	nd	mg/L
chlorure	4,4 - 26	nd	mg/L
Nitrates	1,7 – 38,1	≤ 50	mg/L

nd : non défini

À l'exception du pH, de la teneur en calcium et nitrates, la conductivité, les teneurs en sodium, potassium, magnésium, sulfate et chlore ne sont pas pris en compte par les normes françaises et canadiennes. Ces derniers ne seraient probablement pas nécessaires pour l'évaluation de la qualité des eaux de boissons de volaille. Pour ces normes, l'accent devrait être mis sur le pH (5,5-6,5), la dureté (10-15 °F), le Fer ($\leq 0,2 \text{ mg/L}$), le manganèse ($\leq 50 \text{ mg/L}$), le nitrate ($\leq 50 \text{ mg/L}$), les nitrites ($\leq 0,1 \text{ mg/L}$), l'ammonium ($\leq 0,5 \text{ mg/L}$) et les matières organiques ($\leq 2 \text{ mg O}_2/\text{L}$). Pour les paramètres : pH, calcium et nitrate, seules les teneurs en nitrates (1,7-38,1 mg/L) sont conformes aux normes ($\leq 50 \text{ mg/L}$). Toutefois, la valeur maximum de 38,1 mg/L pourrait traduire un début de pollution anthropique que l'aviculteur devrait surveiller.

5. Discussion

L'eau est un élément indispensable pour la vie et le développement socio-économique d'un pays. Tous les programmes de développement agricole initiés par les différents gouvernements ivoiriens depuis plus de deux décennies, priorisent l'usage de l'eau dans l'agriculture (cultures irriguées). Pour ces gouvernements, il permettra d'assurer une sécurité alimentaire. Aussi, l'eau est indispensable à la vie des volailles. Elle représente 70 % du poids d'un œuf à couver, 85 % du poids d'un poussin d'un jour et 60 à 75 % du poids d'un poulet de 60 jours [13, 14]. Face à ce constat, il est donc indispensable d'apporter de l'eau en quantité suffisante aux animaux, en quantité qu'il faut aux plantes mais aussi de bonne qualité chimique. La qualité de l'eau est donc primordiale pour l'agriculture. Au niveau des départements de Daloa et Zoukougbeu, les eaux souterraines échantillonnées ont une salinité faible à moyenne traduite par de faibles valeurs de résidus secs et de pressions osmotique. Rappelons que l'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée essentiellement par osmose. La salinité est donc d'une importance majeure car un excès de sel augmente la pression osmotique du sol et crée des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique et réduisent le rendement des cultures. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration. Cette sécheresse physiologique peut conduire également à une intoxication des plantes lorsque la salinité est importante, en entraînant une absorption déséquilibrée des cations [15]. Dans les départements de Daloa et Zoukougbeu, les faibles valeurs de SAR, du pourcentage de sodium et des Résidus secs dans les eaux de sources témoignent que ces eaux minimiseraient les risques d'alcalinisation des sols et donc bonne pour l'agriculture. Ces faibles valeurs en sels ont été également observées par [7] dans les eaux de sources du département de Daloa et par [16, 17] respectivement dans les eaux souterraines des régions d'Agboville et de Katiola. Ces eaux, généralement de classe C1S1 sont sans danger pour la plupart des cultures et peuvent être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation.

Toutefois, celles de la classe C2S1 identifiées seraient adaptées pour les plantes présentant une légère tolérance en sel. Au niveau de la volaille, la comparaison des paramètres physico-chimique des eaux des départements des deux départements aux normes françaises et canadiennes montre qu'elles présentent des teneurs en ions acceptables pour être utilisées sans problème dans l'activité avicole. Toutefois, des teneurs relativement élevées d'ions chlorures pourraient altérer la saveur de l'eau et pourraient entraîner une diminution de la consommation d'eau de la volaille. En effet, l'ion chlorure est un composant important de l'homéostasie acido-basique, un stockage prolongé d'eau contenant des quantités relativement élevées d'ions chlorures pourrait entraver l'équilibre acido-basique. Bien que le risque pour la santé des animaux lié à sa présence dans l'eau soit très faible, le fait de perturber l'équilibre acido-basique de l'eau, ils pourraient avoir à terme, des conséquences sur le métabolisme de la volaille et donc un impact sur le rendement [6]. Aussi, selon le même auteur, une ingestion trop importante de magnésium entraînerait une baisse du taux de croissance des poussins. Cependant, les valeurs obtenues dans les eaux de source des deux départements sont largement inférieures à celles obtenues par [14] dans les eaux destinées aux élevages avicoles dans la région périurbaine de Dakar. D'autre part, ces eaux sont relativement acides et présentent une température relativement élevée comparativement aux normes françaises et canadiennes. Ces fortes températures seraient liées à la température de l'air ambiant. En effet [7] a indiqué dans des travaux antérieurs que les points d'émergence des eaux de sources de la ville de Daloa seraient des exutoires de nappes superficielles. Pour ces températures d'air ambiant élevées, selon [14, 18], la consommation d'eau de la volaille augmente et la quantité totale de contaminants ingérés est importante.

