



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe phréatique de la vallée de Boghol, commune de Dabaga/Agadez (Niger)

*Maman Bachar Ibrahima Oumarou*

*Mahaman Moustapha Adamou*

*Souley Tchagam Tchagam Agi*

Département Génie Rurale et Eaux et Forêt, Faculté d'Agronomie Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, Niger

*Mamadou Sarra*

Laboratoire sol-eau-plante, Institut d'Economie Rurale (IER), Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n21p185](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p185)

Submitted: 14 February 2022

Accepted: 14 June 2022

Published: 30 June 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Ibrahima Oumarou M.B., Adamou M.M., Tchagam Agi S.T. & Sarra M. (2022). *Caractérisation physicochimique des eaux de la nappe phréatique de la vallée de Boghol, commune de Dabaga/Agadez (Niger)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (21), 185.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p185>

### Resume

La vallée de Boghol est située dans la région d'Agadez au nord du Niger. Elle constitue un bassin de production où l'agriculture irriguée est la principale activité. Cette dernière occupe la grande majorité de la population et se pratique durant toute l'année avec l'eau souterraine comme l'unique source d'eau d'irrigation. Malgré la méconnaissance de la qualité de ces eaux, l'irrigation connaît une intensification susceptible d'impacter la nappe phréatique. L'objectif de ce travail est de contribuer à caractériser les eaux de ladite vallée. L'approche méthodologique s'est basée sur le prélèvement des échantillons d'eau au niveau des puits maraichers sur la base d'un transect permettant de couvrir toute la vallée. Ces eaux ont fait l'objet de mesures physiques sur le terrain et d'analyses chimiques au laboratoire par titrimétrie, puis photométrie. Outre l'analyse en composante principale, le traitement des résultats a été fait en utilisant le diagramme de Piper et celui de Schoeller-Berkaloff. Aussi, les méthodes du taux d'absorption du sodium (SAR), Wilcox et de carbonate de sodium résiduel (RSC) ont été utilisées. Les résultats de

l'étude montrent que les eaux sont de bonne qualité organoleptique. Quant au pH, les valeurs sont presque neutres dans tous les ouvrages. La conductivité électrique varie de 220,50 à 606,3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et présente le plus grand nombre de corrélation avec les autres paramètres physicochimiques. Tous les échantillons ont un faciès chimique bicarbonaté calcique et ont une bonne aptitude à l'irrigation. Cependant, il est constaté une augmentation spatiotemporelle du taux de minéralisation et celui du nitrate. D'où la nécessité de préserver cette qualité en adoptant des bonnes pratiques d'irrigation.

---

**Mots clés :** Qualité des eaux, Aptitude des eaux à l'irrigation, Vallée de Boghol, eaux souterraines, Minéralisation

---

## **Physicochemical characterization of groundwater of the Boghol valley, municipality of Dabaga/Agadez (Niger)**

*Maman Bachar Ibrahima Oumarou*

*Mahaman Moustapha Adamou*

*Souley Tchagam Tchagam Agi*

Département Génie Rurale et Eaux et Forêt, Faculté d'Agronomie Université  
Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, Niger

*Mamadou Sarra*

Laboratoire sol-eau-plante, Institut d'Economie Rurale (IER), Centre  
Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali

---

### **Abstract**

The Boghol Valley is located in the Agadez region in northern Niger. It is a production basin where irrigated agriculture is the main activity. The latter occupies the vast majority of the population and is practised all the year with groundwater as the only source of irrigation water. Despite the lack of knowledge about the quality of these waters, irrigation is being intensified and is likely to impact the water table. The objective of this work is to help characterize the waters of this valley. The methodological approach was based on the collection of water samples from vegetable wells/market garden wells based on a transect covering the whole valley. These waters were the subject of physical measurements in the field and chemical analyses in the laboratory by titrimetry, then photometry. In addition to the main component analysis, the results were processed using the Piper and Schoeller-Berkaloff diagrams. Also, the methods of sodium absorption rate (SAR), Wilcox and residual sodium carbonate (RSC) were used. The results of the study show that the water is of good organoleptic quality. As for pH, the values are almost neutral in all works. Electrical conductivity ranges from 220.50 to 606.3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  and is

most correlated with other physicochemical parameters. All samples have a calcium bicarbonate chemical face and are good for irrigation. However, a spatiotemporal increase in the rate of mineralization and that of nitrate is observed. Hence, the need to preserve this quality by adopting good irrigation practices.

---

**Keywords:** Water Quality, Water Suitability for Irrigation, Boghol Valley, Groundwater, Mineralization

## 1. Introduction

L'eau douce est une ressource d'une importance capitale pour la vie biologique, environnementale et socio-économique. Toutefois, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources ponctuelles et diffuses de contamination dans beaucoup de régions (Belghiti *et al.*, 2013 ; Amadou, *et al.*, 2014). Plusieurs sources sont à l'origine de la pollution des eaux, dont les principales sont les activités agricoles, les rejets urbains et industriels (Berdai *et al.*, 2004). Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante et de la dégradation de la qualité de l'eau de surface (Nouayti, 2015). De ce fait, depuis quelques années, la protection et la conservation des milieux naturels, en particulier la qualité des eaux, est devenue une préoccupation majeure et un objectif principal dans les programmes de développement (Berdai, 2004). Au Niger, l'agriculture irriguée est très développée et constitue la stratégie du gouvernement pour faire face aux multiples sécheresses (Ehrnrooth *et al.*, 2011). Elle est pratiquée dans tout le pays sous diverses formes à partir des eaux de surface et souterraines (Nazoumou *et al.*, 2016). Dans les montagnes de l'Air, situés dans la partie nord du Niger, l'irrigation est essentiellement pratiquée grâce aux eaux des nappes alluviales (Alhassane, 2018). Ces dernières se rechargent à travers les écoulements saisonniers provenant des pluies. Autrefois, dans cette zone, l'agriculture irriguée se pratiquait sur des petites superficies, car elle visait à répondre aux besoins alimentaires. La fertilisation des sols se faisait à partir de la fumure organique avec une faible quantité (AcSSA, 2011). Cependant, ces dernières années, l'activité maraîchère connaît un bouleversement avec le « boom » de l'oignon qui procure un revenu important aux producteurs (PromAP, 2015). Cela a conduit ces derniers à une intensification de la production en faisant appel aux technologies innovantes, en augmentant les superficies exploitées et en utilisant des engrais chimiques (Mamadou, 2014). En effet, cette technique couplée aux doses d'eau excessives pratiquées par les agriculteurs peut entraîner des drainages importants et par conséquent un risque de pollution des eaux souterraines (Berdai, 2004 ; Gouaidia *et al.*, 2017). Aussi, lors des

