



CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES EAUX DE LA ZONE MARÉCAGEUSE D'EL-KENNAR (JIJEL, N-E ALGÉRIEN)

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE WATERS OF THE SWAMPY AREA OF EL-KENNAR (JIJEL, N-E ALGERIEN)

Réception: 16/10/2018

Acceptation: 24/11/2018

Publication: 08/01/2019

DROUICHE Abdelmalek¹, ZAHY Faouzi¹, DEBIECHE Taha-Hocine¹, MAHDID Souhil¹, GHECHEM Alia², LASMIA Hassiba²

¹ Laboratoire de Génie Géologique, Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel, BP 98 Ouled Aissa, 18000, Algérie, e-mail : drouiche_malek@yahoo.fr

² Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel, BP 98 Ouled Aissa, 18000, Algérie, e-mail : hassiba18mina@gmail.com

Résumé - La pollution des eaux est une notion qui est en constante évolution. Elle constitue aujourd'hui une véritable menace pour l'environnement et bien sûr pour la santé humaine. La région marécageuse d'El-Kennar est caractérisée par des ressources en eau souterraines et superficielles importantes. Ces eaux sont utilisées pour l'agriculture, qui représente l'activité principale dans la région, ainsi que pour les besoins domestiques surtout pour l'agglomération de Faza.

L'objectif de cette étude est de faire tout d'abord une évaluation qualitative des ressources en eau qu'elles soient superficielles ou souterraines dans la dite région et ce, à travers une campagne de mesures piézométriques et hydrochimiques pour les eaux du marécage, de ses affluents et des eaux souterraines de la nappe qui l'entoure.

La carte piézométrique a montré que le marécage reçoit des apports d'eau de la nappe du côté Sud-Est et alimente la nappe du côté Nord-Ouest. Les résultats physico-chimiques des eaux de la nappe et celles du marécage ont montré une dominance du faciès chloruré pour les eaux souterraines et du faciès bicarbonaté pour les eaux de surface. La qualité chimique des eaux (superficielles et souterraines) montre que la plupart des points d'eaux présentent une bonne qualité par rapport aux descripteurs : température, conductivité électrique, pH et les éléments majeurs à l'exception du magnésium qui présente des teneurs, dans les eaux souterraines, dépassant la norme de potabilité. Les indicateurs de pollution organique (NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^-) montrent une contamination ponctuelle en relation avec les activités agricoles et les rejets des eaux usées domestiques.

Mots-clés : eau souterraine, eau de surface, pollution des eaux, marécage El-Kennar, Jijel.

Abstract-Water pollution is a concept that is constantly evolving. It is now a real threat to the environment and of course to human health. The El-Kennar swamp area is characterized by significant groundwater and surface water resources, these waters are used for agriculture which is the main activity in the region, as well as for domestic needs especially for the agglomeration of Faza.

The objective of this study is to first make a qualitative assessment of water resources whether superficial or underground in this region, through a piezometric and hydrochemical measurement campaign for the waters of the swamp, its tributaries and groundwater from the surrounding water table. The piezometric map showed that the swamp receives the water supply from the water table on the South-East side and feeds the water table on the North-West side. The physicochemical results of groundwater and swamp water showed a dominance of chlorinated facies for groundwater and bicarbonate for surface water. The chemical quality of the water (superficial and underground) shows that most of the water points have a good quality compared to the descriptors: temperature, conductivity, pH and the major elements with the exception of magnesium which has contents, in the groundwater, exceeds the potability standard. Indicators of organic pollution (NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^-) show point contamination in relation to agricultural activities and discharges of domestic wastewater.

Keywords: groundwater, surface water, water pollution, El-Kennar swamp, Jijel.

1-Introduction

Les zones humides sont des espaces de transition entre la terre et l'eau. Ces espaces revêtent des réalités écologiques et économiques très différentes [1]. Généralement, on les trouve là où la nappe phréatique affleure ou est proche de la surface du sol ou encore là où la terre est recouverte par des eaux peu profondes [2]. Elles assurent 25% de l'alimentation mondiale à travers l'activité de la pêche, de l'agriculture et de la chasse. Elles ont un pouvoir d'épuration important, filtrant les pollutions, réduisant l'érosion, contribuant au renouvellement des nappes phréatiques, stockant naturellement le carbone, protégeant des crues et de la sécheresse [3 & 4].

Les conditions climatiques, la localisation et le contexte géomorphologique sont les caractéristiques qui déterminent les zones humides. Les conditions hydrologiques déterminent le fonctionnement écologique des zones humides et permettent de les différencier des milieux terrestres bien drainés et des écosystèmes aquatiques d'eau profonde [5].

Les zones humides ont toujours attiré les populations en raison de leur localisation (côtières, en fond de vallées). De ce fait, ces endroits sont devenus l'un des écosystèmes mondiaux les plus touchés et les plus menacés par les activités humaines (industrialisation et développement urbain) [6].

