

Paramètres physicochimique et biologique des eaux souterraines en zone inter-dunaire en lien avec leurs aptitudes agricoles : cas des cuvettes oasiennes de N'Gaouri, département de Goudoumaria (Niger)

Assane Anabi Toudjani ¹ and Nassirou Yacouba Yacouba ¹

¹ Département productions végétales, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Diffa, Niger

Résumé :

La présente étude vise à déterminer les paramètres physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans un contexte de changement climatique et croissance démographique. Les échantillons sont prélevés de quelques puits et forages dans deux cuvettes au tour du village de N'Gaouri. Des analyses chimiques et bactériologiques sont ensuite réalisées au laboratoire. Cependant la température, la conductivité électrique et le pH des eaux sont été mesurés in situ. Des indices de qualité des eaux sont calculés afin de déterminer leur aptitude à l'irrigation. Il ressort des résultats que les eaux sont faiblement minéralisées avec des températures, pH, conductivité électrique moyens comparativement aux normes en vigueur. Les eaux sont de faciès bicarbonaté calcique et magnésienne, sodique et potassique, chloruré sodique et potassique. Les valeurs du SAR ($< 5 \text{ meq/l}$), de l'indice de perméabilité ($< 1,3 \text{ meq/l}$) et de l'indice de contamination ($< 125 \text{ mg/l}$) indiquent que les eaux sont aptes à l'irrigation.

Mots clés : Eau souterraine, paramètres physicochimiques, biologie, irrigation, Niger

Physicochemical and biological parameters of groundwater in inter-dune area and it's suitability for agricultural use: case of oasis basins of N'Gaouri, District of Goudoumaria (Niger)

Abstract:

The present study aims to determine the physicochemical and bacteriological parameters of groundwater in a context of climate change and population growth. Samples are collected from several wells and boreholes in two oasis basins around the village of N'Gaouri. Chemical and bacteriological analyses are then performed in laboratory. However, the temperature, electrical conductivity and pH of the water were measured in situ. Water quality indices were then calculated to determine their suitability for irrigation. The results show that the water is poorly mineralized with medium temperatures, pH and electrical conductivity compared to the standards in force. The groundwater shows a bicarbonate calcic and magnesian, sodium and potassium, sodium chloride and potassium facies. The values of SAR ($< 5 \text{ meq/l}$), permeability index ($< 1,3 \text{ meq/l}$) and contamination index ($< 125 \text{ mg/l}$) indicate that the water is suitable for irrigation.

Key words: Groundwater, physicochemical parameters, biology, irrigation, Niger

¹ Corresponding author: tassaneanabi@yahoo.fr

INTRODUCTION

L'eau est la force motrice de la nature, la santé et le bien-être de l'humanité. A l'heure actuelle, elle constitue, la source naturelle la plus indispensable et la plus menacée (Sebihi, 2015). En ce sens, la compréhension des propriétés hydrauliques des couches aquifères et la caractérisation hydro chimiques de l'eau qu'elles contiennent sont nécessaires pour la planification et la gestion des ressources en eau souterraine (Naima et al., 2012).

L'exploitation des ressources en eaux souterraines débute à partir des années 50 en Afrique de l'Ouest francophone (Archambault, 1960). Cette exploitation était exclusivement axée sur le captage des aquifères d'altérites dans les zones cristallines. Ceci était dû à la méconnaissance ou sous-estimation du rôle hydraulique de la fracturation dans le socle, ou encore par faute de moyens adaptés pour la réalisation de forages profonds (Faillat, 1986, Moussa, 2019). Puis à la fin du vingtième siècle le monde entier a connu deux phénomènes majeurs, une explosion démographique et une concentration de la population dans les zones urbaines. Cette démographique a conduit les décideurs à privilégier une politique socio-économique orientée vers la satisfaction des besoins de base (logements, emplois...) au détriment des considérations environnementales et de l'amélioration du cadre de vie. Ceci a abouti au sahel à la modification de la qualité de la nappe d'eau souterraine par les projets industriels, les sachets plastiques, les bouteilles non dégradables, les déjections fécales, l'évacuation des éléments riches en nitrate dans le domaine agricole, la réfection des routes etc (Fofana, 2005, Savané et al., 2005, Traoré, 2005, Zairi, 2008, Zakaria et al., 2010, Gnagne et al., 2014, ARES, 2016, Mahamane, 2018). Cette modification de la qualité de la nappe rend le plus souvent les sources d'eau souterraine impropres pour la consommation humaine et animale. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture (Beauchamp, 2006). En effet l'irrigation est souvent vue comme la solution la plus évidente pour augmenter et sécuriser la production agricole dans les zones de climat aride, semi-aride, ou même dans les zones mieux arrosées, mais où la variabilité des précipitations fait courir des risques aux producteurs. En zone de forte densité de population, l'irrigation permet souvent de réaliser deux, voire trois cultures par an, là où une seule était permise par les pluies. En zone désertique, l'irrigation est évidemment la seule solution permettant de garantir une production agricole régulière et de maintenir des populations sédentaires (Verdier et al., 1992, Arnaud et al., 1994). La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physiques, chimiques et biologiques, dépendant des processus naturels ou d'origine anthropique (Loye- Pilot, 1990, 1995, Banton et al., 1997, Salle, 2008).

