

Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de kenadsa et Galbelaouda (sud - ouest de l'Algérie)

B.Nasri ^{(a, b)*}, A. Benatallah ^(a), S. Kalloum^(a), M. Benhamza^(c,b)

^(a)Université Ahmed Draïa Adrar, Adrar Algérie, 01000
Département sciences de la matière

Laboratoire Énergie, Environnement et Systèmes d'Information Université Ahmed Draïa
Adrar, Algérie.

^(b)Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, BP 364 Adrar Algérie 01000

^(c)Université Kasdi Merbah Ouargla Algérie 30000.

*Corresponding author: bnasri14@gmail.com ; Tel.: +213 0662 22 81 60/+ 213 0697 76 53 85; Fax: +213 049 36 0395

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 08/10/2017

Accepted : 20/03/2018

Key Words:

Groundwater;
Hydrochemistry;
Mineralization;
Nitrates;
GIS.

Mots clés :

Eaux souterraines;
Hydrochimie;
Minéralisation;
Nitrates;
SIG.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: In order to assess the physico-chemical quality of groundwater and to give an explanation for the phenomena which are at the origin of the excessive mineralization, In the region of Kenadsa and Galbelaouda (South - Western of Algeria), and to establish a mapping of water quality of the various aquifers of this region. Groundwater sampling campaign was carried out during the periods of April to May 2013, at the water points in different aquifers in this area. A total of 172 water samples were collected and analyzed in the laboratory of the National Agency for Hydraulic Resources (ANRH) of Adrar. Thirteen parameters were analyzed: pH, Conductivity, TDS, Calcium, Magnesium, Sodium, Potassium, Chlorides, Sulphates, Carbonates and Bicarbonates, Nitrates, and Total Hardness. A Geographic Information System (GIS) was used for the elaboration of thematic maps.

This study has shown that these waters are characterized by high mineralization varied between 660 and 10400 mg / l with an average of 3552.66 mg / l. These analyzes also show that 98% of the points studied present TDS that exceed the standards of the World Health Organization (WHO). This study also revealed contamination with nitrates in some wells of this region where we found values in the order of 250 mg / l that exceeded the standard (50 mg / l) [1]. These data were collected in a GIS database to allow for periodic monitoring of groundwater quality.

Résumé: Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines et de donner une explication aux phénomènes qui sont à l'origine de la minéralisation excessive dans la région de Kenadsa et Galbelaouda (Sud – Ouest de l'Algérie), et d'établir une cartographie de la qualité des eaux des différentes zones de cette région. Une campagne de prélèvement a été effectuées durant la période d'avril à mai 2013, au niveau des points d'eau des différentes aquifères de cette zone. Dans cette étude un total de 172 échantillons d'eaux ont été prélevées et analysées au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) d'Adrar. Treize paramètres ont été analysés: pH, Conductivité, total des sels dissous (TDS), Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Chlorures, Sulfates, Carbonates et

Bicarbonates, Nitrates, et la dureté totale. Un Système d'Information Géographique (SIG) a été utilisé pour l'élaboration des cartes thématiques.

Cette étude a montré que ces eaux sont caractérisées par une forte minéralisation qui varie entre 660 et 10400 mg/l avec une valeur moyenne de 3552.66 mg/l. Elle a montré aussi que 98 % des points étudiés présentent des TDS qui dépassent les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cette étude a mis également en évidence une contamination par les nitrates dans certains puits, où nous avons constaté des valeurs de l'ordre de 250 mg/l qui dépassent largement la norme (50 mg/l) [1]. Ces données ont été réunies dans une base de données (Système d'Information géographique) SIG pour permettre un suivi périodique de la qualité des eaux souterraines.

I. Introduction

Les hommes ont besoin d'eau salubre et de systèmes d'assainissement pour rester en bonne santé et préserver leur dignité [2]. L'eau n'est plus considérée comme un don, comme une ressource abondante et toujours disponible. De nombreux pays souffrent encore aujourd'hui de pénurie en eau potable. La croissance démographique et la dégradation de certaines ressources en eau douce en raison de l'activité humaine ou de changements climatiques ne favorisent pas la résolution de ce problème et tendent même à l'accroître. Un rapport récent du Fonds des Nations Unies pour L'Enfance (UNICEF) et de l'Organisation Mondiale de la Santé indique que 13 % de la population mondiale n'a pas accès à une source d'eau de qualité [3]. L'accès à une eau de boisson saine est une condition indispensable à la santé, un droit humain élémentaire et une composante clé des politiques efficaces de protection sanitaire [4].

Depuis des années, la protection et la conservation des milieux naturels, en particulier la qualité des eaux, est devenue actuellement une préoccupation majeure et un objectif principal dans les programmes de développement de l'État. En effet, le contexte de rareté croissante des ressources hydriques nationales et de dégradation de leur qualité a incité notre pays à accorder, parallèlement aux efforts soutenus en matière de développement et de gestion des ressources en eau, un intérêt particulier au contrôle de tous les types de pollution [5].

La dégradation du milieu naturel, notamment les aquifères, est devenue actuellement une inquiétude mondiale. En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile, et elles constituent dans les zones à climat aride une ressource vitale et par fois la seule source d'eau douce qui soit disponible. Le développement socioéconomique, la croissance démographique, la modernisation de l'agriculture et l'évolution industrielle entraînent un grand problème

de détérioration de la qualité des eaux souterraines [6]. Le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un phénomène évolutif dans l'espace et dans le temps, très difficilement maîtrisable.

Les ressources en eau souterraine dans la région de Kenadsa el Galbelaouda proviennent des aquifères situés principalement dans le calcaire du Turonien, le grès carbonifère, ainsi que des aquifères alluvionnaires peu profonds, situées à l'Oued Messouar. Ces eaux sont principalement destinées à l'irrigation et les usages domestiques, et aussi comme eau de consommation pour la plupart des régions rurales avoisinantes. Les résultats obtenus montrent que ces eaux ont une salinité élevée et peut atteindre (moy = 4,16 mg/l), ce qui engendre une mauvaise qualité à la potabilité et inutilisable pour l'irrigation [7].

L'objectif principal de notre étude est de compléter les études précédentes et de donner un aperçu sur l'état actuel de la qualité des eaux souterraines dans la région de Kenadsa et Galbelaouda, ensuite d'identifier les différents facteurs qui sont à l'origine de la pollution et à la minéralisation excessive liée au milieu naturel et à l'ensemble des processus d'origine anthropique et biogéochimique.

II. Materials and methods

II.1. Présentation de la zone d'étude

La région de Béchar est située dans le Sud-Ouest de l'Algérie au pied du revers méridional de l'atlas. Elle est à 950 km de la capitale Alger [8]. Elle est localisée entre les parallèles 27°N et 32°N d'une part et les méridiens 0°W et 5°W d'autre part. Sa superficie est de l'ordre de 164,881 km². Cette région compte une population déclarée d'environ 286,070 habitants en 2010. Avec un taux d'accroissement annuel de 3 % et une densité de 1,73

ceux de la région de Bechar, avec une augmentation des épaisseurs (Figure 4).

