

DYNAMIQUE ET CARACTÉRISTIQUES HYDROCHIMIQUES DE LA NAPPE PHRÉATIQUE DU MANGA POUR DIFFÉRENTS USAGES DANS LES COMMUNES DE MAINÉ SOROA ET GOUDOUMARIA, DIFFA, NIGER

Assane Anabi TOUDJANI* et Maman Ousmane MAMAN SANI

Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département des Sciences du Sol et de l'Eau, Unité Mixte de recherche Economie, Sociétés Rurales et Environnement, Laboratoire d'hydrologie, BP 78 Diffa, Niger

(reçu le 02 Novembre 2022; accepté le 18 Janvier 2023)

* Correspondance, e-mail : toudjaniassane@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude a pour objectif de faire une caractérisation hydrogéochimique de la nappe phréatique du Manga en vue d'estimer sa productivité et la qualité de ses eaux. Pour y parvenir, des données d'essais de pompages et de campagnes piézométriques ont été collectées. Au total 10 prélèvements ont été réalisés pour des analyses physico-chimiques. Les logiciels ArcGIS, Diagramme 5.1 et RStudio ont été utilisés pour le traitement de ces données. Les résultats piézométriques indiquent globalement un écoulement des eaux de l'ouest vers l'est. Les différentes cartes des distributions spatiales des éléments chimiques indicateurs de pollution montrent une faible potentialité de risque de vulnérabilité de la nappe phréatique. Les indices chimiques montrent majoritairement des sources d'eaux bonne à l'irrigation (RBSC < 2,5 et %IP > 75 %). Pour la pérennisation des usages des eaux de la nappe, le contrôle de la qualité des eaux doit être régulier, avec un suivi des essais de pompages afin d'identifier les zones les plus productives. Cette étude, malgré les résultats limités constitue une contribution dans la connaissance du fonctionnement de la nappe du Manga et la nature de la qualité de ses eaux.

Mots-clés : *eaux souterraines, contamination, irrigation, consommation, variabilités climatiques.*

ABSTRACT

Dynamic and hydrochemical characteristics of the Manga groundwater for different uses in the municipalities of Mainé Soroa and Goudoumaria, Diffa, Niger

This study aims to make an hydrogeochemical characterization of the ground water of Manga to estimate its productivity and water quality. To conduct the current study, the data / datum were collected from pumping tests and piezometric sampling. Therefore, 10 samples were taken for physico-chemical analyses. ArcGIS, Diagram 5.1 and RStudio software's were used for data analyses. The piezometric results point out significantly a water flow from west to east. The different special distribution maps of water pollution indicator in terms of chemical elements show a low potential risk for the groundwater vulnerability. The chemical indices globally show a good water quality for irrigation (RBSC < 2.5 and %IP > 75 %). For sustainable uses of the groundwater, the water quality must be regularly controlled and monitored through pumping tests in order to identify the most productive areas. This study, in spite of the limited results, could be a contribution in the knowledge of the functioning of the Manga ground water and its quality.

Keywords : *Ground waters, Contamination, Irrigation, drinking, Climate variability.*

I - INTRODUCTION

Au Niger, comme dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, la question de la disponibilité et de l'accessibilité à l'eau, en qualité et en quantité suffisante reste une problématique essentielle pour un développement durable [1]. Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et sont donc vitales pour le développement de ces pays [2, 3]. Cependant, depuis la révolution industrielle, la qualité des eaux a été sérieusement détériorée due à la croissance démographique, l'urbanisation, l'industrialisation et les changements climatiques conduisant à une pollution sévère des eaux partout dans le monde [4, 5]. Il est donc plus que jamais nécessaire de procéder à un suivi régulier de la composition chimique des eaux. La composition chimique de l'eau au-delà des activités anthropiques, dépend aussi de la nature géologique du terrain. Cette composition joue un rôle important dans la détermination de sa qualité (salinité, dureté, etc.) et ses usages (alimentation en eau potable, irrigation, industrie, etc.) [6]. La détermination de cette composition s'appuie sur la connaissance de la géochimie des eaux au sein du milieu géologique considéré qui renseigne sur la dynamique et l'évolution du système. Les cuvettes

oasiennes du Niger sont des zones de bas-fonds de forme circulaire ou ovale situées en milieu sahélien pastoral. Elles maintiennent en place des populations rurales car elles sont la source principale de production et de diversification agricole dans ces régions à potentialités agricoles très réduites [7]. Sans ces cuvettes, les populations seraient obligées d'émigrer, ce qui constitue actuellement un problème majeur en Afrique de l'Ouest [8]. Ces cuvettes se dégradent lentement, et même la tendance récente enregistrée vers une pluviométrie plus abondante au Niger et dans la zone d'intérêt depuis les années 1990 [9 - 13] n'a pas permis d'inverser le processus de la désertification dans le sud-est nigérien [14], donc de l'ensablement des cuvettes, mettant davantage en péril la sécurité alimentaire et aggravant la pauvreté des communautés riveraines [15]. Suite à la prise de conscience de l'exploitation incontrôlée des eaux de la nappe du Manga, les autorités compétentes, les partenaires internes et externes et les chercheurs se sont penchées sur des études de reconnaissance et des projets visant une meilleure gestion de ladite nappe. La présente étude se propose de faire une caractérisation des hydrogéochimiques de la nappe phréatique du Manga en vue d'estimer sa productivité et la qualité de ses eaux.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la zone d'étude

Les communes de Mainé Soroa et Goudoumaria sont situées dans la Région de Diffa, à l'extrême Sud-est du Niger sur la route Nationale N°1, à 1290 km de Niamey, la capitale. La commune de Mainé Soroa couvre une superficie de 16338 Km² et une population de 148401 [16] et est limitée à l'Est par la commune de Chétima, les communes de Foulatari et de N'Guel Beyli au Nord, à l'Ouest par la Commune de Goudoumaria, au Sud par l'Etat de Yobé (République Fédérale du Nigeria). La commune rurale de Goudoumaria est la seule commune du département de Goudoumaria et elle a une population de 113342 [16]. Elle couvre une superficie de 6 915 Km² et est limitée à l'Est par les communes de Mainé 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 dans la République Fédérale du Nigeria (*Figure 1*).

