

Etude Hydrogéochimique des Eaux Souterraines dans la Formation Gréseuse de la Région de Berberati en République Centrafricaine

*E. Foto,
C. L. Djebebe Ndjinguim,
N. Zoudamba,
E. Basse Keke,
J. Mabingui,*

Laboratoire Hydrosiences Lavoisier, Chaire - UNESCO sur l'eau Université de Bangui, Faculté des Sciences, Bangui (RCA)

Doi: 10.19044/esj.2019.v15n6p487 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p487](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2019.v15n6p487)

Résumé

La population de la République Centrafricaine est inégalement répartie: les zones ouest et sud montrent une densité de population beaucoup plus haute que la partie Est. Pour parvenir à une meilleure connaissance des ressources en eau en présence, la compréhension des conditions de recharge des formations gréseuses et leur interrelation avec les cours d'eau environnants et leur réservoirs constituent les principales lacunes à combler par ce projet. L'étude porte donc sur l'évaluation des ressources en eaux dans la formation gréseuse de Berberati par l'utilisation des techniques hydrogéochimiques de et l'hydrologie isotopiques.

Mots-clés: Formation gréseuse, Berberati, hydrologie isotopique

Hydrogeochemical Study of Groundwater in the Sandstone Formation of the Berberati Region in the Central African Republic

*E. Foto,
C. L. Djebebe Ndjinguim,
N. Zoudamba,
E. Basse Keke,
J. Mabingui,*

Laboratoire Hydrosiences Lavoisier, Chaire - UNESCO sur l'eau Université de Bangui, Faculté des Sciences, Bangui (RCA)

Abstract

The population of the Central African Republic is unevenly distributed: the western and southern zones show a much higher population density than the eastern part. To gain a better understanding of the water resources present, understanding the recharge conditions of grès formations and their interrelation with the surrounding watercourses and reservoirs are the main gaps to be filled by this project. The study therefore focuses on the evaluation of water resources in the Berberati grès formation through the use of hydrogeochemical techniques and isotopic hydrology.

Keywords: Grès formation, Berberati, isotope hydrology

Introduction

La République Centrafricaine située au cœur de l'Afrique a une superficie de 623 000 km² pour une population d'environ 4 000 000 d'habitants. En matière de ressource en eau, en dépit du potentiel non négligeable dont dispose la RCA, elle demeure encore très peu connue. La zone d'étude se concentre autour des 3 principales villes de Berberati, Carnot et Gamboula. Cette région se situe à l'ouest de Bangui à proximité de la frontière avec le Cameroun. La préfecture de Mambéré-Kadéï, à l'Ouest de la République Centrafricaine, est l'une de ses 16 préfectures. Elle couvre 30 203 km² de superficie et la population totale de cette région est estimée à 364 795 habitants, soit 9% de la population totale de la RCA, avec 10 habitants /km² de densité (recensement de 2003). Sa capitale est Berberati.

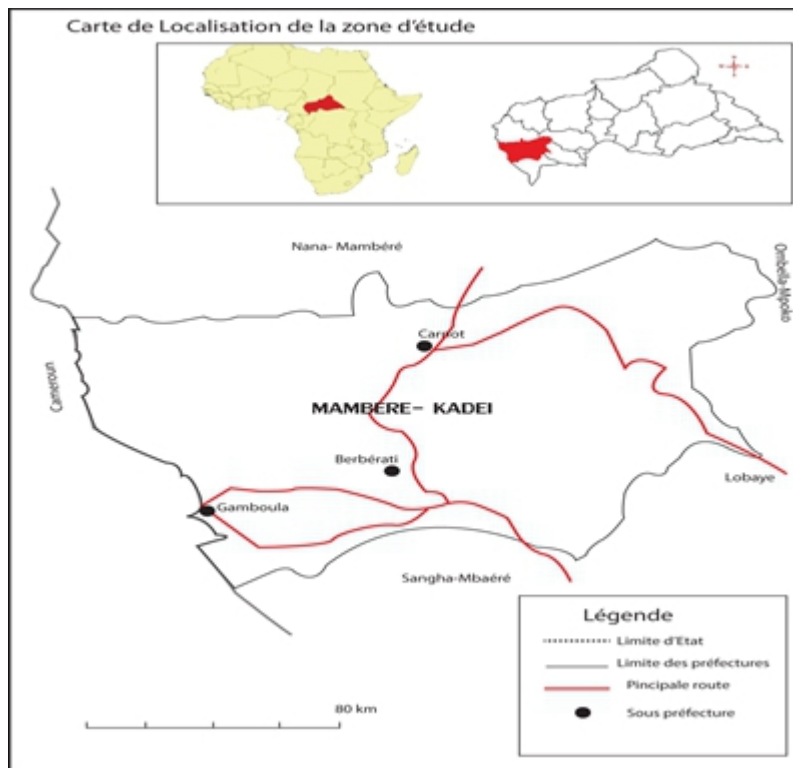


Figure 1 : localisation de la zone d'étude

I. Cadre Hydrologique et Hydrogéologique

D'un point de vue hydrologique, la préfecture de Mambéré Kadéi dispose d'un réseau hydrographique très important composé de la Sangha, la Mambéré, la Nana et la Kadéi.

Le relief rencontré est constitué des plateaux d'environ 350m d'altitude. Les sols qu'on y rencontre sont de types ferrallitiques rouges et ocre, des sols ferrallitiques à hydromorphe de profondeur, sols hydromorphes des plaines alluviales, (savane sols rocheux, cuirassés ou gravillonnaires, sols ferrallitiques bien drainés.

Concernant l'hydrogéologie, on distingue dans la préfecture de Mambéré Kadéi, des Formations gréseuses mésozoïques de Carnot et de Berberati, qui constituent de par leur perméabilité, leur épaisseur, leur extension et leur situation géographique, dans la zone bien alimentée par les pluies, des aquifères continus susceptibles de renfermer des ressources bien renouvelées, et pour l'instant pratiquement inexploités, si ce n'est pour l'hydraulique villageoise. Bien qu'il existe dans les grès des intercalations argileuses, la nappe est généralement libre, comme les forages dans les grès de Carnot l'ont montré. La profondeur du niveau statique, de l'ordre de 30 à 40 mètres représente cependant un handicap pour le creusement de puits

traditionnels. Le drainage des aquifères se fait par les rivières, telles la Lobaye et la Mambéré dans les grès de Carnot et Berbérati. On peut toutefois observer de nombreuses sources à débit faible ou moyen.

Grossièrement horizontaux et métamorphiques, les grès de Carnot reposent sur les assises granitiques ou cristalophylliennes du socle. Les plateaux de Carnot/Berberati forment une cuvette, remplie des niveaux conglomératiques d'épaisseur variant de 5 à 80 m dans lesquels sont localisés les gisements diamantifères de la dite localité (Boulevert. y, 1983).

J.P. WOLFF (1956) a établi la succession des formations géologiques de la manière suivante :

A la base, des niveaux conglomératiques repérés seulement en rive gauche de la Sangha et non signalés dans la région de la Motao.