L'Algérie est riche en zones humides. Ces milieux font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Le recensement effectué en 2015 par la DGF (Direction Générale des Forêts) a dénombré 2375 zones humides apparentes (2056 zones humides naturelles et 319 artificielles) dont 50 zones d'entre elles sont classées sur la liste Ramsar d'importance internationale. Cependant, plusieurs zones humides sont devenues le réceptacle à ciel ouvert de décharges sauvages occupant une superficie de plus de 150 000 hectares et situées le plus souvent sur des terres agricoles ou le long des oueds [7] et qui causent beaucoup de nuisances comme la dégradation des eaux souterraines et de surface, des sols, de l'atmosphère et les risques en matière de santé publique. De ce fait, et malgré que l'utilisation rationnelle de ces

zones soit loin d'être atteinte, il nous faudra l'aide de tous pour progresser un peu plus pour que ces zones humides soient dotées de plans de gestion à même de garantir leur utilisation durable et ne soient plus des dépotoirs à ciels ouverts et le réceptacle d'eaux usées [8].

Plusieurs études ont été menées sur les zones humides d'Algérie durant les dernières années [9-13]. Elles ont permis de décrire et comprendre l'organisation, la structure et la diversité des communautés végétales de ces milieux. D'autres études ont été réalisées pour visualiser la qualité des eaux de ces zones du point de vue microbiologiques et physicochimiques [14-17]. Les zones humides du littoral de la Kabylie restent moins étudiées. Les quelques travaux discontinus existants [18-20] ont été réalisés sur les zones humides d'eau douce de Beni-Belaid et d'El-Kennar, dans la wilaya de Jijel.

Le marécage d'El-Kennar ou bien Ghedir Beni Hamza constitue une partie intéressante du patrimoine hydraulique de la région et qui se rattache au bassin versant d'oued Nil. Son sous-bassin versant est limité par une ligne de crête de Djebel Beni Hamza (279 m) et de Djebel Boutouil (117 m). Le marécage représente la source prépondérante d'eaux d'irrigation et joue un grand rôle écologique dans la région comme milieu humide favorable à une richesse floristique et faunistique et hydrologique dans l'amortie les crues. Dans cette optique, ce travail a été axé principalement sur l'aspect qualitatif de ces eaux à travers la détermination de la relation nappe-marécage, la qualité physico-chimique de l'eau et l'origine de la pollution.

2- La zone d'étude

Le marécage d'El-Kennar est localisé dans la partie orientale de la plaine alluviale d'oued Nil (Fig.1). Le périmètre et la superficie de son BV sont successivement 9.32 km et 2,22 Km². Cette zone marécageuse, appelée communément Ghedir Beni Hamza, est un plan d'eau naturel couvrant une superficie d'environ 37 ha. Elle possède un cortège floristique très riche, offre la possibilité d'être un site de nidification et d'alimentation pour un grand nombre d'espèces animales.

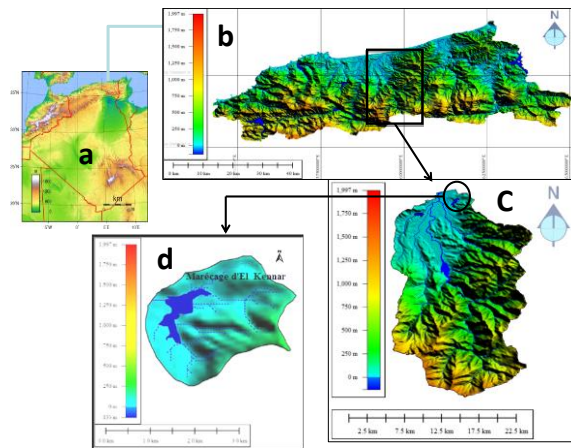


Figure 1 : Situation administrative et géographique de la zone d'étude (a : limite administrative de l'Algérie ; b : limite administrative de la wilaya de Jijel ; c : limite naturelle du bassin versant d'Oued Nil ; d : limite naturelle du sous bassin versant de la zone marécageuse d'El-Kennar).

Figure 1: Administrative and geographical location of the study area (a: administrative limit of Algeria; b: administrative limit of the wilaya of Jijel; c: natural limit of the wadi Nil watershed; d: natural limit of the sub-basin of the El-Kennar swamp)

Du point de vue géologique la région d'étude se trouve dans le bassin Néogène de Jijel. Les formations géologiques composant le bassin versant du marécage sont les suivantes (Fig.2) :

- ✓ Des alluvions récentes (a^2) : ces alluvions forment l'aquifère de la nappe superficielle de la plaine (sable, gravier) ;
- ✓ Des alluvions marécageuses (a^3) : forment actuellement le fond du lac ;
- ✓ Alluvions détritiques et dunes anciennes (q^d) : comprenant des cailloutis, des galets et des argiles ;
- ✓ Plage marine (8 à 12 m) (q^1 m) ;
- ✓ Schistes et phyllades (x^2) ;
- ✓ Schistes granulitisés et micaschistes granulitisés (gneiss) ($xr^1z^2r^1$) ;
- ✓ Schistes micacés, micaschistes (xz^2-z^2).

Les formations métamorphiques du socle kabyle (les schistes) forment la limite méridionale de la zone étudiée. Elles sont la plus basse unité géologique de la région d'El-Kennar.