L'étude vise principalement à contribuer au développement socioéconomique, et écologique de la zone à travers l'évaluation de l'état des eaux de la nappe souterraine dans la zone des cuvettes de Goudoumaria pour une agriculture prometteuse et respectueuse de l'environnement.

MATERIEL ET METHODOLOGIE

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est localisée dans la commune de Goudoumaria limitée à l'Est par les communes de Maïné Soroa et de N'Guel Beyli, à l'Ouest par la Commune urbaine de Gouré, au Nord par la commune rurale de Tesker et au Sud par l'Etat de Yobé (République Fédérale du Nigeria). (Figure 1).

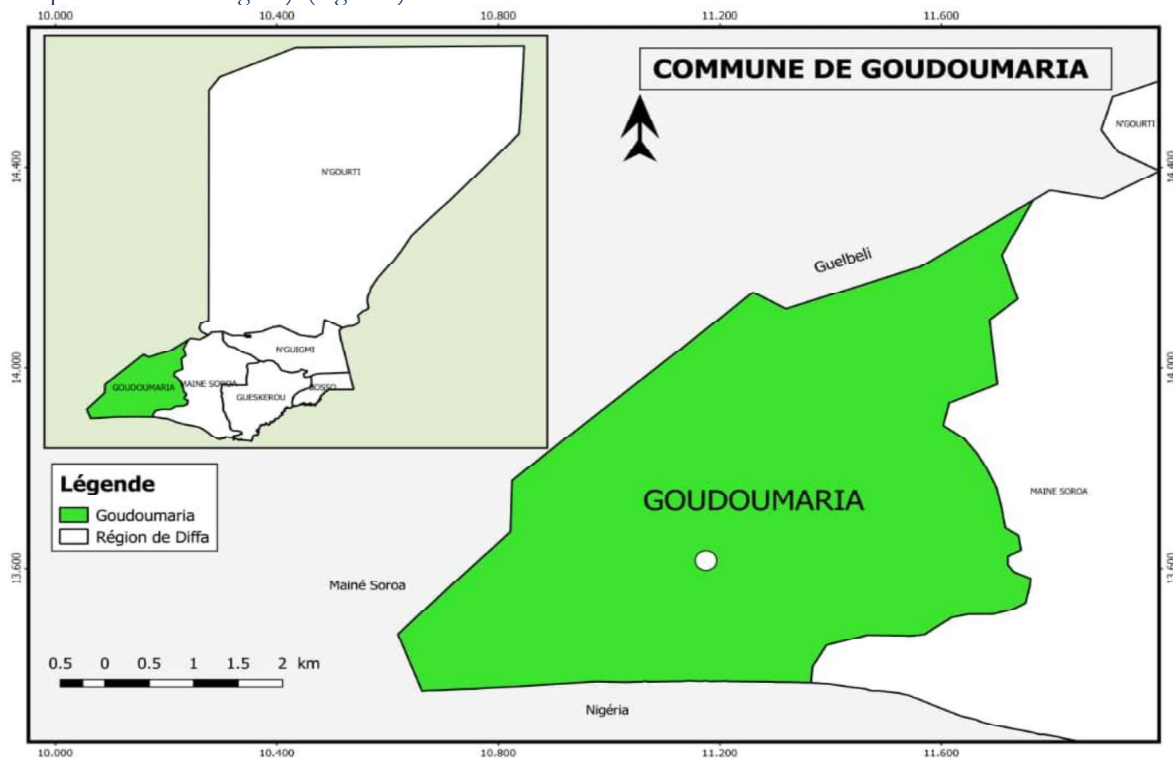


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le relief de la commune est constitué des plateaux semi arides parsemés de collines ainsi que des bas-fonds et des cuvettes situés au niveau des dépressions inter-dunaires. Les cuvettes oasiennes sont le siège de forte concentration de natron et de sel à exploitation artisanale.

D'un point de vue climatique, le département de Goudoumaria se situe dans la zone nord sahélienne de la région qui se situe dans un climat de type Sahélien dans la partie sud et saharo-sahélien au nord (ROSELT, 2009).

Le réseau hydrographique de la commune est principalement constitué des eaux de surface composé de la mare permanente de Nguelthondi et d'un chapelet de mares permanentes et cuvettes des bas-fonds. Quant aux eaux souterraines, elles sont formées par la nappe phréatique du Manga, dont la profondeur varie de 10 mètres le long de la Komadougou jusqu'à 50 mètres dans la partie nord et la nappe phréatique du pliocène (plus de 100 m de profondeur).

Collecte des échantillons

Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des différents points d'eau (puits et forages) choisis grâce aux échantillonnages ponctuels pour des analyses classiques en minéraux dissous (anions et cations) dans des flacons en plastique de 750 ml. Une fois prélevés, les échantillons ont été placés et conservés dans des glacières tout long du transport jusqu'au laboratoire pour les analyses paramètres bactériologiques et hydro chimiques. Certains paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique et la température ont été mesurés *in situ*.

Détermination des paramètres hydrochimiques

La caractérisation hydro-chimique s'intéresse à l'analyse des ions cations et anions majeurs tels que : Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} mais aussi des éléments indicateurs de la pollution des eaux tels que Fe^{2+} , F^- , NO_3^- , NO_2^- , Mn^{2+} .

