



Traits saillants des eaux souterraines du Westphalien à "Kenadsa-Guelb el Aouda" (Région de Béchar, Sud – Ouest, Algérie)

Sarra Ameri¹, Abderrahmane Mekkaoui ^{2✉}, Hayat Brahmi³

¹ Département de Technologie, Centre Universitaire "NOUR Bachir", Algérie.

² Département de Génie civil et d'Hydraulique, laboratoire "FIMAS", Université TAHRI Mohamed, Algérie

³ Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaïd, Algérie.

Résumé. L'aquifère, complexe de la région "Kenadsa-Geul-El Aouda" est un système, constitué principalement de grès du Westphalien, qui se caractérise d'une perméabilité K: 10^{-5} m/s et d'une transmissivité T: 10^{-6} m/s). Ce complexe correspond à l'assise productif qui contient des veines de charbon. Il est affecté localement d'intense fracturation. Le toit de cet aquifère se trouve à faibles profondeurs et présente de nombreuses résurgences. Ces eaux sont sollicitées uniquement pour les usages agricoles. La piézométrie suggère un écoulement de l'Est vers l'Ouest, avec des perturbations dues aux pompages. Elles sont de mauvaises qualités, trop chargées, non-potables. Hydrochimie atteste que le pH des eaux est plus ou moins homogène, varie de 7,2 et 7,87. Les Températures varient peu de 24.5°C à 24.7°C. La conductivité est contrastée de 4470 μ S/cm à 18030 μ S/cm. Le Ca^{2+} sont comprises entre 224.4 et 1806.2 mg/l. le Mg^{2+} varie de 122.16 à 548.28 mg/l. Les alcalins (Na^+ : K^+) indiquent des teneurs de 3735.99 mg/l à 971.35 mg/l. Les Chlorures Cl- enregistrent de valeurs, minimale et maximale de 969.15 mg/l et 5822 mg/l. Les sulfates (SO_4^{2-}) varient de 232 mg/l et 61 mg/l. Les Bicarbonates (HCO_3^-) varient de 36,6 mg/l à 91,5 mg/l. Les nitrates présentent majoritairement des teneurs variant de 418 à 1533 mg/l. La qualité de ces eaux est due à la conjugaison de la paléogéographie du contexte de la formation de charbon, à la vulnérabilité de l'aquifère, à la dissolution des terrils, utilisation excessive des engrais et aux rejets urbains.

Mots-clés: Kénadsa-Guelb el Aouda, Westphalien, système, grès, minéralisation, Nitrates

Abstract. The aquifer complex in the "Kenadsa-Geul-El Aouda" region is a system, mainly consisting of Westphalian sandstone, characterized by a permeability K: 10^{-5} m/s and a transmissivity T: 10^{-6} m/s). This complex corresponds to the productive bed which contains coal seams. It is locally of intense fracturing. The roof of this aquifer is at shallow depths and has

CORRESPONDENCE:

✉ Abderrahmane Mekkaoui BP 417, rue de l'indépendance
Université TAHRI Med, Béchar, Algérie
✉ sarraameri@gmail.com (S.A.), mekkaouidh15@gmail.com
(A.M.)

ARTICLE HISTORY:

Received: 15.12.2022
Received in final form: 2.06.2023
Accepted: 6.06.2023

numerous resurgences. These waters are only used for agricultural purposes. The piezometry suggests a flow from East to West, with disturbances due to pumping. They are of poor quality, too charged, and not drinkable. Hydrochemistry attests that the pH of the waters is more or less homogeneous, and that it varies from 7.2 and 7.87. Temperatures slightly vary from 24.5°C to 24.7°C. The conductivity is contrasted from 4470µS/cm at point to 18030µS/cm. The Ca²⁺ is between 224.4 and 1806.2 mg/l. Mg²⁺ varies from 122.16 to 548.28mg/l. The alkalines (Na⁺, K⁺) indicate contents of 3735.99 mg/l to 971.35 mg/l. Chlorides Cl⁻ record a minimum and maximum value of 969.15 mg/l and 5822 mg/l. Sulphates (SO₄²⁻) are 232 mg/l and 61 mg/l. Bicarbonates (HCO₃⁻) 58.865 mg/l vary from. 36.6mg/l to 91.5mg/l. Nitrates mostly have levels ranging from 418 to 1533 mg/l. The quality of these waters is due to the combination of the paleogeography of the context of the formation of coal, the vulnerability of the aquifer, the dissolution of the heaps, excessive use of fertilizers and urban discharges.

Keywords: Kenadsa-Guelb el Aouda, Westphalian, system, sandstone, mineralization, Nitrate

Introduction

L'existence des eaux souterraines est conditionnée par le critère météorologique de pluie, assurant la recharge ou paléo recharge. Le second est géologique qui se traduit par les aspects lithologiques et structuraux (de Marsily, 1981; Castany, 1982; Margat, 1998; Collin, 2004; Ferlatte et al, 2014).

Ces critères sont incontournables pour appréhender leur renouvellement, leur écoulement et leur chimisme, car l'eau est considérée comme un solvant par excellence. Lors de sa circulation à travers les formations géologiques, l'eau acquiert généralement certains éléments chimiques.

La région de Béchar, vaste contrée, située dans le Sud-ouest d'Algérie, est constituée essentiellement de formations carbonifères, qui a suscité l'intérêt des nombreux géologues, à raison des veines de charbon qu'elle recélaient (Poirmeur, 1906; Flamand, 1911; Levy, 1949; Deleau, 1951, 1952, 1955; Pareyn, 1961; Lemosquet et al. 1976; Lemosquet et al, 1980; Lemosquet et Pareyn, 1985; Benyoucef, 2012).

Cette région appartient aux zones, où l'exploitation des eaux souterraines est une pratique largement répandue. Le recours préférentiel à cette catégorie d'eau pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'irrigation (AEI), est motivé par de multiples avantages, tels que leur qualité, leur volume exploitable et leur économie d'y accéder. Le choix de cette ressource hydrogéologique n'est jamais donc un acte anodin, méritant toujours une réflexion appréhendée.

Effectivement, le sous-sol de cette contrée abrite différentes nappes d'importance variable dont l'étude reste contrastée. - nappe turonienne, ample, plus sollicitée et mieux étudiée, appartenant au bassin crétacé de Béchar (Idrotechnico, 1976; Sadat et al, 2020; Belkendil, 2021); - nappe du Jurassique inférieur cantonne dans la région de Mougheul, faisant partie du domaine atlasique (Bourgeois, 1960; Mekkaoui, 2000; Mebarki, 2012; Aloui, 2019); - nappe namuro-viséenne peu sollicitée, à raison de son faible débit (Idrotechnico, 1976); - nappe éocène méconnue à potentialités vagues (Idrotechnico, 1976); - système westphalien méconnu (Deleau, 1955; Guerre, 1975; Idrotechnico, 1976), en plus de quelques études fragmentaires

(Ouda et Tidjini, 2014; Brahmi, 2015; Kabour et Chebbah, 2017; Sellami et Rabah, 2017).