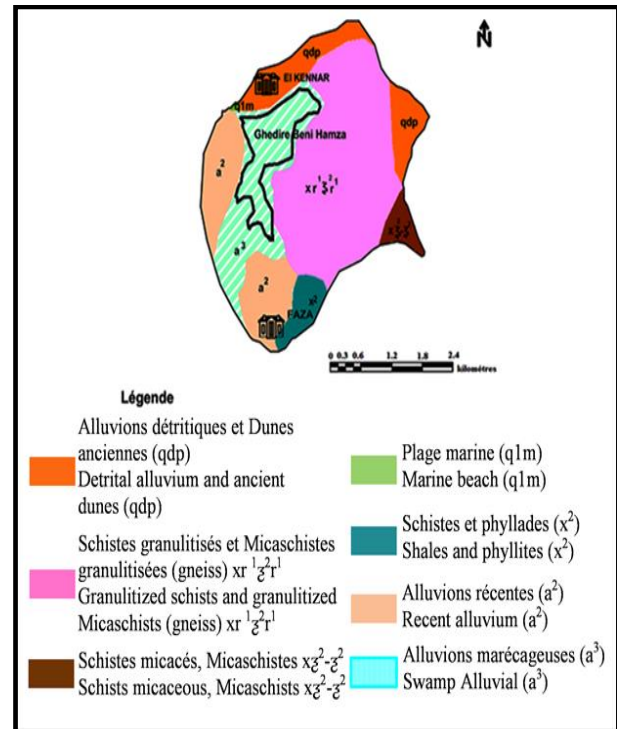


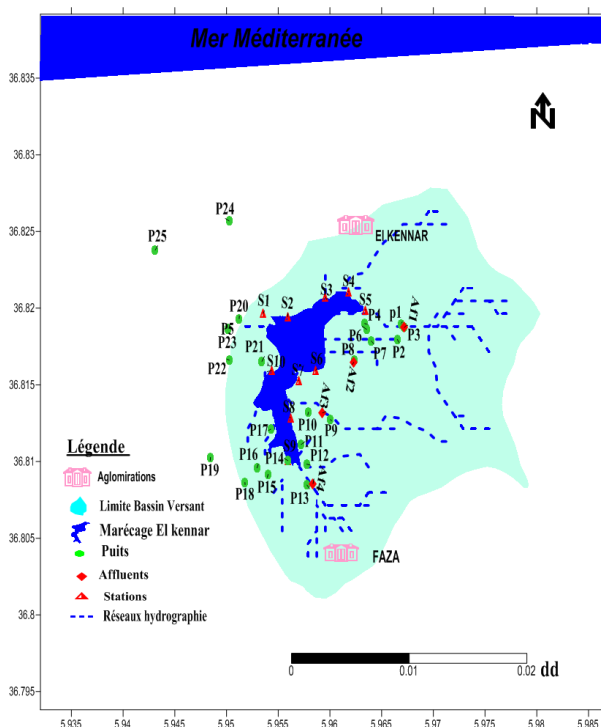
Figure 2: Esquisse géologique de la zone d'étude (provenant de la carte géologique d'El-Milia N°29, Ehrmann (1926))

Figure 2: Geological sketch of the study area (from the El-Milia geological map N°. 29, Ehrmann (1926))

3-Matériels et Méthodes

3.1-Prélèvement

Une campagne de prélèvement a été effectuée durant le mois d'avril de l'année 2016. Les eaux de surface ont été échantillonnées sur 14 stations (lac et affluents) alors que les eaux souterraines ont été échantillonnées sur 18 puits (Fig.3).

Tableau 1 : Méthodes d'analyses des différents paramètres physico-chimiques**Table 1:** Methods of analysis of the different physicochemical parameters**Figure 3 :** Carte d'inventaire des points d'eau de la zone marécageuse d'El-Kennar.**Figure 3:** Inventory map of water points in the El-Kennar swamp.

3.2-Analyses physico-chimiques

L'analyse des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^{2-}), des sels dissous (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{2-}) et le fer (Fe^{2+}) a été effectuée au laboratoire de recherche de Génie Géologique. En fonction de l'ion à doser, différentes techniques, décrites dans les ouvrages généraux de chimie des eaux, [21] ont été utilisées (Tab.1).

Paramètre	Unité	Méthode d'analyse
Température (T°)	$^\circ\text{C}$	Valise multi-paramètre
Potentiel d'hydrogène (pH)		pH-mètre
Potentiel de redox (Eh)	mv	valise multi-paramètre
Conductivité électrique (CE)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	conductimètre
Dureté (TH)	mg/l	méthode volumétrique
Alcalinité (TAC)	mg/l	méthode volumétrique
Chlorures (Cl^-)	mg/l	méthode de Mohr
Nitrates (NO_3^-)	mg/l	
Nitrites NO_2^-	mg/l	
Azote ammoniacal NH_4^+	mg/l	spectrophotométrie UV-Vis 1600 PC
Ortho phosphates PO_4^{3-}	mg/l	
Sulfates SO_4^{2-}	mg/l	
Fer Fe^{2+}	mg/l	
Calcium Ca^{2+}	mg/l	titrimétrie
Sodium Na^+	mg/l	
Potassium K^+	mg/l	spectrophotométrie à flamme

4-Résultats et discussion

4.1-Fluctuation spatio-temporelle du marécage d'El-Kennar

L'eau est considérée comme un agent cinétique à toutes les directions de la surface, c'est pour cela que nous avons opté pour une étude bathymétrique avec des images satellitaires du Google Earth pour mieux connaître la fluctuation du marécage d'El-Kennar et ce, durant les saisons hivernales (période des hautes eaux) et les périodes estivales (période des basses eaux). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2.