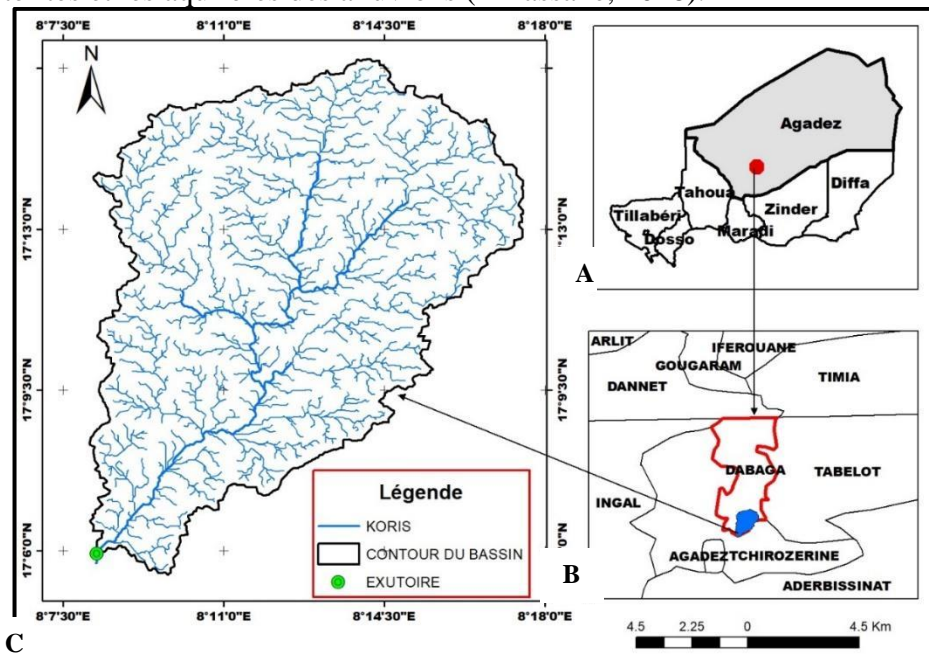
forts évènements pluvieux, le lessivage des terres arables artificiellement fertilisées entraîne dans les masses d'eau de surface et souterraines une augmentation en nitrates et phosphates issus des engrais minéraux (Savoie, 2014 ; Bhurtun, 2018). Ainsi, les sels minéraux provenant de l'intensification des pratiques agricoles perturbent le développement des plantes et modifient la perméabilité et l'aération des sols (Douaoui, 2007). Compte tenu des pratiques développées dans la vallée de Boghol, celle-ci court un risque. En effet, l'agriculture irriguée continue son expansion avec l'utilisation des produits chimiques malgré la méconnaissance de la qualité des eaux. Ce qui n'est pas sans conséquence pour le devenir de l'irrigation. Dans ce contexte, la connaissance des caractéristiques des eaux de ladite vallée s'avère nécessaire.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Présentation de la zone d'étude**

La vallée de Boghol est située dans la commune rurale de Dabaga à 25 km du chef-lieu de la commune et à 30 km de la ville d'Agadez au Niger (**Figure 1**). La superficie du bassin versant de cette vallée est estimée à 169,11 km<sup>2</sup> dont 12% irrigables. Le réseau hydrographique est marqué par la domination du koris principal de Boghol qui se forme à la confluence de deux koris qui prennent naissance des montagnes de Dabaga-Est (PromAP, 2018). Le climat de la zone est de type tropical subdésertique caractérisé par une très grande aridité avec un très faible niveau pluviométrique (Karimoune, 2017). La pluviométrie est aléatoire et varie considérablement selon l'année de 24,2 à 225,10 mm/an observée pendant les 30 dernières années de 1985 à 2015 (PromAP, 2015). Le gradient thermique est caractérisé par des grandes amplitudes thermiques selon les saisons : (i) en saison froide (novembre à février) : inférieur à 10°C jusqu'à 35°C, (ii) en saison chaude (avril à juin) : de 25°C à 45°C. La zone est caractérisée par une évaporation intense et un vent fort (jusqu'à 20 km/h) et une très forte insolation (3192,9 heures/an en moyenne) qui exacerbent l'assèchement climatique (ETP de 2.500 à 2.600 mm/an) (PromAP, 2018). La végétation du bassin versant est surtout concentrée sur les bordures des cours d'eau constituant ainsi des cordons ripicoles (*Salvadora persica*, *Calotropis procera*, *Boscia senegalensis*, *Acacia raddiana*, etc.). La faune sauvage du site de Boghol renferme une diversité des espèces fauniques composée de mammifères, des espèces aviaires et des reptiles (le singe patas, le babouin, le chacal, l'écureuil, le lézard à queue épineuse, la vipère, etc.). Diverses activités socioéconomiques sont pratiquées dont la principale est l'agriculture irriguée (DRGR, 2016). Géologiquement, l'Aïr où se situe la zone d'étude est un témoin du socle ancien, de la vieille pénéplaine usée dont on retrouve les affleurements cristallins sous les sables de regs ou à la base des séries gréseuses qui constituent les Tassili (Chaïbou,

2005). Cette zone est caractérisée par la présence de quatre (4) formations géologiques qui sont de bas vers le haut : le socle, le complexe subvolcanique, le volcanisme récent et les formations sédimentaires (Alhassane, 2018). Du point de vue hydrogéologique, deux réservoirs coexistent dans le massif de l'Air (Joseph, 1992) : le premier est représenté à la base par le socle et se caractérise par une porosité et une transmissivité faible (Armand, 1987). Le second est constitué par des formations argilo-sableuses des alluvions d'oueds (koris) qui est un réservoir important du fait de sa capacité d'emmagasinement (Joseph et Diluca, 1986). Globalement les différents aquifères identifiés du bas en haut sont : les aquifères discontinus du socle ; les aquifères des altérites et les aquifères des alluvions (Alhassane, 2018).



## 2.2. Prélèvement d'échantillons d'eau

Les eaux ont été prélevées au niveau de six (6) puits maraîchers répartis le long de la vallée (*Figure 2*). Les échantillons d'eau sont prélevés dans les bouteilles de 0,5 litres, préalablement rincées à l'eau du puits. Chaque échantillon fait l'objet d'étiquetage (nom du puits, numéro de la bouteille, date de prélèvement, coordonnées du puits), avant d'être conditionné dans une glacière et acheminé au laboratoire de la direction régionale de l'hydraulique et de l'assainissement de Tahoua (Niger).

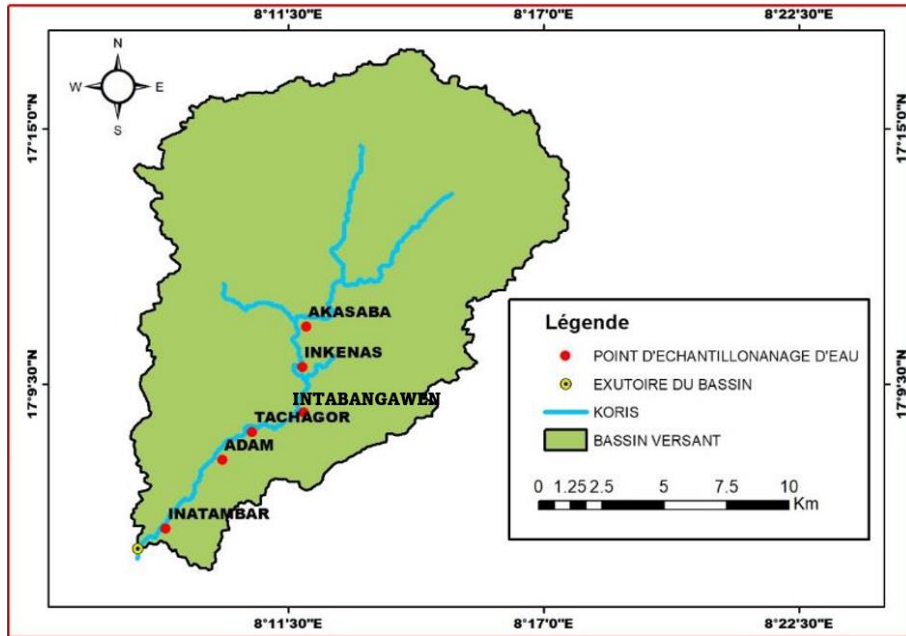


Figure 1 : Répartition des ouvrages échantillonnés

## 2.3. Analyses physicochimiques

### 2.3.1. Analyses *in situ*

Les analyses réalisées sur place à la date du 17/02/2021 ont concerné :

- les paramètres organoleptiques : l'odorat, le goût et la turbidité, déterminés par l'utilisation des organes de sens (les yeux, le nez et la langue).
- le pH, la conductivité électrique (CE) et le taux de matière dissoute (TDS), par lecture directe sur un Ph mètre / conductivimètre PC 450.

