

Caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques des eaux des aquifères superficiels du sous Bassin du Dallol Maouri, Niger

Halimatou Sadia SANI OUMAROU¹, Issoufou SANDAO^{1,2*} et Boureima OUSMANE¹

¹ *Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie Niamey, Niger*

² *Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Niamey Niger, BP 2149 Niamey, Niger*

* Correspondance, courriel : sandaoissoufou@gmail.com

Résumé

La présente étude porte sur l'amélioration des connaissances des ressources en eau souterraines du sous bassin hydrologique du Dallalo Maouri en vue d'une optimisation des prélèvements pour les différents usages (consommation humaine, irrigation, élevage). La zone d'étude correspond à la vallée (allongée Nord Sud) d'un ancien affluent du Fleuve Niger et couvrent les départements de Doutchi, Tibiri, Dioundiou et Gaya. Ainsi, après la mise en place et le nivellement des réseaux de suivis quantitatif et qualitatif, deux campagnes de mesures piézométriques et des prélèvements des échantillons des eaux destinés aux analyses physico chimiques ont été organisés en février et mai 2016. Les valeurs des niveaux statiques et la carte piézométrique établie indiquent que les réserves des nappes phréatiques se renouvellent suivant un cycle annuel selon l'importance de la pluviométrie, les fluctuations saisonnières des niveaux statiques sont élevées (plus de 5 mètres) dans la zone Nord et faibles dans la partie Sud (inférieures à 50 centimètres), le sens de l'écoulement des eaux est Nord Sud. Les valeurs des conductivités électriques des eaux souterraines de ces nappes peu profondes sont en général faibles (inférieures à 100 $\mu\text{s/cm}$), les faciès chimiques sont de types chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec pour certains ouvrages des teneurs assez élevées en nitrates, ce qui pourraient être des indices d'une pollution d'origine anthropique, liée à l'utilisation de plus en plus importante des engrais chimiques en irrigation. Enfin, les eaux de ces nappes peu profondes sont encore d'assez bonne qualité pour la consommation humaine et, très aptes (excellentes) pour l'irrigation.

Mots-clés : *aquifère, piézométrie, hydrochimie, pollution, Dallol Maouri.*

Abstract

Hydrodynamic and hydrochemical characteristics of superficial aquifers of the Dallol Maouri under-watershed, Niger

This study focuses on improving the knowledge of the groundwater resources of the Dallalo Maouri hydrological under-watershed in order to optimize sampling for the different uses (human consumption, irrigation, livestock). The study area corresponds to the valley (extended North South) of a former tributary of the Niger River and covers the departments of Doutchi, Tibiri, Dioundiou and Gaya. Thus, after the establishment and leveling of the quantitative and qualitative monitoring networks, two assessments of piezometric measurements and sampling of water for physico-chemical analyzes, they have already been processed in February and May 2016. The values of the static levels and the piezometric map show that the

groundwater reserves are renewed according to an annual cycle according to the rainfall, the seasonal fluctuations of the static levels are high (more than 5 meters) in the North zone and low in the South part (lower than 50 centimeters) and finally, the direction of the water flow is North South. The groundwater conductivities values of these aquifers are very low (100 to 100 $\mu\text{s} / \text{cm}$), the chemical facies are chlorinated and calcific and magnesian sulphate types with some titles fairly high levels of nitrates, which are indices of anthropogenic pollution, linked to the increasing use of chemical fertilizers in irrigation. Finally, shallow groundwater is still of fairly good quality for human consumption and good for irrigation.

Keywords : *aquifer, piezometry, hydrochemistry, pollution, Dallol Maouri.*

1. Introduction

Le Dallol Maouri est une vallée fossile d'un affluent du fleuve Niger, allongée nord-sud et couvrant les départements de Doutchi, Dioundou et Gaya dans la Région de Dosso. Dans cette zone d'étude qui ne connaît pas de ruissellements superficiels permanents [1], les eaux souterraines sont soumises à des fortes pressions anthropiques (prélèvements intenses) et naturelles dues aux effets des changements climatiques [2]. Le développement de l'agriculture irriguée avec application des engrais chimiques et des pesticides constitue des facteurs de risques de dégradation de la qualité des eaux des nappes pour les autres usages, [2, 3]. L'amélioration des connaissances sur la dynamique desdites nappes et l'état de la qualité de leurs eaux, est nécessaire en vue d'établir les conditions d'une meilleure gestion de l'environnement et d'assurer une protection ses ressources. Les premiers travaux de [1 - 6] ont permis de faire une synthèse bibliographique sur les caractéristiques des nappes en présence et de dégager la nécessité de son actualisation en prenant en compte les nouveaux contextes anthropiques et naturels. Pour cela, les approches dynamique et hydrochimique sont utilisées, par la conduite des campagnes de mesures piézométriques, des prélèvements et d'analyses physicochimiques des échantillons des eaux souterraines, [7 - 9]. A l'issue de ces travaux, il est établi que les fluctuations saisonnières de la nappe phréatique des alluvions de faible profondeur, essentiellement alimentée par l'infiltration des précipitations, varient de 5 mètres dans la partie Nord du sous bassin, à moins d'un mètre dans les secteurs Sud, au bord du Fleuve Niger, exutoire des eaux. La carte piézométrique élaborée en février 2016 indique que le sens de l'écoulement est globalement nord-sud. Les valeurs des conductivités sont en générale faibles (inférieure à 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$) particulièrement dans la nappe phréatique et les faciès chimiques dominant sont de type chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Les eaux sont encore de bonne qualité pour la consommation et apte pour l'irrigation. Cependant, la présence des teneurs élevées des nitrates et nitrites dans certains ouvrages indiquerait le début une pollution d'origine anthropique, liée à l'utilisation de plus en plus importante des engrais.