Ces nappes n'arrivent pas à satisfaire les exigences de l'explosion démographique. Ceci conduit à entreprendre des études, afin d'augmenter le potentiel en eau de cette région.

En effet, la région "Kenadsa-Guelb El Aouda" abrite un système aquifère complexe peu étudié. Il s'agit de grès du Carbonifère supérieur (le Westphalien). Cette zone appartient au bassin houiller de Béchar (Deleau, 1951), qui a connu des activités d'exploitation de charbon de 1918 jusqu'au 1975, et à compter de 1980, elle s'est transformée en un périmètre agricole, suite aux projets de mise en valeur des terres en Algérie.

Cet article s'est élaboré dans la stratégie développement durable de la région de Béchar "mieux étudier, mieux connaître pour mieux gérer". Il se focalise sur les lithologiques du Westphalien, de souligner les écoulements souterrains et de connaître les caractéristiques hydrochimiques de ces eaux, y compris les nitrates. Puis évoquer une discussion pour la pérennité de cette ressource.

1. Contexte général de la région d'étude

La région d'études se situe dans l'oasis de Kenadsa. Elle s'étend sur une bande rectangulaire de 25km de longueur sur 08km de largeur, depuis Guelb el Aouda à l'agglomération de Kenadsa. Cette dernière appartient au territoire de la Wilaya de Béchar située au Sud-Ouest de l'Algérie Il s'agit d'une oasis sur laquelle a été greffé un village européen minier, lors de l'exploitation du charbon (1917 à 1956). Cette greffe du modèle européen, a oblitéré la dimension "oasienne" de cet espace géographique, en la transformant en un village minier par excellence.

Cette région est bordée au Nord par des formations crétacées, connues sous le jargon local "Première barga", à l'est par l'oued Béchar, au Sud par Guelab el Guemmah et Mennouna et à l'Ouest par oued Messaouer (Figure 1)

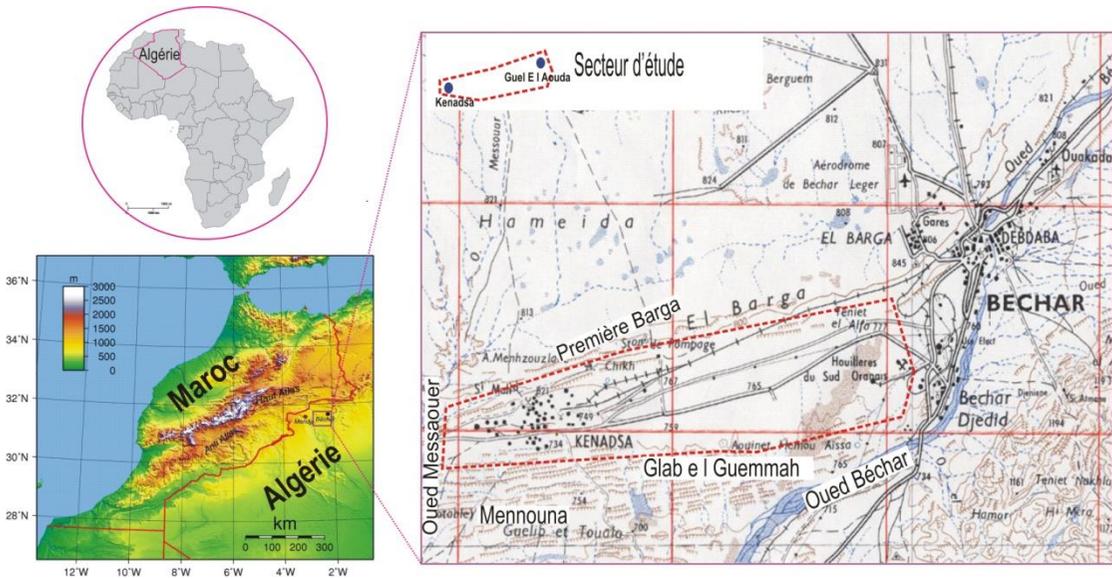


Figure 1. Situation géographique de la région de Kenadsa-Guel El Aouda
 Source: Extrait de la carte topographique de Béchar à 1/100 000e)

2. Matériels et méthodes

2.1. Reconnaissance et Inventaire des points d'eau

La reconnaissance s'est effectuée en présence de la carte géologique de Béchar d'Idrotechnico, 1976, ainsi que la carte topographique à 1/100 000e, un GPS (Garmin) et une sonde piézométrique. L'inventaire des points d'eau impliqués dans cette étude est de douze (12), indiqués ci-dessous (Tableau 1), qui comprend numéro d'ordre, désignation, niveau statique (NS), altitude (Z) et niveau piézométrique (NPZ). Ces points ont été sélectionnés dans l'esprit de couvrir toute la région d'étude avec une densité + ou - régulière. Il s'agit de sources, de puits traditionnels et de forages.

Tableau 1. Résultats de la piézométrie au niveau du Kenadsa-Guelb el Aouada

	N° d'éch.	Type	Désignation	NS (m)	Z (m)	NPZ (m)
01	N°1	Forage	Aïn Cheikh	26,5	753,27	726,77
02	N°2	Puits	Kebouna	3,1	749,7	746,60
03	N°3	Puits	Hassi Blanat (djamai)	5,1	749,8	744,70
04	N°4	Puits	Hassi Soltani	3	738,5	735,50
05	N°5	Puits	Aïn Sidi M'barek	9,15	742,8	733,65
06	N°6	Source	Aïn Cheikh	0	756,23	756,23
07	N°7	Puits	Alfred	3,95	750,5	746,55
08	N°8	Source	Aïn Eddir	0	747,2	747,20
09	N°9	Forage	Hammam Drissi	7,5	751	743,50
10	N°10	Source	Aïn Sidi M'barek (S)	0	742,8	742,80
11	N°11	Puits	La piscine	6,8	749,4	742,60
12	N°12	Puits	Puits d'apprentissage	3,8	751,9	748,10

2.2. Une campagne d'échantillonnage

En hydrochimie, le but consiste en une détermination des paramètres physicochimiques de l'eau souterraine dans la zone d'étude. Effectivement (12) échantillons d'eau ont été prélevés dans des bouteilles en plastique de 1000 cm³ de capacité, à partir des différents ouvrages (07 puits, 03 sources et 02 forages).

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques d'Adrar, suivant les techniques standard (Rodier, 1996). Certaines mesures ont été effectuées in situ (sur place) afin de pouvoir déterminer quantitativement les paramètres qui évoluent après échantillonnage, tels que la température, le pH, la conductivité électrique à l'aide d'appareils portatifs.

3. Résultats et interprétations

3.1. Contexte géologique

Le secteur "Kenadsa-Guelb El Aouda" correspond au flanc septentrional de l'anticlinal de Mennouna. Aux limites desquelles, on note sommairement les formations géologiques (Figure 2a):

Soubassement westphalien

Il constitue les principaux reliefs de la "Chabket Mennouna". Il correspond à une puissante alternance de grès, de marnes à gypse et de schistes, interrompus par des minces bancs calcaires bioclastiques. Cette alternance contient de veines de charbon, d'où l'appellation "Carbonifère Productif" (Deleau, 1952).