### 2.3.2. Titrimétrie

Le principe de mesure repose sur le dosage d'un échantillon de 100 ml d'eau, auquel on ajoute une solution tampon (catalyseur), un indicateur coloré (selon l'ion à rechercher), un titrage avec le réactif correspondant.

#### La dureté totale : $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$

La dureté totale est obtenue par l'ajout d'une solution tampon Hardness II de 2 ml. La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  est marquée par l'apparition d'une couleur rouge-violet. Le Man ver 2 a été utilisé comme indicateur coloré et la titration faite avec une solution d'Ethyl Diamine Tétra Acétique (EDTA) à 0,8N jusqu'à apparition de la couleur bleue. La valeur obtenue est la teneur en dureté totale de l'eau.



### **Dureté Calcique ou $\text{Ca}^{2+}$**

Il est ajouté 2 ml de solution NaOH à 8N. En présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$ , on a l'apparition d'une coloration violette. Le Cal ver 2 est utilisé comme indicateur coloré. La titration est faite avec une solution d'EDTA à 0,8N jusqu'à apparition de la couleur bleu clair. La valeur obtenue est multipliée par 0,40, coefficient de la teneur en dureté calcique de l'eau.

### **Dureté Magnésienne ou $\text{Mg}^{2+}$**

Elle est obtenue par la relation 1 (Dardel, 2022) :

$$Mg = DT - Ca \quad (1)$$

Où :

Mg : Dureté magnésienne ;

DT : Dureté Totale ;

Ca : Dureté calcique.

### **Dureté temporaire ou bicarbonates $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$**

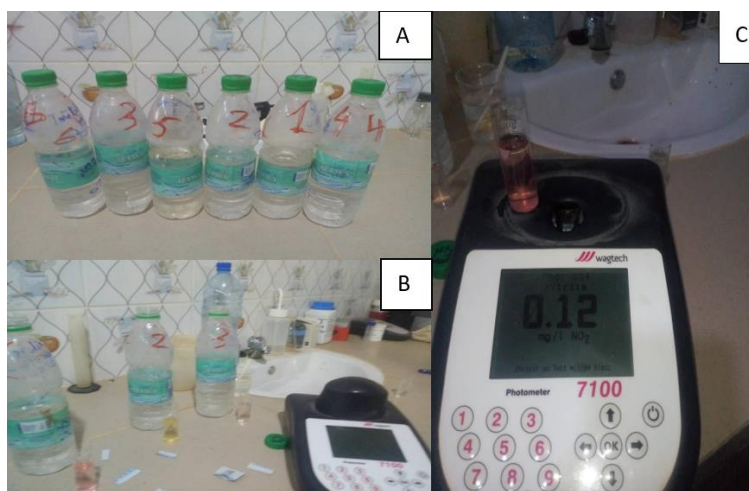
Elle est appelée dureté temporaire du fait qu'elle peut être éliminée par chauffage de l'eau. Un sachet de bromocrésol est ajouté dans l'échantillon d'eau comme indicateur coloré. Ainsi, l'apparition d'une coloration verte indique la présence des bicarbonates. La titration est faite à l'acide sulfurique à 1,6N jusqu'à apparition d'une couleur rouge clair qui est le point équivalent. La valeur obtenue correspond à la dureté temporaire. Ce même procédé a été utilisé pour les carbonates mais en utilisant la phénolphtaléine comme indicateur coloré.

### **2.3.3. Photométrie**

Le principe repose sur le prélèvement de 10 ml d'eau dans une petite cuve, auquel on ajoute un sachet de réactif correspondant. En présence de l'ion recherché, on a l'apparition d'une coloration. Cette cuve est ensuite introduite dans le spectrophotomètre 7100 en sélectionnant la longueur d'onde et en calibrant l'appareil avec une eau sans réactif comme « blanc » (*Figure 3*). La teneur en ion recherché s'affiche sur le cadran de l'appareil selon la loi de Lee Lambert (1760) : « en spectrophotométrie, la teneur en ion recherché est proportionnelle à la quantité d'électricité absorbée par le passage du spectre lumineux traversant la cuve, à l'épaisseur de la cuve et à la longueur d'onde de l'ion à analyser ». Le *Tableau 1* présente la procédure d'analyse des différents éléments.

**Tableau 1 : Méthodes de mesure des éléments chimiques**

Eléments	Longueur d'onde	Réactif correspondant	Couleur	Valeur
Chlorures	31 nm	Sachet Diphenylcarbazone	Blanc-sale	Lecture
Florures	14 nm	5 ml de SPDNS	Rouge-claire	Lecture
Nitrites	64 nm	Sachet de Nitriver 3	Rose	Lecture x 3,3
Nitrates	63 nm	Sachet de Nitriver 5	Café-clair	Lecture x 4,4
Sulfates	32 nm	Sachet de Sulfaver 4	Blanche	Lecture
FeTot	19 nm	Sachet de Ferrover	Rouge	Lecture



**Figure 3 :** Analyses des échantillons d'eau (A : Echantillons en bouteille, B : Préparation des réactifs et C : Analyse avec le photomètre)

## 2.4. Interprétation des résultats

### 2.4.1. Contrôle de précision de l'analyse

La Balance ionique (BI) a été utilisée pour contrôler la validité des résultats analytiques des eaux. Ainsi, lorsque la valeur de la BI, obtenue par la formule 2 (Souleymane et al. 2020), est  $\leq 6\%$ , les résultats des analyses sont considérés valides, ce qui permet de poursuivre le traitement (Essouli et al. 2020).

$$BI = \frac{\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions}}{\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}} \times 100 \quad (2)$$

### 2.4.3. Analyse statistique

L'analyse statistique est basée sur la méthode d'analyse en composante principale. Elle a pour but de comprendre les corrélations qui existent entre les différentes variables prises deux à deux, de choisir les différents axes factoriels, la contribution de chaque variable à la constitution des axes factoriels et les différents mécanismes qui interviennent dans la minéralisation des eaux souterraines (Moussa et al. 2015). Le seuil de corrélation significative a été fixé en considérant le coefficient de corrélation critique  $r=0.64$  (Amadou et al. 2014). Les résultats analytiques ont fait l'objet de



projection sur le diagramme de Piper (1953) et celui de Schoeller-Berkaloff (Adda, 2013) pour connaître le faciès des eaux.

#### 2.4.4. Détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation

Pour évaluer l'aptitude à l'irrigation de l'eau de la vallée de Boghol, trois (3) approches ont été abordées :

(i) *évaluation du risque lié au sodium* dans les eaux d'irrigation, en déterminant le taux d'absorption de sodium (SAR – sodium absorption ration) selon la formule 3 de Richards (1954) (Abbou et al., 2014) :

$$SAR (meq/l) = \frac{Na^{2+}}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (3)$$

Où :

$Na^{2+}$  : concentration en ion sodium ;

$Ca^{2+}$  : concentration en ion calcium ;

$Mg^{2+}$  : concentration en ion magnésium.

Les résultats ont été portés dans un tableau afin de dresser un diagramme dit de Richard 1954 (Adda, 2013) en fonction de la conductivité électrique. Ce diagramme permet de déterminer les classes des aptitudes des eaux à l'irrigation.