II.4.3 Cénomanién

Son épaisseur est de 15 m, il est constitué par marnes verdâtres et beiges surmontés par deux bancs métriques fossilifères.

II.4.4 Turonien

Il forme la corniche de la 1ère Barga. Ce sont des calcaires à rudistes, en bancs massifs, suivis de calcaires en plaquettes avec une épaisseur est de 45 m.

II.4.5 Quaternaire

Les terrains Quaternaires sont assez limités dans l'espace, ce sont principalement les alluvions des Oueds, les évaporites des Sebkhas et les dunes de sables.

Le principal affleurement est connu au niveau de Boukais. Il se présente comme un ancien massif apparaissant en boutonnière anticlinale, entouré au Nord, au Sud et à l'Ouest par des formations secondaires et à l'Est par une série assez complète du Paléozoïque. Le massif lui-même est constitué de pélites et de grès surmontés par des coulées basaltiques et andésitiques et des tufs volcaniques [14].

II.5. Aspect hydrogéologique

L'étude hydrogéologique réalisée par ANRH en 1995 a mis en évidence l'existence de plusieurs nappes dans cette région (Figure 5) [15].

II.5.1 Nappe du westphalien

La nappe du Westphalien se rencontre à une profondeur inférieure à 10 m, cette nappe devient subaffleurant au Nord, en particulier dans la zone de Kenadsa. Elle a été testée par trois sondages à faible profondeur et dont le débit n'excède pas 5 l/s par forage.

II.5.2 Aquifère des calcaires du Turonien

Les calcaires fissurés formant la Première Barga de Béchar constituent un repère morphologique régional. Cette formation carbonatée constitue un très bon aquifère à circulation de fissure, bien que son épaisseur soit faible (25 à 40 m). Ces calcaires fissurés sont localisés essentiellement dans la bordure sud du bassin de subsidence de Béchar-Kenadsa (environ 4000 km² qui représente le secteur oriental du grand bassin Crétacé d'Er-Rachidia Boudnib.

L'aquifère du Turonien contient la principale nappe de la région, libre en bordure, elle devient captive vers le centre du bassin. Cette nappe reçoit une bonne alimentation qui peut se faire soit directement par les eaux de pluie, soit indirectement du haut, à partir de nappe superficielles.

La réserve de cette nappe est certainement considérable et l'importance de son débit se traduit par le fait qu'elle alimente les sources les plus importantes du bassin

La source de Boukaïš, constitue l'exutoire des calcaires turoniens par l'intermédiaire d'une grande faille correspondant à la flexure saharienne. Cette source est exploitée pour l'irrigation de la palmeraie de Boukais avec un débit de 7.5 l/s [15].

II.5.3 Aquifère des formations du quaternaire

Les formations Quaternaires occupent de très grandes étendues, elles constituent principalement le sommet de la petite Hamada, des terrasses alluviales, des Ergs, des alluvions récentes d'oueds, les évaporites de Sebkhas et des dépôts de pentes. Ces formations contiennent la nappe la plus superficielle de la région en relation avec les dépôts d'oueds.

La nappe du quaternaire est exploitée dans la région de Kenadsa. Elle se caractérise par une épaisseur de 30 à 70 m et un très faible débit qui varie entre 2 et 5 l/s par forage.

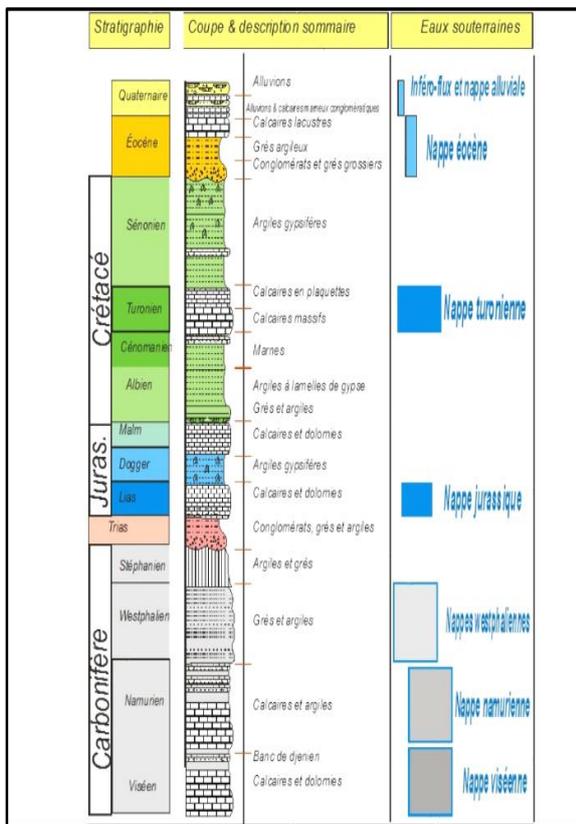


Figure 4. Coupe lithostratigraphique de la zone d'étude (ANRH)

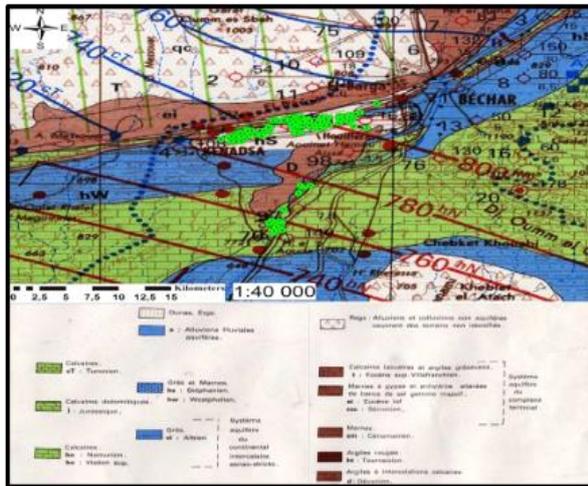


Figure 5. Carte hydrogéologique de la zone d'étude (ANRH)

II.6. Échantillonnage

Dans cette étude un total de 172 échantillons d'eaux ont été prélevés dont 160 forages peu profonds (40 – 80 m) et 12 puits traditionnels avec une profondeur qui varie entre (15 – 30 m). Les prélèvements ont été effectués manuellement dans des flacons de polyéthylène de 1.5 l de capacité. Il doit toujours être parfaitement identifié et porter le numéro et les coordonnées du point d'eau, la date et la profondeur et le niveau statique du puits. Ces échantillons sont conservés selon les méthodes [16] et transportés par la suite dans des glaciers à 4 °C au laboratoire de l'ANRH à Adrar. Les points échantillonnés sont représentés sur la carte suivante (Figure 6).

