

Hydrologie

ÉTUDE COMPARATIVE DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DES BARRAGES AIN DALIA ET FOUM EL-KHANGA, RÉGION DE SOUK-AHRAS (ALGÉRIE)

par

Amel ALLALGUA ^{1*}, Nouha KAOUACHI ¹, Adel AYARI ¹,
Chahinez BOUALLEG ¹ et Mourad BENSOUILAH ²

Cet article porte sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux des barrages Ain Dalia et Foug El-Khanga (Est Algérien) utilisés respectivement pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Pour réaliser notre travail, nous avons effectué un suivi mensuel s'étalant de décembre 2013 à novembre 2014.

Les analyses ont porté sur 15 paramètres physico-chimiques ; l'analyse descriptive des résultats a montré que les eaux du barrage Ain Dalia ont une qualité physico-chimique conforme aux normes algériennes et aux recommandations de l'OMS pour les eaux brutes. Par ailleurs, les eaux du barrage Foug El-Khanga sont caractérisées par une minéralisation naturelle importante.

L'analyse explicative des résultats et la répartition des deux barrages d'études en groupe selon les caractéristiques physico-chimiques ont été réalisées par analyse en composantes principales normées. La structure typologique dégagée par le plan F1XF2 (62,33 % de la variabilité totale) montre l'individualisation de deux groupements différents selon leur qualité physico-chimique. Le plan F1 représente 46,04 % de la variance totale et décrit la surcharge des eaux du barrage Ain Dalia par les orthophosphates, l'azote ammoniacal, les nitrites et la turbidité dans son axe positif, ainsi que la surcharge des eaux du barrage Foug El-Khanga par les chlorures, conductivité, bicarbonates, sulfates, nitrates, magnésium, calcium et la dureté totale dans son axe négatif.

Mots-clés: barrage Ain Dalia, barrage Foug El-Khanga, paramètres physico-chimiques, analyse en composante principale.

1. Univ. Souk Ahras, Fac. SNV, LEAT Lab, BP 1553, Annaba Road, Souk Ahras, Algeria.

2. Univ Annaba, Fac. Sci, EMMAL Lab, BP 12, Annaba, Algeria.

* Corresponding Author. E-mail: amel.allalga@gmail.com

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

Comparative study of the physicochemical water quality of the Ain Dalia and Foum El-Khanga dams, Souk Ahras Region (Algeria)

This article concerns the study of the physico-chemical characteristics of waters of the dams Ain Dalia and Foum El-Khanga (eastern Algeria), respectively used for drinking water and irrigation.

Monthly samples were taken from December 2013 to November 2014. These were analyzed for 15 physico-chemical parameters. The results show that the waters of the Ain Dalia dam have a physico-chemical quality that conforms to Algerian standards and WHO recommendations for raw water. The waters of the Foum El-Khanga dam are characterized by an important natural mineralization.

The analysis of the physico-chemical results was performed using standardized principal component analysis. Typological structure generated by the FIXF2 map (62.33% of the total variability) shows the individualization of two different groups according to their hydrochemical quality. The F1 plan represents 46.04% of the total variance and describes the overload of water of the Ain Dalia dam by orthophosphates, ammonia nitrogen, nitrite and turbidity in its positive axis, and the overload of water of the Foum El-Khanga dam in terms of chlorides, conductivity, bicarbonates, sulfates, nitrates, magnesium, calcium and total hardness in its negative axis.

Keywords: Ain Dalia dam, Foum El-Khanga dam, physico-chemical parameters, principal component analysis.

Introduction

En Algérie, pays à climat semi-aride, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. L'exploitation de cette ressource est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et au développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture et l'industrie. Mais pour une bonne gestion, la connaissance de ces ressources en eau et de leur qualité est une condition nécessaire.

Le développement socio-économique et l'urbanisation rapide ont eu un impact négatif sur la qualité des ressources en eau. De nombreux cas de pollution industrielle et urbaine ont été observés, en l'occurrence au niveau des barrages, ces derniers étant l'exutoire de rejets extrêmement polluants (HARRAT & ACHOUR, 2010).

Aujourd'hui, l'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation, totalisant une capacité de 4,5 milliards de mètres cubes et permettant de régulariser un volume annuel de deux milliards de mètres cubes utilisés pour l'alimentation en eau potable, l'industrie et l'irrigation.

