

QUALITE DES EAUX DES ZONES HUMIDES DU BAS SAHARA ALGERIEN

KOULL N.^{1,2}, CHEHMA A.², HAMOUDA N.³, BELLAHCENE O.³ et GUEZZOUN N.³

1. *Centre de Recherches Scientifiques et Technique sur les Régions Arides. CRSTRA, RN N°03 Ain Sahara Nezla Touggourt.*
2. *Université Kasdi Merbah-Ouargla, Laboratoire de "Bio-ressources sahariennes Préservation et valorisation", Ouargla, Algérie.*
3. *Université Kasdi Merba- Ouargla, Département des Sciences Biologiques..*

Résumé: Les zones humides constituent un écosystème indispensable à l'équilibre écologique des zones sahariennes. Elles constituent une ressource en eau très vulnérable. Ces eaux sont menacées par l'action entropique et la sécheresse. Les analyses effectuées sur les eaux des zones humides de Bas-Sahara algérien ont montré qu'elles sont très salées. La salinité des eaux varie saisonnièrement sous l'effet des conditions climatiques et de la remontée des eaux phréatiques. Les eaux sont généralement alcalines. La qualité des eaux varie d'une zone humide à l'autre en relation avec les ressources en eaux (nappe phréatique, eau de drainage agricole et urbain). Les résultats des indicateurs de la pollution ont montré que les eaux des deux chotts, Ain El Beida et Oum El-Ranneb, sont très polluées avec un taux très important de matières organiques et extrêmement riche en sels. Les eaux des autres zones humides (chott Sidi Slimen et les lacs Mégarine, Témacine, Merdjaja, Ayata et Hassi Ben Abdallah) sont salées et moins riches en matières organiques. Le faciès des eaux est chloruré magnésien et chloruré sodique et qui ne change pas à travers les saisons, ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables. Au même temps, il y a une variation saisonnière significative des taux des sels liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver).

Mots clé: zones humides, Bas-Sahara, qualité d'eau, pollution.

WATER QUALITY OF WETLANDS OF LOWER ALGERIAN SAHARA

Abstract: Wetlands constitute indispensable ecosystem for ecological equilibrium of Saharan zones. They constitute a very vulnerable resource of water. Their water was affected by entropic action and dryness. The carried analysis of wetlands water of lower Sahara of Algeria indicated that are very salty. The salinity of water varied between seasons by climatic conditions and rise of ground water. The waters are generally alkaline. The water quality varied from wetland to other related to resource (ground water, agricultural and urban drainage water). Results of pollution indicator indicated that waters of Ain El Beida and Oum El-Ranneb chotts are very pollute with very important rate of organic matter and very rich with salts. The other wetlands water (Sidi Slimen chott, Megarine, Temacine, Merdjaja, Ayata and Hassi Ben Abdallah lakes) are salty and less rich in organic matter. The dominant salts in water are chloral-magnesium and chloral-sodium, which don't change through season; this indicates that waters are stable. At the same time, there is significant variation through season of salts contents, related to dissolution/inauguration of salts affected by climatic condition and water resource (rise of ground water in winter).

Keywords: wetlands, Lower Sahara, water quality, pollution.

Introduction

Les zones humides jouent un rôle important dans les processus vitaux, en entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs. L'Algérie est riche en zones humides, et

ces milieux sont des écosystèmes complexes et très productifs, faisant partie des ressources précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Le recensement préliminaire effectué au milieu des années 1990 a dénombré 254 zones humides naturelles.