Couverture secondaire et tertiaire, discordante sur le soubassement carbonifère

Le Quaternaire se limite aux alluvions des oueds, aux regs et aux dépôts de Sebkhha.

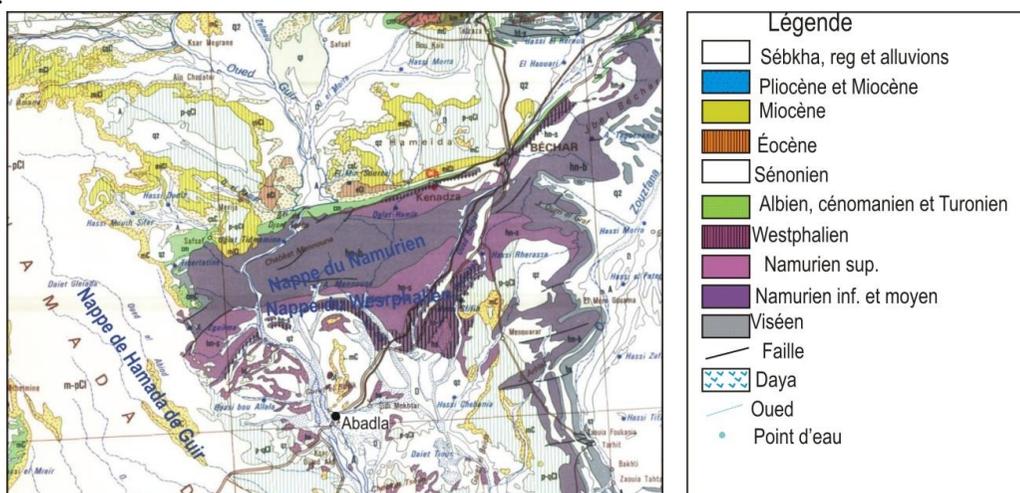


Figure 2a. Carte géologique de la région de Béchar
Source: Extrait de la carte du Maroc à 1/1000000e)

Selon les travaux antérieurs, le Westphalien comprend :

- Le Westphalien inférieur (1200 m)

Il s'agit des marnes rouges à gypse de 200 m d'épaisseur, suivies d'une puissante alternance de marnes rouges à gypses et des grès (1000 m).

- Le Westphalien supérieur (1400)

Il débute par des marnes à gypse et des schistes à veines de charbon, surmontées par un banc repère de conglomérats (80 à 180 m). Une alternance de schistes et de grès se succèdent à l'empilement sous-jacent, des minces bancs de calcaires font leur apparition dans la partie supérieure de la coupe, interrompus de quelques horizons conglomératiques. Le Westphalien de Kenadsa - Guelb El Aouada est illustré sur la figure ci-dessous (Figure 2b)

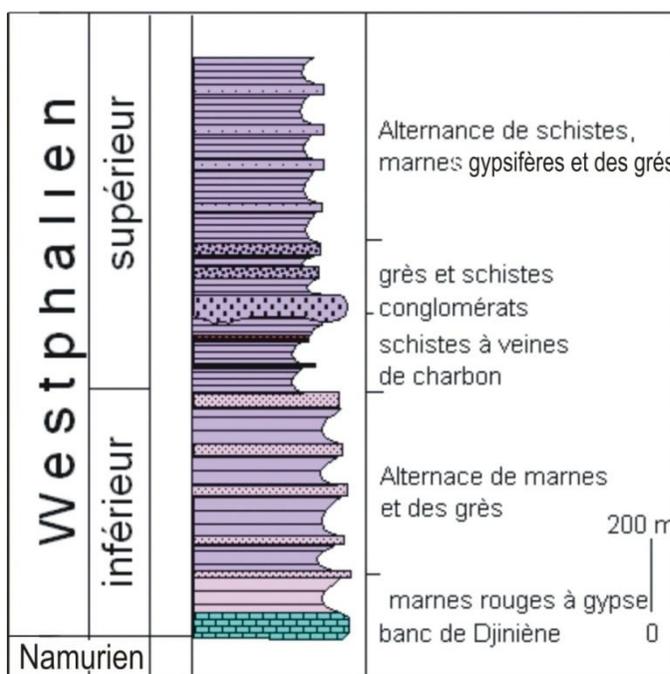


Figure 2b. Coupe du westphalien Kenadsa – Guel El Aouada

Source: Deleau 1955, modifié

Sous les efforts tectoniques, le Westphalien est déformé en anticlinal et l'empilement des strates ne réagit pas de la même manière ; les roches compétentes se cassent et expriment un style cassant. En revanche, les formations marneuses et argileuses absorbent les contraintes et manifestent des fluages et des argiles désharmonie. On note l'existence de 04 familles de failles assurant des drains entre les différentes nappes : famille E-W; famille NW-SE; famille NS; famille NE-SW s'exprimant en failles à composante dextre et affectent systématiquement le Westphalien dont certaines se prolongent dans le Crétacé.

3.2. Hydrogéologie de Kenadsa - Guel El Aouda

Cette région abrite un système aquifère de grès du Westphalien (Deleau, 1955; Idrotechnico, 1976). Les eaux souterraines se rencontrent à une profondeur inférieure à 10m et elles deviennent Sub- affleurant au Nord, en particulier dans la zone de Kenadsa. Ce système a été testé par des forages de reconnaissance, suggérant des débit d'exploitation de 5 l/s à 10 l/s, une perméabilité 10^{-5} m/s à 10^{-6} m/s et une transmissivité de 10^{-3} m²/s à environ de 10^{-4} m²/s. Nombreuses sources jaillissent à la surface (Ain Cheikh, Ain Sidi M'barek, Ain Dir...), manifestant des débit de 0.5 l/s à 20 l/s. Le débit à l'exutoire de ce système mesuré durant l'époque d'exploitation de la mine de charbon de Béchar - Kenadsa (1942-1954), était de l'ordre de 25 l/s. Aujourd'hui, la plupart de ces sources enregistrent une remarquable baisse de débits, voire même le tarissement.

Carte piézométrie et Interprétation

Elle exhibe un écoulement souterrain de l'Est vers l'Ouest, perturbé par une dépression des iso pièzes, qui résulte de pompage en cours dans le puits dans la zone centrale.

On note un sens d'écoulement du Nord vers le Sud assurant le jaillissement des sources au pied de la "Première Barga". Puis les sens d'écoulement divergent vers l'Est et l'Ouest. On remarque aussi une ligne de partage des eaux au centre de région d'étude. Les axes de drainages se trouve à l'est et l'ouest de la région d'étude où il ya l'abondance des sources (Figure 3).