Ils montrent que la superficie moyenne du marécage pendant la période des hautes eaux est de l'ordre de 39 ha. Par contre, pendant la période des basses eaux elle est de 23 ha. Cette fluctuation est due d'une part, aux facteurs climatiques (précipitations, température et

évaporation) et d'autre part à l'absence des apports qui alimentent le marécage surtout par ruissellement (tous les affluents sont temporaires). Cependant, une alimentation du marécage par des apports souterrains est toujours possible.

4.2-Piézométrie de la zone marécageuse

Les mesures piézométriques effectuées sur les points recensés durant le mois d'avril 2016 nous ont permis de dresser une carte piézométrique (Fig.4). L'interprétation de cette carte nous a permis de constater que :

- ✓ Le sens général d'écoulement est de direction Sud-Est vers Nord-Ouest ;
- ✓ Le marécage reçoit les eaux de la nappe du côté Sud-Est et alimente la nappe du côté Nord-Ouest ;

Le gradient hydraulique est faible dans les zones N-E et S-O avec une valeur moyenne de l'ordre de $0.5 \cdot 10^{-2}$ et fort dans la zone S-E ($1.98 \cdot 10^{-2}$). Cette variation du gradient est due d'une part, à la perméabilité de terrain qui n'est pas homogène (sables et graviers dans la région de Faza et Djimar et sables dans la partie Nord et Nord-Est) et d'autre part, à la pente qui est plus importante dans la partie Sud-Est (la cote topographique varie entre 20m aux puits P1-P3 et 29m au puits P9 à 5m au centre du lac).

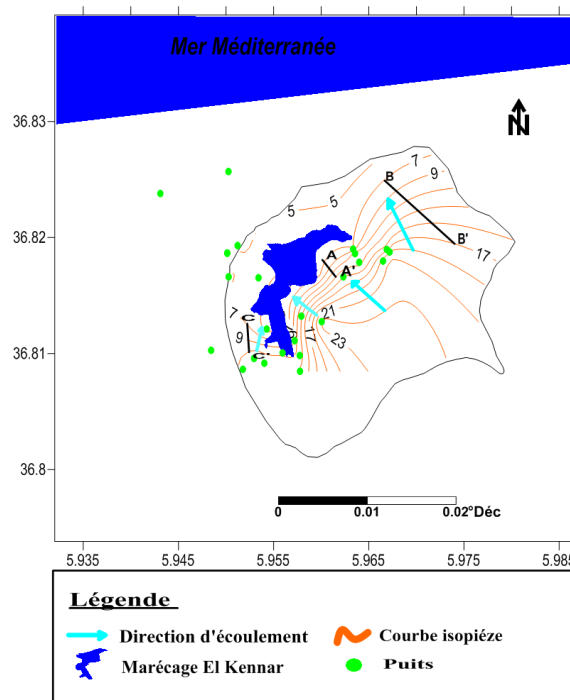
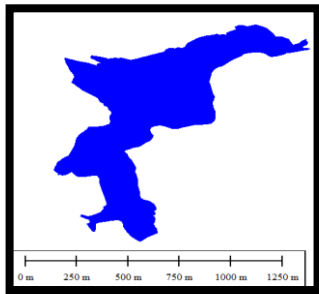


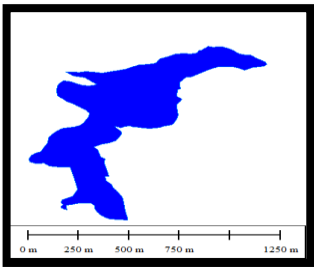
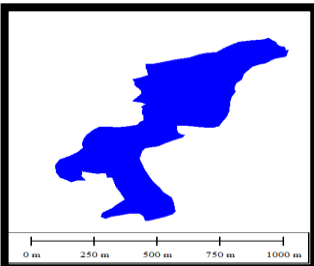
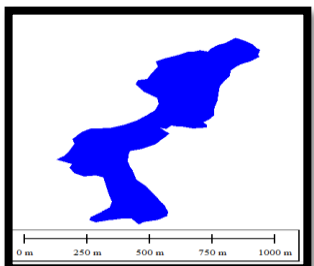
Figure 4 : Carte piézométrique de la zone marécageuse d'El-Kennar (Avril 2016).

Figure 4: Piezometric map of the El-Kennar swamp (April 2016).

Tableau 2 : Fluctuation du niveau d'eau du marécage d'El-Kennar durant les deux périodes de basses et hautes eaux.

Table 2: Fluctuation of water level of El-Kennar swamp during both low and high water periods

Période	Image /date	Géométrie	
		Superficie (Ha) ou (Km ²)	Périmètres (Km)
Hautes Eaux	24/2/2014 	39.18Ha ou 0.3918 Km²	4.958 Km

	12/2/2015		37.09 Ha ou 0.3709 Km ²	4.571 Km
Basses Eaux	9/8/2007		26.73Ha ou 0.2673 Km ²	3.679Km
	13/7/2009		21.79Ha ou 0.2179 Km ²	3.343Km

4.3-Faciès chimique des eaux

Le diagramme de Piper (1944) [22] est largement utilisé pour comparer les compositions chimiques des eaux en éléments majeurs. D'après Derron (2000) [23], les faciès hydro-chimiques sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles.