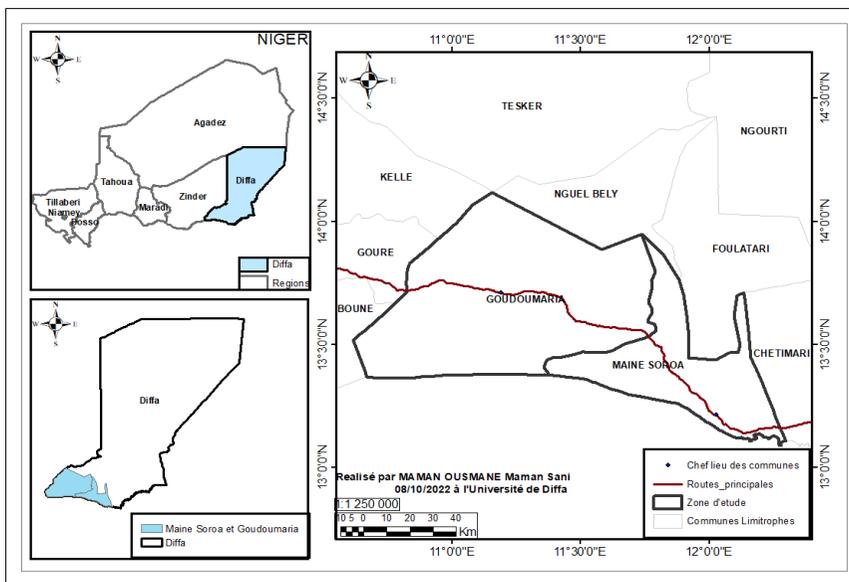


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II-2. Collecte des données

Pour la caractérisation hydrogéochimique des eaux, des échantillons d'eau des nappes souterraines ont été prélevés et analysés au niveau du laboratoire de l'hydraulique. Au total, dix (10) ont été prélevés sur des puits et forages à Darsorom, Kil, Adebour, Dirgua et Wakadji et analysés au laboratoire selon la méthode de [17]. Les paramètres physiques tels que la température, le pH et la conductivité des eaux ont été mesurés in-situ.

II-3. Traitement et analyse des données

II-3-1. Relevées piézométriques

Les relevés des données piézométriques des ouvrages hydrauliques captant la nappe phréatique du manga de 2021 et de 2022 ont permis de déterminer la fluctuation piézométrique dans l'aquifère. Au total, 3 campagnes des mesures piézométriques ont été réalisées, en janvier 2022, en août 2022 et enfin en septembre 2022, pour évaluer l'influence de la saison sur la nappe phréatique. Le niveau statique qui a été mesuré dans les puits ouverts et forages où l'introduction de la sonde était possible et les altitudes des puits et forages enregistrées sur le site à l'aide d'un GPS lors des campagnes ont été transformés en des altitudes piézométriques en mètres sur le niveau normal de la mer (*Équation 1*). Ces dernières sont utilisées pour établir une carte piézométrique pour déterminer le sens de l'écoulement et les possibilités de

recharge. En effet la carte piézométrique a pour but de représenter la configuration de l'aquifère et son comportement hydrodynamique. Ces données sont les coordonnées géographiques, l'altitude piézométrique, l'altitude topographique et le niveau statique.

$$A_p \text{ (m)} = a_t - p_e \quad (1)$$

A_p étant l'altitude piézométrique, a_t l'altitude topographique au GPS et p_e la profondeur de l'eau.

La fluctuation saisonnière a été déterminée en soustrayant la moyenne piézométrique de la saison sèche dans la moyenne piézométrique de la période de haute eau (**Équation 2**).

$$\text{FluS} : p_{Sp} - p_{Ss} \quad (2)$$

FluS : fluctuation saisonnière ; p_{Sp} : piézométrie de la saison de pluie ; p_{Ss} : piézométrie de la saison sèche

Les paramètres hydrodynamiques ont été déterminés (des débits spécifiques (**Équation 3**), transmissivités (**Équation 4**) et la conductivité hydraulique (**Équation 5**) de l'aquifère).

$$Q_s = \frac{q}{s} \quad (3)$$

Q_s étant le débit spécifique en m²/h/m, q le débit m³/h et s le rabat en m.

$$T = 1,25 \times Q_s \quad (4)$$

T étant la transmissivité en m²/s et Q_s le débit spécifique en m²/s/m.

$$K = T/C \quad (5)$$

k étant la conductivité hydraulique en m, T la transmissivité et C la longueur des crépines.