2. Présentation de la zone d'étude

Le sous bassin du Dallol Maouri est un grand synclinal du Bassin sédimentaire des Lullemeden en République du Niger, il traverse selon l'axe Nord-Sud, les départements de Doutchi, Tibiri, Dioundiou et Gaya (**Figure 1**). Il s'associe à une autre vallée (Dallol Fogha), avant d'atteindre le lit du fleuve Niger, en aval de Gaya. Les écoulements superficiels des eaux sont aléatoires et seulement pendant la saison des pluies, [1 - 3].

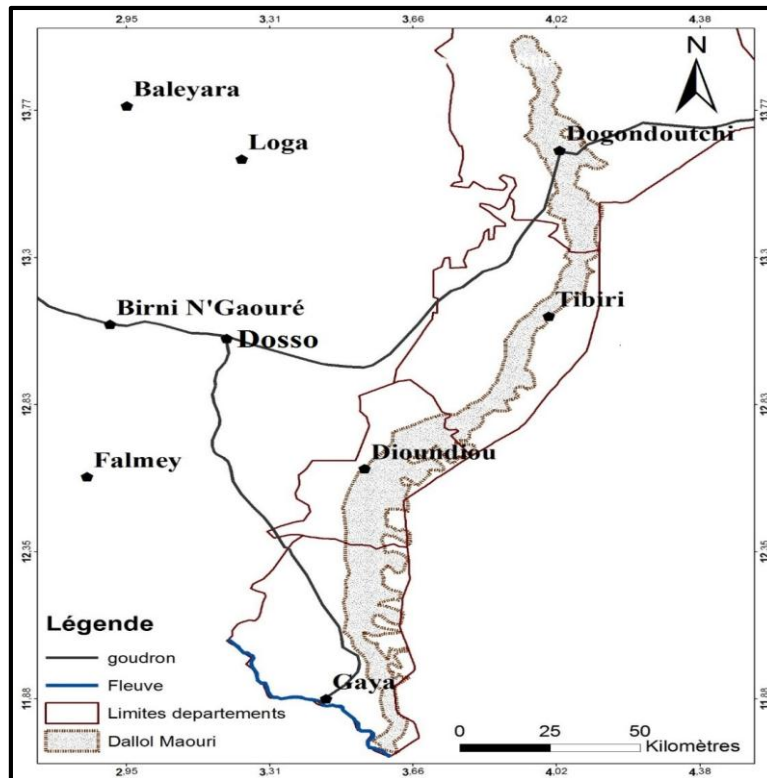


Figure 1 : Présentation du sous bassin du Dallol Maouri

Le climat dans la zone d'étude est de type sahélo-soudanien, caractérisé par l'alternance d'une courte saison de pluie, de Mai à Septembre, et une plus longue saison sèche, d'octobre à avril. Les valeurs moyennes annuelles des précipitations entre 1933 et 2015 sont de 525 mm au Nord de la zone, à la station de Dogondoutchi et 805 mm au Sud, à la station de Gaya [10]. La géologie est marquée par, du haut en bas, [2, 4, 11] :

- Un recouvrement sablonneux, du Quaternaire récent, d'épaisseur très variable (entre 0 et 50 mètres) le long de la vallée ;
- La série du Continental Terminal (niveaux du CT 1, CT 2 et CT 3), des sables plus ou moins grossiers et plus ou moins argileux. La base de cette série est constituée des dépôts marins du Paléocène, (bancs de 50 mètres des calcaires, des marnes et des attapulgites) ;
- Les dépôts du Continental Hamadien (CH), d'âge sénonien, en alternance de sables fins et d'argiles sableuses. La profondeur de la série du CH varie de 200 m en amont dans le secteur de Dogondoutchi, à moins de 10 mètres en aval de la zone d'étude.
- Le socle du Précambrien inférieur, rencontré à une profondeur de 300 à 400 m en amont, et constitué des schistes cristallins et des gneiss ;

Les ressources en souterraines de la zone d'étude sont contenues dans deux (2) types de réservoirs : (i) les réservoirs à nappes sous pression dans les niveaux des CT 1 et CT 2 et du Continental Hamadien, (ii) les réservoirs à nappes libres dans les formations du CT 3 et les dépôts du Quaternaire (alluvions). Ce sont les nappes libres, les plus sollicitées dans la zone, qui font l'objet de cette étude. En effet :

- La nappe phréatique du Continental Terminal (CT₃) est constituée des sables et des silts plus ou moins argileux. Sa profondeur varie de moins de 10 m le long du lit du Dallol Maouri à plus de 70 m sur les flancs et sur les plateaux. Les débits des forages captant cette nappe peuvent dépasser 20 m³/h avec des valeurs moyennes de transmissivité de l'ordre de 7.10⁻³ m²/s ;

- La nappe phréatique des alluvions est contenue dans un aquifère sableux à des profondeurs de moins d'un mètre au sud de la zone, à plus de 15 m au Nord. Les débits des ouvrages sont plus élevés ($25 \text{ m}^3/\text{h}$). La valeur moyenne de la transmissivité est de l'ordre de $1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Cette nappe est en continuité hydraulique avec celle du CT3.