Au-dessus, un ensemble grés-quartziteux qui, vers le sommet, passe progressivement aux schistes argileux par séquences oscillantes. Ces schistes argileux peuvent eux-mêmes être surmontés par quelques niveaux de grés-quartzites. Les grès de Carnot/Berberati d'âge crétacé sont des formations transgressives sur la formation glaciaire de Mambéré, elle est discordante sur le complexe schisto-quartzitique au sud et complexe granito-gneissique au Nord. On distingue également la série fluvio-lacustre de Carnot d'épaisseur variant de 100 à 200 m. Elle se compose de : Conglomérats, Grès et siltes. Les formations gréseuses du bassin de Carnot-Gadzi constituent le remplissage d'une grande dépression creusée dans les formations cristallines du socle. L'ensemble du remplissage gréseux secondaire repose sur un paléo relief accidenté, modelé dans une série fluvio-glaciaire à prédominance argileuse et conglomératique. Les ressources hydrauliques emmagasinées dans ce bassin sont considérables ; le débit spécifique de la Lobaye, cours d'eau qui draine profondément le grès de Carnot par des vallées creusées jusqu'au socle cristallin, atteint 9 l/s/km² (ricolvi, 1987). Les formations gréseuses constituent à cet effet, tant par le débit instantané prévisible des captages, que par les ressources disponibles, un aquifère de grande importance (Cornacchia et al, 1990) La nappe gréseuse présente un caractère libre mais le niveau piézométrique est souvent profond (30 à 45 m dans les grès de Carnot, parfois en dessous de 50 m. Les aquifères sont en communication avec les fleuves qui les drainent; des lignes de sources ont été observées au contact grès-socle.

I.1. Climatologie

La climatologie de la zone d'étude a été succinctement étudiée dans les années 1950 par Benoit-Janin (1954). Celui-ci a suivi quatre stations climatiques situées à proximité/sur de la zone d'étude : Nola en région de grande forêt, Boda et Carnot en savane et Berbérati à la limite des deux.

Leur climat est caractérisé par l'alternance d'une saison sèche de novembre à mars (seuls décembre et janvier ont une pluviométrie inférieure à

30 mm) et d'une saison des pluies d'avril à octobre. La pluviométrie annuelle est légèrement inférieure à 1500 mm pour Boda, Carnot et Nola, et légèrement supérieure à Berberati. On observe une diminution des pluies durant une courte période de 15 à 20 jours aux mois de juin ou juillet, diminution trop faible pour être qualifiée de petite saison sèche. Les courbes de la figure 2 permettent de constater la similitude de répartition des précipitations sur les quatre stations, seule Berberati s'en distingue par le nombre plus élevé de jours de pluie.

L'humidité relative moyenne demeure élevée toute l'année, à Berberati ses valeurs limites sont 69% en février et 86% en août-septembre. Les rosées sont abondantes. Les températures minima moyennes sont de 17 à 20°C, les températures maxima de 29 à 33 °C (Berberati). Le climat se caractérise donc par une saison des pluies abondante avec humidité forte toute l'année et températures à amplitude de variation faible. En limite nord de la zone climatique guinéenne, forestière ou équatoriale, très humide avec une pluviométrie qui avoisine les 1500 mm par an et une courte saison sèche, la préfecture de la Mambéré Kadéï est une zone de forêt au sud et de savane arbustive au nord.

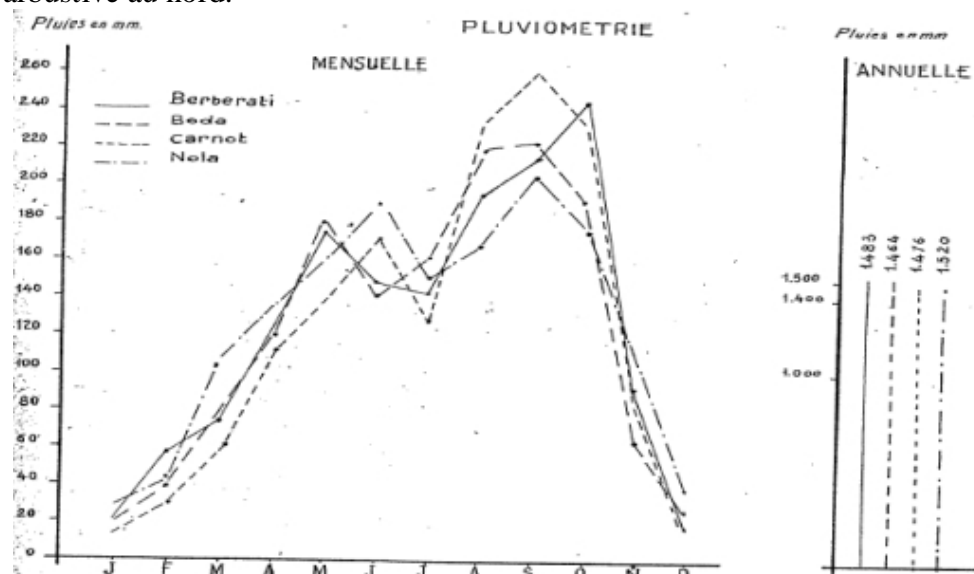


Figure 2 : Pluviométrie enregistrée dans la région de Carnot-Berberati (Benoit-Janin, 1954)- pas d'information sur la durée des observations.

I.2. Topographie et hydrographie (Benoit-Janin, 1954)

L'ensemble du secteur gréseux est un plateau de 600 à 700 m d'altitude faiblement vallonné mais dans lequel les rivières ont creusé des vallées profondes. Celles-ci appartiennent au système de la Lobaye pour la zone nord, à celui de la Mbaéré et de la Bodengué (affluents de la Lobaye) au sud, à celui de la Mambéré (affluent de la Sangha) à l'ouest. Le réseau hydrographique est

très peu dense, particulièrement dans le sud où il existe des plateaux de plusieurs milliers d'ha dépourvus de tout point d'eau.

II. Matériels et Méthodes

Après une première phase de reconnaissances des ouvrages à prélever sur le terrain par l'équipe du laboratoire, pendant la campagne, 30 points ont été échantillonnés dont forages (25), puits (02), source (02) et eau de rivière(01) au mois juillet en période de hautes eaux.

Sur chaque point d'eau à prélever les analyses in situ suivantes ont été réalisées :

- pH (pH-mètre WTW 340i)
- Conductivité électrique et Température (conductimètre WTW 340i)
- Alcalinité (trousse Alcalinité HACH)

Une série de prélèvements a été réalisés pour différentes analyses chimiques et isotopiques :

- 2 piluliers de 30 ml pour l'analyse du deutérium et de l'oxygène-18,
- 1 flacon 0.5l pour le dosage du tritium sur 10 points,
- 3 flacons de 30 ml filtrés sur 0.45 μ pour le dosage des cations (puis acidification par HNO₃), anions et éléments traces (puis acidification par HNO₃ ultra-pur) respectivement. Sur chaque forage et puits, les mesures et prélèvements ont été réalisés après avoir renouvelé suffisamment l'eau de la colonne de l'ouvrage lorsque les équipements le permettaient.