Parmi elles, soixante peuvent être classées sur la liste RAMSAR des zones humides, d'importance internationale. Aujourd'hui, avec les nouvelles connaissances, le nombre de zones humides dépasse le millier si l'on inclut les oueds, grottes, oasis, daya, et zones côtières, non comprises dans le premier inventaire [1]. Malgré les conditions climatiques rudes, le Sahara septentrional algérien renferme plusieurs zones humides. Ce sont des systèmes hydrologiques positifs à la fois dans l'espace et dans le temps, comparativement à leurs environnements plus secs [2]. Elles constituent des réserves en eau pour les plantes et les animaux. Cependant, de nombreuses de ces zones sont dégradées, voire menacées de disparition suite aux actions anthropiques (rejets des eaux usées et de drainage), sans négliger les effets de la sécheresse très fréquente en régions désertiques. Très peu d'études sont menées sur les eaux des zones humides sahariennes, ex : [3, 4, 5]. Vu l'importance des zones humides sahariennes comme ressource en eau, l'étude de la qualité de ces eaux est indispensable pour sa préservation. Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est la détermination de la qualité physique et chimique des eaux des zones humides d'une partie du bas Sahara (région

d'Ouargla et de l'Oued Righ) afin de les protéger.

1. Présentation du milieu d'étude

La région d'étude (zones humides) se localise dans le Bas-Sahara (régions d'Ouargla et de l'Oued Righ), qui se présente comme une vaste cuvette ayant la forme d'un synclinal ouvert vers le Nord avec une pente très faible et des terrains plats [6]. Le Bas-Sahara se confond presque avec le bassin versant théorique du chott Melrhir, soit environ 700000 km². Il est limité, au nord, par l'Atlas saharien, à l'ouest par la dorsale du M'Zab, au sud par les plateaux du Tademaït et du Tinghert, à l'est par le revers du Dahar tuniso-libyen [7, 8]. Le complexe des zones humides au Bas-Sahara algérien est subdivisé en quatre entités géographiques : Ziban, Souf, Oued Righ, et Oued Mya [9]. La région de l'Oued Righ est la plus riche en zones humides. Dans notre travail, nous avons choisis huit zones humides (trois à Ouargla et cinq à l'Oued Righ) (figure 1) dont trois sont classées, selon la convention de RAMSAR en 2004, comme des zones humides d'importance internationale. Ce sont les chotts de ; Aïn El Beida, Oum El-Ranneb et Sidi Slimane. Ces sites présentent une variabilité spatiale, hydrologique, topographique et géologique, certaines parmi ces zones humides subissent une

influence plus ou moins importante des eaux usées. C'est ainsi que les sites ont été choisis pour déterminer la qualité de ces eaux. La région d'Ouargla et de l'Oued Righ se caractérisent comme l'ensemble du Bas-Sahara par un climat de type désertique, dont les amplitudes thermiques entre les minima et maxima sont importantes et par une pluviométrie très faible. Il est à souligner que ce type de climat se distingue par une forte insolation et une luminosité, dont la moyenne annuelle peut atteindre les 3000 heures [10]. Les précipitations sont rares et

caractérisées par une variabilité annuelle considérable [11, 12]. La pluviométrie moyenne annuelle ne dépasse pas 90 mm à l'Oued Righ et 53 mm à Ouargla (1984-2011) et la température moyenne annuelle est de 22 à 23 ° C dans les deux régions. Humidité relative moyenne annuelle varie autour de 44 %. Dans les milieux arides, l'évaporation est toujours plus importante. L'évaporation est d'une moyenne de l'ordre de 2764 mm/an pour Ouargla et de l'ordre de 2593,21 mm/an à l'Oued Righ. Le rapport précipitation / évaporation varie de 0.02 à 0.03.