L'analyse bactériologique

L'analyse bactériologique a pour but de mettre en évidence la présence des germes, basés sur la recherche et la numération de celles-ci dans les échantillons à analyser. Les germes recherchés sont : les Coliformes totaux la recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux,

Calcul des indices chimiques

Sodium adsorption ratio (SAR)

Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux calciums et magnésium. Lorsque le SAR est élevé, (à partir de 10), il faut augmenter le drainage, et apporter des amendements organiques, puis calciques lorsque le SAR du sol augmente, sauf sur les sols déjà riches en calcium soluble. Au-delà de 26, les risques d'alcalinisation sont élevés.

$$\text{SAR (meq/l)} = [\text{Na}^+]/\sqrt{([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])/2} \quad (1)$$

Indice de perméabilité

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation et est influencée par le contenu de sodium, de calcium, de magnésium et de bicarbonate dans le sol [Doneen, 1964, Srinivasa, 2013]. L'indice de perméabilité est déterminé par l'équation suivante.

$$\text{IP (\%)} = 100 * \frac{\text{Na} + \sqrt{\text{HCO}_3}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}} \quad (2)$$

Indice de contamination (IC)

On considère que plus l'indice de contamination (IC) est élevé, plus le point d'eau est pollué en construisant des intervalles de classes en mg/l pour chaque élément servant au calcul de cet indice (Kherici, 1993).

$$\text{IC (mg/l)} = [\text{Na}^+] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] \quad (3)$$

RESULTATS

Paramètres physiques : Dans le cadre de la présente étude, plusieurs paramètres physiques ont été mesurés sur le terrain.

Conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique a été mesurée in-situ est comparée à celle calculée au laboratoire afin de déterminer l'impact de l'acheminement sur l'état des échantillons et une éventuelle évolution de la minéralisation des eaux entre le prélèvement et les périodes d'analyses. Ainsi les valeurs de CE in-situ varient entre 65 au forage F1 et 862 au puits Pt (Tableau 1) indiquant une minéralisation élevée des points d'eau tributaires (Pm2 et Pt) des sites zouaza-carjawa. Aussi, la comparaison des valeurs montre une bonne corrélation avec des écarts légèrement bas.

Température (T) : La température des eaux étudiées est comprise entre 32,7 °C pour la plus grande valeur au forage F11 et 27,2 °C pour la plus petite valeur au puits Pm3 (Tableau X).

pH : Les pH des différents points d'eau échantillonnés dans la zone d'étude varient entre 5,71 et 7,28. La plus grande valeur a été enregistrée au niveau du forage F11 du village destiné à la consommation humaine, alors que la plus petite valeur a été enregistrée au niveau du puits Pt du site Carjawa (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres physiques des sites

Code des sites	Type	CE25	CE	T°C	I
F1	Forage	58,76	65	29,8	1
F2	Forage	63,072	73	31,8	2
Pt	Puisard	893,032	862	23,2	3
Pm1	Puisard	223,5	250	30,3	3
Pm2	Puisard	726,63	795	29,3	1
F11	Forage	156,51	185	32,7	3
Pm3	Puisard	446,452	467	27,2	

Hydrochimie : Les eaux échantillonnées sont repartis selon leur composition hydro-chimique. Cette composition chimique de l'eau a permis de décrire principalement quatre zones dans le diagramme Piper le long de l'écoulement des eaux. Il s'agit du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, du faciès bicarbonaté calcique, du faciès bicarbonaté sodique et en fin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Aussi, l'analyse du triangle des anions montre une prédominance des bicarbonates, à l'exception de l'échantillon F1 qui correspond à un faciès sulfaté. Dans le triangle des cations, la dominance traduit un faciès mixte sodique, potassique et calcique. On remarque ainsi une évolution graduelle de la minéralisation du bicarbonaté calcique vers le chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec une augmentation des nitrates traduisant une certaine empreinte anthropique dans l'échantillon du puits Pt (Figure 2).