II-3-2. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe

Pour la réalisation de la carte de distribution spatiale du fer, du nitrate et du nitrite, les coordonnées géographiques (la longitude et la latitude) ont été projetées dans l'interface Arcgis. Les concentrations des éléments indicateurs de la pollution ont été transformées en pourcentage et ensuite importées dans l'interface Arcgis. Le krigeage est retenu comme la méthode d'interpolation la plus appropriée et ensuite la délimitation de la zone concernée dans l'onglet environnement. Ces cartes sont utilisées pour voir la distribution spatiale de

chaque élément en pourcentage et designer les endroits les plus contaminés. La carte de l'indice de contamination (IC) a permis de localiser la zone la plus contaminée des eaux de la nappe et d'expliquer l'originalité des activités anthropiques. L'indice de contamination se calcule selon *l'Équation 6*. Cette carte montre aussi la zone la plus contaminée mais cette fois-ci en mg/L et la méthode d'interpolation est la même que la précédente.

$$IC = [Na+] + [SO4-] + [Cl-] + [NO3-] \quad (6)$$

II-3-3. Aptitude des eaux à l'irrigation

Les indices chimiques tels que le coefficient d'absorption du sodium (*Équation 7*), le résidu sec (*Équation 8*) et l'indice de perméabilité (*Équation 9*) permettant d'évaluer l'état de la qualité des eaux souterraines en vue d'un usage agricole.

$$SAR = [Na+]/\sqrt{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]/2} \quad (7)$$

$$RBSC = ([CO3^{2-}] + [HCO3-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) \quad (8)$$

$$IP (\%) = 100 * \frac{Na + \sqrt{HCO3}}{Ca + Mg + Na} \quad (9)$$

II-3-4. Analyse en composantes principales (ACP)

Pour étudier l'origine des éléments minéraux et les processus géochimiques responsables de la minéralisation des eaux souterraines, une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée avec le logiciel RStudio. L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode descriptive d'analyse des données qui détermine, à partir d'un ensemble d'informations, les caractères les plus représentatifs d'un système en liant observations (points d'eaux) et variables (éléments chimiques). Les valeurs propres représentent la capacité de chaque vecteur à expliquer le comportement global du système.

III - RÉSULTATS

III-1. Dynamique de la nappe phréatique du manga

III-1-1. Évolution de la piézométrie

En saison pluvieuse, la piézométrie de la nappe est en moyenne de 306,68 et 331,94 m respectivement en aout et en septembre. Les plus petites valeurs du niveau piézométrique sont de 269,01 et 303,80 enregistrées dans les villages

du département de Mainé Soroa et des valeurs plus importantes qui sont 356,10 et 330,60 enregistrées dans les villages du département de Goudoumaria (**Tableau 1**). En saison sèche, la piézométrie de la nappe est en moyenne de 300,18 m, mais la plus petite valeur du niveau piézométrique est marquée au niveau du village Mamari Dina (266,86 m) dans le département de Mainé Soroa et une valeur plus importante à kojimeri (324,69 m) dans le département de Goudoumaria (**Tableau 1**). En saison de pluie, la surface piézométrique a subi une fluctuation saisonnière entre Janvier et Aout et entre Janvier et septembre avec respectivement 6,49 et 31,75 en moyenne.

Tableau 1 : Paramètres statistiques de 3 mesures piézométriques

	Saisons	Périodes	Paramètres Statistiques				
			Moy	Min	Max	Eca	CV
Altitude piézométrique	Pluvieuse	Aout	306,68	269,01	330,60	15,44	5 %
		Septembre	331,94	303,80	356,10	17,13	5 %
	Sèche	Janvier	300,18	266,86	324,69	16,74	5 %

Moy : moyenne ; Min : minimum ; Max : maximum ; Eca : écart-type et C.V : coefficient de variation

III-1-2. Identification des zones de recharge

La carte piézométrique montre un écoulement général des eaux orienté d'ouest vers l'est (**Figure 2**). La nappe phréatique est dotée des courbes iso piézométriques au niveau du département de Goudoumaria qui sont éloignées hors des cuvettes et du village de Dirgua indiquant ainsi une alimentation non locale en eau. Par contre les courbes iso-pièzes sont serrées hors des cuvettes et du village de Darsorom, ce qui justifie une alimentation locale en eau. Mais en général, les zones de recharge de l'aquifère sont présent un peu partout sur la surface de la nappe (**Figure 2**).

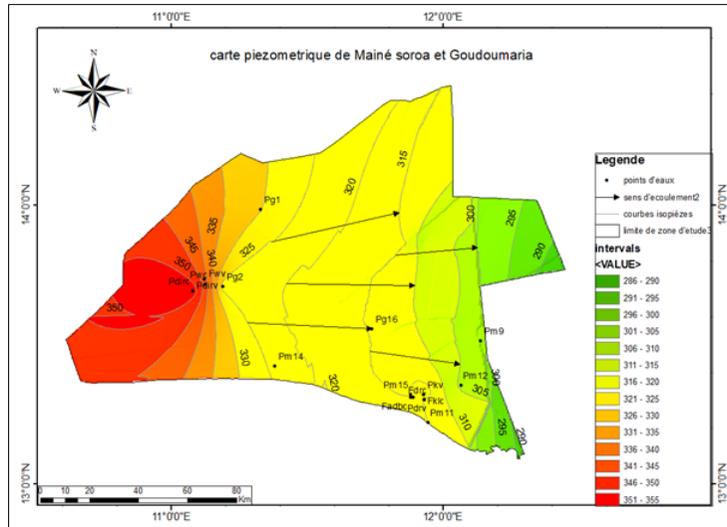


Figure 2 : Carte piézométrique de la zone d'étude

III-2. Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe phréatique du Manga

Les valeurs des paramètres ont été déterminées à partir des fiches des essais de pompages exécutés dans la zone et utilisation de la formule de Logans. Les débits spécifiques des forages étudiés varient de 0,25400 m³/h/m à Ambalam Karamaram à 5,430 m³/h/m à Dinkari. La moyenne est de 0,9870 m³/h/m et le coefficient de variation dépasse 100 % donc la dispersion autour de la moyenne est importante (**Tableau 2**). Les valeurs des transmissivités des ouvrages étudiés varient de 0,00008 m²/s à Ambalam Karamaram à 0,001 m²/s à Dinkari. Par ailleurs, les valeurs de la transmissivité à l'échelle de la zone montrent une dispersion importante autour de la moyenne car le coefficient de variation est élevé. Ceci est confirmé par l'Ecart-type qui est de 0,0004 et dépasse la moyenne. La tendance est la même pour la conductivité hydraulique de l'aquifère (k) (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Paramètres statistiques des caractéristiques hydrodynamiques