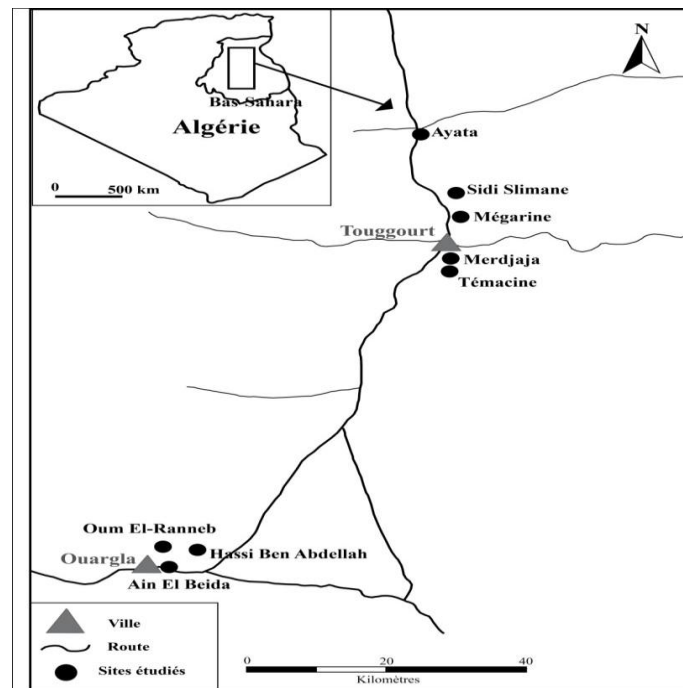


Figure 1: Localisation des zones humides étudiées.

2. Méthodologie du travail

Pour chaque zone humide nous avons pris quatre échantillons d'eau réparties

suivant l'homogénéité et la superficie du site. Des flacons en plastique de 1.5L ont été utilisés pour le prélèvement des échantillons d'eau. Avant de procéder au

prélèvement des échantillons des saumures, les bouteilles ont été rincées 3 fois avec de l'eau distillé, puis elles sont rincées sur le terrain avec les saumures pour éviter toutes erreurs. Les échantillons sont pris à une profondeur de 20cm pour les lacs. Concernant les chotts, nous avons pris l'eau superficielle vue sa faible profondeur. Après le prélèvement des échantillons, les bouteilles sont fermées pour éviter l'évaporation et transportées au laboratoire dans une glacière. La

conductivité électrique, l'oxygène dissous et le pH sont analysés sur le terrain à l'aide d'un appareil multi-paramètres. Les autres paramètres (bilan ionique, DBO₅, DCO et matière organique) ont été dosés au laboratoire. Les prélèvements ont été effectués chaque saison pendant deux ans entre octobre 2009 et août 2011 (tableau 1). Pour chaque site, nous avons calculé les moyennes des paramètres pour faciliter la comparaison.

Tableau 1 : dates de prélèvement des eaux suivant les saisons.

Saisons	Stations (zones humides)							
	Lac Témacine	Lac Merdjaja	Lac Mégarine	Chott Sidi Slimane	Lac Ayata	Chott Ain El Beida	Chott Oum El-Ranneb	Lac Hassi Ben Abdallah
Automne	12/10/2009	10/10/2009	13/10/2009	11/10/2009	18/10/2009	25/10/2009	30/10/2009	27/10/2009
	09/11/2010	12/11/2010	08/11/2010	05/11/2010	02/11/2010	26/10/2010	28/10/2010	30/10/2010
Hiver	15/01/2010	12/01/2010	17/01/2010	13/01/2010	19/01/2010	09/01/2010	06/01/2010	04/01/2010
	20/01/2011	29/01/2011	20/01/2011	17/01/2011	16/01/2011	10/01/2011	12/01/2011	13/01/2011
Printemps	01/05/2010	30/04/2010	24/04/2010	22/04/2010	20/04/2010	15/04/2010	18/04/2010	17/04/2010
	29/04/2011	01/05/2011	29/04/2011	27/04/2011	25/04/2011	23/04/2011	22/04/2011	20/04/2011
Été	27/07/2010	22/07/2010	29/07/2010	24/07/2010	26/07/2010	19/07/2010	16/07/2010	14/07/2010
	22/07/2011	24/07/2011	21/07/2011	26/07/2011	29/07/2011	31/07/2011	01/08/2011	04/08/2011

3. Résultats et discussion

La conductivité électrique (CE) est mesurée pour évaluer la minéralisation globale des eaux des zones humides étudiées. Les résultats des analyses des eaux montrent qu'elles sont chargées en sels (tableau 2). La conductivité électrique varie de 13.15 dS/m dans le lac Ayata à 175 dS/m dans le chott Ain El Beida. Il paraît que les deux chotts (Ain El Beida et