4.3.1-Les eaux souterraines

Le report des données d'analyse physico-chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude pour 18 puits (Avril 2016) sur le diagramme de Piper (Fig.5) montre l'existence de plusieurs faciès chimiques :

➤ **Faciès chloruré sodique** : représente 38.90% des échantillons. L'origine de ce dernier serait probablement due à la dissolution des formations salifères au cours du transit des eaux dans la formation aquifère et au lessivage des sols lors de l'infiltration des eaux vers la nappe ;

➤ **Faciès bicarbonaté magnésien** : représente 38.88% des échantillons. Les bicarbonates sont liés au lessivage des terrains métamorphiques (schiste, micaschiste, granulite) et des formations marneuses. Le magnésium est probablement dû à la dissolution et à la précipitation secondaire des carbonates, la dissolution des formations schisteuses (chlorites) [24] et l'échange cationique avec les minéraux argileux ;

➤ **Faciès chloruré magnésien** : représente 22.22% des échantillons. Ce faciès est dû probablement au lessivage des terres agricoles suite à l'infiltration des eaux vers la nappe.

4.3.2. Les eaux de surface

La représentation sur le diagramme de Piper des résultats des 14 échantillons prélevés aux alentours du lac et au niveau de ses affluents permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux de surface de la région d'étude.

Le diagramme de Piper (Fig.6) permet de recenser les faciès chimiques suivants :

➤ **Faciès bicarbonaté calcique** : représente 42.85% des échantillons. Ce type de faciès est observé pratiquement à toutes les stations de mesure aux alentours du lac. Ce faciès est probablement dû aux formations schisteuses qui se trouvent au Sud et à l'Est de la plaine ;

➤ **Faciès bicarbonaté sodique** : représente 14.28% des échantillons. Ce type de faciès est observé surtout à la partie Sud et Sud-Est du marécage. Il indique des apports plus riches en éléments salifères dus à l'effet de l'évaporation au niveau du lac ou bien à l'influence des apports des eaux usées de la région de Faza ;

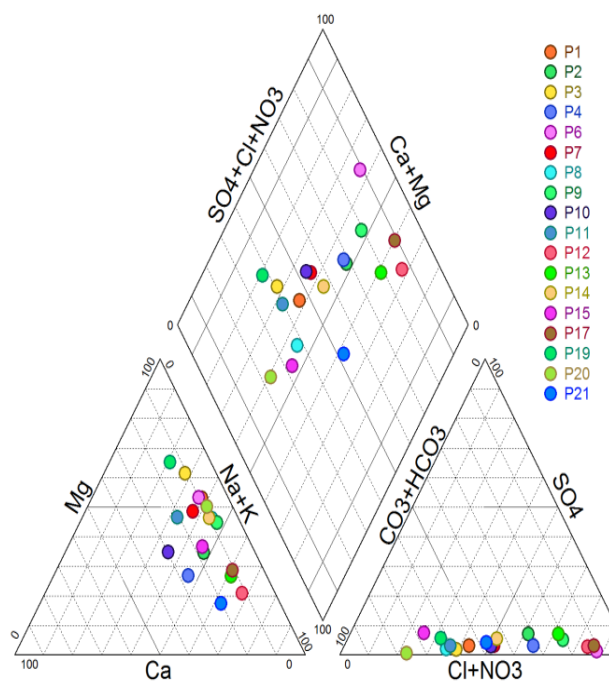


Figure 5 : Faciès chimique des eaux souterraines de la zone marécageuse d'El-Kennar (Avril 2016).

Figure 5: Chemical facies of the groundwater of the El-Kennar swamp area (April 2016).

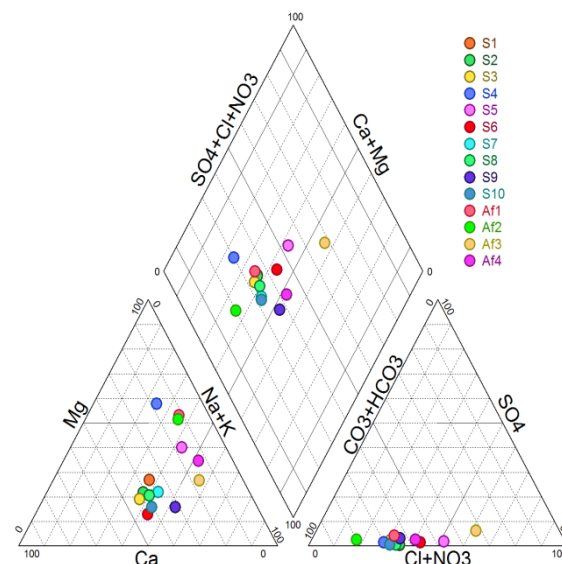


Figure 6 : Faciès chimique des eaux de surface de la zone marécageuse d'El-Kennar (Avril 2016).

Figure 6: Chemical facies of the surface waters of the El-Kennar swamp area (April 2016).