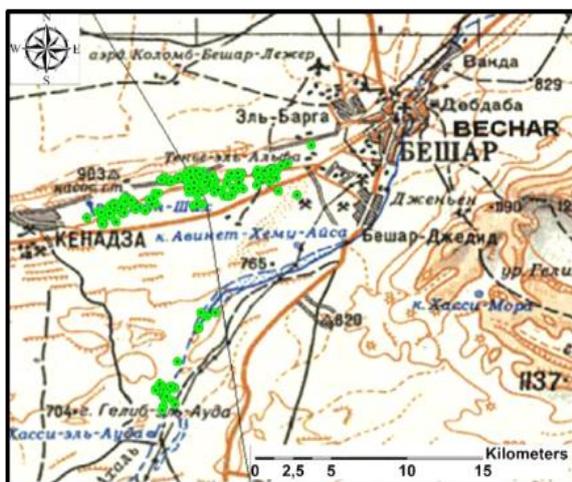


Figure 6. Positionnement des points d'eaux échantillonnées sur la carte topographique (ANRH)

II.7. Méthodes analytiques

Les analyses sont faites sur 13 paramètres au total selon les méthodes standards d'analyse. La température, le pH et la conductivité ont été mesurés sur site, à l'aide d'un pH-mètre couplé d'un thermomètre et un conductimètre de type WTW 315i SET après l'étalonnage de ces appareils. Le résidu sec a été déterminé après évaporation à 180 °C, selon la méthode NF T 90-029, décrite par l'analyse de l'eau, les chlorures sont dosés par la méthode AFNOR NF EN ISO 15682, les sulfates sont dosés par la méthode NFT 90-009, les nitrates par NFT 90-012. Ces paramètres ont été mesurés par des dosages au spectrophotomètre UV visible de type Perkin Elmer Lambda 25 d'après la méthode décrite en [16]. Les carbonates et bicarbonates sont dosés par acidimétrie selon la méthode NF T90-036. Le calcium et le magnésium ont été déterminés par les méthodes titrimétriques dont les principes sont conformes aux normes NF T90-016 et NF T90-003, et le sodium et potassium par la méthode NF T 90-019 au photomètre de flamme de type BWB XP.

III. Results and discussion

Dans la région de Kenadsa, les eaux souterraines constituent un apport très important d'eau de boisson et d'irrigation. Ces dernières années, cette région a connu une très grande évolution agricole. Cependant, l'un des principaux facteurs limitant du développement économique est la disponibilité de l'eau car cette région est caractérisée par la rareté des ressources en eau. Ce qui a contribué au tarissement des sources et foggaras dans cette région.

Il est donc impératif dans cette région de suivre la qualité physico-chimique des eaux de différents points d'eaux et de comparer cette qualité aux normes algérienne et OMS de potabilité de l'eau de boisson et de son utilisation pour l'irrigation. Les résultats des analyses sont donnés par le tableau 1.

Tableau 1. Analyses statistiques descriptives des paramètres étudiés

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Standards
PH	172	6,65	8,2	7,363	0,255	6,5–8,5
C 25°C (uS/cm)	172	1075	16990	5522,099	2806,537	(NA) 2800
TDS (mg/l)	172	660	10400	3378,169	1683,032	500-1000
Ca2+ (mg/l)	172	24	915	201,988	121,798	100
Mg2+ (mg/l)	172	31	755	222,169	104,664	50
Na+ (mg/l)	172	49,51	2637,5	613,902	430,776	200
K+ (mg/l)	172	0,9	94	8,828	9,673	20
CL-(mg/l)	172	30	4400	984,517	723,164	250
SO42- (mg/l)	172	96	3900	1084,855	585,500	250
NO3- (mg/l)	172	1	250	34,985	39,874	50
HCO3- (mg/l)	172	22,3	448	222,955	66,145	125-135
TH (°F)	172	15	416	140,453	64,827	500
TAC (°F)	172	2	37	18,314	5,515	

III.1 Le pH

Le pH des eaux étudiés varie entre 6,65 et 8,2 avec une valeur moyenne de 7,36. Ces eaux ont un caractère plus ou moins alcalin pour la majorité des puits (Tableau 1). Ces résultats sont en bon accord avec les recommandations de l’OMS et également avec la norme Algérienne 6,5 à 8,5 [1], [17].

III.2 La conductivité

Nous constatons que les valeurs de la conductivité électrique (CE) varient entre 1075 et 16990 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une valeur moyenne de 5535,84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tableau 1). En outre, l’analyse des données de la conductivité montre que les eaux souterraines de cette région ont une conductivité très élevée qui dépasse parfois largement les normes de potabilité. 81 % des eaux analysées ont une CE supérieure aux normes algériennes 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [1]. On constate également que la conductivité électrique croit de l’amont vers l’aval et avec le sens d’écoulement de la nappe (Figure 7).

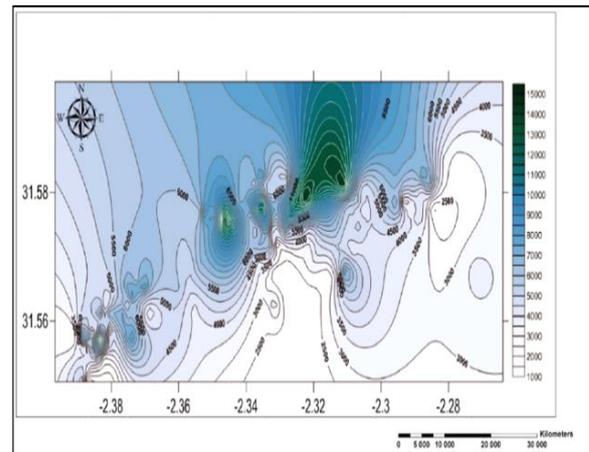


Figure 7. Carte de la conductivité électrique des eaux de la région de Kenadsa

III.3 Le titre hydrotimétrique

Les eaux de la région de Kenadsa sont caractérisées par une dureté élevée, elle varie en général entre 15 et 416 °F, avec une valeur moyenne de 141,09 °F. Ces résultats montrent aussi que 98 % des eaux analysées sont dures et ne sont pas en accord avec la norme recommandée de 30 °F OMS [17] (Figure 8).