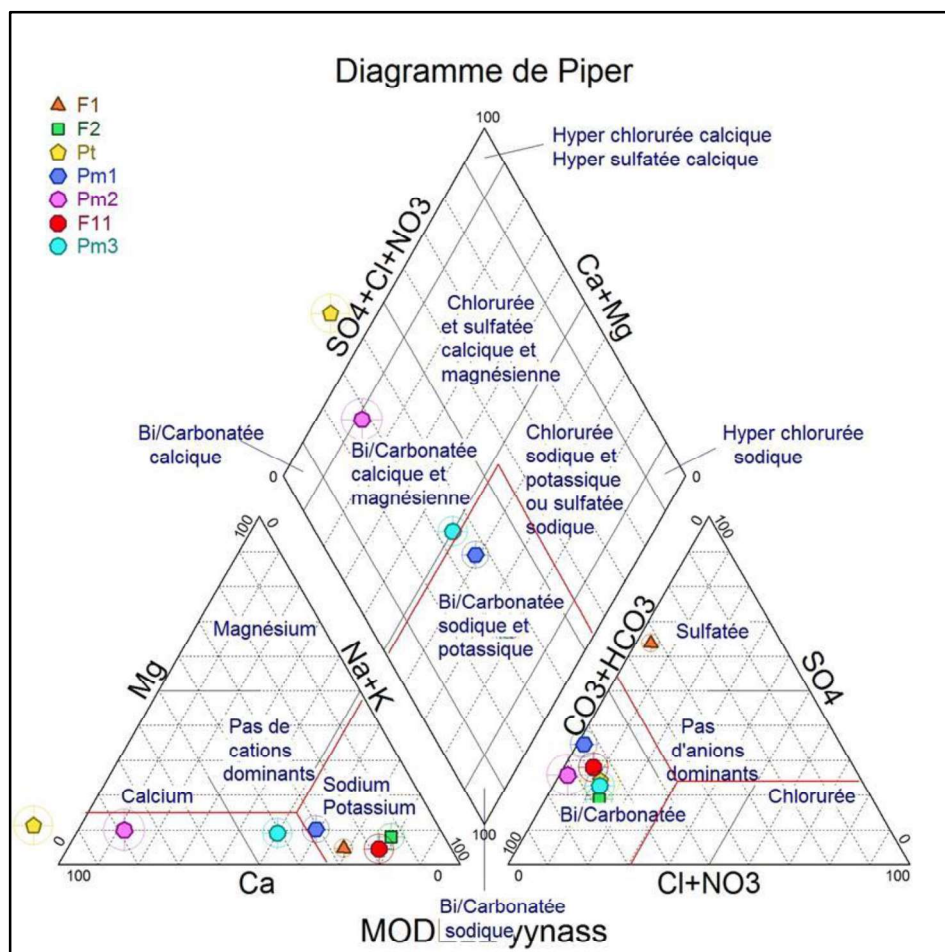


Figure 2. Faciès hydrochimiques des eaux

Aptitude des eaux à l'irrigation

Le SAR : Les valeurs du SAR varient de -0,55 à 4,14. Il ressort de ces résultats que les eaux de la zone étudiée présente une bonne aptitude à l'irrigation. Ainsi, ces eaux appartenant majoritairement à la classe C2S1 sont caractérisées par un faible risque de salinisation à l'exception de l'échantillon F1 de la classe C1S1 à faible un risque d'alcalinisation (Tableau 2)

Tableau 2. Classes du SAR et utilisation des eaux pour l'irrigation

Classe	Echantillons	Caractéristiques
C1S1	F1	Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation
C2S1	F2, F11, Pm1, Pm2, Pm3, Pt	eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel. Eau utilisable pour l'irrigation de la plupart des espèces cultivées, mais veiller au lessivage, difficile dans les sols peu perméables, et au drainage

Il ressort du résultat de l'indice croisée entre SAR vs CE à 25°C que toutes les eaux échantillonnées se situent dans la classe faible 1 (valeur de SAR inférieur à 5) du diagramme, indiquant une convenance à l'irrigation (Figure 3)

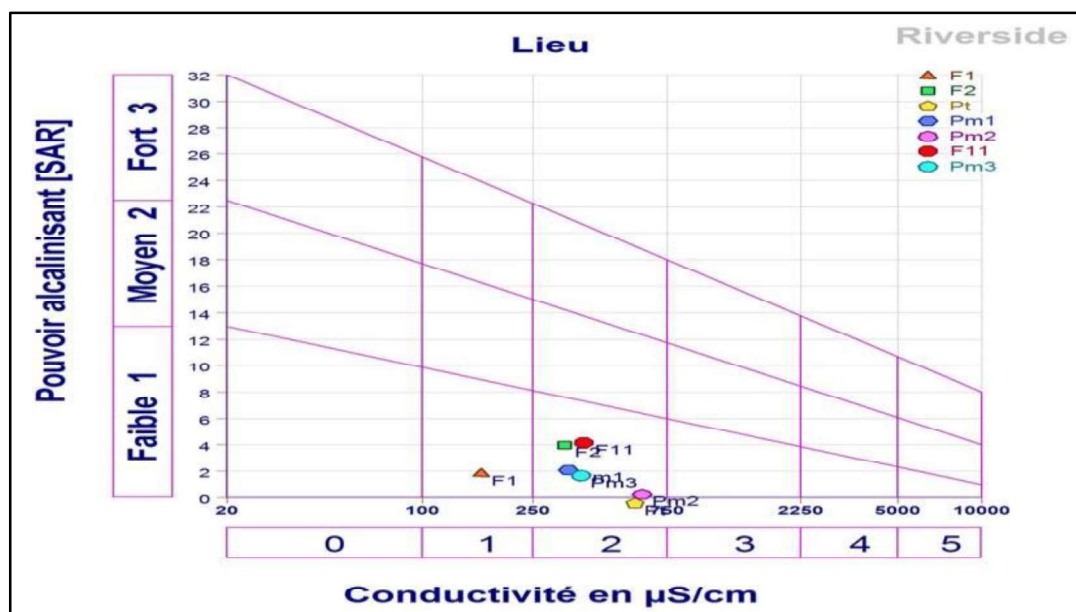


Figure 3. Diagramme SAR vs CE à 25C pour la classification des eaux d'irrigation

L'indice de perméabilité (IP) : L'indice de perméabilité (tableau 3) a été déterminé dans le but de comprendre la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol. Il ressort des résultats (Tableau 3) que les eaux sont catégorisées dans trois classes allant de médiocre pour l'échantillon Pt (20,85%) à excellente pour les échantillons F1 (118,41%), F2 (127,34%), F11 (121,03%), Pm1 (104,37%), Pm3 (92,86%) en passant par la classe bonne qui caractérise l'échantillon Pm2 (42,19%).