(ii) *Calcul du pourcentage du sodium* à travers la formule 4 (Souleymane et al. 2020) et établissement du diagramme de Wilcox (1955) qui permet de faire la classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation.

$$Na\% = \frac{(Na^{+}+K^{+})}{(Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^{+}+K^{+})} \times 100. \quad (4)$$

Où :

$Na^{2+}$  : concentration en ion sodium ;

$Ca^{2+}$  : concentration en ion calcium ;

$Mg^{2+}$  : concentration en ion magnésium ;

$K^{+}$  : concentration en ion potassium.

(iii) *Détermination de la concentration du Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)* par la formule (5) d'Eaton (1950). Exprimé en méq/L, le RSC permet de définir le risque de salinisation et de sodisation des sols.

$$RSC = [HCO_3^- + CO_3^{2-}] - [Ca^{2+} + Mg^{2+}] \quad (5)$$

Où:

$HCO_3^-$  : Concentration des bicarbonates ;

$CO_3^{2-}$  : Concentration des carbonates ;

$Ca^{2+}$  : Concentration des calcium ;

$Mg^{2+}$  : Concentration des magnesium.

Les valeurs obtenues du RSC sont ensuite comparées au **Tableau 3**.

**Tableau 3** : Classification de l'aptitude des eaux pour l'irrigation selon les valeurs de RSC (Abdel, 2018)

Valeur du RSC	Aptitude de l'eau pour l'irrigation
] ← - 1,25]	Eau de bonne qualité pour l'irrigation
] 1,25 – 2,50 [	Eau de qualité moyenne pour l'irrigation
[2,50 - → [	Eau salée et impropre pour l'irrigation

### 3. Résultats

#### 3.1. Paramètres organoleptiques

Les eaux de la vallée de Boghol sont de couleur claire et limpide. Elles ne contiennent pas matières en suspension (MES) visibles à l'œil nu. Ces eaux ne présentent pas d'odeur particulière. Aucun gout particulier n'a été constaté. Elles gardent les mêmes qualités organoleptiques après leur conservation dans des conditions naturelles pendant plusieurs mois.

#### 3.2. Paramètres physiques

L'analyse des résultats des paramètres physiques des eaux de la vallée de Boghol présentés dans le **Tableau 4** montre que les pH sont compris entre 6,74 à 6,98 et tandis que la température moyenne des eaux est de 24,21°C. Quant à la conductivité électrique, elle varie entre 220,50 à 606,3 µs/cm, avec une moyenne de 375,63µs/cm.

**Tableau 4** : Paramètres physiques des échantillons d'eau prélevée

Puits	Température (°C)	pH	CE (µs/cm)
Akassaba	24,2	6,74	606,3
Inkenas	24,1	6,8	248,9
Intabangawen	24,3	6,86	366,1
Tachagor	24,3	6,84	275,6
Adam	24,3	6,84	220,5
Inatambar	24,1	6,98	536,4

#### 3.3. Paramètres chimiques

Le **Tableau 5** présente les résultats d'analyse des paramètres chimiques des eaux de la vallée. L'analyse du tableau montre que les valeurs moyennes des cations des eaux s'établissent dans l'ordre d'abondance suivant :  $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > k^{+} > Fe$  T, avec respectivement 65,06 mg/L, 16,30 mg/L, 14,51 mg/L, 4,46 mg/L et 0,23 mg/L. Quant aux anions, leurs valeurs moyennes sont dans l'ordre croissant suivant :  $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-} > NO_3^{-} > NO_2^{-}$  avec respectivement 179,67 mg/L, 57,67 mg/L, 15,17 mg/L, 10, 65 mg/L et 0,22 mg/L. La balance ionique est comprise entre 1,34 et 5,25.

**Tableau 5 :** Paramètres chimiques des eaux de la vallée de Boghol (fevrier, 2021)

Puits	Cations (mg/L)				Anions (mg/L)						BI
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	k <sup>+</sup>	Fer T	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
<b>Akassaba</b>	96	36,48	5,38	0,2	16,19	136	25,52	0,39	18	296	1,34
<b>Inkenas</b>	39,59	3,89	4,53	0,3	14,47	47	6,16	0,13	15	118	5,9
<b>Intabangawen</b>	43,56	29,18	4,83	0,3	13,06	44	4,4	0,09	4	188	4,9
<b>Tachagor</b>	55,2	0	3,32	0,15	19,22	30	16,36	0,23	26	104	4,99
<b>Adam</b>	58,4	5,83	3,37	0,30	6,53	26	4,4	0,26	23	76	5,25
<b>Inatambar</b>	97,6	11,67	5,3	0,2	26,7	63	7,04	0,19	5	296	5,24
<b>Moyenne</b>	<b>65,06</b>	<b>14,51</b>	<b>4,46</b>	<b>0,23</b>	<b>16,3</b>	<b>57,67</b>	<b>10,65</b>	<b>0,22</b>	<b>15,17</b>	<b>179,67</b>	<b>4,6</b>

### 3.4. Dureté totale

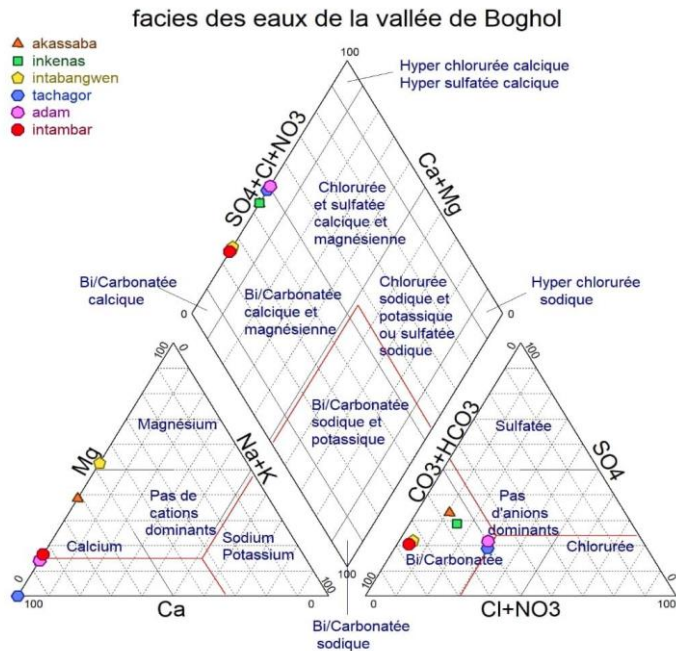
Le *Tableau 6* exprime la dureté des eaux. On constate qu'au niveau des puits Akassaba et Inatambar situés respectivement en amont et en aval de la vallée, les eaux sont dures contrairement aux autres ouvrages où elles sont douces. Les valeurs de la dureté des eaux des puits Inkenas et Inatambar sont comprises entre 79,18 mg/L et 195,20 mg/L.