Paramètres hydrodynamiques	Paramètres statistiques				
	Moy	Min	Max	Ecart-type	C.V
Rabat(m)	17,300	1,42000	32,00	8,8900	51,43 %
Débit (m3/h)	8,8400	7,01000	14,70	2,3200	26,22 %
qs (m ³ /h/m)	0,9870	0,25400	5,430	1,4400	145,68 %
T (m ² /s)	0,0003	0,00008	0,001	0,0004	145,68 %
Crépine (m)	39,609	15,0000	72,23	16,880	42,62 %
Profondeur	56,900	33,0000	70,00	9,8200	17,27 %
K (m/s)	0,000008	0,000005	0,00002	0,00002	342 %

Moy : moyenne ; Min : minimum ; Max : maximum ; C.V : coefficient de variation ; qs : débit spécifique ; T : transmissivité et K : conductivité hydraulique.

III-3. Qualités des eaux souterraines

III-3-1. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe

L'ion Fer (Fe^{2+}), le plus petit pourcentage de fer est localisé dans la commune de Goudoumaria dans l'intervalle 0,69 à 5,1 % et le plus élevé dans la commune de Mainé Soroa dans l'intervalle 24 à 27 % (**Figure 3a**). L'ion nitrate (NO_3^-), le plus petit pourcentage de nitrate est marqué un peu partout dans la zone d'étude qui se trouve entre 0,89-6,2 % et la plus grande valeur au niveau de la commune de Mainé Soroa dans l'intervalle de 23 à 28 % (**Figure 3a**).

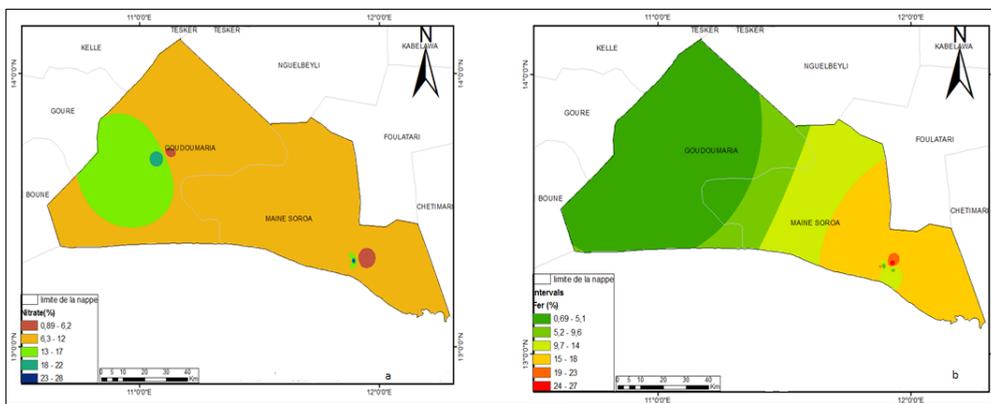


Figure 3 : Concentration de nitrate (NO_3^-) en % et celle de fer (Fe^{2+}) en %

L'ion nitrite (NO_2^-), la concentration de nitrite est répartie départ et d'autre de la zone d'étude. Elle est caractérisée par un petit pourcentage se trouvant entre 3,1-7,7 % au niveau de 2 communes et un important pourcentage au niveau de la commune de Goudoumaria qui se situe entre 27 et 31 % pourcent (**Figure 4a**).

III-3-2. Indice de contamination

Les ouvrages se trouvant sur la bande Sud-Est de Mainé Soroa sont situés dans l'intervalle de 8,5-12 et celui de 16-18. Les ouvrages échantillonnés à Goudoumaria se trouvent au niveau de de classe de 2-5,2 et dans la classe de 8,5-12. Mais, la classe de 8,5-12 se trouve partout dans les ouvrages de la zone d'étude (**Figure 4b**).

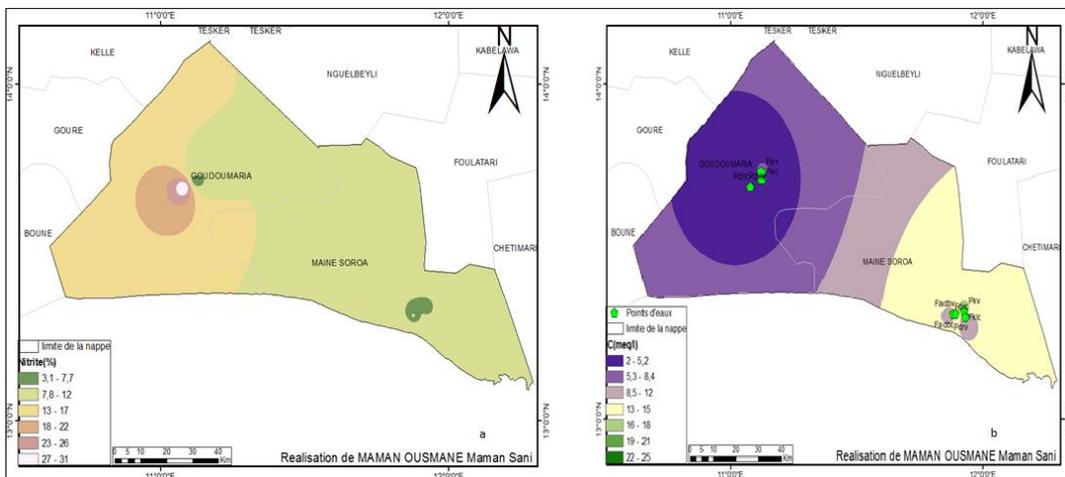


Figure 4 : Concentration de nitrite (NO_2^-) en % et d'indice de contamination spatiale en meq/L