Les analyses chimiques et les analyses des isotopes stables de la molécule d'eau ont été réalisées au Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement de Tunisie, Les analyses GNIP et GNIR ont été menées à bien dans les laboratoires internes de l'AIEA. Les points de prélèvement ont été sélectionnés afin de couvrir de façon complète l'ensemble de la préfecture de Mambéré Kadéi et en fonction des ouvrages accessibles et disponibles (Figure. 3).

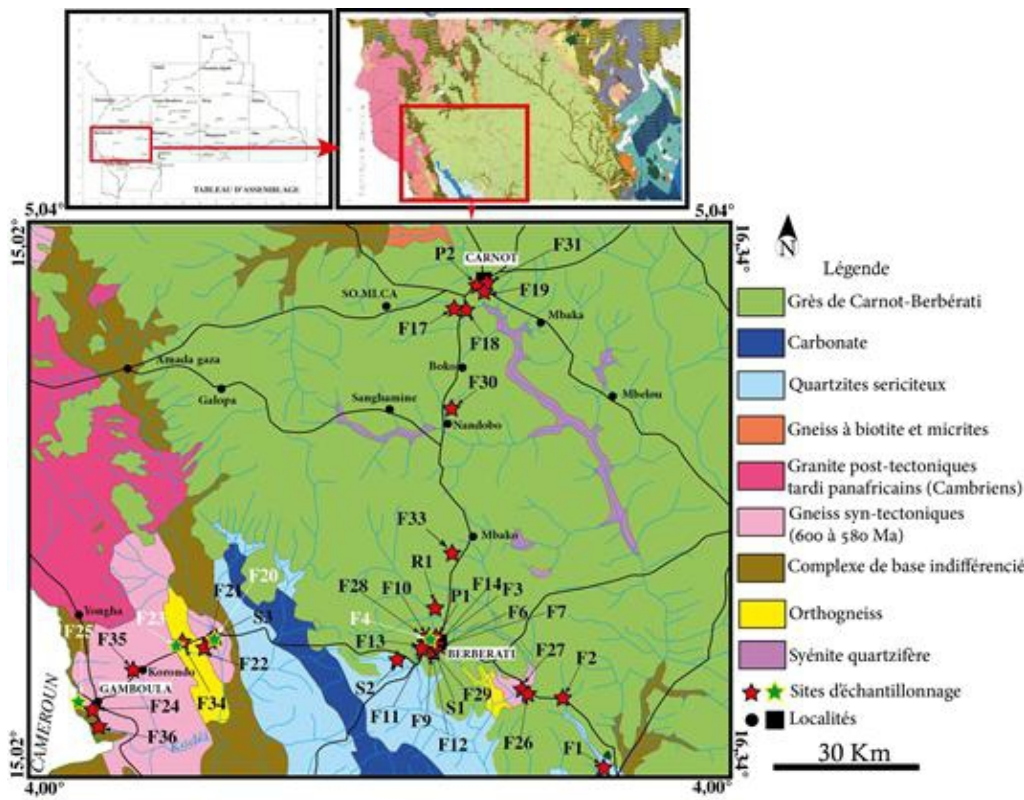


Figure 3 : localisation des points de prélèvement sur la carte géologique de la région.

III. Résultats et Discussions

III.1. Paramètres in situ

Les valeurs de température des eaux échantillonnées sont comprises entre 23 et 28°C, avec une moyenne de 26°C, comparables à la moyenne des températures ambiantes de la région. Dans l'ensemble, les eaux de la zone d'étude ont un pH variant entre 4,21 et 5,86. Cette acidité est probablement liée à l'hydrolyse des silicates et des acides humiques provenant de la décomposition de la matière organique des zones d'infiltration. Les eaux souterraines de la Mamberé- Kadéi sont faiblement minéralisées, avec des conductivités variant de 8 à 671 µS/cm. Les ouvrages ayant des valeurs élevées de conductivités électriques (200 à 691 µS/cm) sont probablement sujets à contamination anthropique par les latrines confere Tableau 1.

L'alcalinité mesurée sur le terrain reste elle aussi à un niveau faible entre 50 et 100 mg/l étant donné l'absence de ciment carbonaté dans les grès de Carnot. Les échantillons provenant des granodiorites montrent toutefois des teneurs légèrement plus faibles autour de 80 mg/l.

Globalement les différences dans les paramètres physico-chimiques entre les grès et les granodiorites semblent minimales.

Tableau 1: resultats des mesures in situ.

N°	Code (Nom local)	Type	Aquifere	Date	Latitude N/S DDMMSS.DD	Longitude W/E DDDMMSS.DD	Altitude (m)	Cond µS/cm	Temp. °C	pH units	Alk mg/L
1	Bania	F1	Grès	25/07/2014	04°00'00.4"	016°06'54.0"	469	27	26,2	4,35	3,17
2	Gbanbang	F2	Grès	25/07/2014	04°08'58.6"	016°01'75.1"	516	175	26,6	3,52	10,24
3	Ecole Pref.	F3	Grès	26/07/2014	04°15'48.8"	015°47'36.6"	571	102	24,4	3,98	3,05
4	Hopital 1	F4	Grès	26/07/2014	04°15'73.0"	015°47'37.1"	597	47	25	4,6	3,66
5	Hopital (D)	F5	Grès	26/07/2014	04°15'79.1"	015°47'28.6"	589	79	25,7	4,12	6,1
6	çaval	F6	Grès	26/07/2014	04°15'64.3"	015°47'50.7"	602	56	25,4	4,09	2,68
7	çava3	F7	Grès	26/07/2014	04°15'50.4"	015°47'91.4"	610	39	26,2	3,69	1,22
8	Sagbanda	F8	Grès	26/07/2014	04°15'08.1"	015°47'55.2"	599	50	26,8	4,56	9,15
9	Ecole Padrepio	F9	Grès	26/07/2014	04°14'.43,6"	015°47'48.9"	579	19	25,8	4,55	5,49
10	Source Padrepio	S1	Grès	26/07/2014	04°14'47.1"	015°47'57.9"	555	29	25,9	4,03	2,44
11	Paroisse SC	F10	Grès	26/07/2014	04°15'17.6"	015°47'34.2"	593	39	26,2	4,61	5,86
12	Gbassola2	F11	Grès	26/07/2014	04°14'74.1"	015°46'96.1"	615	24	26,4	4,35	5,49
13	Deleke(BM)	F12	Grès	26/07/2014	04°15'01.6"	015°46'59.8"	618	52	26,3	3,85	2,2
14	Belle-vue	F13	Grès	26/07/2014	04°14'89.1"	015°46'08.5"	599	52	26,5	3,83	2,56
15	Ecole 29mars	P1	Grès	26/07/2014	04°15'28.0"	015°46'89.8"	589	120	26,9	4,39	6,34
16	Potopoto	F14	Grès	26/07/2014	04°16'23.9"	015°47'04.6"	568	671	27	3,07	0
17	Nandobo	F15	Grès	27/07/2014	04°39'71.9"	015°47'84.0"	554	26	27,4	3,82	1,708
18	Nandobo2	F16	Grès	27/07/2014	04°41'32.2"	015°48'70.1"	600	71	26,5	5,21	35,38
19	Ngogbara	F17	Grès	27/07/2014	04°53'68.5"	015°49'28.8"	551	31	28	3,33	2,318
20	Kouisso	F18	Grès	27/07/2014	04°53'58.7"	015°50'42.9"	497	8	27,1	4,63	3,294