**Tableau 6 :** Dureté des eaux

Puits	Titre hydrotimétrique (°dh)	Degrés français (°F)	Classe des eaux
Akassaba	192	19,2	Eaux dures
Inkenas	79,18	7,918	Eaux douces
Intabangawen	87,12	8,712	Eaux douces
Tachagor	110,4	11,04	Eaux douces
Adam	116,8	11,68	Eaux douces
Inatambar	195,2	19,52	Eaux dures

### 3.5. Faciès hydro chimique des eaux

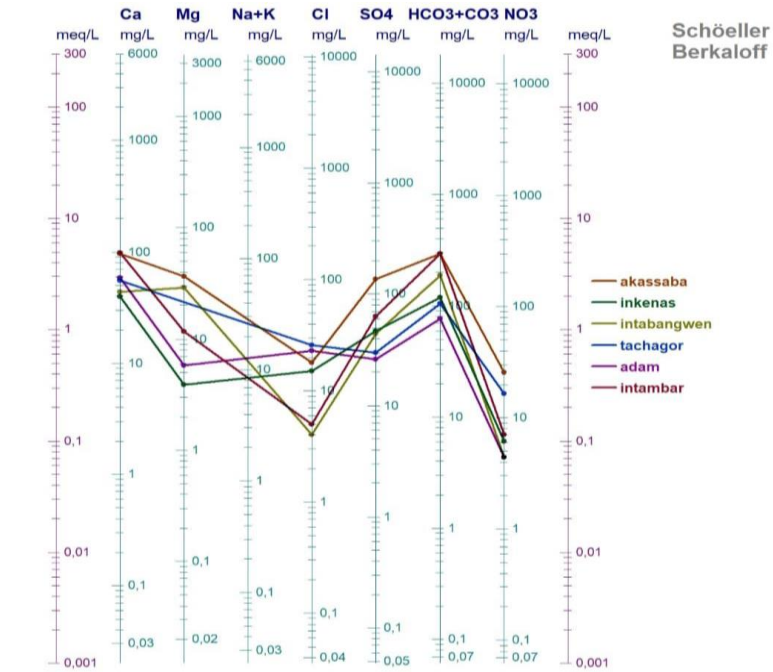
Le diagramme (*Figure 4*) montre que les anions et cations dominants sont respectivement le HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et le Ca<sup>2+</sup>. Les autres ions sont dans des proportions acceptables. On peut ainsi dire que toutes les eaux de la vallée de Boghol ont un faciès chimique bicarbonaté calcique.



**Figure 4 :** Diagramme de Piper des eaux de la vallée de Boghol

### 3.6. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme (*Figure 5*) montre deux (2) pics situés sur les axes des calciums et bicarbonates traduisant ainsi leur caractère bicarbonaté calcique. Les valeurs les plus importantes sont observées au niveau des puits Akassaba et Inatambar. Cependant, les plus faibles valeurs sont sur les axes des chlorures (puits Intabangawen et Inatambar) et nitrates (puits Adam et Intabangawen). Les courbes évoluent en parallèle, sauf au niveau de l'axe des chlorures où elles s'entrecroisent.



**Figure 5 :** Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la vallée de Boghol

### 3.7. Corrélation entre les paramètres physicochimiques des eaux

Le *Tableau 7* représente la matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques. Cette matrice montre des fortes corrélations positives entre :

- CE et  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ;
- $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ;
- $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ;
- $\text{K}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ;
- $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ;
- $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ .

On observe aussi des fortes corrélations négatives entre le :

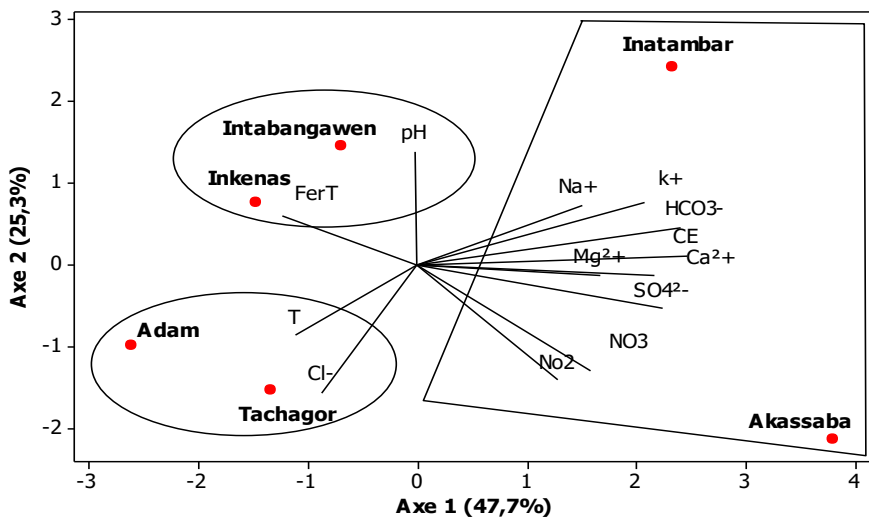
- $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ;
- le Fer T et  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ .

**Tableau 7 : Matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques**

Variables	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Fer T	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
pH	1.00											
CE	0.06	1.00										
Ca <sup>2+</sup>	0.20	<b>0.86</b>	1.00									
Mg <sup>2+</sup>	-0.31	<b>0.72</b>	0.39	1.00								
K <sup>+</sup>	0.08	<b>0.84</b>	0.55	<b>0.71</b>	1.00							
Fer T	-0.10	-0.45	-0.57	0.05	-0.02	1.00						
Na <sup>+</sup>	0.55	0.58	0.56	-0.03	0.47	<b>-0.69</b>	1.00					
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.43	<b>0.86</b>	<b>0.70</b>	<b>0.76</b>	<b>0.73</b>	-0.31	0.24	1.00				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.57	0.56	0.52	0.41	0.21	<b>-0.69</b>	0.23	<b>0.76</b>	1.00			
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0.47	0.46	<b>0.66</b>	0.30	0.04	-0.48	-0.03	<b>0.66</b>	<b>0.80</b>	1.00		
Cl <sup>-</sup>	-0.53	-0.43	-0.13	-0.43	<b>-0.74</b>	-0.29	-0.37	-0.12	0.41	0.55	1.00	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.18	<b>0.98</b>	<b>0.82</b>	<b>0.69</b>	<b>0.90</b>	-0.36	0.63	<b>0.79</b>	0.42	0.30	-0.57	1.00

### 3.8. Analyse factorielle

Les données sur les analyses physico-chimiques des eaux des puits et des localités soumises à l'analyse en composante principale (ACP) révèlent que, les deux premiers axes concentrent 70% de la variance totale. L'axe 1 centralise à lui seul 47,7% et le deuxième axe 25,3% de l'information contenue dans les axes (**Figure 6**). L'analyse du plan factoriel montre que les eaux des puits des villages de Inatambar et Akassaba contiennent plus de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CE, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et Ca<sup>2+</sup> alors que ceux de Intabangawen et Inkenas ont des valeurs de pH et de Fer T plus élevées. Tandis que les eaux des puits des villages de Adam et de Tachagor présentent les valeurs les plus élevées de T et de Cl<sup>-</sup>.



**Figure 6 : Plan factoriel des paramètres physicochimiques**



### 3.9. Aptitude des eaux à l'irrigation

#### 3.9.1. Méthode du taux d'absorption de sodium (SAR)

Les valeurs du SAR calculées à partir des résultats analytiques sont présentées dans le **Tableau 8**. Elles sont comprises entre 0,3 meq /L (Adam) et 1,0 meq /L à Tachagor et Inatambar.

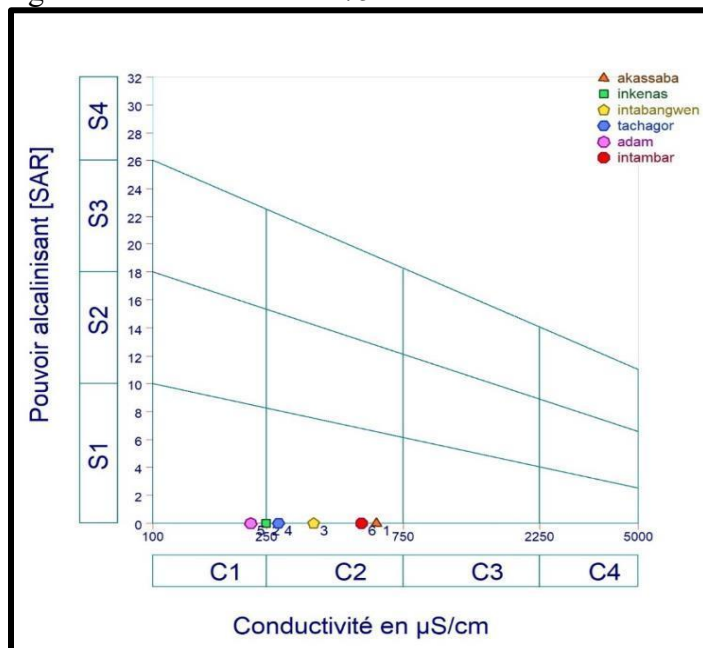
Ces valeurs correspondent à celles des eaux ayant un faible risque de salinisation des sols.