III-4. Hydrochimie et aptitude des eaux à l'irrigation

III-4-1. Faciès chimiques des eaux souterraines

Cette classification est basée sur les teneurs en ions majeurs contenus dans ces eaux. Les anions et les cations forment les principaux hydro faciès de la zone d'étude. Il s'agit de quatre faciès qui sont : faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, faciès bicarbonaté calcique, faciès bicarbonaté sodique et enfin faciès chloruré sodique et potassique ou sulfaté sodique (**Figure 17**). Ce dernier avec un pourcentage de 50 % est le groupe d'eau le plus représenté. La moitié d'eau échantillonnée est caractérisée par une concentration élevée de chlorure et de sulfate et elle évolue vers le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien doté d'un pourcentage important aussi de 30 % de l'ensemble des ouvrages est le deuxième groupe d'eau le plus représenté. Ce groupe est caractérisé par une teneur importante en dureté calcique. Le 20 % restant se répartissent entre bicarbonaté sodique 10 % et bicarbonaté calcique 10 %. Aussi, l'analyse du triangle des anions montre que le faciès chloruré concentre 70 % des échantillons et le faciès sulfaté en a 30 %. Dans le triangle des cations, la dominance traduit un faciès mixte sodique, potassique et calcique à 100 % (**Figure 5**).

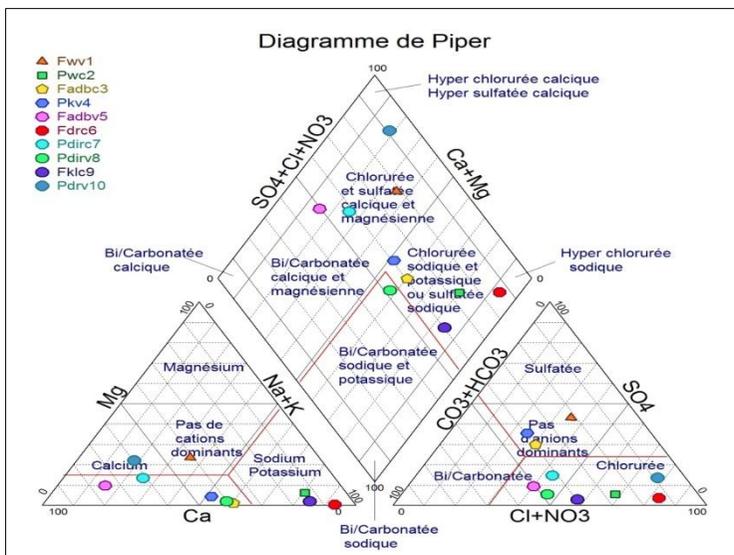


Figure 5 : *Faciès hydro-chimiques des sites (Pdrv : puits du village de Darsorom, Fdrc : forage de la cuvette de Darsorom, Pklv : puits du village de Kil, Fklc : forage de la cuvette de Kil, Fadbv : forage du village d’Adebou, Fadbc : forage de la cuvette d’Adebou, Pdirv : puits du village de Dirgua, Pdirv : puits de la cuvette de Dirgua, Fwv : forage du village de Wakadji et Pwc : puits de la cuvette de Wakadji)*

III-4-2. Aptitude des eaux à l’irrigation

Le résultat de l’indice croisée entre SAR vs CE à 25°C montre que les eaux échantillonnées se répartissent dans trois catégories. La classe faible 1 est constituée de 5 et 10 ; la classe moyenne 2 est caractérisée de 1, 3 et 4 et la classe forte 3 et supérieur est constitué de 8, 9, 6, 2 et 7 (valeur de SAR supérieur à 5) du diagramme qui ne sont pas bonne à l’irrigation, sauf Fadbr 5 indiquant une convenance à l’irrigation (**Figure 6a**). Pour la sodification, 60 % des points d’eaux échantillonnées sont excellents pour l’irrigation tandis que 40 % sont admissibles donc bonne à l’irrigation selon Wilcox (**Figure 6b**).

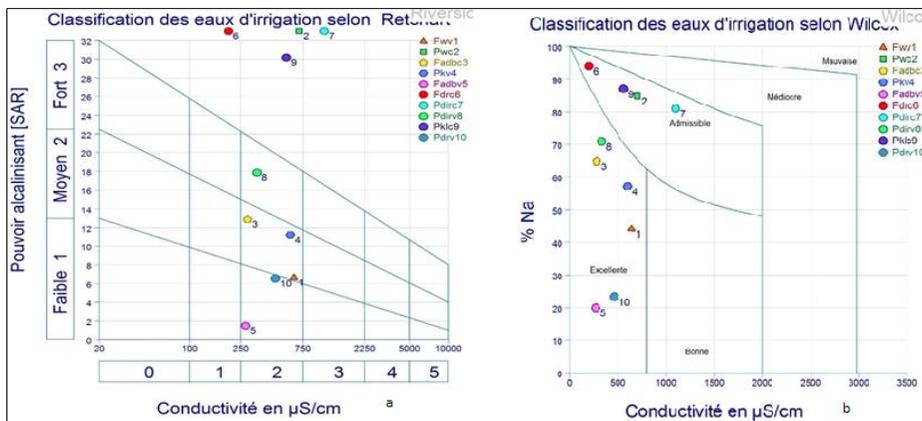


Figure 6 : Classification des eaux d’irrigation selon Wilcox et Richard (Pdrv : puits du village de Darsorom, Fdrc : forage de la cuvette de Darsorom, Pklv : puits du village de Kil, Fklc : forage de la cuvette de Kil, Fadbv : forage du village d’Adebou, Fadbc : forage de la cuvette d’Adebou, Pdirv : puits du village de Dirgua, Pdirc : puits de la cuvette de Dirgua, Fwv : forage du village de Wakadji et Pwc : puits de la cuvette de Wakadji)