3. Matériel et méthodes

3-1. Matériel et les données

Le matériel utilisé pour mener cette étude comprend :

- Les ouvrages hydrauliques ou points d'eau des réseaux de suivi piézométrique et de contrôle de la qualité physicochimique ;
- Les petits matériels des travaux de terrains (GPS différentiel de type ProMark 2 pour le nivellement, GPS pour le relevé des coordonnées, sondes de niveaux ;
- Les matériels de mesures in situ des paramètres de la qualité des eaux (conductivimètre, le pHmètre, titrimètre, thermomètre) ;
- Des flacons en polyéthylène de 500 ml pour le prélèvement des échantillons destinés aux dosages des paramètres chimiques au laboratoire ;
- Les équipements de laboratoire dont le titrimètre HACH, le spectrophotomètre DR/2000, le photomètre à flamme PFP7, pour la détermination des paramètres chimiques ;
- Les Logiciels informatiques (ArcGis 9. 3 ; Diagrammes) pour le traitement des données.

Les données analysées sont :

- Les valeurs des niveaux statiques et les altitudes mesurées lors des travaux de nivellement et des suivis piézométriques ;
- Les données disponibles sur les suivis piézométriques menés dans la zone depuis 1991 ;
- Les paramètres physiques (conductivité électrique, pH, température, titre hydrotimétrique Th) mesurées in situ ;
- Les résultats analytiques des ions chimiques obtenus au laboratoire.

3-2. Méthodes

- Définition et nivellement des réseaux de suivi : avec 30 ouvrages pour le suivi piézométrique et 20 pour le suivi de la qualité physicochimique des eaux, (**Figure 2**) ;
- Organisation de deux (2) tournées de suivi piézométrique en 2016, la première en février (période des hautes eaux) et la seconde en mai 2017 (basse eaux) ;
- Organisation de deux (2) Campagnes de prélèvements des échantillons des eaux des nappes libres et de mesures in situ des paramètres physiques (pH, conductivité, température), [12] ;
- Dosage des paramètres chimiques au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement (DRH/A) de Dosso, par : (i) la volumétrie pour Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- (ii) la spectrophotométrie pour Fe^{2+} , SO_4^{2-} , F^- , NO_3^- et NO_2^- , (iii) la photométrie à flamme pour Na^+ , K^+ ;
- Vérification et validation des résultats analytiques par le calcul de la balance ionique ;
- Analyse et interprétation des données, élaboration des cartes piézométriques et des différentes cartes et graphiques thématiques.

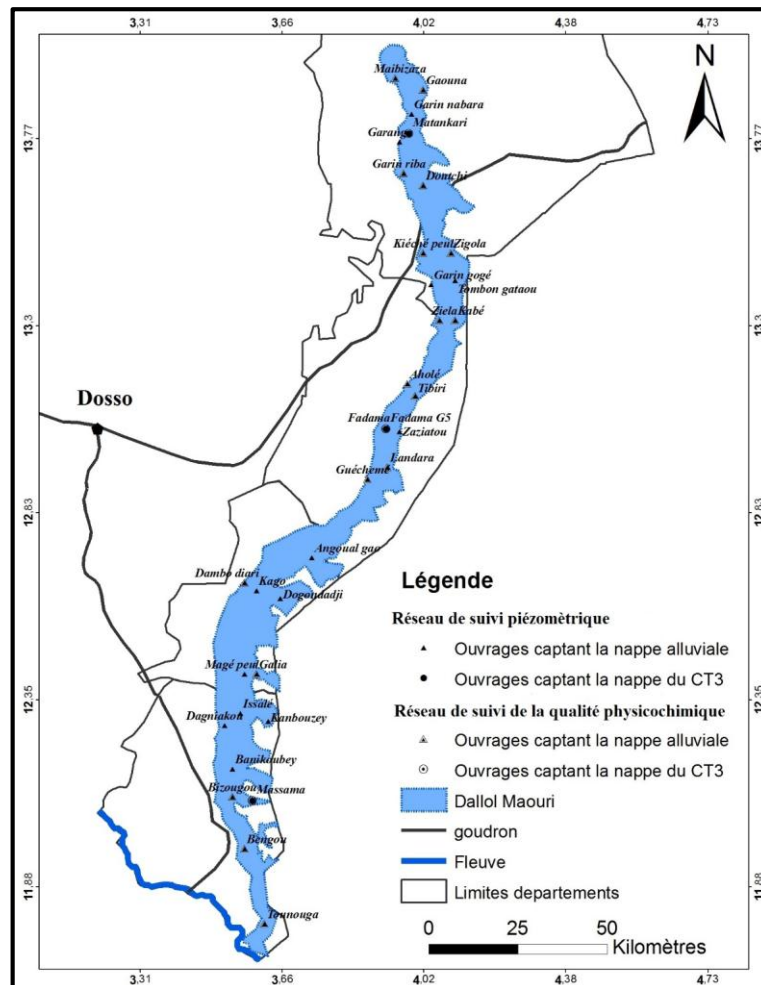


Figure 2 : Localisation des différents ouvrages de suivi

4. Résultats

4-1. Caractéristiques hydrodynamiques des nappes phréatiques de la zone d'étude

L'analyse des données des suivis piézométriques entre 1989 et 2016, indique que :

- Sur l'ensemble de la zone d'étude, l'évolution interannuelle des niveaux statiques de la nappe phréatique ont une tendance à la hausse ;
- les fluctuations interannuelles et saisonnières des niveaux statiques, (**Figure 3**) sont bien marquées et varient suivant les secteurs et les années. En effet, dans les ouvrages de la partie amont du Dallol Maouri, les amplitudes des battements saisonniers atteignent les 5 mètres (piézomètres de Koléfou et de Matankari), par contre pour les ouvrages situés dans le secteur Sud (Bengou, Fadama, Sabon birni), les niveaux statiques varient très peu au cours de l'année (de l'ordre de 0,5 mètre), [2, 6] ;
- Les côtes maximales des niveaux piézométriques déterminés varient d'amont en aval du sous Bassin de 225 à 162 m ;
- La carte piézométrique établie pour le mois de Février 2016 (**Figure 4**) montre que le sens de l'écoulement général est Nord-Sud, les dômes piézométriques observés autour des secteurs de Garin Riba, Zigola, Dogondadji, Kanbouzey correspondraient aux aires d'alimentation de ces nappes dont le lit du Fleuve Niger constitue l'exutoire, [2, 6, 13].