Oum El-Ranneb) sont les plus salés. La différence très hautement significative ($P < 0,0001$) entre les eaux des différentes zones humides est expliquée par la nature du terrain, la profondeur et la qualité des eaux phréatiques qui est parmi les principales sources d'alimentation de ces zones. Cependant les eaux à faibles profondeurs (chott) sont les plus exposées à l'évaporation et par conséquent à

l'augmentation de leur charge en sels. Les résultats de la salinité des eaux analysées obtenus (tableau 2) montrent une variation saisonnière significative ($P=0.031$). Il apparaît que la conductivité électrique diminue de l'automne à l'hiver, ensuite elle augmente au printemps et en été. Les chotts : Ain El Beida et Oum El-Ranneb se trouvent à l'état sec en été. Plusieurs facteurs interviennent dans ces variations. En été, la forte évaporation augmente la concentration des sels dans les chotts et les lacs avant leurs précipitations, en revanche pendant l'hiver, une température moins forte avec un apport important des eaux notamment celles de drainage, favorise la dilution des eaux.

Les résultats d'analyses des eaux des zones humides étudiées (tableau 2) montrent que le pH varie significativement entre les stations ($P<0,0001$) et que ces eaux sont caractérisées par des pH alcalins qui varient entre 7.5 et 8.2 pour l'ensemble

des stations. Les eaux les plus alcalines sont celles du lac Mégarine (tableau 1). Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH dépend de l'équilibre calco-carbonique ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) [3]. D'une façon générale, les eaux très calcaires ont un pH élevé ; et celles provenant de terrains pauvres en calcaires ou siliceux ont un pH voisin de 7. Les résultats présentés dans le tableau 1 montrent que la variation saisonnière du pH est significative ($P=0,028$). On note une diminution du pH en hiver ensuite il augmente au printemps et en été. Ces variations s'expliquent par les fluctuations probables de la salinité qui suivent le cycle géochimique et/ou les fluctuations de la charge en CO_2 suivant la photosynthèse. L'augmentation du pH en été, s'explique par l'augmentation des concentrations des carbonates et des bicarbonates sous l'effet des fortes évaporations.

Tableau 2 : résultats des analyses des eaux des zones humides étudiées.

Sites	Saisons	CE (dS/m)	pH	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	O ₂ (mg/l)	MO (mg/l)
Ain El-Beida	Automne	182,15	7,96	0,29	585,00	2,89	195,19
	Hiver	159,70	7,83	1,09	652,68	3,84	218,30
	Printemps	180,85	7,97	0,44	712,50	3,90	237,74
	Été	/	/	/	/	/	/
Oum El-Ranneb	Automne	150,29	8,02	4,53	655,00	3,23	221,35
	Hiver	137,75	7,36	10,97	718,75	4,92	246,89
	Printemps	133,48	7,21	5,40	773,75	4,03	261,52
	Été	/	/	/	/	/	/
Ayata	Automne	14,00	7,80	22,58	66,97	6,30	37,37
	Hiver	11,16	7,54	28,40	75,19	11,54	43,99
	Printemps	12,78	7,77	35,90	77,63	7,75	49,81
	Été	14,67	8,01	32,77	63,17	4,07	42,87
Hassi Ben Abdellah	Automne	40,77	7,92	9,59	40,56	2,69	19,91
	Hiver	25,81	7,62	11,76	47,58	4,11	23,66
	Printemps	28,21	8,09	15,33	54,33	3,62	28,22
	Été	38,47	8,12	17,03	43,81	2,56	25,98
Mégarine	Automne	39,23	8,18	11,37	41,73	2,99	21,49
	Hiver	35,89	7,96	12,18	48,39	3,88	24,25
	Printemps	31,74	8,08	17,56	55,25	3,38	30,00
	Été	37,50	8,26	18,93	47,11	2,50	28,13
Merdjaja	Automne	25,30	7,42	5,31	37,43	4,78	16,01
	Hiver	22,88	7,41	5,70	49,25	5,87	20,21
	Printemps	24,78	7,54	10,42	54,04	5,56	24,95
	Été	25,92	7,67	12,97	42,66	4,45	22,84
Sidi Slimane	Automne	64,73	7,34	15,95	54,40	3,79	28,76
	Hiver	56,86	7,53	17,73	64,18	5,11	33,21
	Printemps	67,80	7,60	18,33	72,02	5,21	36,22
	Été	73,39	7,59	10,44	60,13	3,69	26,99
Témacine	Automne	23,02	8,04	15,56	40,45	2,64	23,85
	Hiver	20,06	7,76	16,54	47,58	3,91	26,88
	Printemps	18,25	7,74	19,83	53,42	3,10	31,07
	Été	22,64	7,96	22,23	43,48	2,30	29,24