Les valeurs de RBSC obtenues des échantillons Pdrv, Fadbv, Pdirc, Pkv et Fwv sont respectivement de -14,34 ; -0,64 ; -0,60 ; -0,08 et 1,73. Cela se traduit par une valeur SAR. D’autres part les valeurs des échantillons Fklc (1,20), Pwc (1,11), Fdrc (1,04), Fadbc (0,28) sont toutes inférieures à 1.25 méq/L ; traduisant des eaux aptes à l’irrigation (**Tableau 3**).

Tableau 3 : RBSC et classification des échantillons

RBSC	Classification	Echantillons
< 1,25	Bonne	Fklc, Pwc, Fdrc, Fadbc
1,25 – 2,5	Médiocre	Pdirv
> 2,5	Mauvais	

Pdrv : puits du village de Darsorom, Fdrc : forage de la cuvette de Darsorom, Pklv : puits du village de Kil, Fklc : forage de la cuvette de Kil, Fadbv : forage du village d’Adebou, Fadbc : forage de la cuvette d’Adebou, Pdirv : puits du village de Dirgua, Pdirc : puits de la cuvette de Dirgua, Fwv : forage du village de Wakadji et Pwc : puits de la cuvette de Wakadji.

L’indice de perméabilité 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 Pdrv (24,26 %) à excellente pour les échantillons

Fwc (90,80 %), Fadbc (75,51 %), Fdrc (98,03 %), Pdirc (81,68 %), Pklc (98,92 %) en passant par la classe bonne qui caractérise l'échantillon Pm2 (50,23 %), Pklv (66,65 %) Pdirv (71,09 %) Fadbv (34,20 %) (**Tableau 4**).

Tableau 4 : Classification des eaux souterraines selon IP

%IP	Classification	Points d'eaux
<25	Médiocre	Pdrv
25 – 75	Bonne	Fwv, Pklv, Pdirv et Fadbv
>75	Excellente	Fwc, Fadbc, Fdrc, Pdirc et Fklc

Pdrv : puits du village de Darsorom, Fdrc : forage de la cuvette de Darsorom, Pklv : puits du village de Kil, Fklc : forage de la cuvette de Kil, Fadbv : forage du village d'Adebour, Fadbc : forage de la cuvette d'Adebour, Pdirv : puits du village de Dirgua, Pdirc : puits de la cuvette de Dirgua, Fwv : forage du village de Wakadji et Pwc : puits de la cuvette de Wakadji.

III-5. Origine de la minéralisation des eaux

L'analyse en composantes principales (ACP) montre, après superposition des 2 diagrammes, que les ouvrages sont repartis en fonction des éléments chimiques. Il ressort de cette analyse que les eaux des ouvrages Pwc, Fdrc, Fklc, Fadbc, Fadbv sont caractérisées par les bicarbonates, fer et potentiel d'hydrogène alors que celles des ouvrages Pkv, Pdirv, et Pdrv sont caractérisées par le calcium magnésium et chlorure (**Figure 7**).

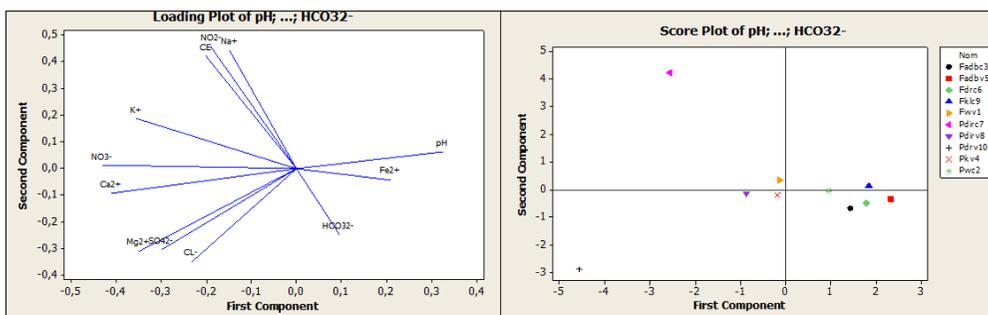


Figure 7 : Analyse en composantes principales (ACP) de la répartition de ouvrages en fonction des éléments chimiques (Pdrv : puits du village de Darsorom, Fdrc : forage de la cuvette de Darsorom, Pklv : puits du village de Kil, Fklc : forage de la cuvette de Kil, Fadbv : forage du village d'Adebour, Fadbc : forage de la cuvette d'Adebour, Pdirv : puits du village de Dirgua, Pdirc : puits de la cuvette de Dirgua, Fwv : forage du village de Wakadji et Pwc : puits de la cuvette de Wakadji)