21	EEB	F19	Grès	27/07/2014	04°56'36.7"	015°52'76.9"	561	78	26,5	2,94	0
22	Camp. Fonct.	P2	Grès	27/07/2014	04°56'21.2"	015°52'21.3"	505	253	26,6	3,27	3,05
23	Batouri	R1	Grès	28/07/2014	04°18'04.0"	015°48'38.0"	514	26	23,4	4,99	8,3
24	Source Xavier	S2	Grès	29/07/2014	04°13'67.2"	015°43'05.5"	572	21	24,8	4,21	8,66
25	Nassole	F20	Granodiorite	29/07/2014	04°15'58.5"	015°22'69.8"	534	197	25,6	5,73	64,66
26	Nangoko	F21	Granodiorite	29/07/2014	04°15'11.2"	015°21'48.3"	541	81	25,1	5,33	122
27	Doumba	F22	Granodiorite	29/07/2014	04°14'99.4"	015°21'06.0"	550	85	25,3	5,24	48,07
28	Soroma	F23	Granodiorite	29/07/2014	04°14'38.6"	015°18'37.4"	555	113	25,5	5,36	70,52
29	Centre de santé	F24	Granodiorite	29/07/2014	04°07'23.5"	015°08'30.1"	616	68	26	5,22	26,352
30	Douane	F25	Granodiorite	30/07/2014	04°08'15.5"	015°06'79.9"	602	198	25,6	5,86	107,36

III.2. Faciès chimique des eaux :

- Ions majeurs

Les analyses des ions majeurs ne montrent pas de ségrégation forte entre les grès de Carnot et le substratum cristallin fait de granodiorites. La chimie des anions est dominée par les bicarbonates, chlorures et nitrates (confere Annexe1 : Données physicochimiques).

Les teneurs moyennes des cations des eaux analysées présentent l'ordre d'abondance suivant : $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Pour les anions, l'ordre d'abondance est : $\text{NO}_3^- > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$, De ce qui suit, l'essentiel de la minéralisation de nos eaux est la dominance en ions nitrates. On note également une grande dispersion de la silice dans les eaux.

Les concentrations en potassium et magnesium relativement fortes sont à relier avec l'hydrolyse des minéraux feldspathiques connus dans les grès.

- **Diagramme de Piper**

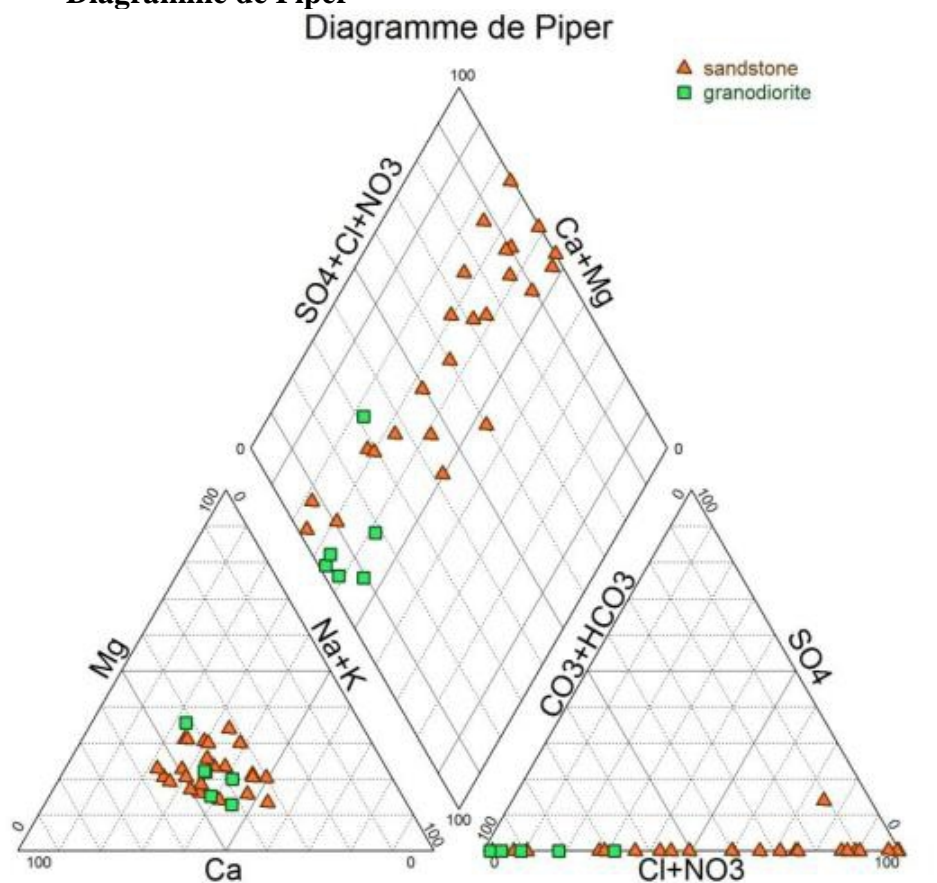


Figure 4 : diagramme de Piper des les eaux souterraines de la région de Mambéré Kadéï.

La représentation de nos échantillons pour la période sèche dans le diagramme de Piper (figure 4) à partir des données des ions majeurs permet d’identifier deux principaux types de faciès chimiques pour les eaux souterraines de la région de la Mambéré-Kadéï:

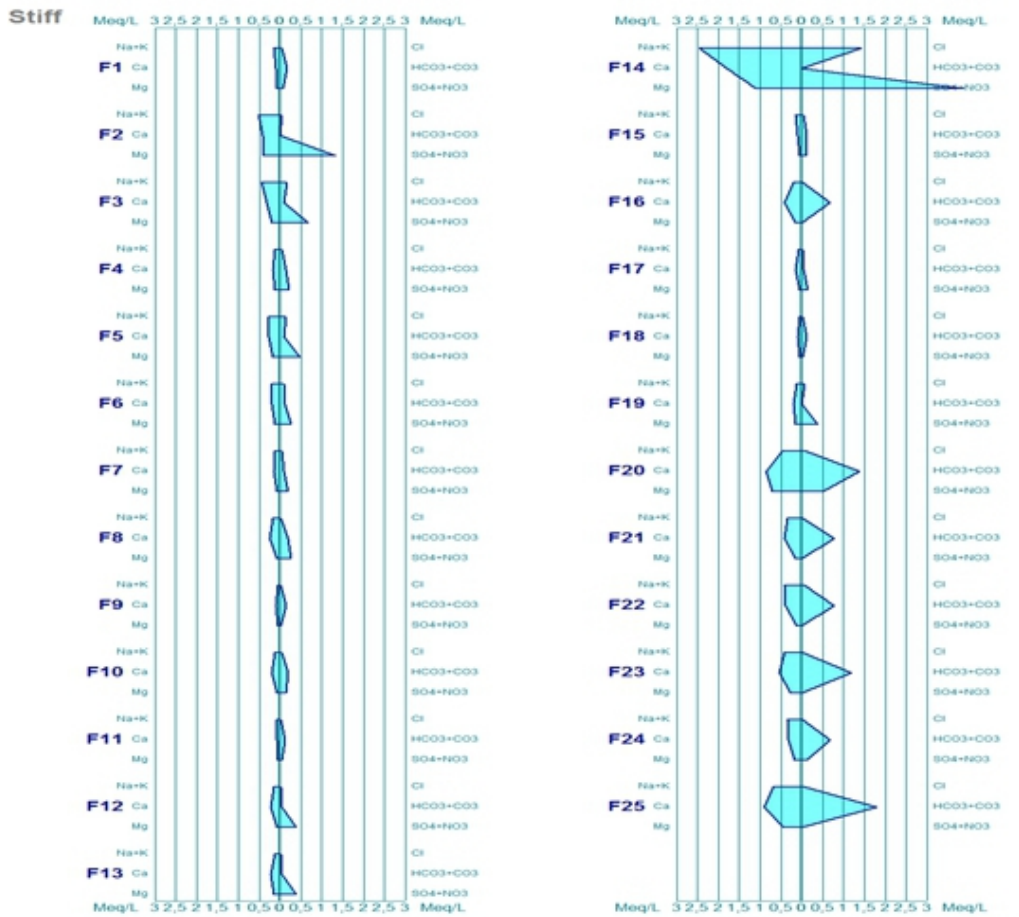
- les eaux chlorurées nitratées (forages superficiels et puits traditionnels); et
- les eaux bicarbonatées calciques et magnésiens (forages profonds et sources) d’une part,