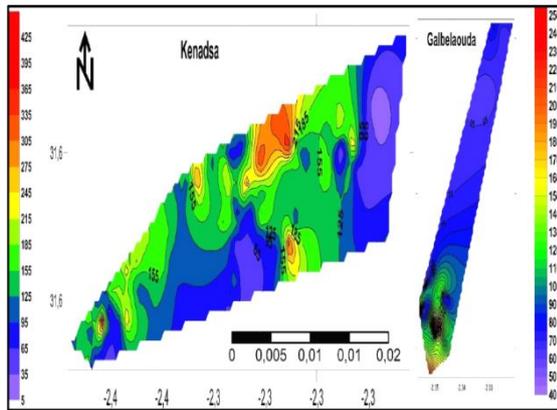


Figure 8. Carte de la dureté des eaux de la région de Kenadsa

III.4 Total des sels dissous (TDS)

La minéralisation d'une eau correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Elle est obtenue après évaporation à 180 °C pendant 24 h. Elle varie entre 660 et 10400 mg/l avec une valeur moyenne de 3552.66 mg/l. Ces résultats montrent que seulement 6 % des eaux analysées ont une minéralisation inférieure aux normes algériennes (1500 mg/l) et 2 % seulement ont un TDS inférieur aux normes de l'OMS (1000 mg/l) [17].

Les eaux de cette région sont fortement minéralisées qui atteignent par fois 10400 mg/l. Le sens d'accroissement de la minéralisation se fait toujours du Nord- Est vers le Sud - Ouest, ce qui correspond au sens d'écoulement de la nappe. Les points les plus chargés sont constatés dans la partie aval de la nappe (Figure 9).

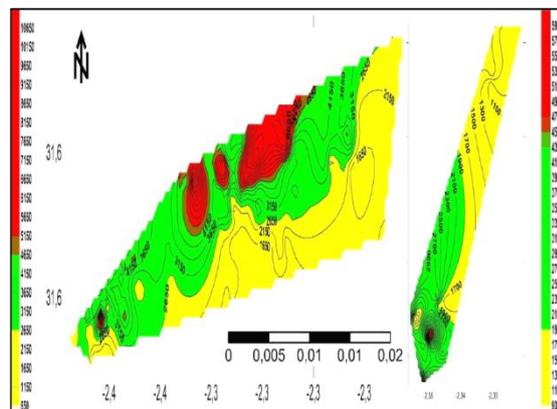


Figure 9. Carte des TDS des eaux de la région de Kenadsa et Galbelaouda

III.5 Les éléments majeurs

Les résultats des analyses des ions majeurs montrent des valeurs élevées des éléments chimiques. Les valeurs minimales et maximales sont pour le Ca^{2+} (24 - 915) mg/l avec un taux de 31%

sont confortablement avec les normes de potabilité. Ces valeurs indiquent qu'il y a soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie [$(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [$\text{CaSO}_4,2(\text{H}_2\text{O})$] et anhydrite (CaSO_4). Le Mg^{2+} (31 - 755) mg/l avec 2 % inférieure aux normes de potabilité, il résulte de la dissolution des formations évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($\text{KMgCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$), la kiesérite ($\text{MgSO}_4, \text{H}_2\text{O}$), et carbonatés, la dolomie [$(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$]. Le Na^+ (45,5 - 2624) mg/l avec 11 % inférieure aux normes de potabilité, son origine est liée principalement à la dissolution des roches salifères comme l'halite (NaCl). Les fortes teneurs se trouvent à l'Est au niveau des sebkhas. Le K^+ (0,9 - 94) mg/l avec 95 % inférieure aux normes de potabilité, Les fortes teneurs en potassium peuvent être observées dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), et carnallite. Les Cl^- (30 - 4400) mg/l, avec 16 % inférieure aux normes de potabilité. Ces valeurs sont dues au lessivage de terrains salifères (gypseux, marneux ou argileux). Les SO_4^{2-} (96 - 3900) mg/l, avec 18 % inférieure aux normes de potabilité leur présence est liée à la dissolution des couches évaporitiques, gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$), et l'anhydrite (CaSO_4). Les Bicarbonates (HCO_3^-) sont dus à la solubilisation des roches carbonatés en relation de la charge du gaz carbonique et du pH. (Tableau 1). Les facteurs climatiques et le recyclage des eaux de drainage peuvent contribuer à l'enrichissement des eaux souterraines par ces éléments.

III.6 Les nitrates

Les nitrates sont l'une des principales causes de dégradation de la qualité des eaux souterraines. Ils proviennent essentiellement de pollutions diffuses agricoles, Les rejets domestiques et urbains contribuent localement à la contamination des nappes par les nitrates, mais la fertilisation par l'épandage d'engrais chimiques ou organiques azotés et l'élevage intensif (déjections animales), en constituent la cause principale. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour la santé, c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui peut être toxique. Les eaux analysées dans la région de Kenadsa montrent que les valeurs des nitrates varient de 1 à 250 mg/l. 20 % des eaux analysées ont des valeurs qui dépassent la norme 50 mg/l et parfois même celle tolérable de 100 mg/l. Ces valeurs ont été observées dans les puits d'irrigation dans la partie aval de la nappe de Kenadsa. Cette dégradation semble être due essentiellement à l'activité humaine, la fertilisation azotée des zones agricoles avoisinantes aux points d'eaux et les déchets des élevages. La dégradation de la qualité

des eaux dans cette région est d'origine anthropique (Figure 10).

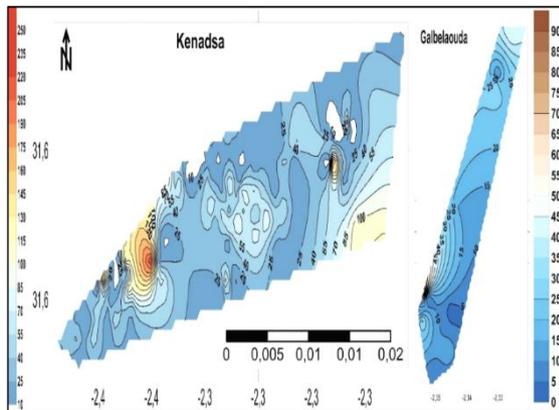


Figure 10. Carte de répartition des nitrates des eaux de Kenadsa et Galbelaouda

III.7 Les Faciès chimiques

Après le report des résultats d'analyse sur le diagramme de Piper on a constaté que ces eaux appartiennent aux familles suivantes :

Le faciès chimique des eaux le plus dominant dans la région de Kenadsa est chloruré et sulfaté sodique et magnésien à tendance vers le faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Le faciès chloruré sodique apparait au nord de la zone d'étude ceci s'explique par la dissolution des formations gypsifères et dolomitique. Dans la zone de Galbelaouda le faciès qui domine est le faciès chloruré magnésien avec une légère tendance vers le chlorure sodique ceci s'explique par la dissolution des formations évaporitiques. (Figure 11).