Les résultats des analyses des eaux des zones humides étudiées montrent qu'elles sont chargées en sels solubles, notamment les chlorures et les sulfates pour les anions et le sodium et le magnésium pour les

cations. La présentation des résultats dans le diagramme de Piper [13] (figure 2) montre que les eaux analysées ont un faciès chloruré magnésien pour les eaux de lac Ayata, Merdjaja, Mégarine, Témacine

et chott d’Ain El Beida. Les eaux de chott Sidi Slimane et chott Oum El-Ranneb ont un faciès chloruré sodique. Il est observé que les chlorures sont dominants par leur origine géologique, précisément lors de la forte évaporation des eaux. Les résultats des analyses des eaux montrent que le faciès des eaux ne change pas à travers les saisons, ce qui indique que les eaux de ces écosystèmes sont plus ou moins stables,

alors qu’il y a une variation saisonnière significative des taux des sels ($P=0,01$) liée au processus de dissolution/précipitation des sels en fonction des conditions climatiques et apport des eaux (remontée de nappe phréatique en hiver). Par contre, dans la même région de Bas Sahara, Hacini [3] a montré que le faciès des eaux de chott Merouane change d’une saison à l’autre suivant le cycle géochimique.

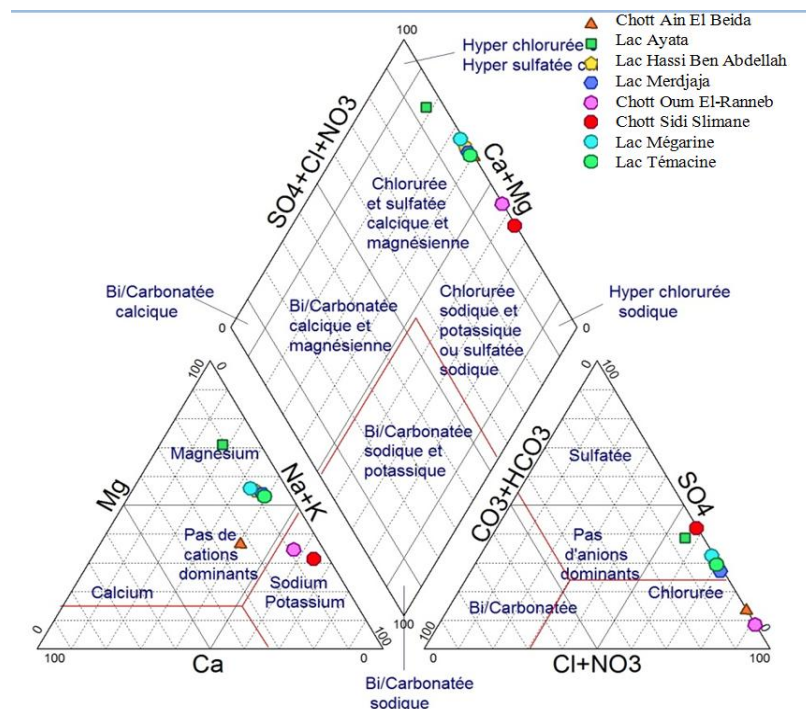


Figure 2 : Présentation des teneurs en sels solubles des eaux dans le diagramme de Piper (1944) [13].