- **Diagramme de Stiff**

Les diagrammes de Stiff obtenus à partir des échantillons d’eau souterraine (figure 5) ont permis de diviser les eaux en 3 groupes présentant :

- une forte minéralisation : Les forages gréseux bicarbonaté (F4, F20, F23, F25...) ; les puits, en général marquent de fortes pollutions par les nitrates et sulfates

- une faible minéralisation pour les forages superficiels
- les sources, très faiblement minéralisées.



Puits Sources et Rivière

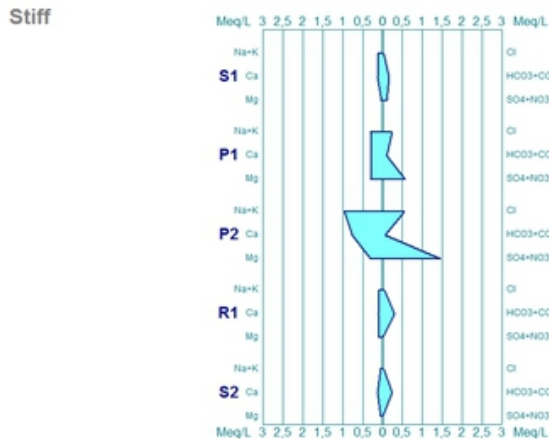


Figure 5 : diagramme de Stiff, minéralisation dans les eaux de la Mambéré Kadéi

III.4 Influences anthropiques sur l'aquifère

Les activités humaines liées au lavage, à la cuisine ou encore les décharges d'immondices plus ou moins présentes sur le territoire ont une influence notable sur la qualité des eaux souterraines les plus superficielles(tableau 1 en annexe 2). Une très forte corrélation peut ainsi être notée entre les teneurs en chlorures et les teneurs en sodium et potassium sur les eaux des puits (Figure6). Les eaux des forages présentent quant à elles des teneurs beaucoup plus faibles proches des apports atmosphériques et terrigènes attendus dans la région.

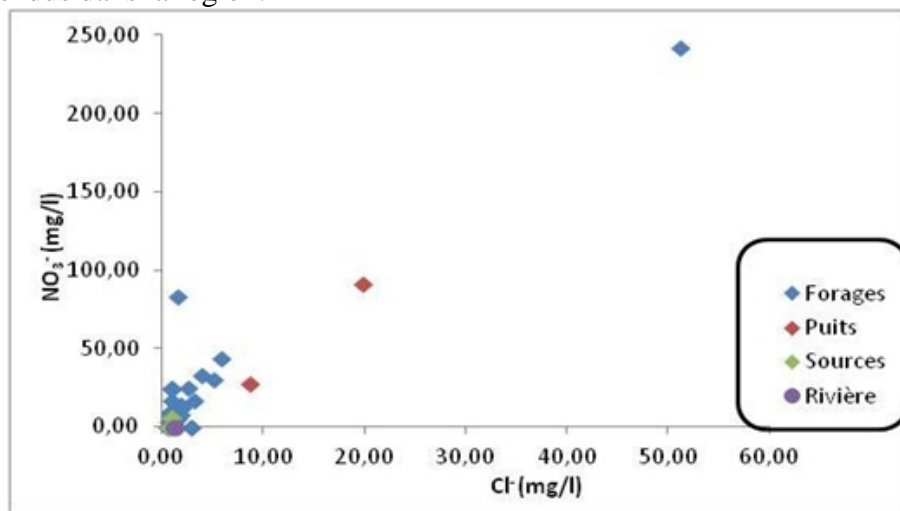


Figure 6 : Corrélation entre les ions Nitrates et chlorure dans les eaux souterraines.

Dans le Tableau 2 ci -dessous , on constate une forte corrélation entre les chlorures et les sels totaux dissous(TDS) ainsi que la conductivité, ceci montre bien leur participation à la minéralisation. Il en est de même pour les nitrates et chlorures ainsi que nitrate et sodium prouvant ainsi l'origine anthropique des pollutions.

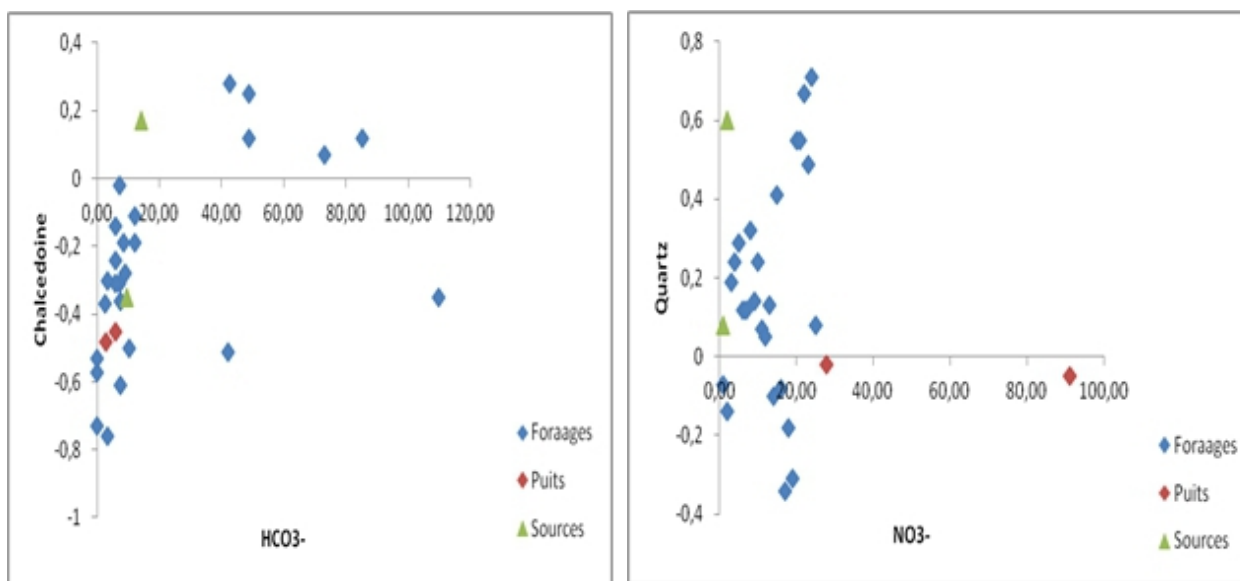
Tableau 2: Matrice de corrélation des eaux échantillonnées