**Tableau 8 : Valeurs du SAR**

Puits	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	(Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> )/2	(Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> )/2 <sup>1/2</sup>	SAR	CE
Akassaba	2,4	1,5	0,7	3,9	2,0	1,4	0,5	606,3
Inkenas	1,0	0,2	0,6	1,2	0,6	0,8	0,8	248,9
Intabangawen	1,1	1,2	0,6	2,3	1,2	1,1	0,5	366,1
Tachagor	1,4	0,0	0,8	1,4	0,7	0,8	1,0	275,6
Adam	1,5	0,2	0,3	1,7	0,9	0,9	0,3	220,5
Inatambar	2,4	0,5	1,2	2,9	1,5	1,2	1,0	536,4

Les valeurs du SAR et de la conductivité à 25°C montrent les classes d'appartenance des échantillons (**Figure 7**). L'analyse de cette figure permet de distinguer deux classes (2) :

- la classe **C1S1** : qui est caractéristique d'une eau d'excellente qualité pour l'irrigation et ne présente aucun risque pour les cultures et les sols. Elle représente environ 25% des échantillons ;
- la classe **C2S1** qui représente une eau de bonne qualité pour l'irrigation couvrant environ 75% des échantillons.



**Figure 7 : Diagramme de Richards pour les eaux de la vallée**

### 3.9.2. Méthode de Wilcox

Les valeurs exprimées en pourcentage (%) des teneurs en sodium et de la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) portées sur le diagramme de Wilcox (*Figure 8*), montrent que les eaux de la vallée de Boghol appartiennent à la catégorie des eaux de qualité excellente pour l'irrigation.

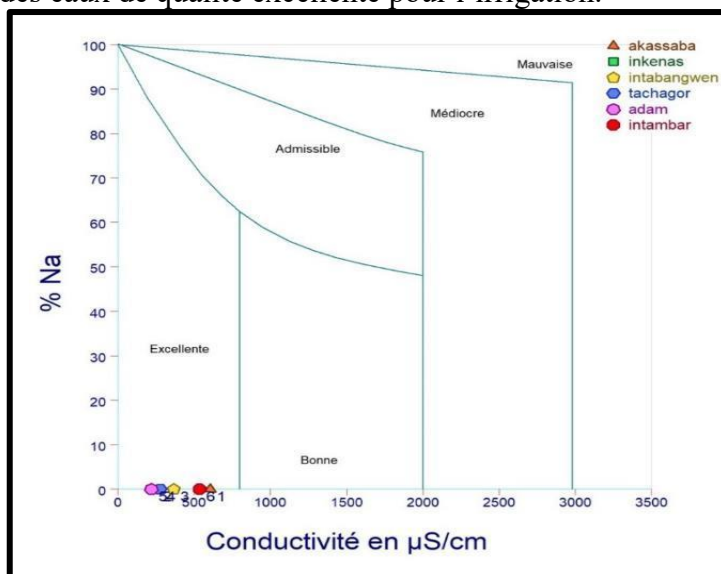


Figure 8 : Diagramme de Wilcox pour les eaux de la vallée de Boghol

### 3.9.3. Méthode de carbonate de sodium résiduel (RSC)

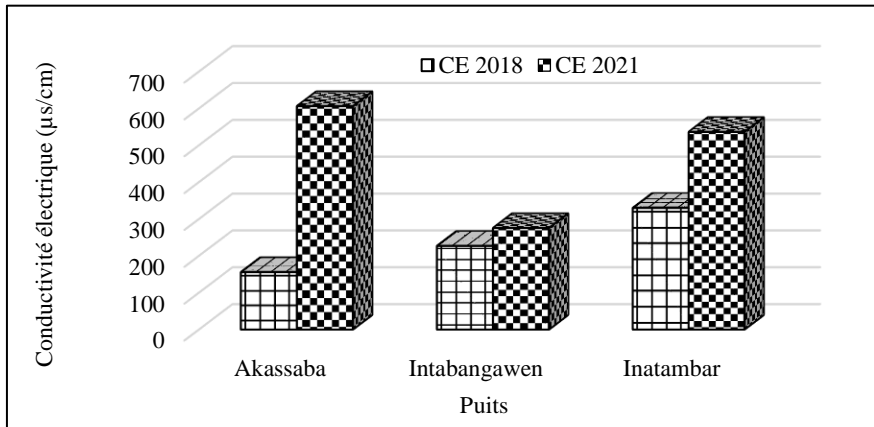
Les valeurs du RSC des eaux de la vallée de Boghol (*Tableau 9*) correspondent à une eau de bonne qualité pour l'irrigation. L'analyse des résultats montre que les valeurs des cinq (5) puits sont inférieures à 1,25, montrant que les eaux de ces ouvrages sont aptes pour la pratique de l'irrigation. Cependant, au niveau du puits Inatambar, la valeur du RSC est comprise entre 1,25 et 2,5, valeurs correspondant à la classe des eaux de qualité moyenne pour l'irrigation.

Tableau 9 : Valeurs de RSC des eaux de la vallée de Boghol

Puits	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	RSC
Akassaba	2,40	1,52	4,85	3,92	4,85	0,93
Inkenas	0,99	0,16	1,93	1,15	1,93	0,78
Intabangawen	1,09	1,22	3,08	2,30	3,08	0,78
Tachagor	1,38	0,00	1,70	1,38	1,70	0,32
Adam	1,46	0,24	1,25	1,70	1,25	-0,46
Inatambar	2,44	0,49	4,85	2,93	4,85	1,93

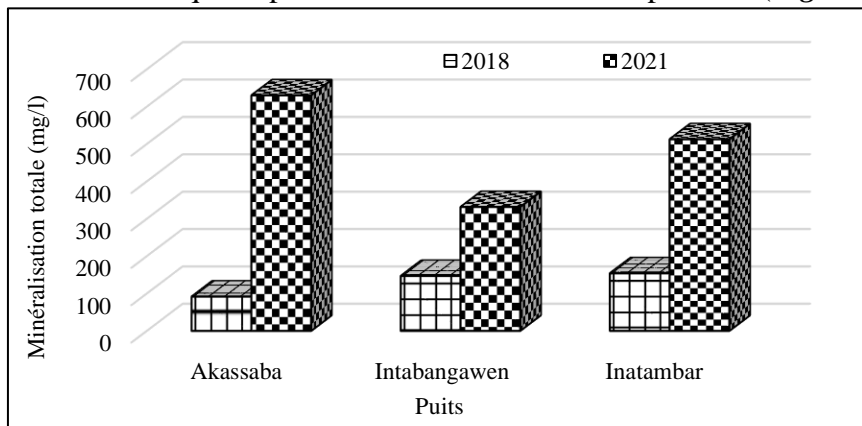
### 3.10. Evolutions spatiotemporelles de la conductivité électrique et de la minéralisation totale

La **Figure 9** illustre les variations moyennes annuelles de la conductivité électrique sur la période 2018-2021. On constate une augmentation de la conductivité électrique sur les trois ouvrages échantillonnés. Les valeurs élevées sont observées sur les eaux des puits amont et aval. La variation au niveau du puits Intabangawen dans le sous bassin central de la vallée reste légère.