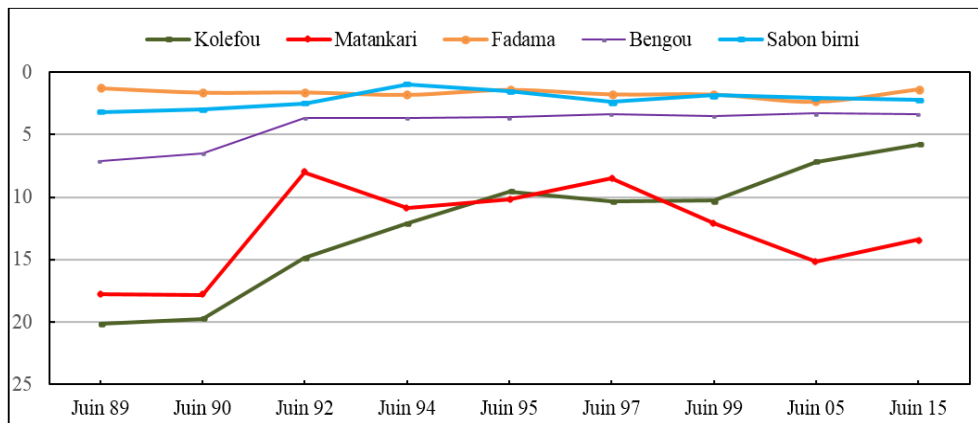


Figure 3 : Fluctuations interannuelles des niveaux statiques

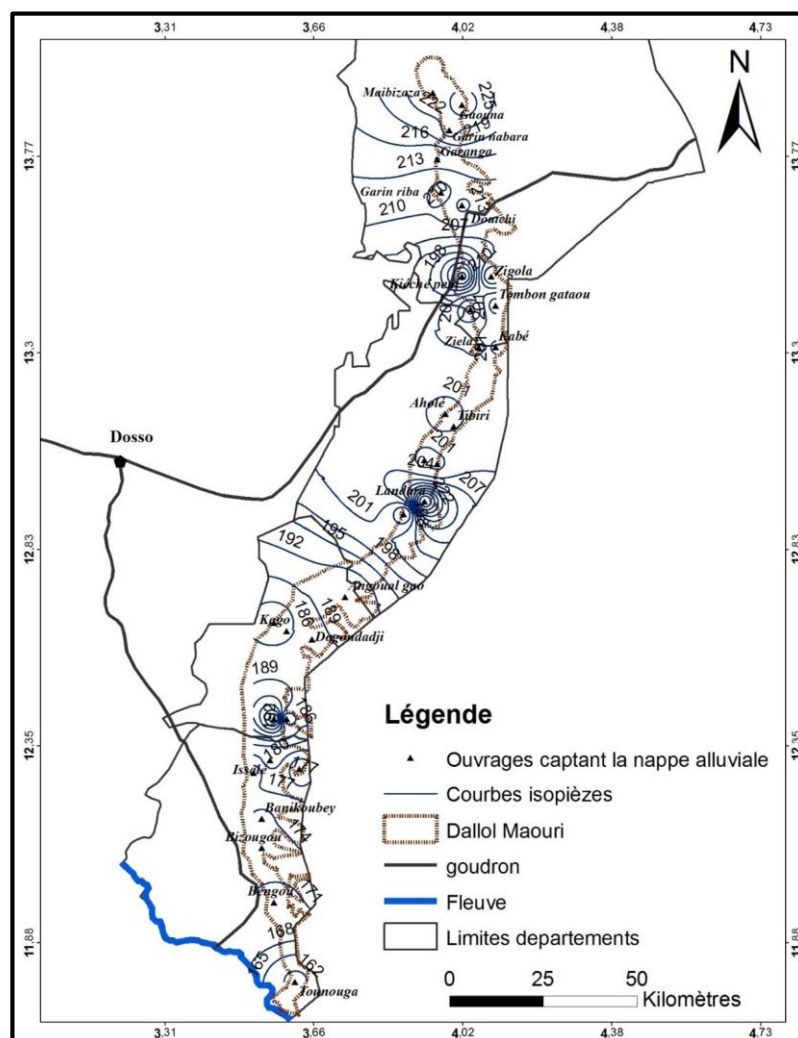


Figure 4 : Carte piézométrique de la nappe alluviale en février 2016

4-2. Caractéristiques hydrochimiques et qualités des eaux des nappes phréatiques

Les résultats analytiques sur les échantillons prélevés en février 2016 sont donnés dans le **Tableau 1**. Les valeurs de la balance ionique, comprises entre -6 % et +6 % permettent de considérer comme fiables et représentatifs les paramètres chimiques déterminés.