	TDS	pH	c25°C	Ca	Mg	Na	K	NH4	H3O+	HCO3	CO3	Cl	SO4	PO4	NO3	NO2
TDS	1															
pH	-0,49	1														
c25°C	0,99	-0,54	1													
Ca	0,99	-0,4	0,96	39,40%												
Mg	0,95	-0,42	0,94	0,94	22,40%											
Na	0,98	-0,55	0,99	0,95	0,9	25,80%										
K	0,93	-0,56	0,95	0,89	0,8	0,96	12,00%									
NH4	0	0	0	0	0	0	0	0,00%								
H3O+	0,81	-0,71	0,85	0,72	0,75	0,84	0,81	0	0,40%							
HCO3	0,23	0,4	0,11	0,36	0,3	0,12	-0,01	0	-0,21	38,90%						
CO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40%					
Cl	0,89	-0,58	0,93	0,83	0,79	0,93	0,95	0	0,81	-0,17	0	14,20%				
SO4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%			
PO4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%		
NO3	0,87	-0,7	0,92	0,79	0,81	0,9	0,91	0	0,92	-0,27	0	0,94	0	0	46,40%	
NO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%

III.5 Modélisation géochimique

Un modèle simple du programme géochimique PREEQC est utilisé afin de déterminer les Indices de saturations des minéraux qui sont à l'origine de la minéralisation des eaux souterraines de Mambéré Kadéi, en relation avec les terrains encaissants. Les résultats sont reportés sur la figure 7 ci-dessous.

Un indice SI supérieur à zéro précise que l'eau souterraine est sursaturée par rapport à la matière minérale particulière et elle est donc incapable de dissoudre plusieurs minéraux. Une telle valeur de l'indice reflète les eaux souterraines de décharge d'un aquifère contenant une quantité suffisante de la matière minérale avec suffisamment de temps de séjour pour atteindre l'équilibre. Néanmoins, la sursaturation peut également être produite par d'autres facteurs qui comprennent la dissolution incongruante, l'effet d'ion commun, l'évaporation, l'augmentation rapide de la température et de la concentration en CO₂ dissous (Langmuir, 1997 ;Ako et al., 2010). Pour la plupart de nos échantillons, on assiste donc à une sursaturation en Chalcédoine et quartz, en relation avec la nature des formations géologique du secteur d'étude. Nous avons vu que les formations de Carnot-Berberati sont gréseuse, à ciment siliceux, celle de Gamboula, granodioritique, contiennent toutes des quartz. L'hypothèse de l'hydrolyse des silicates pourrait être évoquée à cet effet dans l'aquifère de Carnot Berberati.



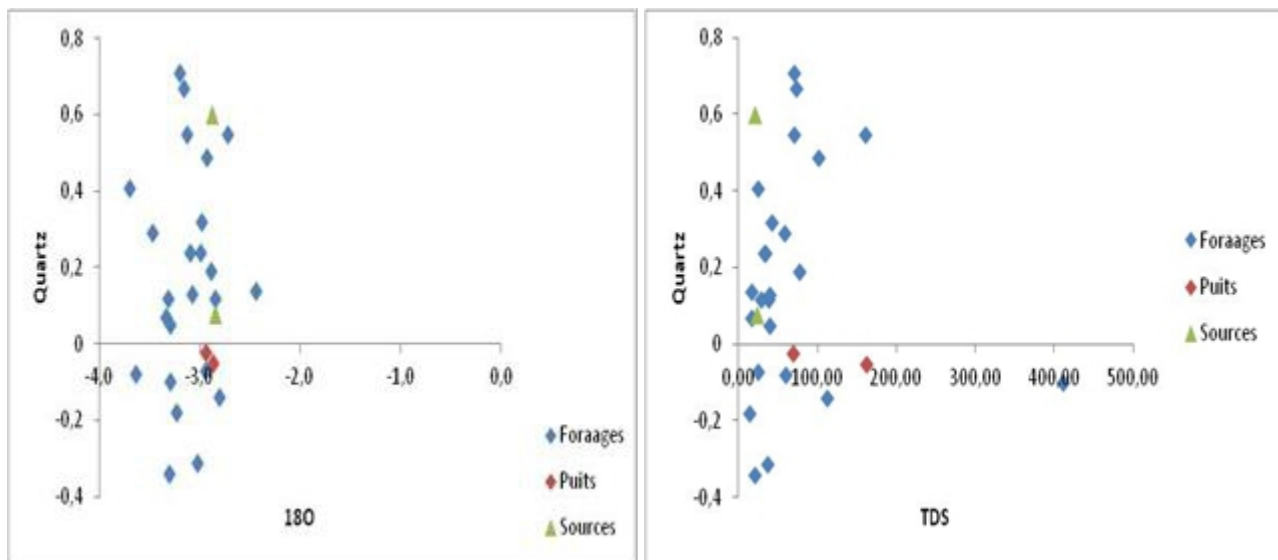


Figure 7 : Indice de saturation en certains éléments dans les eaux souterraines de Mambéré Kadéi.

III.6 Analyses isotopiques

Il n'existe pas de différence notable entre les échantillons provenant des grès et ceux provenant des roches cristallines du substratum. La chronique de données ne montre pas d'influence notable de l'évaporation et les excès en deutérium sont compris entre 9 et 11‰.

Les teneurs en tritium sont notables dans l'ensemble des échantillons analysés avec des valeurs comprises entre 2 et 3 UT, ce qui est conforme à la teneur actuelle des pluies dans cette région du monde (Djebebe-Ndjiguim, 2014). Pour deux points F22 (Doumba) et F25 (Douane) voir Tableau 3, on observe des activités plus faible autour de 1 UT qui pourraient traduire un mélange entre des eaux récentes d'origine météorique et des eaux souterraines plus profondes et plus anciennes. Il est à noter que ces deux points correspondent à des puits forés dans les granodiorites.

La signature isotopique des eaux de l'aquifère des grès de Carnot semble donc assez homogène et traduit une origine récente des eaux. Néanmoins, il convient de bien noter que les ouvrages échantillonnés lors de cette étude sont des ouvrages superficiels qui n'interceptent que les 100 premiers mètres de l'aquifère au maximum, ce qui est marginal compte tenu d'une puissance de 400 m pour cet aquifère dans sa partie centrale. Il est donc parfaitement imaginable de trouver des eaux beaucoup plus anciennes dans les niveaux les plus profonds de l'aquifère, pour peu que des ouvrages capables de les intercepter soient réalisés.