La détermination de la teneur en matière organique est un indicateur de la qualité des eaux. Les résultats présentés dans le tableau 2 montrent que suivant les stations et les saisons, la teneur en matière

organique varie d’une façon très hautement significative ($P<0,0001$). En effet, les eaux des deux chotts Oum El-Ranneb et Ain El Beida sont les plus chargées en matières organiques avec, successivement, 261.52

mg/l et 237.74mg/l enregistrées au printemps. Cette richesse des eaux est liée à l'évacuation des eaux usées (très riches en matière organique) et les fèces des oiseaux migrateurs dans ces deux stations. Les eaux des autres stations présentent des teneurs en matières organiques ne dépassant pas 50mg/l. Les résultats d'analyses de l'oxygène dissous des eaux montrent qu'il varie entre 2.5 et 11.5 mg/l pour l'ensemble des stations (tableau 2). Ces concentrations, relativement faibles, reflètent le taux de la charge organique existante réellement dans l'eau, ceci pourrait être expliqué par la dégradation des matières organiques biodégradables déversées dans les plans d'eau par les microorganismes entraînant une consommation de l'oxygène dissous dans l'eau.

L'oxygène dissous varie significativement entre les stations ($P=0,002$). Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en hiver notamment dans les eaux du lac Ayata, ensuite elles diminuent en été. La DCO est une indication importante, avec laquelle on peut caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Les résultats obtenus (tableau 2) montrent une variation très hautement significative de la DCO des eaux analysées ($P<0,0001$). Il

apparaît que la DCO des eaux des lacs (Ayata, Sidi Slimane, Migarine, Merdjaja, Témacine et Hassi Ben Abdallah) ne dépasse pas 80 mg/l. Ces eaux sont classées de passable à mauvaise qualité suivant Lamy [14]. Les eaux des chotts Ain El Beida et Oum El-Ranneb présentent des valeurs de DCO très élevées. La DCO varie de 585 à 712 mg/l pour le chott d'Ain El Beida et de 655 à 773 mg/l pour le chott Oum El-Ranneb. Ces valeurs confirment la charge élevée en matières de ces eaux. L'élévation très significative ($P=0,006$) de la DCO au printemps (tableau 2) est expliquée par l'augmentation de la température qui accélère les réactions de dégradation des matières organiques. Les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques sous l'action de micro-organismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la demande biochimique en oxygène ou DBO_5 [15]. Les résultats obtenus (tableau 2) montrent que les valeurs de DBO_5 varient d'une station à l'autre et à travers les saisons d'une façon très hautement significative ($P<0,0001$). Elles ne dépassent pas 25mg/l dans les eaux de lac Témacine, lac Merdjaja, chott Sidi Slimane, chott Oum El-Ranneb et lac Hassi Ben Abdallah. Ces eaux sont donc

classées de passable à mauvaise qualité. Les eaux de chott d'Ain El Beida présentent de très faibles valeurs de DBO_5 , conséquence des fortes salures qui inhibent l'activité microbienne. La DBO_5 augmente au printemps et en été sous l'effet de la température qui affecte tous les processus biologiques [16].

Pour déterminer la relation entre les paramètres physicochimiques des eaux et les facteurs sources de ses variations nous avons utilisé l'Analyse en Composante Principale (ACP). Ainsi, deux sources de variabilité importantes apparaissent suivant l'inertie des axes. Le plan factoriel de l'ACP (figure 3) est constitué par le croisement du premier et du second axe factoriel. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le premier axe, on oppose les éléments situés à droite contre ceux qui sont situés à gauche. Pour

le premier axe factoriel, on retrouve, tous les éléments solubles avec la DBO_5 , qui est liée à l'activité microbienne influencée par la température, le pH et la salinité. Le côté positif de cet axe exprime la concentration des eaux en sels sous l'effet des hautes températures avec le phénomène d'évaporation. Le côté négatif exprime une bonne activité microbienne reflétant l'amélioration des conditions physicochimiques notamment la salinité et la température. Donc, on peut dire que le premier axe exprime l'effet du facteur climat (évaporation et température) sur les caractéristiques des eaux. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le deuxième axe, on oppose les éléments situés en haut (NO_3^- , O_2 et HCO_3^-) aux éléments situés en bas (pH). On peut dire que cet axe exprime le phénomène d'oxydoréduction et calco-carbonique dans les eaux salées étudiées.