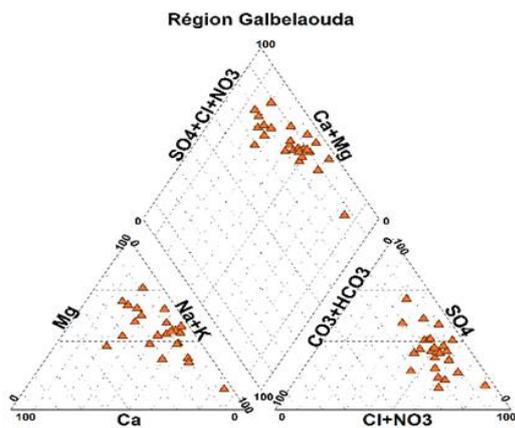


Figure 11. Diagramme de Piper des eaux de la région de Galbelaouda

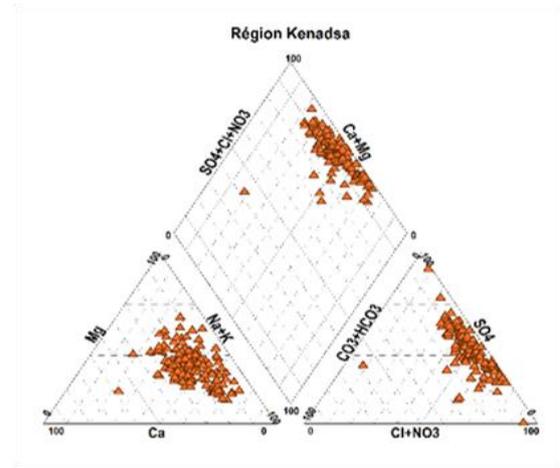


Figure 12. Diagramme de Piper des eaux de la région de Kenadsa

III.8 Relation chimiques

III.8.1 Sodium-Chlorure (Na-Cl)

La relation qui se présente par la (figure 12 a) montre la bonne corrélation entre le Sodium et le chlorure (NaCl) avec un coefficient de la régression linéaire de 0,91, ce qui indique une origine commune, probablement l'halite (NaCl), et qui confirme la domination du faciès chloruré sodique.

III.8.2 Sulfate-Calcium (SO₄-Ca)

Les sulfates ont une bonne proportionnalité avec le calcium ce qui traduit des origines communes, soit du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) soit de l'anhydrite (CaSO_4), avec coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0.56 (Figure 12 b).

III.8.3 Sodium-Calcium (Na-Ca)

La faible relation qui existe entre le sodium et le calcium (figure 12 c) avec un facteur de corrélation de 0.2, montre l'existence d'une autre source pour le sodium par un échange de base des formations argileuses de la région d'où l'existence d'un excès de sodium.

III.8.4 Sulfate- Magnésium (SO₄-Mg)

La (Figure 12 d) indique que la relation sulfate magnésium est bien liée avec une évolution proportionnelle, donc l'origine et probablement du sel de magnésium la kiesérite (MgSO_4). Le coefficient de corrélation de la régression linéaire est de 0,67.

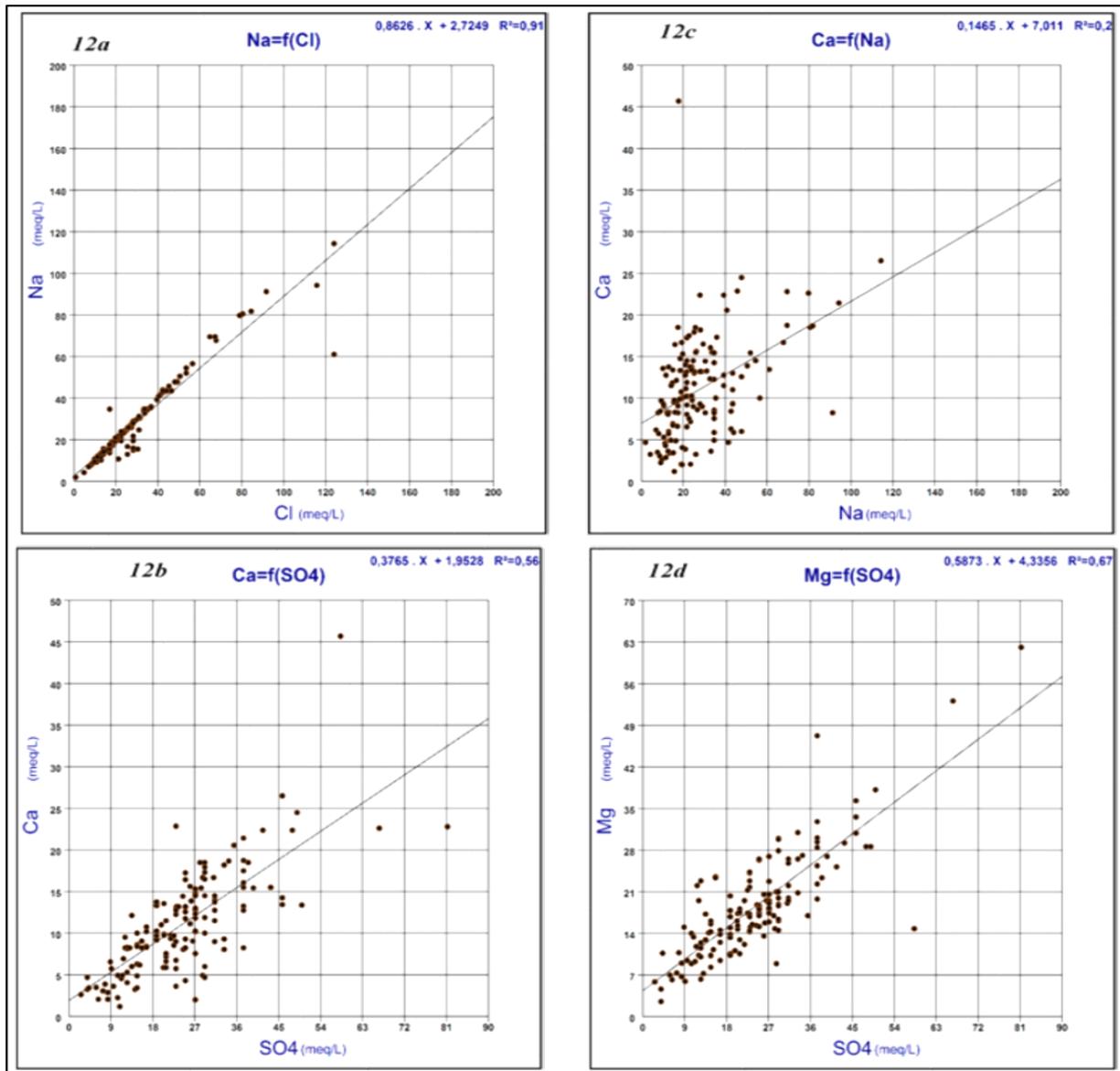


Figure 13. Courbes des corrélations des éléments chimiques(12a)Na-Cl,(12b) Ca-SO₄,(12c)Ca-Na, (12d)Mg-SO₄

III.9 Analyse en Composantes Principales (ACP)

Le but de cette analyse est de montrer les différents points qui ont les mêmes caractéristiques et de voir l'évolution des concentrations en éléments chimiques par rapport à l'ensemble des points d'observation.