Tableau 3: Résultats des analyses Isotopiques.

Sample Name	$\delta^2\text{H}$ (‰ vs Smow)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ vs Smow)	^3H (TU)
Bania	-11,3	-2,9	
Gbanbang	-13,1	-2,8	1,79
Ecole pref	-14,9	-2,9	
Hopital1	-12,8	-3,0	
Hopital D	-15,5	-3,5	
Cava1(F6)	-15,3	-3,3	2,67
Cava3	-13,4	-2,9	
Sagbanda	-14,2	-3,0	
Ecole padrepio	-11,5	-2,4	
Source padrepio	-13,4	-2,8	2,91
Paroisse sc	-16,6	-3,1	
Gbassola2	-15,0	-3,3	
Deleke BM	-15,1	-3,3	
Belle vue	-12,9	-3,1	
Ecole 29 mars	-14,4	-2,9	2,29
Potopoto	-14,0	-3,3	2,62
Nandobo	-16,3	-3,7	
Nandobo2	-15,9	-3,6	
Ngogbara	-14,3	-3,3	
Kouisso	-17,1	-3,2	
EEB	-15,4	-3,0	
Camp fonctionn.	-13,1	-2,9	3,08
Batouri	-12,4	-3,0	
Source Xavier	-13,1	-2,9	
Nassole	-13,9	-3,1	2,11
Nangoko	-15,0	-2,7	
Doumba (F22)	-16,3	-3,2	1,31
Soroma	-14,4	-2,9	
Centre de santé	-15,3	-3,2	2,88
Douane (F23)	-16,5	-3,2	0,86

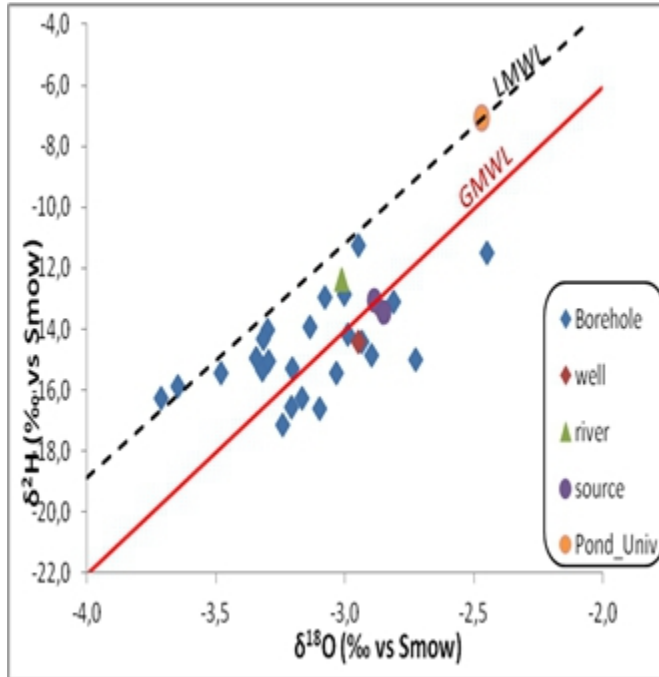


Figure 8: Relation ^{18}O et ^2H dans les eaux souterraines de Mambéré Kadéi

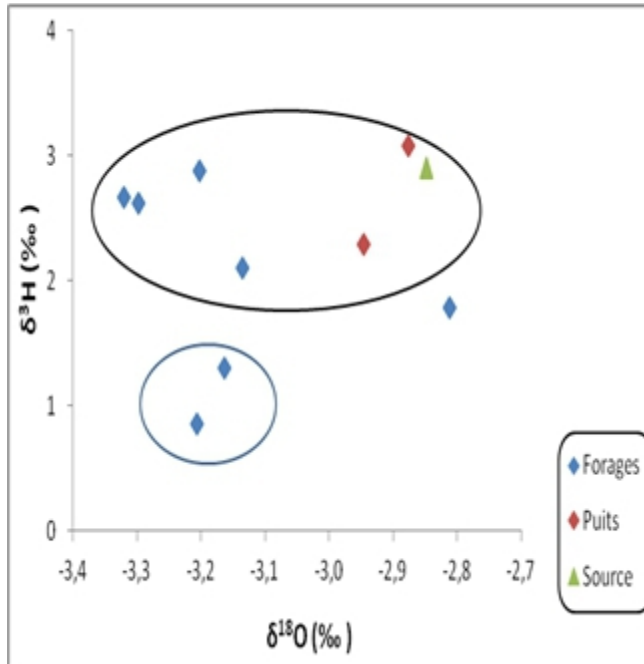


Figure 9: Corrélation ^3H vs $\delta^{18}\text{O}$ dans les eaux souterraines de Mambéré Kadéi

Conclusion

Ce travail a montré que la région présente un certain nombre d'enjeux socio-économique autour de l'eau. Elle constitue une première démarche

d'investigations sur les eaux souterraines comme ressource de substitution aux eaux de surface anthropisées.

Il a permis d'identifier deux principaux types de faciès chimiques pour les eaux souterraines de la région de la Mambéré-Kadéï, les eaux chlorurées nitratées (forages superficiels et puits traditionnels); et les eaux bicarbonatées calciques et magnésiens (forages profonds, sources) d'une part. Les eaux minéralisées provenant des forages gréseux bicarbonatés (F4, F20, F23, F25...); des puits, en général marquent de fortes pollutions par les nitrates et sulfates. Les eaux faiblement minéralisées que sont les forages superficiels. La modélisation géochimique indique une sursaturation en Chalcédoine et quartz, dans les eaux, confirme la nature gréseuse (Carnot Berberati) et granodiritique (Gamboula) des formations géologiques du secteur d'étude.

Remerciements : Les auteurs remercient tout le personnel du Laboratoire Hydrosociences de l'Université de Bangui pour les campagnes d'échantillonnage et l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) ainsi que le Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement de Tunisie pour avoir réalisé les analyses chimiques et les isotopes stables de la molécule d'eau.

References :

1. Alvarez, P., 1995. Evidence of a Neoproterozoic carbonate ramp on the northern edge of the Central African craton: relation with Late Proterozoic intracratonic troughs. *Geologische Rundschau*, 84, 636–648.
2. Alvarez, P., 1997. Morphologies karstiques et implications minières en République Centrafricaine. *Journal of African Earth Sciences*, 25, 293–305.
3. Boulvert, Y. and Juberthie, C., 1998. République Centrafricaine. In: C. Juberthie and V. Decu, eds. *Encyclopaedia biospeologica*. Moulis: Société de Biospéologie, 1659–1668.
4. Boulvert, Y. and Salomon, J.N., 1988. Sur l'existence de paléocryptokarsts dans le bassin de l'Oubangui (République Centrafricaine). *Karstologia*, 11–12, 37–48.
5. Cornacchia, M., Detay, M., and Giorgi, L., 1990. Nouvelles données sur l'hydrogéologie centrafricaine. *Hydrogéologie*, 3, 165–181.
6. Djebebe-Ndjiguim, CL, 2007. Application des modèles hydrogéochimiques sur le bassin versant de Bangui. [Application of hydro-geochemical models to the Bangui catchment.] Master, Thesis, Univ. Bangui, 77p.
7. Djebebe-Ndjiguim C.L., Huneau F., Denis A. , Foto E., Moloto-a-Kenguemba G., Celle Jeanton H. , Garel E. , Jaunat J., Mabingui J. and