4-2-1. Paramètres physiques

En février 2016, les valeurs de la conductivité électrique des eaux des nappes phréatiques (**Tableau 1**) sont comprises entre 50 et 730 $\mu\text{s/cm}$, avec une moyenne de 276,5 et un écart type de 196,23. Les pH varient de 4,33 à 7,70 unités pH, avec une moyenne de 6,32 et un écart type de 0,75. Enfin les températures varient de 28,1 à 35 °C, avec une moyenne de 31,6 et un écart type de 1,91. On relève que les plus faibles valeurs de la conductivité (inférieures à 100 $\mu\text{s/cm}$) et assez variables dans le temps et suivant les ouvrages, sont pour les eaux de la nappe alluviale et les valeurs relativement élevées et plus stables dans le temps sont mesurées sur les ouvrages captant la nappe phréatique du CT3. Ce qui laisse présager une alimentation par infiltration directe des précipitations relativement importante pour la nappe alluviale mais très limitée pour la nappe du CT3, [2, 3]. Aussi, les valeurs des pH des eaux sont plus acides (inférieures à 6 Unités) dans la nappe alluviale, et du neutre à basique dans la nappe phréatique du CT3. Les températures sont quasi identiques et proches des moyennes atmosphériques pour les deux nappes. Ces résultats sont conformes à ceux de [2, 6] dans la région de Dosso.

4-2-2. Paramètres chimiques et représentation graphique de Piper

Les valeurs des ions chimiques déterminées sur les échantillons prélevés en février 2016, (**Tableau 1**) montrent que dans la nappe des alluvions, le cation dominant est le Calcium, suivi dans l'ordre par le Sodium, le Magnésium et le Potassium. Dans la nappe du CT3, c'est plutôt le Sodium le cation dominant. Dans les deux systèmes, les bicarbonates constituent les anions les plus abondants, avec présence plus ou moins marquée des Nitrates et des Chlorures, [2, 3, 6]. Les teneurs des éléments chimiques dans les eaux portées sur le diagramme de Piper donnent les faciès suivants (**Figure 5**):

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien avec présence des Nitrates prédominants dans la nappe des alluvions ;
- Bicarbonaté calcique et magnésien caractérisent les eaux de la nappe du CT3.

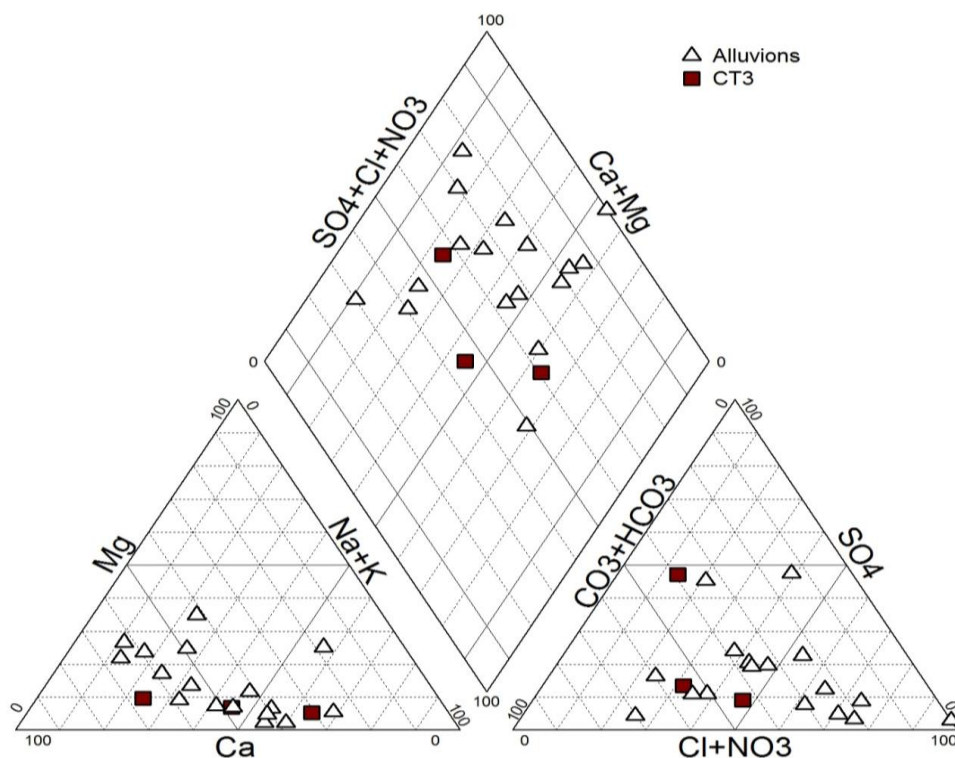


Figure 5 : Faciès chimiques des eaux du Dallol Maouri en février 2016

4-2-3. Qualité des eaux pour la consommation humaine

L'évaluation de la qualité des eaux pour la consommation humaine (potabilité) est faite par comparaison des valeurs des différents paramètres physico chimiques à celles admises dans les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), [2, 3, 8]. Ainsi, les valeurs du Titre hydrotimétrique ($^{\circ}$ TH) des eaux de la nappe alluviale et de celle du CT3 sont globalement dans la gamme des eaux très douces à douces. Néanmoins, la moitié des échantillons sont dans le groupe des eaux agressives vis-à-vis du CaCO_3 , et auront tendance à corroder les ustensiles. Les paramètres chimiques (**Tableau 1**), des eaux des nappes phréatiques du sous bassin du Dallol Maouri sont globalement dans les normes de potabilité de l'OMS. Mais, les valeurs des teneurs en Nitrates et Nitrites pour 5 des 20 échantillons analysés dépassent les valeurs limites de l'OMS. Ces échantillons représentent surtout les eaux de la nappe des dépôts des alluvions dans le lit mineur de la vallée, [6, 8, 14]. Ceci confirme la grande sensibilité de cette nappe, liée probablement à sa faible profondeur (inférieure à 20 m) et à la lithologie sableuse de son réservoir, [6, 15 - 17].