Tableau 3. Classification des eaux souterraines selon IP

%IP	Classification	Source hydrique
<25	Médiocre	Pt
25 - 75	Bonne	Pm2
>75	excellente	F1, F2, F11, Pm1, Pm3

Indice de contamination (IC) : Un indice de contamination a été calculé pour les eaux échantillonnées afin de déterminer l'origine de la minéralisation des eaux. Pour cela, chaque élément du site de prélèvement a fait l'objet d'analyse par additionnement. Des résultats (Tableau 4), on dénombre 5 points d'eau à faible indice de contamination contre deux échantillons à valeurs élevées notamment les points F2 et Pt localisés à la périphérie de la cuvette de carijawa présentant des risques de pollution d'origine anthropique.

Tableau 4. Indice de contamination (IC) des échantillons

Ions, Indice	Na	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	IC
Echantillons					
F1	1	1	1	1	4
F2	1	1	2	1	5
Pt	1	1	3	1	6
Pm1	1	1	1	1	4
Pm2	1	1	1	1	4
F11	1	1	1	1	4
Pm3	1	1	1	1	4

Analyses en composantes principales

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée sur les échantillons des eaux souterraines de la zone d'étude suivi d'un test de corrélation de Pearson afin d'identifier sommairement les différentes corrélations entre éléments chimiques majeurs. Pour cela, les valeurs de concentration des ions HCO₃⁻, F⁻, NO₂⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Fe³⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Mn²⁺ ont été utilisées. Ainsi, la représentation des variables montre un composant 1 défini positivement par les concentrations en Na⁺ et Mn²⁺ et un composant 2 caractérisé positivement par HCO₃⁻, F⁻, SO₄²⁻, Fe³⁺, K⁺, Mg²⁺, et Ca²⁺ (Figure 4).

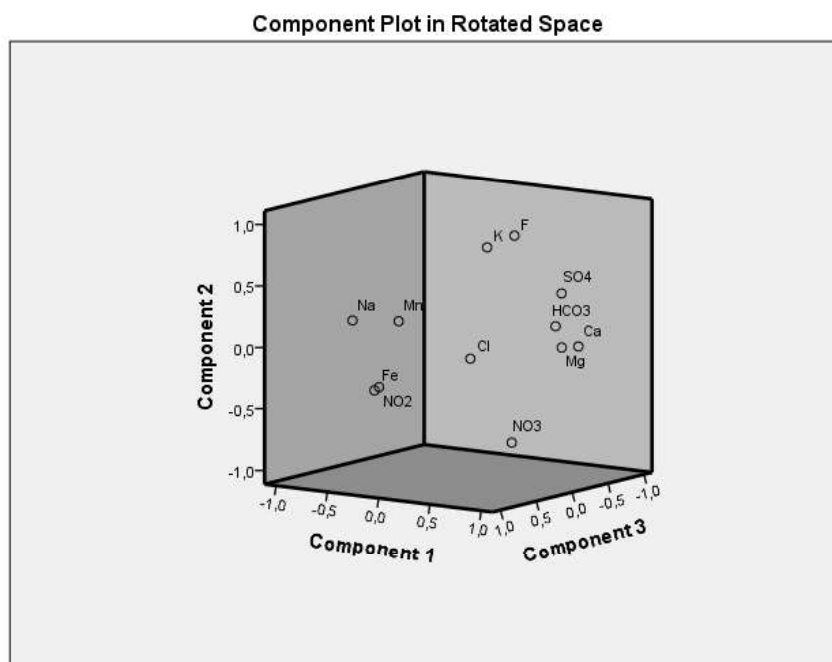


Figure 4. ACP des eaux souterraines de la zone d'étude

La distribution spatiale des échantillons dans un champ factoriel montre que 46,115 % de la variance, 66,385 % de la valeur cumulative, 13,676 % de la variance et 80 % de la valeur cumulative des valeurs initiales de Eigen sont portés respectivement par les axes 1, 2, 3 et 4 (Tableau 5).

Tableau 5. Pourcentage des variances et valeurs cumulative de la distribution des échantillons

Component	Initial Eigen values		Rotation Sums of Squared Loadings	
	% of Variance	Cumulative %	% of Variance	Cumulative %
1	46,115	46,115	37,419	37,419
2	20,270	66,385	21,580	58,999
3	13,676	80,060	17,150	76,149
4	8,395	88,456	12,306	88,456

Analyse de variance (one way)

Une analyse de variance a été appliquée aux différents indices de mesure de l'aptitude des eaux à l'irrigation afin d'apprécier leur niveau de compatibilité dans les eaux échantillonnées. Les résultats de l'analyse avec une probabilité P value = 0,27 ($P > 0,05$) indique l'absence de différences significatives entre les différentes méthodes utilisées.

Caractérisation bactériologique

Pour l'étude des caractéristiques bactériologiques des eaux échantillonnées, des analyses ont été réalisées au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa. Pour les coliformes fécaux, aucune présence n'a été décelée dans les différents échantillons. Cependant, les analyses ont permis la mise en évidence de la présence des coliformes totaux dans l'échantillon F2 témoignant une éventuelle pollution organique liée aux activités anthropiques (Tableau 6).

Tableau 6. Analyse bactériologique

Source hydrique	Coliforme fécaux	Coliforme totaux
F2	Néant	Incomptable (> 10)
F1	Néant	Néant
Pt	Néant	Néant
Pm2	Néant	Néant
F11	Néant	Néant
Pm3	Néant	Néant

DISCUSSION

Paramètres physiques

Plusieurs paramètres physiques ont été mesurés durant la présente étude incluant la conductivité électrique, le pH et la température.