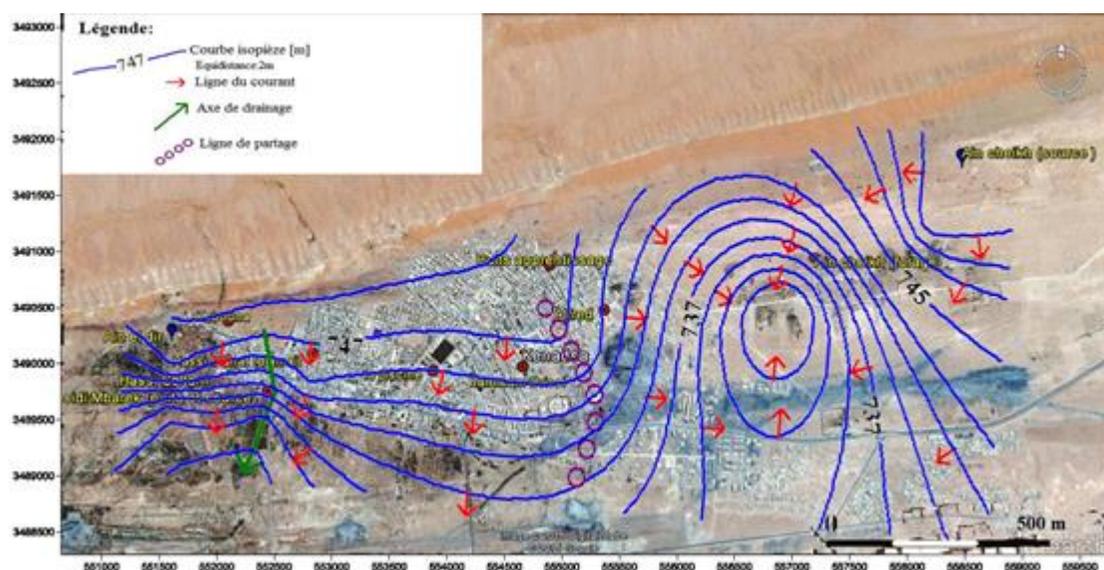


Figure 3. Carte piézométrique de la zone d'étude Kenadsa - Guelb el Aouda (Mai, 2020)

La recharge de ce système est assurée par les précipitations directes sur les affleurements et par les écoulements de l'oued Béchar, devenu de plus en plus rares, tout en envisageant les années excédentaires. En général, la région se caractérise de

faible pluviosité. Les données climatiques enregistrées dans la station de Béchar (Dubief, 1963; ONM, 2018) indiquent que le climat de la région de Béchar est hyper aride (Figure 4a). Le climagramme de L. Emberger (Figure 4b), indique que le climat est saharien et le diagramme ombro - thermique (Figure 4c), implique la sécheresse sur 12 mois de l'année.

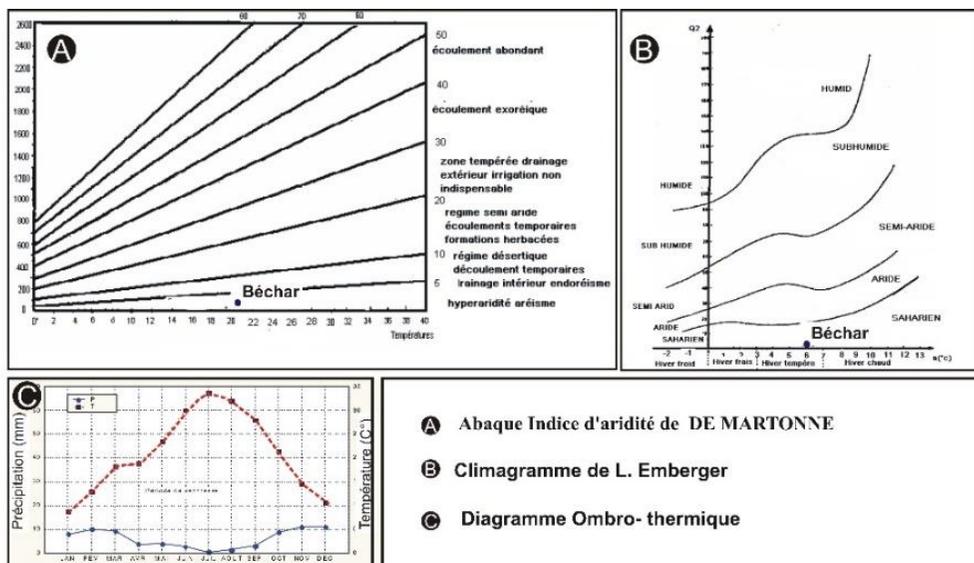


Figure 4. Diagrammes du climat de la région de Béchar (série 1973/74-2017/2018)
Source: Dubief, 1963, modifié

3.3. Hydrochimie

Aux limites du secteur d'études "Kenadsa-Guel El Aouda", les analyses chimiques des eaux sont mentionnées ainsi (Tableau 2.a et Tableau 2.b.).

Tableau 2.a. Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux "Kenadsa-Guel el Aouda, (Mai, 2020)

N°	points d'eau	pH	T°C	CE µS/cm	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ +K ⁺ mg/L
F1	Ain cheikh (F)	7,2	24,5	7310	513	273	1386,675
P1	kebouna	7,75	24,6	5910	232,4	134,64	1391,034
P2	Hassi	7,43	24,5	5640	316,6	158,04	1183,149
P3	Hassi Soltani	7,48	24,5	7400	336,6	172,44	1680,789
P4	Ain Sidi M'barek (P)	7,41	24,6	6570	304,6	237,24	1478,169
S1	Ain Cheikh (S)	7,83	24,6	18030	1086,2	548,28	3735,993
P5	Alfred	7,75	24,5	6880	432,8	299,52	1377,312
S2	Ain Edir	7,87	24,6	4470	224,4	122,16	971,346
F2	Hammam Drissi	7,35	24,7	5660	360,6	215,64	1121,709
S3	Ain Sidi M'barek(S)	7,4	24,5	7580	340,6	220,44	1727,589
P6	la piscine	7,63	24,6	8960	408,8	297,12	2037,372
P7	Puits d'apprentissage	7,7	24,7	9910	569	335,4	2081,115

Tableau 2.b. Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux "Kenadsa-Guelb el Aouda, (Mai, 2020)

N°	points d'eau	HCO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₃ ⁻ mg/L	Minéralisation mg/ L
F1	Ain Cheikh(F)	46,36	1924,1	98	998,10	0,42	5544,96
P1	kebouna	40,26	1455,5	100	952,11	0,54	4483
P2	Hassi	91,5	1633	103	418,76	0,38	4278,19
P3	Hassi Soltani	85,4	1633	116	1499,37	0,47	5613,23
P4	Ain Sidi M'barek(P)	64,66	1455,5	98	1339,10	0,71	4983,63
S1	Ain Cheikh (S)	37,82	5822	232	672,49	0,71	15333,29
P5	Alfred	48,8	1633	78	1263,25	0,28	5218,78
S2	Ain Edir	36,6	969,15	61	962,81	0,19	3390,69
F2	Hammam Drissi	67,1	1065	123	1422,13	0,49	4293,36
S3	Ain sidi M'barek(S)	61	1810,5	103	1342,56	0,71	5749,76
P6	la piscine	62,22	2165,5	137	1533,00	0,31	6796,55
P7	Puits d'apprentissage	64,66	2556	133	1442,69	0,35	7517,17

Matrice de corrélation

Le tableau ci-dessous (Tableau 3) illustre la matrice de corrélation entre les éléments chimiques.