**Figure 9 :** Evolution spatiotemporelle de la conductivité électrique

Tout comme pour la conductivité électrique, les variations significatives de minéralisation sont observées dans les parties amont et aval de la vallée tandis que la partie centrale reste moins importante (**Figure 10**).



**Figure 10 :** Evolution spatiotemporelle de la minéralisation totale

### 3.11. Evolution spatiotemporelle des nitrates

La **Figure 11** montre l'évolution de la quantité des nitrates dans les eaux de la vallée. On observe ainsi, pour les puits Akassaba et Inatambar une

forte augmentation du taux des nitrates entre les années 2018 et 2021. On constate cependant, une légère diminution dans le puits Tachagor.

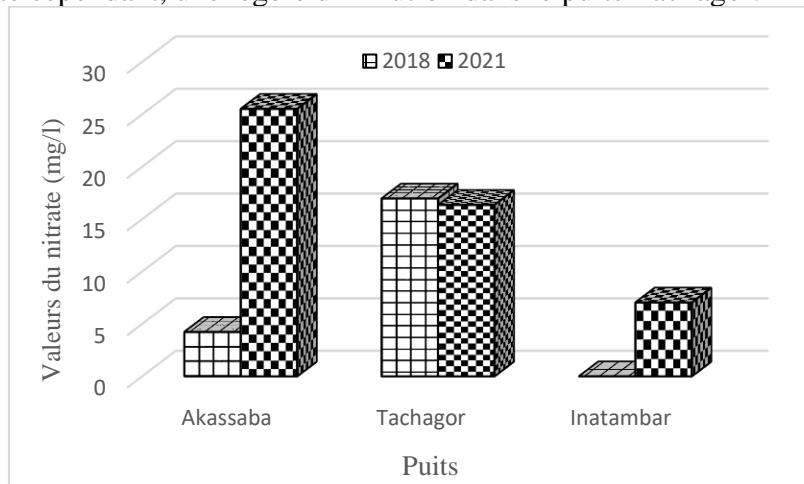


Figure 11 : Evolution spatiotemporelle des nitrates

## 4. Discussion

### 4.1. Paramètres physiques

Les résultats d'analyse des paramètres physiques montrent que les températures des eaux dans les puits sont proches de celle de l'air ambiant qui était de 24,9 °C à la date de prélèvement correspondant au 17 février 2021. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles trouvées par BuNEC (2018) dans la même vallée et qui varient entre 26,5 et 31,7°C. Les températures des eaux de la vallée sont caractéristiques des températures atmosphériques moyennes observées dans les régions arides à semi-arides Abdou (2012) et Alhassane (2018). Les eaux de la nappe alluviale sont légèrement acides à neutre avec des pH qui varient entre 6,74 et 6,98. Ces valeurs sont similaires à celles trouvées par BuNEC (2018) et Alhassane (2018) respectivement dans la vallée de Boghol et celle de Timia, toutes dans l'Aïr. La conductivité électrique est relativement faible (entre 220,50 et 606,30  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) montrant ainsi que les eaux de la vallée sont moyennement minéralisées. Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées dans cette vallée par BuNEC (2018). Cette différence est conforme avec la variation de la minéralisation totale des eaux qui est donc responsable de la croissance de la conductivité électrique. L'augmentation de la conductivité électrique pourrait provenir de l'intensification de l'irrigation grâce à l'utilisation des engrais chimiques. En effet, jadis l'agriculture irriguée se pratiquait avec des moyens traditionnels et à petite échelle (AcSSA, 2011). Actuellement d'importantes superficies sont exploitées sur des sols pauvres en matière organiques (PromAP, 2015) nécessitant du coup un apport important en engrais chimiques. Bien que les

valeurs actuelles de la conductivité soient conformes aux normes de l'OMS (2011), leur probable évolution reste préoccupante (Zerhouni *et al.* 2015).

#### **4.2. Paramètres chimiques des eaux et analyses statistiques**

La minéralisation assez élevée observée au puits Akassaba peut être liée à la profondeur de la nappe qui est faible en période de haute eau avec des valeurs de niveau statique 246 cm et 80 cm respectivement en 2019 et 2020. Ainsi, le lessivage par les eaux de pluie des éléments en surface atteint facilement la nappe, surtout que ce puits est situé dans une zone à forte activité maraichère. Cette situation concerne également le puits Inatambar où la nappe a connu une remontée avec d'environ 1023 cm pendant la saison des pluies en 2019. Selon Berdai *et al.* (2004), les principaux ions susceptibles de provenir des engrais sont essentiellement les nitrates, les chlorures, les sulfates et le potassium. D'où l'augmentation du taux de nitrate dans les puits Akassaba et Inatambar. Ce qui est en adéquation avec Nouayti *et al.* (2015) montrant que de nombreuses activités humaines peuvent générer des apports de sulfates dans l'eau souterraine à travers l'application d'engrais sulfatés. Les sols de l'Air se caractérisent par une présence très faible quantité (0,07-0,35%) de matière organique (PromAP, 2015) d'où l'utilisation intensive des engrais chimiques par les producteurs maraîchers. Berdai *et al.* (2004) ont montré que la mise en culture intensive des terres agricoles au niveau des périmètres irrigués a engendré, depuis quelques années, l'apparition du problème de pollution des ressources en eau souterraine par les ions nitrates. En outre, les roches formants le réservoir contribuent à la minéralisation de cette eau comme le montre le regroupement des éléments dans un même ensemble en ACP. Cette affinité entre les paramètres, traduit qu'ils sont de mêmes origines qui sont d'une part interne, liée aux roches existantes au sein de l'alluvion et d'autre part externes due aux activités anthropiques. La forte corrélation entre la conductivité et les ions majeurs montre que ceux-ci rentrent dans le processus de minéralisation des eaux (Sandao, 2010). Au niveau de l'axe des nitrates, on remarque le croisement de ces lignes, ceci est dû aux activités anthropiques qui touchent les puits d'une manière sélective (Layachi, 2008).

#### **4.3. Aptitude des eaux à l'irrigation**

L'analyse de l'aptitude des eaux souterraines de la vallée à l'irrigation a montré que celles-ci sont de qualité excellente à bonne pour l'irrigation et ne présentent aucun risque de salinisation pour les sols. Ces résultats sont légèrement proches de ceux trouvés par Alhassane (2018) dans la vallée de Timia. Cependant, avec l'utilisation abusive des produits chimiques par les producteurs, le seuil de pollution pourrait être rapidement atteint, ce qui impactera le sol et les eaux, et par conséquent les cultures. Avec la dynamique actuelle, les eaux souterraines de vallée courent un risque de minéralisation

pouvant dépasser le seuil indiqué par l'OMS (2011), et par conséquent seront impropres à l'irrigation. Ceci conduira à un changement de type de cultures pratiquées (oignon, tomate, pomme de terre, laitue, etc.) pour migrer vers celles qui sont plus tolérantes à la pollution. D'où la nécessité de procéder au contrôle régulier de l'utilisation des engrais chimiques (Touati et *al.* 2018).