Les valeurs de CE, pH et températures obtenues dans cette études sont inférieures à celles de beaucoup d'études antérieures, notamment celles rapportées par Bradai et al. (2008) en Tunisie, N'diaye et al. (2010) dans le périmètre maraîcher de Sebkhia à Nouakchott, El Alaoui (2010) dans la zone de Haouz au Maroc, Naima et al. (2012) dans la plaine de Tadla au Maroc, Srinivasa (2013) en Inde, Adda (2013) en Algérie, Amadou et al. (2014) dans la région de Tillabéry au Niger, Bouchemal et al. [2015] dans la région de Biskra (Algérie) et Kaouther et al. (2016) au niveau de la plaine de Sidi Bouzid (Tunisie centrale). Ceci pourrait être dû à une pollution d'ordre anthropique et organique dans ces zones, à l'influence de la situation géographique et à la lithologie de l'encaissant ou de l'indice chloro-alcalin. Cependant, les valeurs des paramètres physiques sont proches de celles obtenues par Gonzalez-barrios, (1992) dans la zone aride du Mexique, Rouabhia et Djabri (2010) dans l'aquifère miocène de la plaine d'el ma el abiod en Algérie et Rodrigue et al. (2016) dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire.

La conductivité électrique croît au même moment que la concentration des ions en solution, la pression osmotique et la température. Aussi, plus la CE est élevée, plus il y'a d'ion dans l'eau donc capable de favoriser les apports d'eau contaminée provenant de l'activité agricole. En revanche, chez la plante, l'effet principal d'une eau de CE élevée sur la productivité des cultures aura pour conséquence inaptitude de la plante à concurrencer les ions dans la solution du sol. Plus la CE est élevée, moins l'eau disponible pour les plantes est faible même si le sol peut être humide en raison de la saturation du milieu en éléments minéraux.

Le pH de l'eau d'irrigation peut également impacter considérablement la forme, la disponibilité des éléments nutritifs mais aussi l'accumulation d'éléments non désirables dans le sol. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre [5,5 et 6,5]. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale. Les valeurs mesurées *in situ* indiquent que les échantillons des forages F1 et F2 du site de carijawa ont une aptitude acceptable pour la production. Par contre les puits Pt du site carijawa, Pm1 de libdé, Pm2 de zouaza, Pm3 de kankaré ainsi que le forage F11 destiné à la consommation des ménages du village sont conformes à la norme OMS (6,5 à 8,5).

Faciès hydrochimiques et indices de qualité

L'hydrochimie des eaux souterraines de la zone est constituée de faciès de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien, du faciès bicarbonaté calcique, du faciès bicarbonaté sodique et en fin le faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique avec une prédominance de l'ion HCO_3^- pour les anions. Ce résultat corrobore ceux rapportés par Sauret [2005] au Burkina Faso, El Alaoui et al. (2010) au Maroc et Sven (2012) au Niger.

Les indices calculés ont pour but de catégoriser les eaux échantillonnées afin de déterminer leur aptitude à l'irrigation. Ainsi, les valeurs du SAR obtenues dans cette étude sont inférieures à 5 pour l'ensemble des eaux échantillonnées. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Rodrigue et al. (2016) dans le département d'Agboville, avec des valeurs du SAR inférieures à 10, Boughalem et al. (2017) dans la région d'Ain Témouchent, et Bouslah (2018) dans le Remblai en Algérie. Cependant, ces résultats sont différents de ceux de El Alaoui et al. (2010) dans les eaux souterraines de la plaine du Haouz, Naima et al. (2012) dans la plaine de Tadla au Maroc, Bouselsal (2016) en Algérie, Bouka et al. (2018) sur le site maraîcher de Atti-Apédokoe dans la préfecture de l'Avé au Togo qui ont rapporté des valeurs de SAR nettement supérieures. Cela pourrait être dû à une dissolution des sels par les précipitations, à l'interaction de la nappe, la dominance des ions calcium et les eaux de ruissellement dépendant de la nature de la roche. En cas d'augmentation du calcium augmente, l'alcalinité décroît, les nitrates augmentent, le SAR demeure dans des normes acceptables et le sodium est moins élevé. C'est ce qu'on observe au le puits traditionnel Pt témoin de l'intensification de l'activité agricole avec des répercussions comme le dessèchement des plantes, la baisse de la productivité, la formation de croutes blanchâtre à la surface des sols, la toxicité sodique, du fait de l'importante charge en sodium des sols et de la nappe superficielle.

Quant à l'indice de contamination des eaux de la zone d'étude, elle est faible pour la majorité des échantillons en dehors des points F2 et Pt localisés à la périphérie de la cuvette de carijawa où les activités anthropiques surtout le défrichement, l'exploitation du natron et l'élevage produisent beaucoup de matières organiques susceptibles de générer des risques de pollution. Ce résultat est cependant différent de celui de Rouabhia et al. (2004) dans la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie) avec un indice de contamination supérieur. Cela est dû principalement à l'action anthropique incarné par une pollution d'origine agricole, domestique, urbaine et industrielle. Au Liban, le phénomène a été plus intrusif incriminant l'intrusion d'eau marine due à une exploitation mal maîtrisée des eaux souterraine à travers un pompage excessifs des puits durant les périodes non pluvieuses, provoquant un abaissement des niveaux de la nappe en inversant le gradient d'écoulement souterraine et à la formation quaternaire (Halwani et al., 2002).