Tableau 3. Matrice de corrélation des éléments chimiques

	pH	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	CE
PH	1								
Ca	0,25	1							
Mg ²⁺	0,25	0,96	1						
Na+K	0,35	0,91	0,89	1					
HCO ₃ ⁻	-0,52	-0,3	-0,3	-0,24	1				
Cl ⁻	0,34	0,96	0,91	0,97	-0,29	1			
SO ₄ ²⁻	0,19	0,88	0,83	0,93	-0,08	0,92	1		
NO ₃ ⁻	-0,16	-0,25	-0,06	-0,12	0,16	-0,32	-0,15	1	
CE	0,33	0,96	0,93	0,99	-0,26	0,99	0,93	-0,17	1

Les anions et les cations se corrérent entre eux de différentes valeurs.

- Les ions de HCO₃⁻ et NO₃⁻ se corrérent négativement avec les autres éléments, sans significations.

- Les très forte à fortes corrélations positives se retrouvent entre le Ca²⁺ avec les ions Mg²⁺ (0.96) et Na⁺ K⁺ (0.91), et Cl⁻ (r : 0.96). Il existe aussi une forte corrélation entre la conductivité et les ions Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺+K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻.

- Les insignifiantes existent entre le HCO₃⁻, et NO₃⁻.

Caractéristiques Hydrochimiques

Le pH des eaux souterraines est plus ou moins homogène et oscillent entre 7,2 et 7,87. Les Température varient de 24.5°C à 24.7°C. La conductivité s'échelonnent varie de 4470µS/cm au point à 18030µS/cm. Les teneurs en Ca²⁺ sont comprises entre

224.4 et 1806.2 mg/l. le Magnésium (Mg^{2+}) sont comprises entre 122.16 et 548.28mg/l. Le sodium et le potassium (Na^+ , K^+) cumulent des teneurs de 3735.99 mg/l à 971.35 mg/l. Les Chlorures Cl^- enregistrent une valeur minimale et maximale de 969.15 mg/l et 5822 mg/l. Les sulfates (SO_4^{2-}) indiquent une moyenne de 115,166667 mg/l entre 232 mg/l et 61 mg/l. les Bicarbonates (HCO_3^-) 58,865 mg/l varient de. 36,6 mg/l à 91,5 mg/l.

Minéralisation

Les eaux de ce système sont trop chargées, attestées par des valeurs élevées (Tableau 4).

Tableau 4. Conductivité et Minéralisation des eaux étudiées

Points d'eau	Désignation	Conductivité ($\mu S/cm$)	Minéralisation (mg/l)
F1	Ain Cheikh (F)	7310	5544,96
P1	Kebouna	5910	4483,00
P2	Hassi Blanat (djamai)	5640	4278,19
P3	Hassi Soltani	7400	5613,23
P4	Aïn Sidi Mbarek(P)	6570	4983,63
S1	Ain Cheikh (S)	18030	15333,29
P5	Alfred	6880	5218,78
S2	Ain eddir	4470	3390,69
F2	Hammam Drissi	5660	4293,36
S3	Ain Sidi M'barek (S)	7580	5749,76
P6	La piscine	8960	6796,55
P7	Puits apprentissage	9910	7517,17

Le graphe ci-dessous (Figure 5) atteste des échelonnements de la conductivité électrique et la minéralisation.

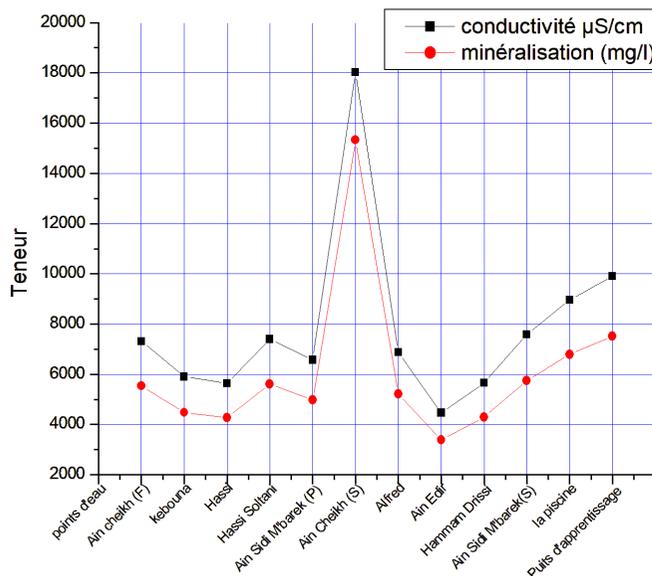


Figure 5. Conductivité électrique et minéralisation des eaux de Kenadsa-Guelb El Aouda

Faciès hydrochimique

Les faciès ainsi que les principaux sous faciès hydrochimiques des eaux échantillonnées ont été déterminés à partir de leurs teneurs en milléquivalent/litre (des quantités en réaction) et leurs formules caractéristiques (Tableau 5).

Tableau 5. Faciès caractéristiques des échantillons prélevés

Points d'eau	Anions	Cations	Faciès des eaux
F1	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
P1	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
P2	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
P3	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
P4	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rMg^{+2} > rCa^{+2}$	chloruré-sodique
S1	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
P5	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rMg^{+2} > rCa^{+2}$	chloruré-sodique
S2	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
F2	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique
S3	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rMg^{+2} > rCa^{+2}$	chloruré-sodique
P6	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rMg^{+2} > rCa^{+2}$	chloruré-sodique
P7	$rCl > rNO_3 > rSO_4^{2-} > rHCO_3^-$	$rNa^{++} K^+ > rCa^{+2} > rMg^{+2}$	chloruré-sodique

La représentation des analyses sur le diagramme de piper indique un faciès Chloruré Sodique (Figure 6).