4-2-4. Aptitude des eaux des nappes phréatique de la zone à l'irrigation

L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation est basée par la méthode de la conductivité et du pourcentage du sodium par rapport à la somme totale des cations majeurs de l'eau déterminé avec l'**Équation** suivante, [18] :

$$Na.(%) = \frac{Na}{Ca + Mg + Na + K} \cdot 100 \quad (1)$$

La représentation des différents échantillons dans le diagramme *Wilcox*, (**Figure 6**) montre que les eaux des aquifères (alluvial et du CT3) sont de qualité excellente pour l'irrigation, exceptée celui du puits de Guéchémé qui est intermédiaire entre les qualités excellente et admissible, [18]. Ce puits réalisé à but agricole est abandonné par le promoteur, à cause de la conductivité élevée de ces eaux.

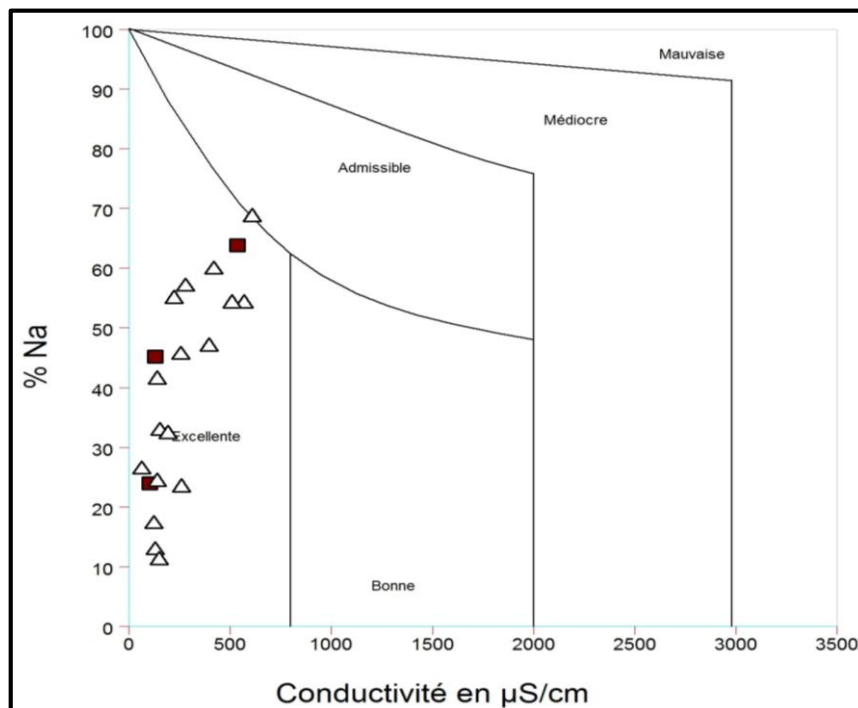


Figure 6 : Diagramme de Wilcox pour les eaux de la zone d'étude

5. Discussion des résultats

L'hydrodynamique des eaux souterraines est marquée dans la zone par des interannuelles et saisonnières dont les amplitudes sont variables dans le temps et dans l'espace et limitées au niveau de la nappe des alluvions. Entre 1990 et 2016, une hausse générale du niveau de la nappe est observée et qui pourrait s'expliquer par l'amélioration du régime pluviométrique sur la période, [19 - 23]. Les fluctuations saisonnières des niveaux statiques plus importantes dans la partie Nord du Dallol pourraient s'expliquer par la lithologie plus sableuse de l'aquifère dans cette zone, [2, 3, 6, 8] et l'influence des infiltrations directes des eaux des précipitations. Ors, dans la partie sud, bien que les précipitations annuelles soient élevées (800 mm en moyenne à Gaya), les niveaux statiques sont quasiment constants dans le temps à cause du contact avec le Fleuve (exutoire à niveau constant) et des éventuelles drainances ascendantes à partir des nappes plus profondes, sous pression du CT2. La nappe phréatique pourrait être alimentée par des écoulements latéraux (Fleuve) ou verticaux (échanges avec les nappes sous jacentes), [6]. La dynamique dans la nappe phréatique du CT3 est assez lente, les fluctuations sont faibles et cela pourrait être lié aux influences de la nappe sous pression du CT2 (drainance ascendante) et de la nappe des alluvions assurant le rôle de régulateur (drainance descendante). La lithologie (sableuse ou argileuse) des deux aquifères et les réactions d'échanges de bases (Na, Ca, K, Mg) pourraient expliquer les caractéristiques chimiques spécifiques des eaux dans les secteurs où les 2 nappes sont distinctes, [19 - 23]. En effet, dans la nappe des alluvions, contenue dans des dépôts quartzitiques (sable), moins argileux et recevant essentiellement par infiltration les eaux des précipitations atmosphériques, les eaux sont peu minéralisées, plus acides et de faciès plus sodique. L'influence de la formation géologique serait faible sur l'évolution de la minéralisation des ses eaux. Et dans la nappe phréatique du CT3, plus argileuse, les eaux sont plus confinées, les écoulements plus lents et les interactions avec les éléments minéraux par les réactions des échanges de base seraient plus importantes, Les ions Sodium et Potassium pourraient alors être substitués en partie par le Calcium et le Magnésium [6]. La présence des ions Nitrates et Nitrites à des teneurs élevées dans certains ouvrages proviendrait des impacts anthropiques, [24] et du développement de l'agriculture irriguée avec utilisation des engrais chimiques et des pesticides. En effet, des valeurs non négligeables des résidus des pesticides ont été trouvées en 2014, [3] dans des échantillons des eaux souterraines prélevés sur certains sites.