Etude bactériologique

L'absence bactériologique dans les points d'eau ordinaires est pourrait être due à la filtration d'eau pouvant assurer une certaine désinfection totale par le processus de rétention des microorganismes, mais aussi au rôle tant important du soleil. En effet ce dernier joue un rôle déterminant dans la désinfection bactérienne. De plus, cette absence dans ces eaux pourrait s'expliquer par les taux un peu plus élevés des ions ferreux qui sont hors des normes de OMS et FAO. Selon Guillemain et Roux (1992) une présence de fer peut favoriser la multiplication de certaines souches de bactéries. Celle-ci entraînerait à la fois la rouille de

tuyau de canalisation et le tubage de forage lorsqu'il agit comme un accepteur d'électron. Or le matrice de corrélation ci-dessous a indiqué un accouplement entre le fer et le sulfate de corrélation négative. Au cours de l'oxydation de l'atome de fer II, il perd deux électrons. Cela sous-entend que chaque molécule de sulfate de fer II libère toute la molécule d'eau (anhydre) parfois en s'hydratant. En résumé, la corrélation sulfatée ferreux se manifeste sous une forme de poudre blanchâtre à l'état anhydre. Mais c'est seulement lorsqu'il possède le caractère sulfaté ferrique fer III qui reconduit l'eau et son système de canalisation en rouille. A noter bien le sulfaté ferreux peut néanmoins subir une déshydratation dans ce genre de situation on désigne le plus souvent à un effet d'efflorescence des cristaux ou une provocation donnant suite à des réactions déstabilisantes des microorganismes accompagnées d'un passage du caractère sol mutante façonné par le temps vert à la rouille. Par rapport à nos analyses une fois que la corrélation redevient positive le sulfate de fer peut redevenir un problème sérieux à cause de la faible quantité de l'acide sulfurique. En effet, une augmentation de l'acide sulfurique ne peut qu'influencer le processus de l'oxydation des ions en solution. De même les résultats corroborent ceux de la zone d'étude de Ayouba Mahamane et Guel (2015), Sauret (2005) au Burkina selon qui la présence d'ion Fer exerce un pouvoir réducteur de micro-organisme ou décomposeur. Talabi et al. (2013) au Nigeria ont dénombré de coliforme total supérieur à la norme et à notre étude. Cette contamination de l'eau proviendrait probablement à partir des déchets animaux et humains introduits dans les eaux de ruissellement de surface, les pâturages et autres zones terrestres où des déchets animaux ont été déposés.

CONCLUSION

Cette étude qui s'inscrit dans le cadre de la gestion des ressources naturelles au Niger a concerné les eaux souterraines du terroir de N'Gaouri, a permis leur qualité physico-chimique et bactériologique. Il ressort que les eaux sont faiblement minéralisées avec des températures, pH, conductivité électriques moyens comparativement aux normes en vigueur. Ces eaux sont caractérisées par des faciès chimiques bicarbonaté calcique et magnésienne, sodique et potassique, chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique. Les valeurs des indices chimiques tels que le SAR, la dureté totale, l'indice de perméabilité ainsi que l'indice de contamination indiquent que dans la plupart des cas les eaux sont aptes à l'irrigation. Ces résultats constituent une base de données pouvant servir la recherche scientifique mais aider les acteurs intervenant dans ces cuvettes dans la prise de décision pour une meilleure utilisation.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le ProDAF (Projet de Développement de l'Agriculture Familiale) pour le financement de cette recherche. Ils expriment également leurs remerciements à la Direction Régionale de l'Hydraulique de Diffa pour les analyses chimiques et biologiques des échantillons d'eau.

Références

- [1] Amadou, H., Laouali, M. S., et Manzola, A. (2014). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabéry : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées. Larhyss journal 20 : 25-41.
- [2] ARES, (2016). Colloque scientifique international sur la préservation et l'utilisation durables des systèmes oasiens. Université Abdou Moumouni – Université de Liège – Université Catholique de Louvain : Recueil des Résumés 120 p.
- [3] Archambault, J., (1960). Les Eaux Souterraines d'Afrique Occidentale. Berger Levrault, Nancy, 139 p.
- [4] Arnaud, L., Gay B. (1994). De l'eau pour le maraîchage. GRET – Ministère de la Coopération, Paris, 128 p.
- [5] Ayouba Mahamane, A., Guel B., (2005). Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso). International Journal of Biological and Chemical Sciences 9(1) : 517-533.
- [6] Banton, O., Bangoy, L. M., (1997). Hydrogéologie : multiscience environnementale des eaux souterraines. Presse de l'Univ. Du Quebec (Canada)/Aupelf, 460 p.
- [7] Beauchamp, J. (2006). Qualité et Pollution des Eaux Souterraines. Université de Picardie Jules-Verne. <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>, consulté le 05 mai 2021.
- [8] Bouchemal, F., Bouchahm, N., Achour, S. (2015). Qualité des eaux des nappes aquifères de la région de BISKRA. Journal of Fundamental and Applied Sciences 3(1): 34- 44.
- [9] Boughalem, M., Bouyejra, R. B., Bouyejra M. B., Boucherit, H. (2017). Risque du SAR dans l'eau de puits destinée à l'irrigation dans la région d'Ain Témouchent- Algérie. Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement 2(2) : 28-31.
- [10] Bradai, A., Douaoui, A., Marlet, S. (2008). Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008, 1-7 pp.
- [11] Canovas, C. J. (1986). Calidad Agronómica de la agua de riego. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, Espagne, 3 p.
- [12] Doneen, L. D. (1964). Notes on Water Quality in Agriculture, Published as a Water Science and Engineering, Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis.
- [13] Faillat, J. P. (1986). Hétérogénéité et effet d'échelle dans les aquifères fissurés. Approche par pompage d'essai sur station expérimentale (Afrique de l'Ouest). Hydrogéologie 1, 65-76.