IV - DISCUSSION

IV-1. Fonctionnement hydrodynamique de la nappe

La fluctuation saisonnière est en moyenne de 31,12 m. Cela justifie la recharge active de la nappe phréatique de la zone d'étude. Cette variation est différente de celles obtenues par [18] qui ont eu une fluctuation saisonnière nulle dans les nappes des grès de Mallawa et des grès du Continental Hamadien et une fluctuation piézométrique annuelle qui varie de 0,5 à 1 m dans les nappes des grès du Continental Terminal et celles des sables alluvionnaires. [19] a mesuré une fluctuation de 1,25 à 1,50 m en moyenne à Gesari Tchichoum, Kouri Kouri Massaguet mais au niveau des dômes du Kimi Kimi, la dépression de Kouka, il a eu une fluctuation de plus de 50 m ainsi que la dépression de Bahr et Ghazal dans le bassin du lac tchad au Tchad en 2001. La fluctuation saisonnière de zone d'étude est proche de celle obtenue par [20] à Goudoumaria dans la cuvette de N'gauri et [21] qui ont eu respectivement 17,23 m et un peu plus de 20 m. La carte piézométrique montre un écoulement général d'ouest vers est. Ce qui correspond au résultat obtenu par [21] et celui de [22] à Zinder (Niger) au niveau du Korama et mais proche à celui de [20] dans la cuvette de N'Gauri à Goudoumaria, mais [23] a observé un écoulement général sud-est vers nord-ouest dans la région d'Agadez à Arlit. Le débit spécifique noté Q_{sp} correspond au débit pompé, rapporté au rabattement pour un temps(t) de pompage [24]. Les valeurs en moyenne de débits spécifiques est de $0,89 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ ce qui démontre une faible capacité d'écoulement. Dans cette étude, la plus grande valeur du débit spécifique est de $5,42 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Ce résultat est différent de celui trouvé par [21] qui est de $19,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. La transmissivité a une moyenne de $3,10^{-04} \text{ m}^2/\text{s}$ donc qui dépasse la valeur seuil de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Les essais de pompage effectués sur cet aquifère montre qu'il constitue un bon réservoir qui pourrait être exploité.

IV-2. Qualité des eaux souterraines

En concentration recommandée, le fer est indispensable pour le corps humain [25]. Ses concentrations varient de 0,05 à 2,15 mg/l. Cela est proche du résultat obtenu par [20] pour qui la teneur en fer varie de 0,25 à 1,9 mg/l. Cette teneur importante pourrait être due à l'emplacement de ces points d'eau. En effet, les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels [26] et la teneur en Nitrate de la zone d'étude en général n'est pas importante dans les puits et forage de la région d'étude. Sauf dans le puits de Darsorom. Les résultats obtenus par [20, 22, 24] sont supérieurs aux résultats de cette étude. L'origine de cette concentration importante au niveau du puits de Darsorom pourrait être liée à l'utilisation directe de cette source d'eau par

les peuhls avec leurs animaux. Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. Les fortes teneurs correspondent à la réduction des nitrates en nitrites par les anaérobies sulfito-réducteurs. Elles peuvent également être liées à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac [27]. La zone d'étude est caractérisée par une quantité importante repérée dans la cuvette de Digua et une petite quantité dans la cuvette de Darsorom. Il est différent des résultats de [20, 22, 24]. La présence des nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine. Dans le cas de la zone d'étude, les valeurs du pH des eaux de la nappe quaternaire ne montrent pas de variations notables. Cela est comparable à celui obtenu par [24] sur le socle de Roches vertes et granitoides et différent de [21], de [28] sur la nappe de Kadzell, de [29, 30]. La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. Les valeurs enregistrées présentent une grande variation. Ce qui explique une forte minéralisation de la cuvette de Dirgua. Cela renforce les témoignages de certaines personnes enquêtées de l'exploitation de sel aux alentours. Cela est proche de résultat obtenu par [31] sur le système aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien à Tahoua et [33] au niveau de la nappe phréatique de Koris de Dantoudou. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par [29] excepté la dominance des cations et anions dans leurs triangles. [21] a marqué une prédominance des cations et anions dans les 2 triangles et une dominance de faciès bicarbonaté calcique et sodique qui sont absolument différents de notre résultat obtenu. Par rapport aux faciès hydro-chimiques, les résultats obtenus dans la nappe de Korama de la région de Zinder par [30] et à Dantiandou dans la région de Tillabéry par [32] sont différents de ceux de cette étude. Dans le bassin des Iullemeden région de Tahoua [31] a trouvé résultat différent de celui de cette étude. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par les mesures des paramètres physico-chimiques. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture [34].

V - CONCLUSION

Cette étude a permis de comprendre dans une certaine mesure le fonctionnement hydrodynamique et géochimique de la nappe phréatique du Manga. Il ressort des résultats un écoulement des eaux de l'ouest vers l'est. Les différentes cartes de distribution spatiale des éléments chimiques indicateurs de pollution montrent une faible potentialité de risque de vulnérabilité de la nappe. Les indices chimiques montrent majoritairement des sources d'eaux bonne à l'irrigation. Cependant, ces résultats obtenus sont loin d'être satisfaisant afin d'assurer une protection de ses eaux pour le bien être des exploitants. Ce travail doit être poursuivi et complété pour aboutir à un résultat représentatif fonctionnement du système. Les développements devront porter sur plusieurs points notamment le suivi piézométrique et le contrôle de qualité des eaux.