Diverses études en Algérie ont porté sur la qualité physico-chimique des eaux. Elles ont pu estimer leur potabilité, leur aptitude à l'irrigation et, par conséquent, leur impact sur la santé humaine et l'environnement (KAHOUL & TOUHAMI, 2014).

Nous avons abordé dans cette étude les caractéristiques physico-chimiques des eaux du barrage Foum El-Khanga (152 millions de mètres cubes) dirigé vers l'irrigation agricole et du barrage Ain Dalia (76 millions de mètres cubes) alimentant les populations des villes de Souk-Ahras, Tébessa et Oum El Bouaghi.

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

Matériel et méthodes

Présentation des sites d'étude

Les deux barrages d'étude sont situés dans la partie Nord-Est du territoire algérien et font partie du bassin versant de la Seybouse. Le barrage Ain Dalia, distant d'une dizaine de kilomètres au sud de la ville de Souk-Ahras, a une forme de quadrilatère et est destiné à l'alimentation en eau potable. Le barrage Foum El-Khanga est situé sur l'Oued-Charef, distant de vingt kilomètres au sud-ouest de la ville de Sedrata ; il a une forme triangulaire et est destiné à l'irrigation agricole (Figure 1).

Les principales caractéristiques morphométriques et hydrologiques des barrages Ain Dalia et Foum El-Khanga sont résumées dans le Tableau 1.

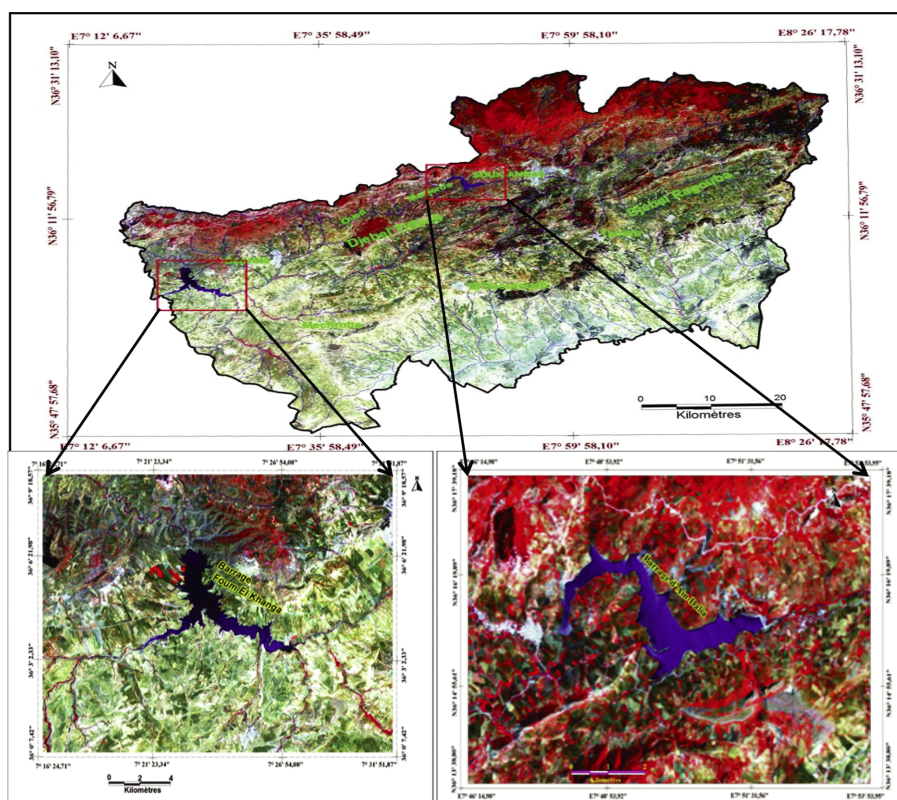


Figure 1

Situation géographique de la zone d'étude.
Geographical location of the study areas.

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

Tableau 1

Caractéristiques morphométriques et hydrologiques des deux barrages étudiés.
Morphometric and hydrological characteristics of the two study dams.