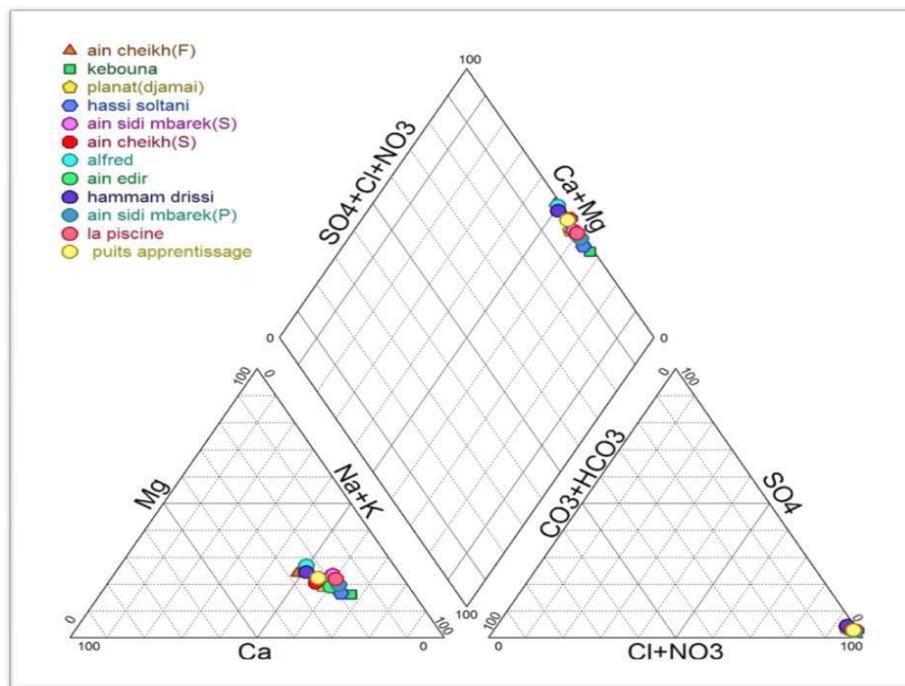


Figure 6. Représentation graphique des résultats sur le diagramme de Piper

Le diagramme de Schöller-Berkaloff (Figure 7) confirme le faciès Chloruré sodique.

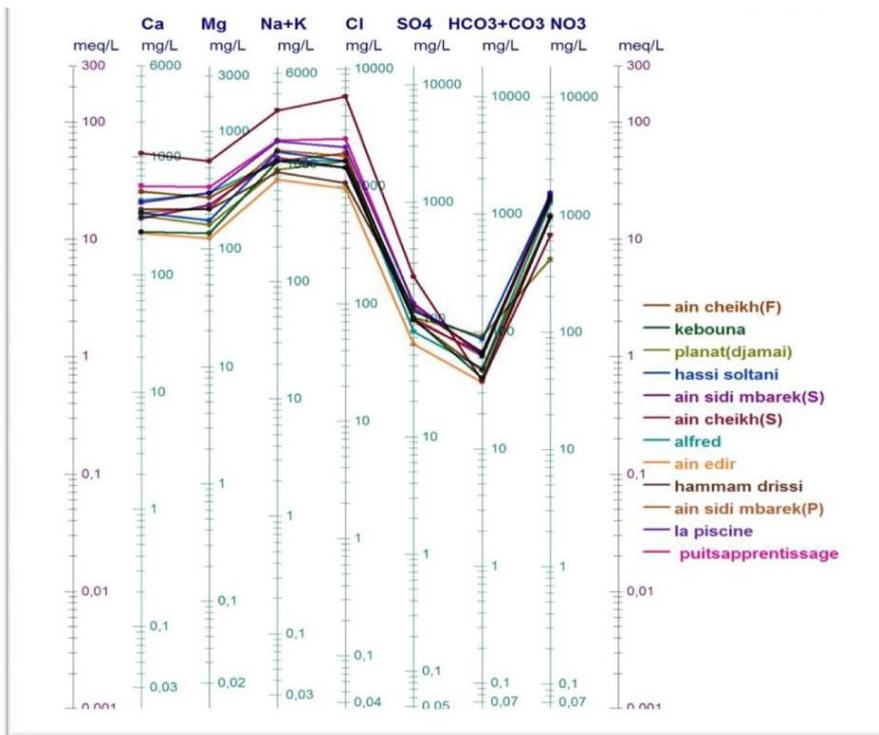


Figure 7. Représentation sur le diagramme de Schöller-Berkaloff

Potabilité des eaux

Toutes ces eaux sont impropres à la consommation humaine, à raison qu'elles dépassent les normes de potabilité à la concentration Maximale Admissible (CMA).

Aptitude des eaux à l'irrigation

Sodium Adsorption Ratio « SAR »

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels de chlorures de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Todd, 1980). Lorsque la concentration des ions Na⁺ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca²⁺ dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cet effet.

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium adsorbable, « Sodium Adsorption Ratio : SAR ». Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

D'après les calculs des SAR, le Tableau 6 montrant des valeurs entre 8.81 à 9.90 dans quatre (04) points d'eau, et le reste ajustée entre 10.36 à 17.6. Ces résultats indiquent des eaux de bonne qualité pour l'irrigation, donc sans risque de salinité.

Tableau 6. Le sodium adsorption ratio (SAR) des eaux étudiées

Points d'eau	SAR	Qualité	Points d'eau	SAR	Qualité
F1	9,40	Excellent	P5	9,51	Excellent
P1	13,72	Bonne	S2	9,90	Excellent
P2	10,36	Bonne	F2	8,81	Excellent
P3	14,19	Bonne	S3	13,69	Bonne
P4	11,78	Bonne	P6	14,29	Bonne
S1	17,61	Bonne	P7	13,06	Bonne

Ces résultats sont représentés sur la Figure 8.

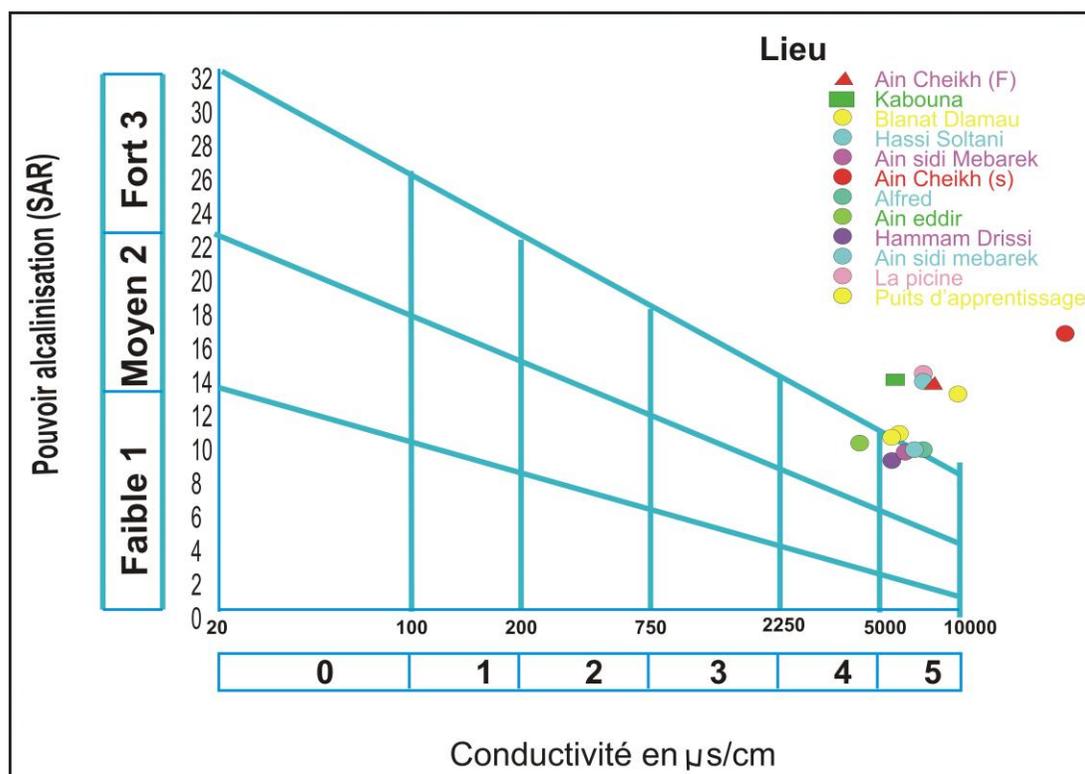


Figure 8. Diagramme SAR

Indice de pollution

Les nitrates sont considérés comme indice de pollution, lorsqu'elle dépasse 50mg/l (OMS). Effectivement, les eaux souterraines à "Kenadsa-Guelb el Aouda" attestent des teneurs très élevées de 418 à 1533 mg/l (Figure 9), ceci conduit à admettre la présence une remarquable pollution