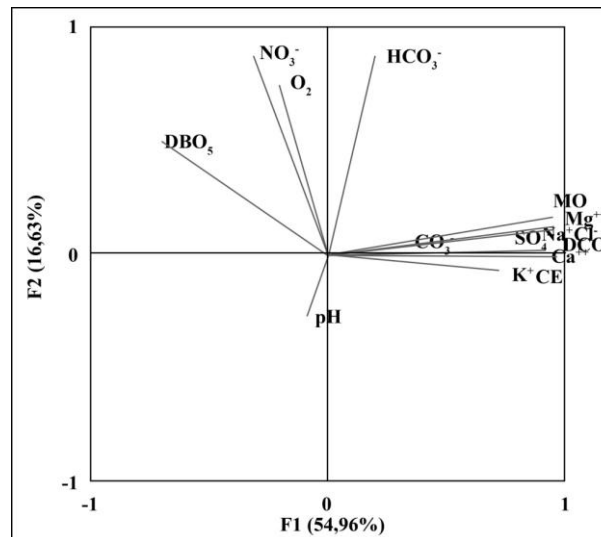


Figure 3 : Représentation sur le plan factoriel de l'ACP des caractéristiques des eaux des zones humides étudiées.

La superposition des résultats d'analyses des eaux et les différentes stations étudiées sur le plan factoriel de l'AFC (figure 4) montre la présence de trois groupes ; le premier groupe composé de chott d'Ain El Beida caractérisé par des eaux très riches en sels solubles et en matière organique. Le deuxième groupe composé de chott d'Oum El-Ranneb avec des eaux extrêmement salées et très riches en matière organique. Le troisième groupe composé de toutes les autres stations (chott Sidi Slimane et les lacs Mégarine, Témacine, Merdjaja, Ayata et Hassi Ben Abdallah) qui sont caractérisées par des eaux salées et moins riches en matière organique. Ainsi on peut dire que cet axe

exprime un gradient décroissant de salinité et de pollution (teneur en matière organique). L'importance de l'inertie de cet axe (72,82%) montre que ces deux éléments sont les principaux facteurs de différenciation entre les eaux étudiées. Le deuxième axe présente une inertie de 18,22%, ceci traduit la faible contribution de ce facteur dans la différenciation entre les stations. Les stations du troisième groupe se trouvent sur l'axe, montrant que ce groupe ne contribue pas à la formation de deuxième axe. Seuls le premier et le deuxième groupe jouent un rôle sur cet axe en exprimant la variation de taux de pollution et le type de la salinité (faciès des eaux).

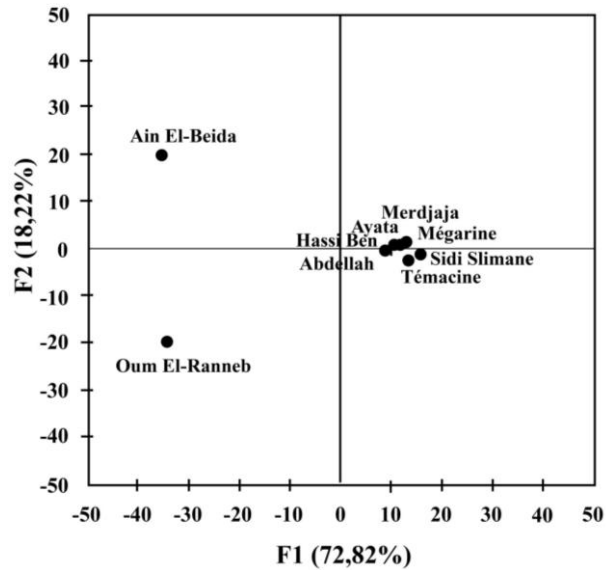


Figure 4: Représentation sur le plan factoriel de l'AFC des groupes de zones humides suivant la qualité de leurs eaux.