- [14] Fofana, F. (2005). Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Abidjan selon les méthodes Drastic et God. Mém. DEA, Université Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire. 72 p.
- [15] Gonzalez-Barrios, J. L. (1992). Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine : Exemple dans la "Comarca Lagunera". Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France, 320 p.
- [16] Halwani, J., Ouddane, B., Crampon, N., Wartel, M. (2001). Contamination saline dans les eaux souterraines de la plaine d'Akkar au Liban. Journal Européen d'Hydrologie 32 (1) : 93-108.
- [17] Kherici, N. (1993). Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la plaine de Annaba-la Mafragh, Algérie. Thèse de docteur-ès-sciences, Université d'Annaba, Algérie, 120 p.
- [18] Loye-Pilot, M. D., Martin, J. M., Morelli, J. (1990). Atmospheric input of inorganic nitrogen to the Western Mediterranean. Biogeochemistry, 9, 117-134.
- [19] Naima, E. H., Mohamed, S., Brahim, L., Lakhdar, E., M. (2012). Evaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'utilisation dans l'eau potable et l'agriculture : plaine de Tadla, Maroc. Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie 08(1): 54 – 66.
- [20] N'Diaye, D. A., Kankou, O. A. S. O. M., Lo, B., (2010). Etude de la salinité des eaux usées utilisées dans l'irrigation dans le périmètre maraîcher de Sebkha, Nouakchott. International Journal of Biological and Chemical Sciences 4(6): 2060-2067.
- [21] Rodrigue, K. O. G. S., Drissa, T. S., Abou, T., Rosine, M. N. F., Nagnin, S. (2016). Aptitudes À L'Agriculture Des Eaux Souterraines Du Département d'Agboville (Sud-Est De La Côte d'Ivoire). European Scientific Journal 12 (21): 81-100.
- [22] ROSELT (2009). DNSE du Niger : Etat de Reference des Observatoires de Diffa, Zinder, Azawad et Torodi-Tondikandia. Rapport, Niamey, Niger, 118 p.
- [23] Rouabhia, A. E. K., Djabri, L. (2010). L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abiod. Larhyss Journal 8 : 55-67.
- [24] Rouabhia, A., Baali, F., Kherici, N., Djabri L. (2004). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables miocènes de la plaine d'El Ma El Abiod (Algérie). Sécheresse 15 (4) : 47-52.
- [25] Savané, L., Goula-Bi, T. A., Aristide, D. G., Kouamé, K. L. (2005). Vulnerability assessment of the Abidjan quaternary aquifer using the DRASTIC method. Groundwater Pollution in Africa, CRC Press, 115- 124 pp.
- [26] Sebihi, Z. (2015). La qualité physico-chimique des eaux de l'OUED RHUMEL A. Mémoire de Master. Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 52 p.
- [27] Srinivasa, R. K. (2013). Assessment of groundwater quality for irrigation of Bhaskar Rao Kunta watershed, Nalgonda District, India. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering 5(7): 418-425.
- [28] Sauret, E. S. G. (2005). Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des Banwa, des balles, du Mouhoun et de la Kossi (Burkina Faso), Mémoire d'ingénieur géologue, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 63 p.
- [29] Sven, M. (2012). Campagne de mesure des eaux souterraines dans la région de Niamey, Niger. Rapport, Autorité du Bassin du Fleuve Niger (ABN), Niamey, Niger, 31 p.
- [30] Talabi, A. O., Afolagboye, O. L., Tijani, M. N., Aladejana, J. A., Ogundana, A. K. (2013). Hydrogeochemical Assessment of Surface Water in the Central Part of Ekiti-State, Southwestern Nigeria. American Journal of Water Resources 1(4): 56-65.
- [31] Traoré, A. (2005). Pollution des eaux souterraines de la région d'Abidjan par les composés azotés. Bilan des connaissances origine et évolution de ces composés. Mémoire DEA Université Abobo- Adjamé, Côte d'Ivoire, 77 p.
- [32] Zairi, R. (2008). Etude géochimique et hydrodynamique de la nappe libre du Bassin du Lac Tchad dans les régions de Diffa (Niger oriental) et du Bornou (nord-est du Nigeria). Thèse de doctorat, Université Montpellier II, France, 208 p.
- [33] Zakaria, K., Karima, B., Marcel, K., Nicolas, F., Mohamed, T., Mostafa, E. (2010). L'innovation institutionnelle dix ans plus tard : quelles opportunités pour les agriculteurs, et quels apprentissages pour les pouvoirs publics ? Le cas des associations d'irrigants au nord du MAROC. ISDA 2010, Montpellier, France, 28-30 Juin 2010, 1-12 pp.