III.9.1 Valeurs propres

La matrice des données comporte neuf (09) variables et 172 individus, qui expriment 100 % des renseignements (Tableau 2).

Tableau 2. Représente les valeurs propres de la matrice

Axes	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Valeur propre	4,507	1,179	0,938	0,890	0,812	0,497	0,102	0,050	0,025
Variabilité (%)	50,074	13,097	10,426	9,892	9,021	5,517	1,134	0,560	0,279
% cumulé	50,074	63,171	73,596	83,489	92,510	98,027	99,162	99,721	100

III.9.2 Matrice de corrélation

Notre interprétation sera limitée au cercle formé par les deux axes F1 et F2 seulement car il peut

fournir le maximum d'information (66,48 %) ce qui rend l'analyse plus fiable (Tableau 3).

Tableau 3. Matrice de corrélation

Variabes	pH	C25°C	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
pH									
C 25°C	-0,094	1							
Ca ²⁺	-0,177	0,651	1						
Mg ²⁺	-0,094	0,731	0,427	1					
Na ⁺ +K ⁺	-0,084	0,909	0,474	0,550	1				
CL ⁻	-0,122	0,874	0,457	0,569	0,953	1			
SO ₄ ²⁻	-0,073	0,802	0,753	0,794	0,592	0,543	1		
NO ₃ ⁻	-0,031	-0,116	-0,023	-0,093	-0,114	-0,128	-0,105	1	
HCO ₃ ⁻	-0,066	-0,273	-0,177	-0,039	-0,269	-0,264	-0,211	0,147	1

À partir de la matrice de corrélation on peut dire que l'axe vertical F1 qui exprime 50,60 % des informations oppose les eaux fortement minéralisées riche en Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et K⁺ aux eaux faiblement minéralisées riche en HCO₃⁻, avec présence des nitrates NO₃⁻.

L'axe horizontal F2 qui exprime 15,88 % des informations et oppose les eaux sulfatées calciques et magnésiennes aux chlorurés sodiques (Figure 13).

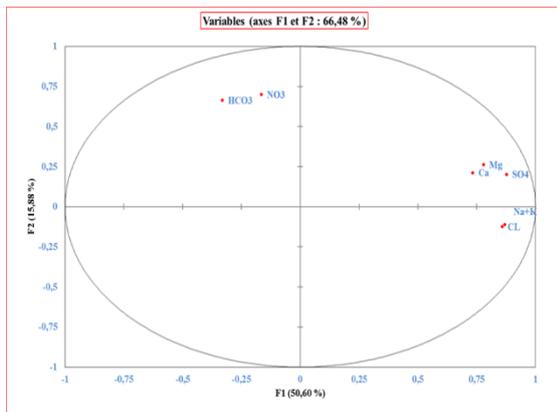


Figure 14. Représentation graphique en ACP des eaux de la région de Kenadsa et Galbelaouda.

La représentation par individu (figure 14) montre trois catégories, la catégorie "A" représente le faciès sulfaté sodique et sulfaté magnésien, la catégorie "B" représente le faciès chloruré sodique, la troisième catégorie "C" regroupe les différents faciès chlorurés sodique, chloruré magnésien, sulfaté sodique et sulfaté magnésien.

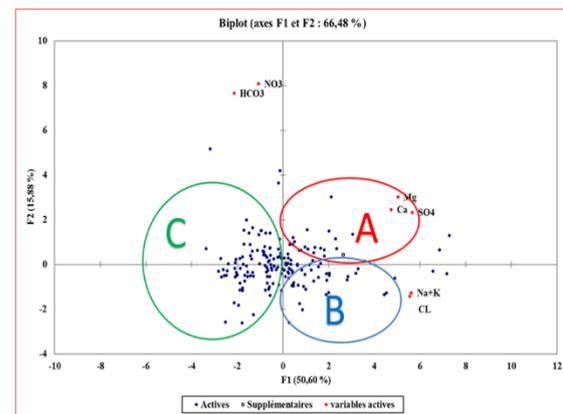


Figure 15. Représentation graphique des Individus

III.10 Qualité des eaux pour l'irrigation

Dans la région de Kenadsa l'irrigation est assurée par les eaux souterraines. L'étude chimique des eaux d'irrigation est apparue nécessaire pour mettre en évidence tout danger que peut présenter certains éléments chimiques. La classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) permet de bien classer les eaux en fonction de la conductivité électrique à 25 °C et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule ci-dessous (Figures 15 (a) ; (b) ; (c) ; (d) ; (e) et (f)).

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

Le report des eaux étudiées sur ces diagrammes montre que ;

La classe C3S1 : est dominante dans les zones de Kenadsa et Galbelaouda, les eaux étudiées sont de la

3ème classe. Ces eaux présentent un risque de salinité appréciable et faible risque d'alcalinité ; donc ce sont des eaux à utiliser pour l'irrigation en prévoyant des doses de lessivage et nécessite un drainage pour empêcher le dépôt des sels et en conséquent la salinité des sols (formation de sebkhas) ; La classe **C4S1** : cette classe est observée les zones de Kenadsa et Galbelaouda toujours, ces eaux sont de la 4eme classe, ce sont des eaux qui présentent un fort danger de salinité et faible risque d'alcalinité. L'utilisation de cette classe d'eau pour l'irrigation nécessite des plantes tolérantes et des doses de lessivage sur des sols légers et bien drainés ;

La **C4S2** : elle se figure dans la région de Kenadsa, et la zone de Galbelaouda, ces eaux sont de la 5ème classe, cette classe présente un fort danger de salinité et une alcalinité moyenne, c'est une mauvaise qualité d'eau à utiliser avec beaucoup de précautions et bien drainés et prévoir des plantes tolérantes à la salinité, le lessivage est très important.

Les classes **C5S2** et **C5S3** : dominant dans la zone de Kenadsa, ces eaux présentent un fort danger de salinité et d'alcalinité et peuvent contribuer à la salinisation des sols (formation de sebkhas).