	Barrage Ain Dalia	Barrage Foum El-Khanga
Superficie du bassin versant	193 km ²	1735 km ²
Altitude du bassin versant	700 m à 1317 m	705 m à 1635 m
Précipitation moyenne	700 mm/an	480 mm/an
Apport moyen annuel	50 millions de m ³	33 millions de m ³
Capacité brute	82 millions de m ³	157 millions de m ³
Capacité utile	73.4 millions de m ³	141 millions de m ³
But principal de la construction	70 millions de m ³ pour l'alimentation en eau potable de quatre Wilayas: Souk-Ahras, Tébessa, Oum El Bouaghi et Guelma	30 millions de m ³ pour couvrir les besoins en irrigation de 3742 ha de terres agricoles de deux Wilayas: Souk-Ahras et Oum El Bouaghi

Prélèvement et méthode d'analyse

Durant notre cycle d'étude, nos mesures *in situ* et nos prélèvements ont été effectués mensuellement durant une période allant du mois de décembre 2013 jusqu'au mois de novembre 2014 depuis la digue de chaque barrage à une profondeur de 3 m (Figure 2). Les mesures *in situ* de la température, pH et la conductivité électrique ont été réalisées à l'aide d'un multi-paramètre portatif (Consort, type C 5010) alors que celle de la turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre (EUTECH TN 100).

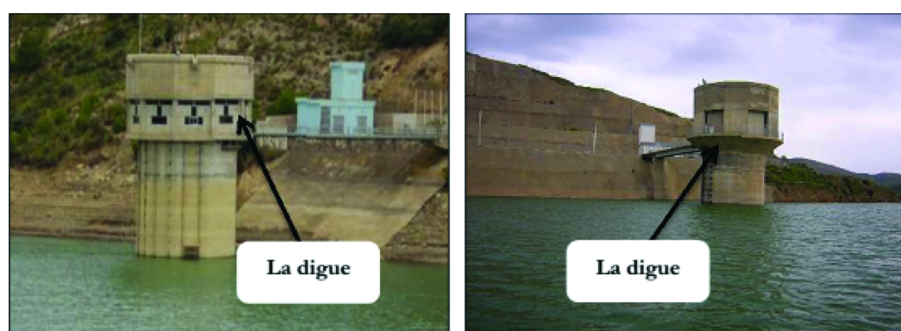


Figure 2

Point de prélèvement du barrage Ain Dalia (à gauche) et Foum El-Khanga (à droite).
Sampling point of the Ain Dalia dam (left) and Foum El-Khanga dam (right).

Pour les analyses physico-chimiques, les échantillons d'eau sont prélevés sur le terrain dans des bouteilles en polyéthylène et transportés à froid (4°C) dans une glacière jusqu'au laboratoire. Les paramètres physico-chimiques des eaux analysées selon les normes préconisées par AFNOR (1999) et celles homologuées par Rodier (1984) figurent dans le Tableau 2.

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

Tableau 2

Paramètres physico-chimiques étudiés.
Physico-chemical characteristics studied.

Lieu d'analyse	Paramètres mesurés	Nature de la méthode
Analyse <i>in situ</i> (paramètres physiques)	pH, température, conductivité électrique et turbidité	Méthode électro-métrique avec électrode combinée
Analyse <i>in vitro</i> (paramètres chimiques)	Azote ammoniacal Dureté ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) Alcalinité Sulfates Chlorures Nitrites Nitrates Phosphates	Méthode Spectrométrique à $\lambda = 655 \text{ nm}$ Méthode Titrimétrique à l'EDTA Méthode Titrimétrique à HCl Méthode Spectrométrique à $\lambda = 420 \text{ nm}$ Méthode Titrimétrique à AgNO_3 Méthode Spectrométrique à $\lambda = 543 \text{ nm}$ Méthode au Salicylate de Sodium Méthode Spectrométrique à $\lambda = 880 \text{ nm}$

Analyse des données

Pour déterminer la relation entre les paramètres étudiés et la distribution des stations, nous avons utilisé la méthode explicative par l'analyse en composantes principales (ACP) sur une matrice des données centrées et réduites. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro-chimiques (LAKHILI *et al.*, 2015 ; AKATUMBILA *et al.*, 2016 ; MOUISSI & ALAYAT, 2016 ; ALLALGUA *et al.*, 2017). Pour réaliser cette analyse, nous avons utilisé le logiciel STATISTICA (StatSoft, version 10) pour Windows.

Résultats et discussion

Analyse descriptive

Les tableaux 3 et 4 récapitulent les valeurs des paramètres globaux de la qualité des eaux des deux barrages : Ain Dalia et Foug El-Khanga. L'analyse des résultats obtenus indique que dans la plupart des cas, les eaux étudiées répondent aux critères en vigueur.