Conclusion

Les zones humides du Bas-Sahara (région d'Ouargla et de l'Oued Righ) s'alimentent essentiellement des eaux de la nappe phréatique et de drainage. Elles sont caractérisées par des eaux très salées et généralement alcalines. La qualité des eaux varie d'une station à l'autre en relation avec les ressources en eaux. Les résultats des indicateurs de la pollution ont montré que les eaux des deux chotts, Ain El Beida et Oum El-Ranneb, sont très polluées avec un taux très important de matières organiques et extrêmement riches en sels. Par ailleurs, la présence d'eau dans ces zones xériques, qui sont soumises à un climat rude, fait que les plans d'eau attirent

et concentrent la majorité des formes de vie désertiques, tant celles qui sont aquatiques que celles qui sont terrestres. En effet, les écosystèmes humides des régions arides sont très vulnérables aux effets anthropiques et aux conditions climatiques très rudes, ce qui a des conséquences directes sur la flore et la faune. Enfin, pour la protection de ces écosystèmes et comprendre davantage les facteurs qui influent sur leur fonctionnement cette étude doit être complétée par des études sur la physiologie des plantes et sur la géochimie des eaux et des sols.

Références bibliographiques

- [1] **Boumezbeur A.**, *Atlas des zones humides Algériennes d'importance internationale*, éd. Direction Générale des Forêts, Alger (Algérie). 2004. 105p
- [2] **Heker et Vives T.**, *Statut et involontaire des zones humides dans la région méditerranéenne*, IWR, Oxford UK. 1995. 146p
- [3] **Hacini M.**, *Géochimie des sels et des saumures et calcul des vitesses de précipitation de quelques minéraux évaporitiques*, Thèse. Doctorat. Université M. Badji, Annaba (Algérie). 2006. 200 p.
- [4] **Merabet S.**, *Etude comparative de deux systèmes aquatiques dans le Sahara septentrional (Chott Merouane et Ain El Beida), environnement et signes de dégradation*, Thèse Magister, Université KasdiMerbah Ouargla (Algérie). 2011. 165p
- [5] **Lamini A.**, *Etude géochimique et minéralogique des chotts de la région d'El Hadjira*. Thèse Magister. Université KasdiMerbah Ouargla (Algérie). 2012. 122p
- [6] **Kouzmey Y.**, *Dynamique et mutations territoriales du Sahara algérien, Vers de nouvelles approches fondées sur l'observation*, Thèse Doctorat en Géographie, Université Franche-Comté (France). 2007. 423 p
- [7] **Nesson Cl.**, *L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In recherche sur l'Algérie*, éd. CNRS. Paris (France). 1978. pp 7-100
- [8] **Rognon P.**, *Biographie d'un désert. Sahara*, éd. L'Harmattan, Paris (France). 1994. 350 p.
- [9] **Chenchouni H et SI-Bachir A.**, *Zones humides et biodiversités - Classification et typologie des zones humides du Bas-Sahara algérien et caractérisation de la biocénose du Lac Ayata (Vallée d'Oued Righ)*. éd. Editions Universitaires Européennes (Allemagne). 2010. 152p
- [10] **Khadraoui A.**, *Eaux et Sols en Algérie (Gestion et impact sur l'environnement)*. éd. EMPAC, Constantine (Algérie). 2005. 392p
- [11] **Dubief J.**, *Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara*, éd. Service des études scientifiques. Alger (Algérie). 1953. pp 26-103
- [12] **Ozenda P.**, *Flore du Sahara*, 3^{ème} éd. CNRS. Paris (France). 1991. 662p
- [13] **Piper A M.**, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical Union, Transcript*; 1944; 25: 914-923
- [15] **Rodier J.**, *Analyse de l'eau*. 9^{ème} éd. Paris (France). 2009. 1526p
- [16] **Djermakoye H.**, *Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries; Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines*. Thèse Doctorat en Pharmacie. Université Bamako. 2005. 230p