➤ **Faciès bicarbonaté magnésien** : représente 28.57% des échantillons. Ce type de faciès est remarqué surtout au Nord-Est sur l'axe des deux affluents 1 et 2 et aussi au niveau des stations 4 et 7. Ce faciès est dû d'une part, à l'apport du socle (les dolomies y sont présentes) et d'autre part, aux activités agricoles aux alentours du lac ;

➤ **Faciès chloruré sodique** : représente 7.14% des échantillons. Ce type de faciès est observé surtout à la partie Est au niveau des eaux de l'affluent 3. Ce dernier indique des apports beaucoup plus anthropiques ou des apports plus riches en éléments salifères dus à l'effet de l'évaporation au niveau du lac.

➤ **Faciès chloruré magnésien** : représente 7.14% des échantillons. Ce type de faciès est observé surtout à la partie Nord-Est au niveau de la station 5. Ce dernier indique le lessivage des terrains agricoles pour le magnésium et les rejets anthropiques pour les chlorures de cette rive.

4.4-Hydrochimie globale

La qualité des eaux souterraines est influencée par de nombreux facteurs tels que la chimie des eaux d'infiltration, la topographie, la géologie de la roche réservoir et les facteurs anthropiques [25]

Certains minéraux tels que les carbonates et les évaporites sont rapidement dissous et modifient considérablement la composition chimique de l'eau, tandis que d'autres minéraux, tels que les silicates, se dissolvent plus lentement et ont donc moins d'effet sur la composition chimique de l'eau [26].

Les résultats obtenus montrent que la température moyenne des eaux est de 18.9°C pour les eaux souterraines et 22.39°C pour les eaux de surface. La température joue également un rôle important dans le contrôle de la composition chimique et biologique d'une masse d'eau douce [27,28]. Elle joue un rôle catalytique dans les différentes réactions chimiques et permet la dissolution de grandes quantités de minéraux. Tous ces phénomènes se produisent dans l'écoulement des eaux souterraines en fonction du temps de séjour qui contrôle l'évolution de la composition chimique des eaux souterraines [29]. Ces processus hydrochimiques sont le résultat de l'interaction eau-roche et anthropogéniques affectant la qualité chimique des eaux souterraines [30,31]. Notons que ces processus géochimiques sont responsables de la variation saisonnière et spatiale de la qualité chimique des eaux souterraines [32,33]. L'examen de l'analyse chimique montre que le pH varie entre 5.45 et 7.22 pour les eaux souterraines, indiquant que l'eau a une faible alcalinité. Il est connu que les processus de tamponnage de la calcite et de la dolomite sont dominants dans la plage de pH 6.5-7.5 [34]. Le pH mesuré pour les 18 échantillons d'eaux souterraines analysées se situe dans cette plage dans 55.55% des cas. Les eaux de surface ont des valeurs de pH oscillant entre 6.72 et 8.9, indiquant une tendance à l'alcalinité.

Les valeurs de la conductivité électrique (CE) vont de 518 à 2230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux souterraines) et de 419 à 1047 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (eaux de surface). L'ordre d'abondance des principaux cations pour les eaux souterraines est $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ et presque tous les échantillons ont dépassé les concentrations maximales acceptables de sodium dans l'eau potable (50 mg/l).

L'abondance des principaux anions est $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ et la plupart des échantillons ont des teneurs inférieures à la norme de l'eau potable pour le Cl^- (200 mg/l), à l'exception de cinq échantillons (P2, P6, P12, P14 et P17), alors que tous les échantillons ne dépassent pas la concentration maximale acceptable en SO_4^{2-} pour l'eau potable (200 mg/l).

Dans la nappe, la concentration en nitrates varie de 0.53 à 7.94 mg/l avec une valeur moyenne de 3.08 mg/l et de 0.53 à 3.85 mg/l au niveau des eaux de surface. Par contre, la teneur en ammonium varie respectivement de 0 à 2.97 mg/l et de 0.01 à 1.77 mg/l pour les eaux souterraines et de surface, ce qui suggère une pollution locale de l'eau induite par l'activité agricole et les rejets des eaux usées domestiques.

L'absence d'une station d'épuration oblige le rejet des eaux usées dans le marécage et augmente ensuite la contamination des eaux de surface et puis souterraines par une simple infiltration. La lixiviation des engrais utilisés de manière excessive et sans contrôle en agriculture nuit sur la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude.

Dans les limites du marécage (zones d'alimentation), l'ordre d'abondance des principaux cations des eaux de surface est $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ et l'abondance des anions principaux est $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Cependant, à la sortie du lac, l'ordre d'abondance des cations majeurs est $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ et $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ pour les anions majeurs. Ceci explique la relation eaux de surface et eaux souterraines et leur mode d'écoulement.