6. Conclusion

La présente étude a permis d'analyser les fluctuations piézométriques et les caractéristiques hydrochimiques des eaux des nappes phréatiques dans le sous bassin du Dallol Maouri. Il est établi que pour la nappe des alluvions dudit sous bassin, les niveaux statiques connaissent une remontée régulière (de plus d'un mètre) depuis 1990, les fluctuations saisonnières dues aux infiltrations des précipitations sont plus élevées dans la partie Nord et les interactions chimiques entre l'eau et les minéraux de l'aquifère sont très limitées. Pour la nappe du CT3, les niveaux statiques sont relativement stables, les eaux sont plus minéralisées à causes des réactions avec les niveaux argileux de l'aquifère. Les eaux des 2 unités sont encore de bonne qualité pour la consommation humaine selon les normes OMS, aptes pour l'irrigation, mais les risques de leur pollution sont établis. Il est donc nécessaire de continuer le suivi quantitatif et qualitatif en vue d'optimiser les prélèvements et de préserver la qualité.

Références

- [1] - FAO, Etude en vue de la mise en valeur du Dallol Maouri, Etude hydrologique, (1970) 55 p.
- [2] - H. S SANI OUMAROU, Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau de la nappe alluviale du Dallol Maouri. Master en hydrogéologie. Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, (2016) 89 p.
- [3] - M. ADAMOU, Impacts des activités agricoles sur l'état quantitatif et qualitatif de la nappe des Dallols au Niger : Cas de la nappe du Dallol Maouri, la Région de Dosso, (2014) 60 p.
- [4] - A. DADDY GAOH, Etude des aquifères du Continental Terminal entre les Dallols Bosso et Maouri (République du Niger). Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, (1993)
- [5] - A. DADDY GAOH et A. DASSARGUES, Exploitation de la nappe alluviale du Dallol Maouri pour les cultures irriguées au Niger. Etude originale sécheresse, Vol 6, N°3 (1995) 253 - 63
- [6] - A. GUERO, Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure Sud-Ouest du bassin des lullemeden (Niger) : approches géochimique et hydrodynamique. Thèse de doctorat Université Paris Sud 11, Orsay, (2003) 265 p.
- [7] - I. SANDAO, Etudes Hydrodynamique, Hydrochimique et Isotopique des eaux souterraines du bassin versant de la Korama /Sud Zinder, Niger : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat Université de Niamey, (2013) 196 p.
- [8] - S. GARKOUA, Etude de la qualité des eaux et de la vulnérabilité à la pollution des aquifères superficiels de la région de Dosso, Niger. Master en Prospection et Gestion des Ressources en Eau Souterraine, option hydrogéologie. Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, (2013) 49 p.
- [9] - F. GUILLAUME, Caractérisation et modélisation d'une nappe en hausse au Sahel : dynamique et hydrochimie de la dépression piézométrique naturelle du Koris de Dantiandou (Sud-ouest du Niger), thèse de doctorat, Université Paris Sud 11, Orsay, (2000)
- [10] - DMN (Direction de la Météorologie Nationale) du Niger, (2011). Extrait de la base des données pluviométriques de la campagne 2015 - 2016
- [11] - J. GREIGERT, Introduction à la connaissance hydrogéologique du Niger: deuxième Partie : Structure des dépôts crétacés et tertiaires du bassin occidental du Niger. Dakar, Sénégal, (1957)
- [12] - CABINET D'ETUDE ET DE CONTROLE DES TRAVAUX HYDRAULIQUES (CEH, SIDI), Etude des possibilités de mise en valeur des ressources en eau dans les Dallols Maouri et Bosso, Document du Ministère de l'hydraulique, (Août 1997)
- [13] - F. GUILLAUME, L. CHRISTIAN, Représentativité de l'échantillonnage géochimique et hydrodynamique en nappe libre de milieu semi-aride. *In Journal of hydrology*, 31 (4) (2000) 669 - 678
- [14] - A. GUERO, Etude des phénomènes de drainance entre les aquifères du CT3 et CT2 du département de Dogondoutchi, Document du Ministère de l'hydraulique, (décembre 2009) 38 p.
- [15] - OMS, <https://www.lenntech.fr/normes-oms-eau-potable.htm>, (2011)
- [16] - M. S. ABDOU BABAYE, P. ORBAN, B. OUSMANE, G. FAVREAU, S. BROUYÈRE, A. DASSARGUES, Characterization of recharge mechanisms in a Precambrian basement aquifer in semi-arid south-west Niger. *Hydrogeol. J.* <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1799-x>, (2018)
- [17] - G. FAVREAU, C. LEDUC, C. MARLIN, A. GUERO, Une dépression piézométrique naturelle en hausse au Sahel (Sud-Ouest du Niger). *C. R. Geoscience*, 334 (2002) 395 - 401