Les valeurs de la température des eaux analysées sont très proches pour les deux barrages. Elles se situent dans un intervalle qui va du minimum de 9°C au maximum de 28°C au barrage Ain Dalia, et entre 7,2°C et 30,8°C au barrage Foug El-Khanga, elles sont voisines des températures ambiantes. Cet état de température reste inférieur à celle rapportée par MEHANNED *et al.* (2014) au niveau du barrage Sidi Chahed et par FOUAD *et al.* (2013) au niveau de l'Oued Hassar.

L'analyse des résultats du pH ne montre pas de variations notables entre les deux barrages où les variations ne dépassent pas en général une unité du pH. Les valeurs du pH mesurées sont légèrement alcalines et oscillent entre 7,93 et 8,26 à Ain Dalia et entre 7,33 et 8,6 à Foug El-Khanga.

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

Tableau 3
 Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Foum El-Khangha
Spatio-temporal variations of the physico-chemical parameters of the waters of the Foum El-Khangha dam

Mois	JAN	FÉV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DÉC
Temp (°C)	8,2	9,6	13	16,5	19,3	22,5	27,4	30,8	19	13	10	7,2
pH (/)	8,2	8,5	8,6	7,33	7,44	7,93	7,98	7,94	7,69	7,77	7,82	8
Turb (NTU)	6,8	6,82	6,81	4,84	5,58	4,6	4,95	5,55	5,62	6,1	6,18	6,22
Cond (μ s/cm)	1994	1816	1991	1954	2000	1656	1886	1870	1902	1910	1990	1954
TH (°F)	45,3	38,7	33,1	30,1	30	32,1	29	34	35,5	31,8	32,1	39,9
TAC (°F)	22	22,7	20,9	23,47	14	12	11	12	12,4	13,9	14	13,5
HCO ³⁻ (mg/l)	168,4	176,94	146,4	164,3	170,8	154,9	108,8	121	128,1	134,2	146,4	167,7
Ca ⁺⁺ (mg/l)	240,7	249,1	245,29	196,8	160,32	158,2	120,24	119,44	121,04	200,4	165,7	203,1
Mg ⁺⁺ (mg/l)	95,2	99,12	97,69	32,03	64,64	61,3	48,6	48,11	49,08	33,05	66,92	35,1
SO ₄ ⁻ (mg/l)	428,78	394,2	381,45	371	372,44	139,5	161,3	155,97	372,44	375	372,75	385,45
Cl ⁻ (mg/l)	600,32	639,05	613,18	589,18	477,64	471,18	438,94	433,78	484,09	436,92	490,45	591,77
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,45	0,09	0,5	0,04	0,1	0,13	0,11	0,18	0,03	0,39	0,15	0,57
NO ₃ ⁻ (mg/l)	15,4	14,55	12,09	13	8,3	9	7	11	15	13	13,3	14
NO ₂ ⁻ (mg/l)	1,5	1,01	1,23	1,97	0,2	0,1	0,057	0,066	0,068	0,076	0,29	1,98
PO ₄ ⁻ (mg/l)	0,13	0,1	0,02	0,01	0,02	0	0	0,01	0,04	0	0,02	0,03

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

Tableau 4
Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux du barrage Ain Dalia
Spatio-temporal variations of the physico-chemical parameters of the waters of the Ain Dalia dam

Mois	JAN	FÉV	MARS	AVRIL	MAI	JUN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DÉC
Temp (°C)	9,1	10,6	11	11,5	17,5	21	23	23	20,5	16,5	10,5	9
pH (l)	8,11	7,93	8,22	7,97	8,14	7,97	8,19	8,12	8,06	8,16	8,18	8,26
Turb (NTU)	12,35	17,22	15,06	9,33	8,22	6,15	6,14	5,26	7,12	8,45	9,22	10,14
Cond (µs/cm)	453	498	510	491	462	499	511	506	506	508	523	526
TH (°F)	32	28	33	32	29	35	32	27	26,5	28	29,5	31
TAC (°F)	16	16	16	15	15	14	15	16	15	15	16	16
HCO ³⁻ (mg/l)	115	118	112	123	126	125	138	122	130	127	128	136
Ca ⁺⁺ (mg/l)	88	83	80	85	95	90	82	85	72	85	76	75
Mg ⁺⁺ (mg/l)	24	21	26	12	15	22	22	13	28	17	23	23
SO ₄ ⁻ (mg/l)	137,5	149	149	132,5	144,9	133	144	126	156	135	123,5	142
Cl ⁻ (mg/l)	51,2	47,21	48,5	45,53	50,1	52,4	53,3	49,5	52,7	69,5	51,3	68,4
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,45	0,33	0,26	0,28	0,06	0,02	0,018	0,08	0,78	0,022	0,21	0,11
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,025	0	0,15	1,08	0,86	0,82	0,99	0	1,15	1,01	1,43	1,01
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,03	0,11	0,07	0,07	0,059	0,02	0	0	0,06	0,045	0,1	0,06
PO ₄ ⁻ (mg/l)	0,24	0,06	0,015	0	0,011	0	0,036	0	0,054	0,028	0	0