Tableau 3 : Paramètres statistiques des éléments chimiques dans les eaux souterraines et superficielles; Max: maximum; Min: minimum; ET: écart type; CV: coefficient de variation; concentration en mg / l Eh: potentiel de redox (mv) et CE: conductivité électrique ($\mu\text{s} / \text{cm}$)

Table 3: Statistical parameters of the chemical elements in groundwater and superficial water; Max: maximum; Min: minimum; ET: Standard deviation; CV: coefficient of variation; concentration in mg/l Eh: Redox potential (mv) and CE: conductivity electric ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Paramètre	Type d'eau	Min	Moy	Max	ET	CV	Norme OMS
T°C	Eau souterraine	16,8	18,91	20,6	1,02	0,05	25
	Eau de Surface	17,7	22,39	26,5	2,77	0,12	
pH	Eau souterraine	5,45	6,47	7,22	0,52	0,08	6,5-8,5
	Eau de Surface	6,72	7,49	8,9	0,53	0,07	
CE	Eau souterraine	518	1081,5	2230	361,45	0,33	2500
	Eau de Surface	419	627,06	1047	186,27	0,30	
Eh	Eau souterraine	-86	187,4	300	82,06	0,44	/
	Eau de Surface	64	162,94	217	44,25	0,27	
Ca ²⁺	Eau souterraine	8,02	27,33	48,10	9,60	0,35	160
	Eau de Surface	15,23	33,12	50,50	12,16	0,37	
Mg ²⁺	Eau souterraine	19,93	50,20	89,91	21,90	0,44	50
	Eau de Surface	8,748	24,33	51,03	15,44	0,63	
Na ⁺	Eau souterraine	47,70	98,00	175,80	33,52	0,34	200
	Eau de Surface	28,3	57,92	103,1	23,75	0,41	
K ⁺	Eau souterraine	0,7	3,42	6,8	1,69	0,49	12
	Eau de Surface	0,8	5,13	8,1	2,12	0,41	
HCO ₃ ⁻	Eau souterraine	53,68	237,29	453,84	128,15	0,54	/
	Eau de Surface	61	211,06	451,4	86,67	0,41	
Cl ⁻	Eau souterraine	63,90	177,86	443,75	85,68	0,48	200
	Eau de Surface	39,05	71	166,85	31,46	0,44	
SO ₄ ²⁻	Eau souterraine	2,58	15,89	32,70	7,86	0,49	250
	Eau de Surface	0	5,280	11,8846	4,038	0,765	
NO ₃ ⁻	Eau souterraine	0,53	3,08	7,94	2,72	0,88	50
	Eau de Surface	0,53	1,17	3,85	0,86	0,74	
NO ₂ ⁻	Eau souterraine	0,00	0,01	0,05	0,02	1,25	0,1
	Eau de Surface	0,00	0,13	0,63	0,18	1,36	
NH ₄ ⁺	Eau souterraine	0,00	0,45	2,97	0,66	1,46	0,5
	Eau de Surface	0,01	0,55	1,77	0,47	0,85	



5-Conclusion

L'étude bathymétrique montre que les eaux de surface du marécage présentent une relation proportionnelle avec les variations saisonnières des précipitations. Elle montre aussi que ce marécage reçoit une alimentation souterraine par la nappe selon le sens d'écoulement principal Sud-Est vers Nord-Ouest.

La présentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper montre deux types de familles des eaux dominantes : la famille chlorurée pour les eaux souterraines et bicarbonatée pour les eaux de surface.

La comparaison des analyses chimiques avec les normes montre l'existence d'une pollution organique pour les eaux de surfaces, liée probablement aux activités agricoles pratiquées dans la région, ainsi que les rejets des eaux usées domestiques de la station de refoulement qui ne fonctionne pas dans la plupart du temps.

Pour protéger cette zone humide il faut une bonne connaissance de l'évolution spatio-temporelle de celle-ci à travers un suivi détaillé du marécage et une analyse complète des paramètres physiques, dynamiques et chimiques qui rentrent dans son fonctionnement ainsi qu'une bonne pratique de gestion et de sensibilisation.

Références bibliographiques

- [1] Cowardin, L.M. & al., *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service Report No. FWS/OBS/-79/31. Washington, D.C., 1979.
- [2] Le Manuel de la Convention de Ramsar, 6^e édition, 2013.
- [3] Ferren, W.R., & al., *Classification and description of wetlands of the central and southern California coast and coastal watersheds*. Part II Madroño 43 :125–182, 1996.
- [4] Fustec E., & al., *Les fonctions des zones humides : revue bibliographique*, Paris : Agence de l'Eau Seine - Normandie, Université Paris 6, 144 P, 1996.
- [5] Fustec E., Lefeuvre J. C., *Fonctions et valeurs des zones humides*, Paris : Dunod, 426 p, 2000.
- [6] Mitsch William J., Gosselink James G., *The value of wetlands: importance of scale and landscape Setting.*, Revue Ecological Economics 35, pp 25–33, 2000.
- [7] Zaafour, M D., *Impact des décharges sauvages sur les Zones Humides de la région d'El-Tarf.*, Mémoire de magistère univ. Badji Mokhtar, Annaba 166p, 2012.
- [8] Boumezbeur, A., *Atlas des zones humides algériennes*. DGF, 102 p, 2004.
- [9] Bensizerara, D., *Ecologie des oiseaux de Sebket Djendli (Batna, Est Algérie)*, thèse de doctorat, Université Mohamed Khidher – Biskra–, 163p, 2014.
- [10] Benhallouche née Bendahmane I., *Ecologie de la reproduction des oiseaux d'eau à Dayet El-Ferd (W. Tlemcen).*, Thèse de Doctorat Université Abou-Bekr Belkaid, 123p, 2015.
- [11] Koul Naïma, *Etude phytoécologique spatiotemporelle des zones humides du Nord-est du Sahara septentrional algérien (Région de Ouargla et de l'Oued Righ)*. Thèse de doctorat, université Kasdi Merbah Ouargla, 185p, 2015.
- [12] Zedam, A., *Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna ; Inventaire-préservation.*, Thèse Doctorat, Univ. Ferhat Abbas 1, 197p, 2015.
- [13] Abdi S., *Structure et écologie des Canards plongeurs (Anatides) dans les zones humides de Guerbes Sanhadja (Wilaya de Skikda, Nord-est de l'Algérie).*, Thèse de Doctorat Université Mohamed Chérif Messaadia – Souk Ahras, 119p, 2017.
- [14] Kherifi W., Kherici-Bousnoubra H., *Evolution saisonnière de la qualité microbiologique des eaux du lac Mellah (Nord-Est Algérie).*, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 11, pp. 109-118, 2012.