- [18] - I. SANDAO, MS. ABDOU BABAYE, B. OUSMANE et al., Apports des isotopes naturels de l'eau à la caractérisation des mécanismes de recharge des aquifères du bassin de la Korama, Région de Zinder, Niger. *Int J Biol Chem Sci.*, 12 (4) (2018) 1931 - 1954
- [19] - L. V. WILCOX, Classification and Use of Irrigation Waters .U.S. Department of Agriculture, Washington DC, (1948) 962
- [20] - M. MAXIME, Etude des relations entre les aquifères du Continental Terminal au Nord de Niamey (Niger), Approche géologique, Géochimique et hydrodynamique. DEA, Université Paris Sud, (1997) 121 p.
- [21] - SY. ACHEAMPONGA, JW. HESS, Origin of the shallow groundwater system in the southern Voltaian Sedimentary Basin of Ghana: an isotopic approach. *J Hydrol*, 233 (2000) 37 - 53
- [22] - S. STADLER, K. OSENBRÜCK, AO. SUCKOW, T. HIMMELSBACH, H. HÖTZL, Groundwater flow regime, recharge and regional-scale solute transport in the semi-arid Kalahari of Botswana derived from isotope hydrology and hydrochemistry. *J. Hydrol.*, N° 388 (2010) 291 - 303 p.
- [23] - A. MALIKI, M. KRIMISSA, JL. MICHELOT, K. ZOUARI Relation entre nappes superficielles et aquifère profond dans le bassin de Sfax (Tunisie). C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences, 331 (2000) 1 - 6
- [24] - S. STADLER, K. OSENBRÜCK, AO. SUCKOW et al., Groundwater flow regime, recharge and regional-scale solute transport in the semi-arid Kalahari of Botswana derived from isotope hydrology and hydrochemistry. *J Hydrol*, 388 (3-4) (2010) 291 - 303
- [25] - ISSOUFOU SANDAO, MAMAN SANI ABDOU BABAYE, BOUREIMA OUSMANE et JEAN LUC MICHELOT, Qualité des eaux et vulnérabilité à la pollution des nappes souterraines dans le bassin de la Korama, Sud Zinder, Niger, *Afrique SCIENCE*, 11 (4) (2015) 364 - 379 364, <http://www.afriquescience.info>

**Tableau 1 : Valeurs des paramètres physicochimiques des nappes superficielles du Dallol
Maouri : février 2016**

NOM	T	pH	CE	Ca²⁺	TH	Mg²⁺	Na⁺	K⁺	Fe²⁺	HCO₃⁻	SO₄²⁻	Cl⁻	NO₃⁻	NO₂²⁻	Mine T
Kieche peulh	34,10	6,23	170,00	12,80	4,0	1,94	3,33	9,54	0,02	19,52	3,00	6,00	46,64	0,13	102,92
Jigola	31,10	6,12	50,00	4,80	1,8	1,46	1,54	2,41	0,01	12,20	6,00	0,00	12,32	0,04	40,78
Zeila	34,00	6,10	260,00	15,20	4,0	0,49	16,36	10,22	0,02	24,40	3,00	26,00	41,80	0,44	137,93
Kabe	32,80	6,70	290,00	8,00	4,8	6,80	23,63	9,09	0,17	19,52	54,00	10,00	40,00	0,19	171,41
Aholé	33,40	5,47	600,00	38,40	11,2	3,89	54,05	11,36	0,04	51,24	20,00	64,00	110,44	1,13	354,55
Tibiri	35,00	5,56	360,00	27,20	7,2	0,97	47,29	3,10	0,22	87,84	39,00	42,00	31,24	0,05	278,91
Landara	31,60	6,85	120,00	12,00	4,2	2,92	2,77	2,06	0,01	19,52	4,00	10,00	22,88	0,14	76,30
Guéchemé 1	30,70	7,70	730,00	26,40	8,0	3,40	43,24	63,14	0,03	173,24	30,00	48,00	47,96	0,72	436,13
Diambo diari	28,10	7,09	110,00	13,60	4,4	2,43	3,33	5,34	0,22	46,36	10,00	2,00	15,40	0,12	98,80
Galia	30,40	6,06	90,00	12,00	4,0	2,43	1,66	1,72	0,22	14,64	6,00	1,00	38,28	5,81	83,76
Tounouga	28,30	6,42	110,00	11,20	3,2	0,97	8,57	3,10	0,68	17,08	13,00	2,00	36,52	0,24	93,36
Bizoukou	29,70	6,05	170,00	20,80	6,0	1,94	12,14	1,72	0,11	34,16	36,00	8,00	7,48	0,15	122,50
Bengou	30,30	7,33	130,00	16,80	6,0	4,37	2,77	1,20	0,27	61,00	3,00	4,00	15,40	0,13	108,94
Doutchi	30,90	6,73	210,00	19,20	8,8	9,72	9,28	5,00	0,03	82,96	13,00	14,00	30,36	0,10	183,65
Garin Riba	32,10	6,30	450,00	28,80	9,2	4,86	10,71	45,14	0,01	63,44	30,00	32,00	37,84	0,09	252,89
Maibizaza	32,20	6,46	270,00	22,40	6,4	1,94	22,72	2,93	0,01	48,80	20,00	16,00	31,68	0,07	166,55
Gaouna	33,00	4,33	580,00	34,40	9,6	2,43	41,89	17,14	0,08	0,00	5,00	46,00	147,84	0,16	294,94
CT3															
Fadama G5	34,10	6,90	100,00	11,20	3,2	0,97	3,33	2,24	0,23	24,40	4,00	4,00	19,80	0,04	70,21
Matankari	32,60	7,19	650,00	32,00	9,4	3,40	74,32	3,44	0,01	117,12	110,00	12,00	20,24	0,14	372,67
Massama	29,40	6,04	120,00	11,20	3,2	0,97	10,14	3,27	0,10	36,60	7,00	4,00	14,52	0,26	88,06