RÉFÉRENCES

- [1] - B. A. BOKO, M. KONATE, R. ADAMOU et A. ABDOULAYE, *Sciences de La Vie, de La Terre et Agronomie*, 5 (1) (2017) 64 - 72
- [2] - A. A. MAHAMANE et B. GUEL, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (1) (2005) 517 - 533
- [3] - F. BOUCHEMAL, N. BOUCHAHM et S. ACHOUR, *Revue des Sciences Fondamentales et Appliquées*, 3 (1) (2011) 34 - 44
- [4] - B. ALHOU, J. C. MICHA, A. DODO et A. AWAISS, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3 (2) (2009) 240 - 254
- [5] - T. ASSANE ANABI, Ç. ABUZER, Y. G. EMINE, K. SEDA, Ö. L. HAÇ and Ç. TOLGA, *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 53 (2017) 333 - 343
- [6] - F. ZAHI, R. DJAMAI, S. CHAAB, L. DJABRI, A. DROUCHE et F. MEDJANI, *Revue des Sciences et de la Technologie*, 26 (2013) 86 - 95
- [7] - B. TYCHON, K. J. M. AMBOUTA, A. OZER, C. BIELDERS, R. PAUL et P OZER, *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 3 - 5
- [8] - F. GEMENNE, J. BLOCHER, F. DE LONGUEVILLE, S. VIGIL DIAZ TELENTI, C. ZICKGRAF, D. GHARBAOUI et P. OZER, *Geo-Eco-Trop*, 41 (2017) 317 - 337
- [9] - B. M. KARIMOU, K. J. M. AMBOUTA, B. SARR et B. TYCHON, *Association Internationale de Climatologie*, 28 (2015) 537 - 542
- [10] - B. M. KARIMOU, "Caractérisation et élaboration d'un outil de monitoring des cuvettes oasiennes et de leurs alentours par télédétection et système d'information géographique", Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège, Belgique, (2017) 192 p.
- [11] - P. OZER, M. ERPICUM, G. DEMAREE et M. VANDIEPENBEECK, *Hydrological Sciences Journal*, 48 (2003) 489 - 492
- [12] - P. OZER, Y.C HOUNTONDJI et M. O LAMINO, *Geo-Eco-Trop*, 33 (2009) 11 - 30
- [13] - P. OZER, M. O. LAMINO, D. TIDJANI, B. DJABY et F. DE LONGUEVILLE, *Geo-Eco-Trop*, 41 (2017) 75 - 383
- [14] - Y. C. HOUNTONDJI, J. NICOLAS, N SOKPON et P. OZER, *Belgeo*, 4 (2005) 499 - 516
- [15] - K. J. M., AMBOUTA, A. KARIMOU, A. D. TIDJANI et B. TYCHON, *Geo-Eco-Trop*, 42 (2) (2018) 245 - 257
- [16] - INS, *Annuaire des statistiques régionales de Diffa (Rapport)*, (2018) 96 p.
- [17] - J. RODIER, " *L'analyse de l'eau 9^{ème} édition*", Ed Dunod, paris, (2009) 1384 p.
- [18] - I. SANDAO, M. S. ABDOU BABAYE, B. OUSMANE et J. L MICHELOT., *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (4) 1 (2018) 931 - 1954

- [19] - M. SYLVAIN, Modélisation hydrodynamique de la nappe phréatique quaternaire du bassin du lac Tchad, (2001) 85 p.
- [20] - A. A. TOUDJANI and N. Y. YACOUBA, *International Journal Water Sciences and Environment Technologies*, 5 (4) (2021) 32 - 40
- [21] - R. ZAÏRI, "Étude 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, Sciences et Techniques du Languedoc, (2008) 208 p.
- [22] - M. S. A. BABAYE, I. SANDAO, M. B. SALEY, I. WAGANI et B. OUSMANE, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (6) (2016) 2728 - 2743
- [23] - F. YAOU KORGOM, *Mémoire de master, Université de Liège, Belgique*, (2019) 72 p.
- [24] - M. S. ABDOU BABAYE, "Évaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako-Niger) ", Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, (2012) 235 p.
- [25] - M. L. BELGHITI, A. CHAHLAOUI, D. BENGOUNI, et R. EL MOUSTAINE, *LARHYSS Journal*, 10 (3) (2013) 21 - 36
- [26] - H. SAMAKE, *Bulletin Scientifique sur l'Environnement et la Biodiversité*, 5 (a) (2002) 1 - 11
- [27] - M. BENGOUNI, A. TRAOURE, N. BOUCHRITI, D. BENGOUNI et A. HRAIKI, *Revue trimestrielle d'information scientifique et technique*, 3 (1) (2004) 5 - 25
- [28] - G. GAULTIER, C. MARLIN, C. LEDUC, A. FILLY et M. MASSAULT, *Wallingfort : AISH*, 278 (2003) 174 - 178
- [29] - A. A. TOUDJANI et N. Y. YACOUBA, *JISTEE – IJWSET*, 5 (4) (2021) 32 - 40
- [30] - I. M. S. SOULEYMANE, M. S. A. BABAYE, I. ALHASSANE et O. BOUREIMA, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14 (5) (2020) 1862 - 1877
- [31] - A. K. H SALEY, " Évaluation des ressources en eau de l'aquifère du Continental Intercalaire/Hamadien de la région de Tahoua (bassin des Iullemeden, Niger) : impacts climatiques et anthropiques"Thèse de Doctorat, Université Paris Saclay ; Université Abdou Moumouni, (2018) 295 p.
- [32] - S. BACHIR et B. OUSMANE, *European Scientific Journal*, 15 (24) (2019) 262 - 280
- [33] - R. BERMOND et R. VUICHAARD, "Les paramètres de la qualité des eaux", Documentation Française, Paris, (1973) 179 p.
- [34] - J BEAUCHAMP, *Les systèmes aquifères*, (2006), <https://www.upicardie.fr/beauchamp>, consulté le 05 octobre 2022