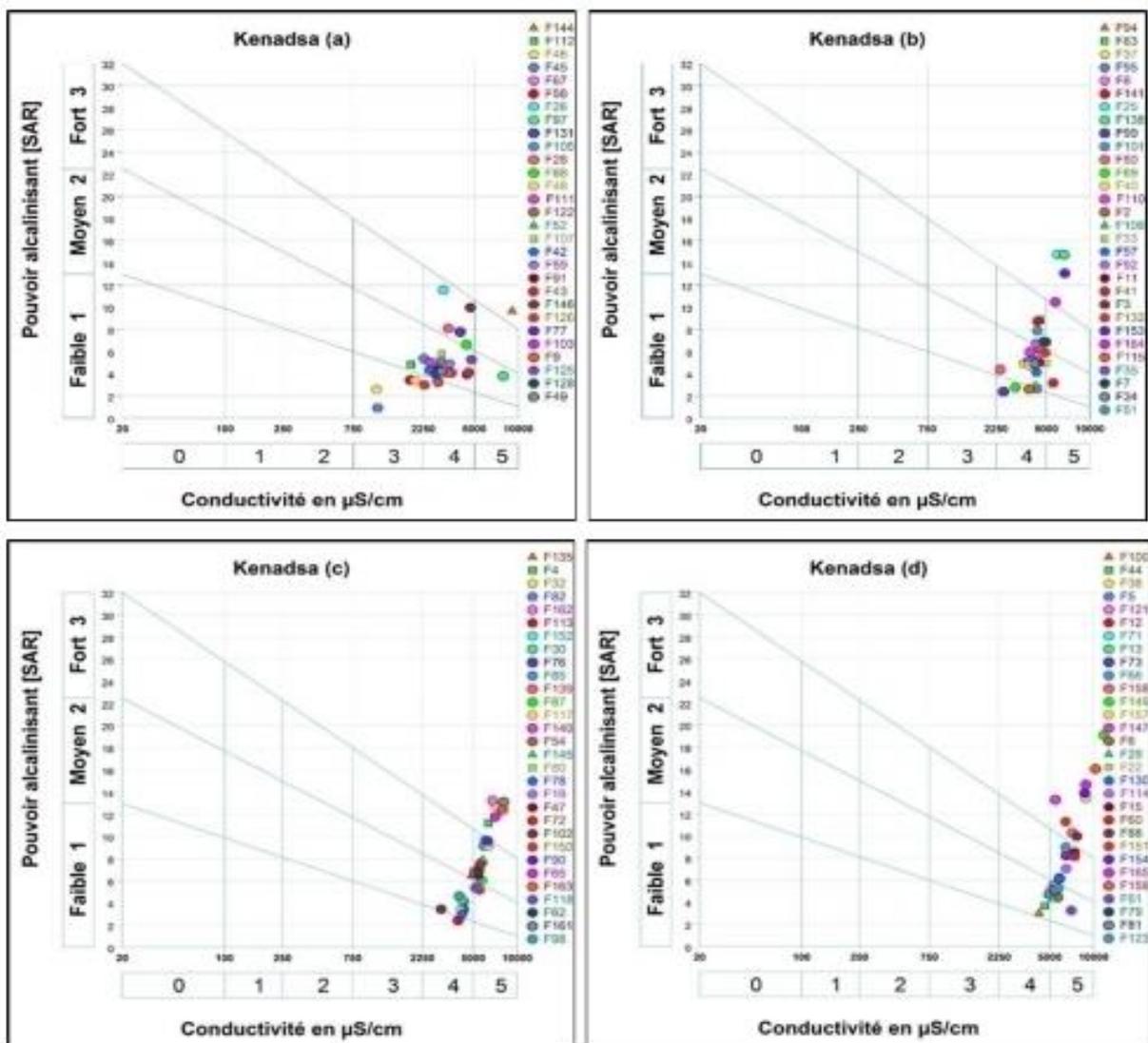


Figure 16. (a, b,c,et d) Diagramme de Richards des eaux de Kenadsa

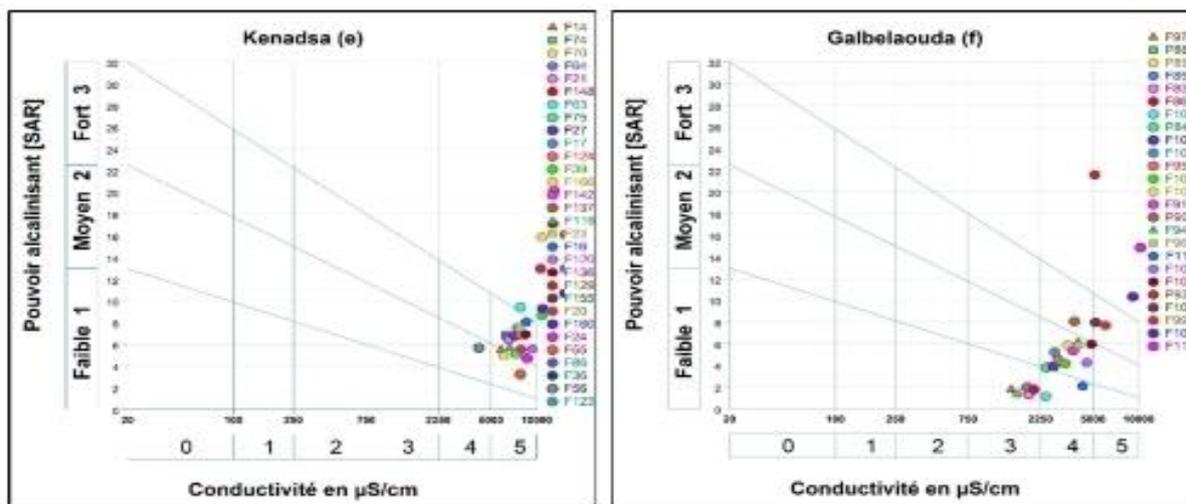


Figure 17. Diagramme de Richards des eaux (e) de Kenadsa et (f) de Galbelaouda

III.11 Suivi de l'évolution de la qualité des eaux souterraines

Pour nous permettre de suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines dans cette région, une base de données a été créée par un SIG, qui permet de représenter, d'organiser et d'analyser toutes les données, ce SIG est conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques sous forme des plans et cartes (Figure 16).

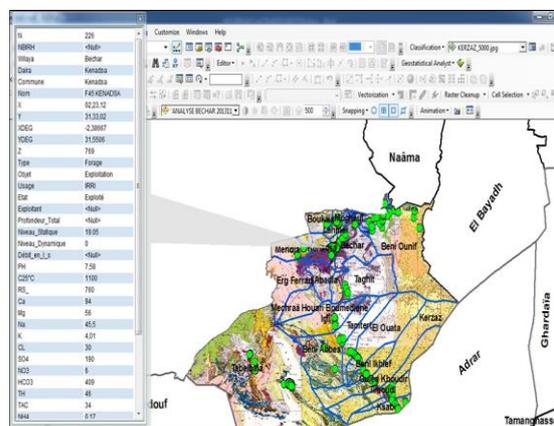
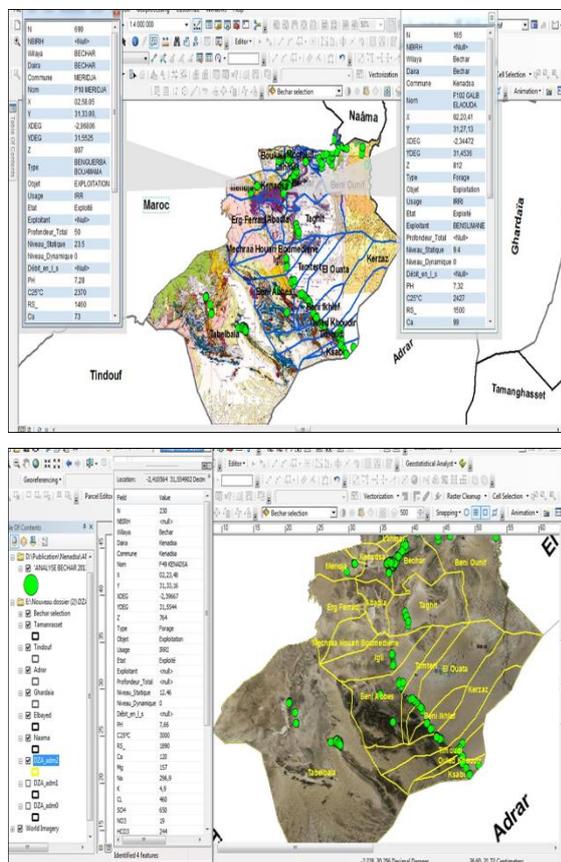