- [15] Bensaci E., *Contribution à l'étude de la pollution des eaux des zones humides des régions arides d'Algérie*, International Journal of Environment & Water ISSN 2052-3408, Vol 03 p 61-67, 2014.
- [16] Bendjamaa, A., *La contamination métallique des eaux lacustres des zones humides du PNEK située au Nord-Est algérien*, Actes de la conférence internationale sur l'énergétique appliquée et la pollution, organisée par le laboratoire LEAP, décembre 14-15, Constantine, 2014.
- [17] Kouti A., *L'état de santé de L'Eco-complexe des zones humides de Guerbes Sanhadja : cas de Garaet Hadj Tahar (Skikda, Nord-Est de l'Algérie)*, Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP, Constantine, Algeria, 364-370, 2016.
- [18] De Bélair G., & Samraoui B., *Le complexe de zones humides de Beni-Belaid, un projet de réserve naturelle*. Revue Sci. Tech. Univ. Constantine n°14 : 115–124, 2000.
- [19] Mayache B., Houhamdi M. & Samraoui B., *Ecologie des sarcelles d'hiver anas crecca crecca L. hivernants dans l'eco-complexe de zones humides de Jijel (Nord-Est de l'Algérie)*. Eur. Jour. Of Scien. Resea. Vol.21, pp. 104-119, 2008.
- [20] Bouldjedri M., *Contribution à l'Etude Ecologique d'un Hydro-système de la région de Jijel : cas de la zone humide de Beni-Belaid (Algérie)*, Thèse de Doctorat, univ. Badji Mokhtar Annaba, 152p, 2013.
- [21] Rodier, J., *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*, 9 Edition Dunod, Paris, 1383 p, 2009.
- [22] Piper A.M., *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. – American Geophysical Union, Transcript, 25: 914-923, 1944.
- [23] Derron M., *Géochimie des eaux de sources et interaction eau-roche dans les Alpes*. Quanterra, Lausanne et Genève. pp1-18, 2000.
- [24] Adiaffi B., & al., *Approche semi-quantitative de la minéralisation des aquifères schisteux en zone équatoriale de transition : cas de la région Sikensi-Agboville (Côte d'Ivoire)*, Int. J. Biol. Chem. Sci. 6(5): 2228-2240, 2012.
- [25] Frapce S.K., Fritz P., McNutt R.H., *Water-rock interaction and chemistry of groundwater from the Canadian shield*, Geochim. Cosmochim. Acta. 48, 1617-1627, 1984.
- [26] Garrels, R.M., MacKenzie, F.T., *Origin of the chemical composition of some springs and lakes*, in: *Equilibrium Concepts in Natural Water Systems*: American Chemical Society, Advanced in Chemistry Series N° 67, pp. 222-242, 1967.
- [27] Hem, J.D., *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*, third ed., Scientific Publishers, Jodhpur, 1991.
- [28] Boudoukha, A., Athamena M., *Caractérisation de l'eau thermale du sud de Sétif, Est de l'Algérie*. Revue Science Eau N°25, 103-119, 2012.
- [29] Apodaca L.E., Bails J.B., Smith C.M., *Water quality in shallow alluvial aquifers, upper Colorado river basin, Colorado*, Journal Am. Water Res. Assoc. N°38, 133-149, 1997.
- [30] Domenico P.A., Schwartz W., *Physical and chemical Hydrogeology*, second ed., Wiley, New Yourk, NY, 1998.
- [30] Wallick E., Toth J., *Methods of regional groundwater flow analysis with suggestion for the use of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology*, IAEA, Vienna, pp 37-64, 1976.
- [32] Kumar M., & al., *Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India*, Journal Environ Geol., N°50, 1025-1039, 2006.
- [33] Belkhiri A., Boudoukha A., Mouni L., *Qualité des eaux souterraines et aptitude à la consommation et à l'agriculture dans la plaine d'Ain Azel, Algérie*, Journal Geog. Reg. Plan. 3, 152-157, 2010.



[34] Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Jurjovec, J., Mill tailing., Hydrogeology and geochemistry, in Jambor, J.L., Blowes, D.W., Ritchie, A.I.M. Eds), *Environmental Aspect of Mine Wastes, Short Course Series*, Mineralogical Association of Canada, Nepean, ON, vol. 31, pp 95-116, 2003.