## Conclusion

Dans la vallée de Boghol, l'agriculture irriguée est la principale activité et occupe la grande majorité de la population. Elle se pratique essentiellement avec l'eau souterraine des nappes peu profondes qui subissent de plus en plus de pression. La présente étude montre que dans cette vallée, les eaux ont une très bonne qualité organoleptique. Le pH est globalement à tendance neutre. Quant à la conductivité électrique, elle est faible et les valeurs les plus élevées sont trouvées dans les puits Akassaba et Inatambar respectivement en amont et en aval dans la vallée. Il est observé des fortes corrélations positives entre CE et  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  contenus dans les ouvrages Akassaba et Inatambar. Ces eaux présentent toutes un faciès chimique bicarbonaté calcique et leur aptitude à l'irrigation est bonne. Cependant il est observé une augmentation du taux de minéralisation et des nitrates entre les années 2018 et 2021 dans presque tous les ouvrages. Ainsi avec cette situation il est indispensable d'adopter des bonnes pratiques d'irrigation et de procéder à un contrôle régulier la qualité des eaux afin de garantir leur durabilité.

## Remerciements

Les auteurs remercient Mr Hachimou Ali et Dr Zounon Christian Serge Félix respectivement laborantin à la DDH/A de Tahoua et chercheur à l'INRAN de Maradi pour leurs contributions à la réalisation de ce travail.

## References:

1. Abbou, M. B., Fadil, F., & El Haji, M., (2014). Évaluation de la qualité des cours d'eau de la ville de Taza utilisés dans l'irrigation des cultures maraîchères (Maroc). *Journal of Applied Biosciences* 77, 6462 - 6473
2. Abdou, B. M. S, (2012). Evaluation des ressources en eau en eau souterraine dans le bassin de Dargol (Liptako-Niger). Thèse de Doctorat, Université de Liège et Université Abdou Moumouni de Niamey, Belgique, 265 p
3. AcSSA. (2011). Etude sur les possibilités de développer la culture du blé et du maïs dans la région d'Agadez (Communes de Tchirozérine, Dabaga et Agadez). Rapport Final, 28p



4. Adda, M., (2013). Caractérisation hydro chimique et pollution des eaux souterraines en contexte urbain : cas de l'agglomération Oranaise (Algérie). Mémoire de Magistère. Université d'Oran, Algérie, 143p
5. Alhassane, I., (2018). Evaluation des ressources en eau souterraines du bassin de Timia (Massif de l'Aïr, Nord du Niger) : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat en hydrogéologie, Faculté des sciences et technique, université Abdou Moumouni de Niamey (Niger) 238 p
6. Amadou, H., Laouali, M. S., & Manzola, A.S. (2014). Caractérisation hydro chimique des eaux souterraines de la région de Tahoua (Niger). *Journal of Applied Biosciences* 80, 7161 - 7172
7. Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El, R. M., (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*. n°14, 21-36
8. Berdai, H., Soudi, B., & Bellouti A., (2004). Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : cas du Tadla. *Revue H.T.E.* N° 128 65-87
9. Bhurtun, P. (2018). Dynamique de la qualité des masses d'eau dans le bassin Artois-Picardie-Compréhension des mécanismes actuels et prévention des évolutions dans un contexte de changement climatique ; Thèse de doctorat, Université de Lille. 215p
10. Bhurtun, P., (2018). Dynamique de la qualité des masses d'eau dans le bassin Artois-Picardie-Compréhension des mécanismes actuels et prévention des évolutions dans un contexte de changement climatique ; Thèse de doctorat, Université de Lille, 215p
11. BuNEC. (2018). Suivi et contrôle des travaux de réalisation de dix-huit (18) forages piézométriques au niveau de certaines vallées dans le département de Tchirozérine (Région d'Agadez), Rapport de la mission, 65p
12. Dardel, F. (2022). Analyse d'eau, détails (dardel.info)
13. Douaoui, A., Hartani, T., (2007). Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Troisième atelier régional du projet Sirma. Nabeul, Tunisie, 5 p
14. DRGR. (2016). Plan d'aménagement du site de Boghol commune rurale de Dabaga. Rapport d'étude, 29p
15. Ehrnrooth, A., Dambo, L., & Jaubert, R., (2011). Projets et programmes de développement de l'irrigation au Niger (1960-2010) : Eléments pour un bilan, Rapport d'étude. (CEIPI). 115p.
16. Essouli, O. F., Miyouna, T., Kessimpou, E. P., Boudzoumou, F., Matini, L., Faye, S. (2020). Hydrochimie des eaux de surface et souterraines de la partie Nord de Brazzaville : origine et processus de

- minéralisation. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l’Ing., Vol. 2(1), pp. 1-15. ISSN 2630-1164
17. Essouli, O. F., Miyouna, T., Kessimpou, P. E., Boudzoumou, F., Matini, L., & Faye, S., (2020). Hydrochimie des eaux de surface et souterraines de la partie Nord de Brazzaville : origine et processus de minéralisation. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l’Ing., Vol. 2(1) 1-15.
  18. Gouaidia L., (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physicochimiques des eaux d’une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba, 136p
  19. Gouaidia, L., Laouar M. S., Defaflia, N., & Zenati, N., (2017). Origine de la minéralisation des eaux souterraines d'un aquifère dans une zone semi - aride, cas de la nappe de la Merdja, Nord - Est Algérien. International Journal of Environment & Water. Vol 6 (2) 104-118
  20. Karimoune, S., Tanko, O. K. S., & Issiaka, H., (2017). Variabilités climatiques et évolution de l’occupation des sols dans l’oasis de Timia, Geo-Eco-Trop, 41 (3) 359 - 374
  21. Mamadou, A., (2014). Impacte de la petite irrigation sur la nappe de la vallée de Tabelot/Agadez/Niger. Mémoire de master en GIRE, Centre régional AGRHYMET/CILSS, Niamey (Niger) 52p
  22. Moussa, S. R., Alma, M. M. M., Laouali, M.S, Natatou, I., & Habou, I., (2018). Caractérisation physico-chimique des eaux des aquifères du Continental Intercalaire / Hamadien et du Continentalsiem Terminal de la région de Zinder (Niger). / Int. J. Biol. Chem. Sci. 12(5) 2395 - 2411
  23. Nazoumou, Y., Favreau, G., Adamou, M. M., & Maïnassara, I., (2016). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger ? Cah. Agric. 25 (1) 15003
  24. Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M., (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc). J. Mater. Environ. Sci. 6 (4) 1068-1081
  25. OMS. (2011). Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. 564p.
  26. PromAP, (2018). Schéma d’aménagement de la vallée de Boghol, Rapport d’étude, 56p
  27. PromAP. (2015). Etude sur la gestion durable du sol et la gestion rationnelle de l’eau d’irrigation sur les sites d’intervention du PromAP. Rapport d’étude, 92p
  28. Sandao, I., (2013). 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 Abdou Moumouni de Niamey, 178p
29. Savoie, D., (2014). Pistes de solutions pour réduire l'utilisation des pesticides ou les risques de contamination de l'eau. Colloque sur la pomme de terre, 4p
  30. Souleymane, I. M. S., Abdou, B. M. S., Alhassane, I., & Boureima O., (2020). Caractérisations hydrogéochimiques et qualités des eaux de la nappe phréatique du haut bassin versant de la Korama, commune de Droum /région de Zinder (Niger /Afrique de l'Ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (5) 1862-1877
  31. Touati, M., Benhamza, M., & Bouhafs, F., (2018). Impact de la pollution agricole sur la qualité des eaux souterraines dans le périmètre irrigué Guelma-Bouhegouf (Nord Est Algérien). *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 37 103-112
  32. Zerhouni, J., Rhazi, F. F., & Aboukacem, A., (2015). Qualité et facteurs de risque de pollution des eaux souterraines périurbaines de la ville de Sebaa Ayoun (Meknès, Maroc). *Larhyss Journal.* n°22 91-107