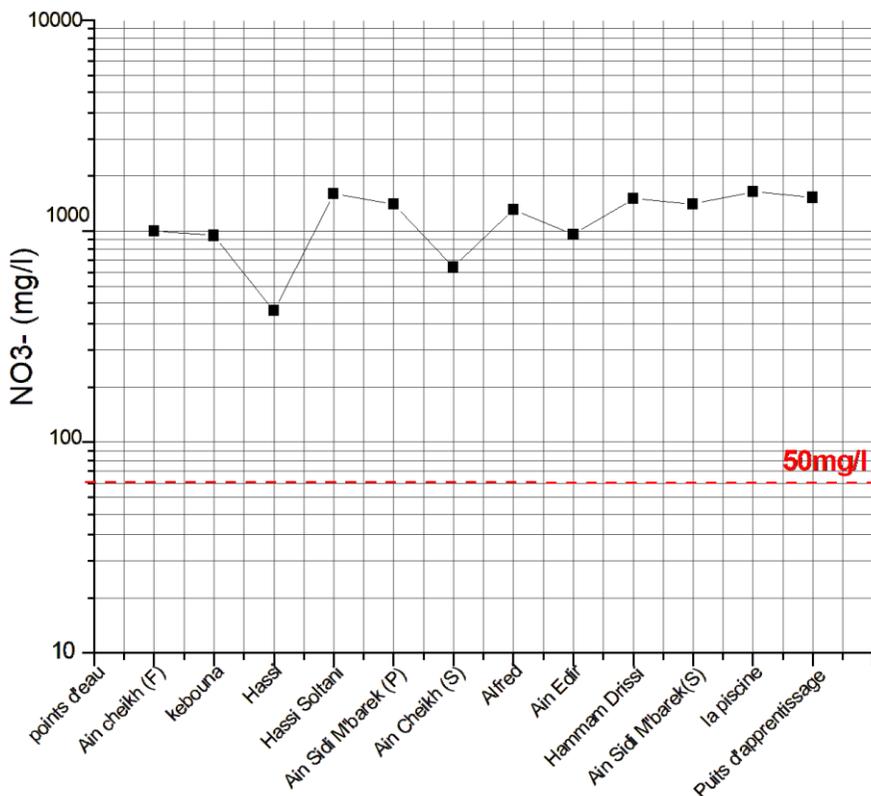


Figure 9. Nitrates dans les eaux souterraines de « Kenadsa-Guelb el Aouda »

4. Discussions

Les analyses des eaux souterraines de la région de Kenadsa - Guel El Aouda montrent que ces eaux sont fortement minéralisées, dont la conductivité électrique varie de 4470 μ S/cm au point à 18030 μ S/cm. Ces eaux ne sont pas potables ; elles présentent des teneurs en éléments majeurs (sodium, magnésium, sulfate, chlorure et calcium) dépassant les normes recommandées par l’OMS et les normes algériennes. de même que les nitrates affiches des teneurs très élevées.

Cet état est présidé par les facteurs suivants :

Nature lithologique et contexte paléogéographique du charbon

La nature lithologique de l'aquifère est responsable des teneurs élevées des cations, des anions. La présence des marnes à de gypse et des schistes, aboutissent sans équivoque à la haute charge de minéralisation. Ceci résulte d'un processus complexe le long du parcours de l'eau depuis son point d'infiltration.

La genèse du charbon s'effectue selon un processus géologique complexe dans un environnement de lagon et de sebkha, faisant appels au climat, à l'eustatisme, à la subsidence et à la température. Les cortèges sédimentaires sont dits des cyclothymes (Deleau, 1952), contenant des roches sulfatées et évaporitiques.

Nature vulnérable de l'aquifère

Le système westphalien est vulnérable. Les bancs de grès sont exposés à la surface de la région d'études, et ils sont affectés de fracturation. il s'agit de l'équivalent de nappe libre.

Dissolution des terrils

L'extraction de houille dans le bassin minier de Béchar a généré de nombreux résidus solides entreposés à l'air libre sous forme de terrils. Ces terrils sont exposés aux intempéries et les matériaux qui les composent sont altérés par l'action des facteurs météorologiques. Ces terrils entreposés, sont essentiellement composés de schistes houillers et contiennent des sulfures métalliques (pyrite très majoritairement), qui peuvent être oxydés au cours de l'infiltration et la percolation des eaux de pluies. Les sulfates et les métaux ainsi libérés sont susceptibles de migrer et de gagner l'aquifère.

Utilisation excessive des engrais accompagnée d'une irrigation non maîtrisée et d'une fertilisation minérale excessive pouvant avoir un impact négatif sur la qualité des ressources en eaux qui se traduit essentiellement par la pollution nitrique diffuse des eaux souterraines ($\text{NO}_3 > 50 \text{mg/l}$).

Rejets non contrôlés correspondent ici aux eaux usées urbaines qui sont sans cesse croissants. L'abondant des eaux usées brutes sans traitement amplifient la détérioration qualitative de ces eaux et amplifient considérablement les teneurs en nitrates

Connaitre les causes, surtout de la pollution est déjà se placer dans la recherche des remèdes pour la question de la pérennité qualitative de ces eaux souterraines et au développement durable.

Conclusion

L'étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région "Kenadsa-Guel El Aouda" ont permis de constater que l'aquifère westphalin (Carbonifère supérieur) est constitué de complexe lithologique complexe avec prédominance de grès. il se caractérise par une perméabilité 10^{-5} m/s à 10^{-6} m/s et une transmissivité de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à environ de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

La carte piézométrique, réalisée à la base des 12 ouvrages (07 puits, 03 sources et 02 forages), permet de suggérer un sens d'écoulement de l'est vers l'ouest, (de l'oued Béchar, à l'est vers l'oued Messaouer en ouest), perturbé par des pompages localement.