- Le Coustumer P., Characterization of the aquifers of the Bangui urban area, Central African Republic, as an alternative drinking water supply resource. *Hydrological Sciences Journal* N° 58 (8) pp : 1760–1778.2013
8. Kangadjaba , E., Impact des Peocessus Hydrochimique sur la Qualité des eaux souterraines dans la ville de Ndjamena – Tchad, *European Scientifi Journal*, vol 14, june 2018
 9. Ketchemen B., Etude hydrogéologique du grand Yaéré (Extrême-nord Cameroun) Synthèse hydrogéologique et étude de la recharge par les isotopes de l’environnement. Thèse de l’Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 216 p. 1992.
 10. Poidevin, J.L., 1976. Les formations du Précambrien supérieur de la Région de Bangui (République Centrafricaine). *Bulletin Société Géologique France*, 18, 999–1003.
 11. Poidevin, J.L., 1996. Un segment proximal de rampe carbonate d’âge protérozoïque supérieur au Nord du craton d’Afrique centrale (sud-est de la République Centrafricaine). *Journal of African Earth Sciences*, 23, 257–262.
 12. Runge, J & Nguimalet, CR, 2005. Physiogeographic features of the Oubangui catchment and environmental trends reflected in discharge and floods at Bangui 1911-1999, Central African Republic. *Geomorphology* 70, 311-324
 13. Van Der Wal, A, 2009. “Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines appliquées aux forages manuels”. [“Methods for harnessing groundwater applied to manual drilling.”] Fondation Practica, The Netherlands.
 14. Wesselink, A, 1996. Les régimes hydroclimatiques et Hydrogéologiques d’un bassin versant de type tropical humide : L’Oubangui(RCA).
 15. Yidana, SM and al, 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, Ghana. *Journal of African Earth Sciences*.

Annexe 1 : Données Physicochimiques

N°	Nom des points d'eau	Date	CO ₃ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	TDS mg/l	Fe mg/l	SiO ₂ mg/l
1	Bania	25/07/2014	<0,1	10,50	1,63	5,18	<0,02	1,99	2,96	1,97	0,81	25,14	<0,02	5,36
2	Gbanbang	25/07/2014	<0,1	<0,1	1,64	83,54	<0,02	8,92	4,91	8,50	4,86	112,46	<0,02	4,55
3	Ecole Pref.	26/07/2014	<0,1	6,10	5,88	43,52	<0,02	6,98	5,62	6,47	2,51	77,17	<0,02	9,81
4	Hopital 1	26/07/2014	<0,1	8,50	1,93	14,13	<0,02	1,72	2,19	3,54	1,63	33,74	<0,02	10,96
5	Hopital (D)	26/07/2014	<0,1	6,10	5,16	30,72	<0,02	4,19	3,85	5,66	2,06	57,85	<0,02	12,31
6	çava1	26/07/2014	<0,1	7,20	3,21	16,96	<0,02	2,48	3,14	3,80	1,40	38,29	<0,02	8,35
7	çava3	26/07/2014	<0,1	6,10	2,00	12,45	<0,02	1,93	1,57	2,87	0,99	28,01	<0,02	8,33
8	Sagbanda	26/07/2014	<0,1	12,20	1,02	17,07	<0,02	1,19	4,90	4,80	0,98	42,26	<0,02	13,21
9	Ecole Padrepio	26/07/2014	<0,1	9,20	1,08	1,81	<0,02	0,59	1,43	2,18	0,60	16,99	<0,02	8,76
10	Source Padrepio	26/07/2014	<0,1	9,50	1,04	6,28	<0,02	1,50	2,22	2,63	0,50	23,77	<0,02	7,56
11	Paroisse SC	26/07/2014	<0,1	12,20	1,38	9,98	<0,02	1,19	3,24	4,07	0,84	32,99	<0,02	10,84
12	Gbassola2	26/07/2014	<0,1	7,50	0,66	3,36	<0,02	0,68	1,49	1,74	0,64	16,17	<0,02	7,35
13	Deleke(BM)	26/07/2014	<0,1	2,60	1,08	25,11	<0,02	2,40	2,19	4,32	1,04	38,84	<0,02	7,16
14	Belle-vue	26/07/2014	<0,1	3,50	1,08	24,26	<0,02	1,82	1,81	4,52	1,92	39,02	<0,02	8,44
15	Ecole 29mars	26/07/2014	<0,1	6,10	8,81	27,88	6,26	4,50	4,96	6,14	3,91	68,55	<0,02	6,04
16	Potopoto	26/07/2014	<0,1	<0,1	51,24	242,40	0,50	42,02	25,57	35,89	13,26	410,86	<0,02	4,95
17	Nandobo	27/07/2014	<0,1	7,20	1,85	7,93	<0,02	2,43	2,20	2,02	0,50	24,21	<0,02	16,19
18	Nandobo2	27/07/2014	<0,1	42,20	0,55	<0,02	<0,02	1,79	4,33	8,35	1,90	59,32	<0,02	5,21
19	Ngogbara	27/07/2014	<0,1	3,50	0,92	9,98	<0,02	1,08	0,93	2,83	0,61	19,95	<0,02	2,91
20	Kouisso	27/07/2014	<0,1	7,50	0,84	1,74	<0,02	0,74	0,91	1,81	0,46	14,10	<0,02	4,19

21	EEB	27/07/2014	<0,1	<0,1	2,65	25,25	<0,02	1,96	1,25	4,04	1,73	36,97	<0,02	3,11
22	Camp. Fonct.	27/07/2014	<0,1	3,00	19,87	91,08	0,20	15,11	12,78	15,46	3,95	161,45	<0,02	5,57
23	Batouri	28/07/2014	<0,1	18,30	1,27	<0,02	<0,02	1,27	1,79	2,59	1,18	26,60	<0,02	2,06
24	Source Xavier	29/07/2014	<0,1	14,20	0,67	<0,02	<0,02	0,66	1,14	2,89	0,73	20,48	<0,02	24,90
25	Nassole	29/07/2014	<0,1	85,40	3,95	33,21	<0,02	9,13	2,66	17,08	8,78	160,29	<0,02	22,50
26	Nangoko	29/07/2014	<0,1	48,80	1,02	<0,02	<0,02	5,55	4,52	8,45	1,70	70,23	<0,02	22,37
27	Doumba	29/07/2014	<0,1	48,80	2,87	<0,02	<0,02	7,77	3,80	8,22	1,51	73,16	<0,02	29,70
28	Soroma	29/07/2014	<0,1	73,20	0,78	<0,02	<0,02	6,94	5,16	11,17	3,39	100,83	<0,02	19,69
29	Centre de santé	29/07/2014	<0,1	42,70	0,93	8,08	<0,02	5,87	3,70	6,50	2,04	69,92	<0,02	32,16
30	Douane	30/07/2014	<0,1	109,80	2,95	<0,02	<0,02	12,30	6,34	18,10	5,54	155,23	<0,02	7,55