6. Conclusion

Les paramètres physico-chimiques de l'eau utilisée pour l'irrigation et l'aviculture, en cas de dépassement des valeurs préconisées, peuvent entraîner des perturbations directes ou indirectes sur le rendement. Au niveau des départements de Daloa et Zoukougbeu, cette étude a révélé que les eaux de sources peuvent d'un point de vu physico-chimique, être utilisées sans danger pour l'irrigation et l'abreuvement de la volaille. Toutefois, elles nécessiteraient un traitement de potabilisation par neutralisation. Aussi, à cause de la teneur en ion chlorure relativement importante, l'aviculteur doit éviter un stockage prolongé et doit contrôler les teneurs en magnésium.

Références

- [1] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLOUI, D. BENGOUMI, R. EL MOUSTAINE, "Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (MAROC)", *Larhyss Journal*, 14 (2013) 21 - 36
- [2] - JICA, Agence Japonaise de Coopération Internationale : plan directeur de gestion intégré des ressources en eau en république de Côte d'Ivoire, Rapport final n° 37 (2001) 212 p.
- [3] - ONEP, "États généraux de l'eau potable en Côte d'Ivoire", Yamoussoukro (2009) 64 p.
- [4] - W. KOUKOUGNON, "Milieu urbain et accès à l'eau potable : cas de Daloa (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)", Thèse unique de doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, (2013) 371 p.
- [5] - A. MONTIEL, "Qualité de l'eau en élevage avicole". Actes des 7èmes journées de la recherche Avicole, Tours, France, (2007) 455 - 459
- [6] - A. ANDREW, "La qualité de l'eau d'abreuvement du bétail : Guide de terrain relatif aux bovins, aux chevaux, à la volaille et aux porcs », (2009) 185 p.
- [7] - O. A. ADJIRI, N. AKA, T. D. SORO, A. C. AFFESSI, D. KONATE, N. SORO, Caractérisation des ressources en eaux alternatives de la ville de Daloa : impacts sur la santé et implication dans le développement régional, *TSM*, 12 (2018) 89 - 114
- [8] - D. BAKA, "Géométrie, hydrodynamisme, des réservoirs, fracturés du socle protérozoïque de la région d'Oumé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)", Thèse doctorat Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2012) 260 p.
- [9] - R. LIBGAN, L. D. GONE, B. KAMAGATE, M. B. SALEY et J. BIEMI, Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa (Centre ouest de la Côte d'Ivoire), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(1) (2009) 38 - 47
- [10] - G. SORO, "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 l'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2010) 250 p.
- [11] - K. K. DIE, "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", EIER-ETSHER-2IE, (2006) 77 p.
- [12] - OMS, "Guidelines for Drinking-water Quality, Recommendations"; Fourth Edition, (2011) 518 p.
- [13] - C. PINEAU et F. MORINIERE, l'eau en élevage avicole biologique : Un facteur à ne pas négliger ! Résultats des travaux du réseau régional volaille biologique des Chambres d'agriculture des Pays de la Loire. *L'Agriculture biologique en Pays de la Loire*, résultats de recherche, n°95 (2012) 4 p.

- [14] - N. M. NDIAYE, Influence de la qualité de l'eau distribuée dans les élevages avicoles de la région périurbaine de Dakar, sur les performances de croissance du poulet de chair. Thèse de doctorat, Université Cheick Anta Diop, Dakar, (2010) 78 p.
- [15] - N. KATERJI, Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline : approches empiriques et mécanistes, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 81 (2) (1995) 73 - 86
- [16] - N. SORO, "Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du dégré carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire), implication hydrologique et hydrogéologique". Thèse de doctorat, d'État ès-Sciences Nat, Université Cocody-Abidjan, (2002) 272 p.
- [17] - M. S. OGA, F. M. GNAMBA, B. ADIAFFI, T. SORO, K. OULAI and J. BIEMI, Aptitude of Groundwaters for Irrigation in Katiola Area. *Asian Review of Environmental and Earth*, 2(3) (2015) 54 - 60
- [18] - R. EL MOUSTAINE, A. CHAHLAOUI, D. BENGOUMI, E. H. ROUR, I. BELGHITI, Qualité de l'eau en élevage avicole dans la région de Meknes (Maroc), impact sur la santé et la production. *Larhyss Journal*, 13 (2013) 47 - 61