Ces eaux sont chargées dont la minéralisation varie de 3390mg/l à 15333mg/l . Les diagrammes de Piper et Scholler indiquent un faciès chimique chloruré-sodique. Ces eaux affichent un pH allant de 7.20 à 7.87. La valeur de la conductivité électrique varie de $4470 \mu\text{S/cm}$ à $18030 \mu\text{S/cm}$. Ceci implique une minéralisation élevée. Les teneurs en Ca^{2+} sont comprises entre 224.4 et 1806.2 mg/l. La teneur en Mg^{2+} varie de

122.16 et 548.28mg/l. Les autres éléments indiquent tous des valeurs élevées et par conséquent, ces eaux ne sont pas valables pour la consommation humaine selon les normes de potabilité algérienne. Les valeurs SAR attestent que ces eaux sont valables pour l'irrigation. Les nitrates affichent des teneurs dépassant de loin la norme de potabilité fixée par l'OMS (418 à 1533 g/l). Cette pollution est due vraisemblablement à la nature lithologique de l'aquifère, à l'abandon des eaux usées dans la nature, à la vulnérabilité extrême de l'aquifère du Westphalien et l'utilisation excessive des engrais et à la dissolution des terrils.

Déclaration de divulgation

Aucun conflit d'intérêts potentiel n'a été signalé par les auteurs.

Références bibliographiques

- Aloui, R. (2019). *Caractérisation hydrogéologique du système aquifère jurassique de Mougheul (Djebel Grouz, Sud-Ouest, Algérie)*, Thèse, UTMB, p. 162
- Ouda, S., & Tidjini, N. (2014). *Contribution à l'étude des eaux souterraines dans les systèmes multicouches en zone aride cas du westphalien de Kenadsa*. Mémoire, master, université de Béchar, p. 128
- Belkendil, A. (2021). *Les ressources hydriques dans les zones arides, caractérisation, dynamique et durabilité (cas du sud – ouest algérien)*. Thèse université de Tlemcen, p. 225
- Benyoucef, M. (2012). *Le bassin crétacé du Guir (Sud-ouest, Algérie) Caractérisation litho-Biostratigraphiques, sédimento-logique et paléogéographiques* Thèse. univ. Tlemcen, p. 219
- Bourgeois, M. (1960). *Geological study on the possibility of exploiting groundwater in the North Ksour of Colomb-Béchar*, Department of Saoura, pp. 35-44
- Brahmi, H. (2015). *Contribution à l'étude des eaux souterraines au Sahara, exemple des eaux de la région de Kenadsa*. Master, Université de Tlemcen, p. 83
- Castany, G. (1982). *Principes et méthodes de l'hydrogéologie*. Dunod, Paris, p. 238
- Collin, J. J. (2004). *Les eaux souterraines ; Connaissance et gestion*, éd. BRGM/Hermann
- Deleau, P. (1951). *Monographie de la région DE Colomb Bechar*, série n°8"
- Deleau, P. (1952). *Les bassins Houillers du Sud oranais dans la région de Béchar-Abadla*. *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, Livre I, Stratigraphie*, p. 275
- Deleau, P. (1955). *Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Colomb Béchar* », *Publ. Géol. Algérie*, N°6, pp. 177-190
- De Marsily, G. (1981). *Hydrogéologie Quantitative*. Masson, Paris
- Dubief, J. (1963). *Le climat du Sahara*. Mém. de l'Inst. Rech. Sahar. Alger, 2, p. 275
- Ferlatte, M., Tremblay, Y., Rouleau, A., & Larouche, U. F. (2014). *Les eaux souterraines pour tous. Première Édition. Réseau québécois sur les eaux souterraines (RQES)*, p. 63
- Flamand, G.B.M (1911). *Recherches géologiques et géographiques sur le Haut Pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et territoires du Sud)*. *Th. Sc., Univ. Lyon*, 47 et A, pp. 1-1001
- Guerre, C. (1975). *Rapport (inédit) sur l'alimentation en eau potable de villes de Béchar et Kenadsa*. Direction d'hydraulique, p. 55
- Idrotechnico (1976). *Etude hydrogéologique de la région de Béchar*, SONAREM (rapport inédit)
- Kabour, A., & Chebbah L. (2017). *Caractérisation hydro-chimique 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)*, *GEO-ECO-TROP*, pp 99-106

- Lemosquet, Y., & Pareyn, C. (1985). *Bechar Basin*, in Wagner, R. H., Winkler Prins, C. F. & Granados, L. F. (eds), *The Carboniferous of the World*, vol. 2. IUGS Publication 20. Instituto Geologico y Minero de Espana, Madrid: pp. 306-315.
- Lemosquet, Y., Pareyn, C., & Weyant, M. (1980). *Transgressions dinantiennes et mouvements hercyniens précoces sur la bordure septentrionale du craton africain (Bassin de Béchar, Sahara Sud-oranais, Algérie)*. Huitième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie Carbonifère, Moscou, Compte Rendu 6: pp 199-209
- Lemosquet, Y., Pareyn, C., & Weyant, M. (1976). *Schéma de l'évolution tectono-sédimentaire du Carbonifère inférieur et moyen dans le Bassin de Béchar (Sahara sud-oranais)*. 4ème Réunion Annuelle en Sciences de la Terre, Paris, 13 Livre des résumés: p. 126
- Levy, R. (1949). *Le bassin du Ziz-Guir*. Rapport Géologique Inédit, Maroc, Rabat: p. 35, 6 cartes.
- Margat, J. (1998). *Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisations*. Ed. Plan Bleu et BRGM, Documents du BRGM, 282, Orléans, p. 110
- Mebarki, S. (2012). *Caractéristique hydrogéologique de l'aquifère jurassique dans la plaine de Mougheul, (Ksour du Nord, Béchar)*. Mémoire de Magistère Université de Béchar, p. 136
- Mekkaoui, A. (2000). *Bordure du sillon atlasique et plate-forme Saharienne. Jurassique inférieur et moyen. Grouz méridional, Charef-Fendi, Algérie Sud Occidentale*. Mémoire de magister, Univ. Oran
- O.N.M (2018). *Rapport de l'office national de météorologie (rapport inédit)*
- Pareyn, C. (1961) *Les massifs Carbonifères du Sahara Sud-Oranie. Stratigraphie et tectonique*. T1. n° 1, édit. C.N.R.S., Paris. 180 fig, 326 p.
- Poirmeur, M. (1906). *La région du Guir-Zousfana. Renseignements coloniaux. Bureau Topographie du Territoire d'Ain Sefra*. Publication du Comité du Maroc, Paris, XVI: p. 101
- Rodier, J. (1996). *L'Analyse de l'eau. eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer*. 8ème Edition, DUNOD, Paris, p. 1383
- Sadat, S., Mansour, H., Mekkaoui, A., & Merzougui, T. (2020). Identification and evolution of the Turonian aquifer case study: Cretaceous basin of Be char, southwestern Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 46 (VII-IX): pp. 190-199
- Sellami, F., & Rabah, M. (2017). *Eaux souterraines dans la région de Béchar; Caractérisations et perspectives (Région de Béchar, S-O, Algérie)*, Mémoire de Master, université Tahri Mohamed. p. 145
- Todd, D.K. (1980). *Groundwater Hydrology*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York