Figure 18. Base de données de Béchar (ANRH)

La numérisation des données est devenue une démarche de plus en plus indispensable. L'utilisation de technologie numérique permet aux décideurs de simuler plusieurs scénarios, d'explorer de nouveaux concepts, et finalement de mieux comprendre leur comportement. Cette base de données est constituée par des cartes topographique sous format numérique, cartes géologiques, des Modèle Numérique du Terrain MNT, photos satellites, les points d'eau (Forage, Puits, Sources), réseaux hydrographiques, et périmètres agricoles.

IV. Conclusion

L'étude de la qualité physicochimique des eaux de la région de Kenadsa a montré que le pH, est en bon accord avec les recommandations algériennes et l'OMS, et également ces eaux sont fortement minéralisées. Le TDS varie entre 660 et 10400 mg/l. Le sens d'accroissement de la minéralisation se fait toujours du Nord- Est vers le Sud - Ouest, ce qui correspond au sens d'écoulement de la nappe. Les points les plus chargés sont constatés dans la partie avale de la nappe, elle proviendrait probablement du lessivage du terrain traversé et du recyclage des eaux

d'irrigation. Le diagramme de Piper fait ressortir deux types de faciès chimiques : le Chloruré sodique et potassique avec une tendance vers chloruré et sulfaté calcique et magnésien, avec une prédominance du dernier.

On peut conclure aussi que ces eaux sont de mauvaise qualité physico-chimique pour la consommation humaine dans la majorité des puits. Il est à signaler que ces eaux nécessitent un traitement adéquat si on veut l'utiliser pour la consommation humaine.

Ces résultats montrent également qu'on peut utiliser les eaux des classes C3S1 et C4S1 pour l'irrigation avec précaution en prévoyant des doses de lessivage et nécessite un drainage pour empêcher le dépôt des sels et en conséquent la salinité des sols (formation de sebkhas).

Ces résultats montrent aussi qu'une pollution par l'azote nitrique a été remarqué dans certaines zones agricoles ce qui s'explique par l'utilisation intensive des engrais chimiques et les déchets d'élevage.

Prenant en compte de ces résultats qui font état d'une situation préoccupante, il apparaît urgent, de prendre les mesures préventives tel que le contrôle rigoureux de toutes sources de pollution possible. Et d'assurer une gestion rationnelle des nappes en évitant une surexploitation qui peut engendrer la dégradation de la qualité de l'eau et du sol. Ainsi qu'il est nécessaire de limiter l'emploi des engrais aux abords des champs captant. En fin il convient de réfléchir dès maintenant à des procédés permettant d'obtenir d'autres sources à partir des eaux usées épurées dans des conditions admissibles techniquement et économiquement et écologiquement, selon les lois en vigueur.

V. References

1. MRE, « Décret exécutif N° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel N° 18 du 23 mars 2011, p 6-9 », 2011.
2. PNUD., Rapport mondial sur le développement humain., Programme des Nations Unies pour le Développement. Paris; New York : Economica; PNUD, 2006.
3. A. Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Éditions Tec & Doc, 2006.
4. WHO., Guidelines for drinking-water quality, 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2004.
5. H. Berdai, B. Soudi, et A. Bellouti, « Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : Cas du Tadla », Proj. INCO-WADEMED Actes Sémin. Mod. L'Agriculture Irriguée Rabat Du, vol. 19, p. 28, 2004.
6. C. Abdelbaki et F. B. Hacène, « Étude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen », Rev. Energ. Renouvelables, vol. 10, no 2, p. 257-263, 2007.
7. A. Kabour et L. Chebbah, « Caractérisation hydrochimique et mise à jour de la salinité des eaux souterraines en région aride : cas de l'aquifère du grès carbonifère de Kénadsa (Sud-Ouest Algérien) », Géco-Eco-Trop, vol. 41, no 1, p. 99-106, 2017.
8. A. Kabour, « Impact des rejets urbains sur l'environnement et sur les ressources en eau de la région de Béchar (Sud Ouest Algérien) », Université Mohamed Khider-Biskra, 2017.
9. ANDEDRF., ANIREF., « Rubrique monographique de la wilaya de Béchar, Rapport », 2012.
10. Y. Benmoussa, C. Rezzoug, B. Remini, et M. Belhadj, « Ressources et partage de l'eau dans l'oasis de Kenadsa (Sud-Ouest Algérien) : approche historique et constat », Cinq Continents., vol. 5, no 11, p. 81-92, 2015.
11. T. Merzougui, « Rapport finale des travaux de réalisation des piézomètres dans la zones de Ouakda - wilaya Béchar, Agence nationale des ressources hydrauliques, Algérie (Rapport interne) », ANRH Adrar Algérie, Interne, 2012.
12. J. A. McGuckin, The Orthodox Church: An introduction to its history, doctrine, and spiritual culture. John Wiley & Sons, 2010.
13. P. Deleau, « Les bassins houillers du Sud oranais dans la région de Colomb Béchar-Abadla, livre 1 : stratigraphie, sédimentologie, paléontologie », Bull Serv Carte Algérie. 2ème Sér., no 20, p. 270, 1951.
14. A. Meindre, « Caractéristique hydrogéologique de l'aquifère jurassique dans la plaine de Mougheul, (Ksour du Nord, Béchar). » 1955.
15. D. Mekideche, N. Sai, S. Touati, N. Younsi, « Carte hydrogéologique de la région de Béchar, Notice explicative », 1995.
16. J. Rodier, B. Legube, et N. Merlet, « L'Analyse de l'eau 9e édition », Entièrement Mise À Jour Dunod Paris, 2009.
17. WHO, Guidelines for drinking-water quality, 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2011.

Please cite this Article as:

Nasri B., Benatiallah A., Kalloum S., Benhamza M, Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la région de Kenadsa et Galbelaouda (sud - ouest de l'Algérie), *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 4:1 (2018) 690-702