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

Les valeurs de pH de ces deux barrages sont en accord avec celles trouvées par AYAD & KAHOUL (2016) au niveau des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch. Par contre, elles sont plus alcalines que celles rapportées par CHAHBOUNE *et al.* (2013) au niveau du barrage Hassan II, et par KAHOUL & TOUHAMI (2014) pour les eaux de consommation de la ville d'Annaba.

À l'échelle temporelle, la conductivité électrique n'a pas subi de modifications importantes pour les deux barrages d'études. Les valeurs obtenues sont comprises entre 453 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau du barrage Ain Dalia, et entre 1656 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau du barrage Foum El-Khanga, ce qui reflète la forte minéralisation de ce dernier. Cette minéralisation importante traduit une forte teneur des cations et anions dans cette eau due probablement au drainage des terrains triasiques très riches en sels et en gypse (la nature géologique des couches traversées).

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que les eaux du barrage Foum El-Khnaga sont fortement minéralisées et que les eaux du barrage Ain Dalia sont faiblement minéralisées.

Par comparaison à d'autres travaux, les résultats obtenus dans les eaux du barrage Ain Dalia se rapprochent de celles rapportées par CHAHBOUNE *et al.* (2013) au niveau du lac réservoir Hassan II.

La minéralisation importante du barrage Foum El-Khanga dépasse largement celle trouvée dans les eaux du barrage de Chefia et de Mexa par HARRAT & ACHOUR (2010).

Les valeurs de la turbidité enregistrées dans les eaux du barrage Foum El-Khanga ne montrent pas de variation notable pour les douze mois de prélèvements, elles varient entre 4,6 NTU (au mois de juin) et 6,82 NTU (au mois de février). Tandis que les valeurs obtenues des eaux du barrage Ain Dalia présentent de grandes variations, les minimas ont été observés en été (5,26 NTU) et les maximas en hiver (17,22 NTU). À la saison sèche, la turbidité est faible par rapport à la saison pluvieuse où l'apport des eaux de ruissellement augmente la turbidité de l'eau. Les eaux de pluie transportent les particules au cours de leur passage et augmentent la turbidité. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par GUERGAZI *et al.* (2006) dans les barrages de Beni Haroun, Mexa et Chefia.

Les valeurs de la dureté totale de l'eau, exprimées en degrés français ($^{\circ}\text{F}$), ont oscillé entre 26,5 $^{\circ}\text{F}$ (au mois de septembre) et 33 $^{\circ}\text{F}$ (au mois de juin) dans les eaux du barrage Ain Dalia et de 29 $^{\circ}\text{F}$ (au mois de juillet) à 45,3 $^{\circ}\text{F}$ (au mois de janvier) dans les eaux du barrage Foum El-Khanga. Spatialement, ce sont surtout les eaux du barrage Foum El-Khanga qui sont les plus dures. L'augmentation de la dureté pourrait être attribuée à la nature des terrains calcaires. Nos valeurs de TH s'avèrent relativement inférieures à celles mesurées par GHAZALI & ZAID (2013) dans la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès).

Généralement, les eaux des deux barrages (Ain Dalia et Foum El-Khanga) ont des teneurs en calcium plus importantes que celles en ions magnésium. Les concen-

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

trations de ces deux paramètres dans le barrage Ain Dalia ne montrent pas une grande variation durant les douze mois d'étude, mais leurs teneurs sont plus importantes au niveau du barrage Foum El-Khanga. Ces teneurs s'avèrent très supérieures à celles trouvées par BOUAROUDJ (2012) dans la Wilaya de Constantine, alors que ces teneurs dans les eaux du barrage Ain Dalia concordent avec celles de BENTOUATI & BOUZIDI (2011) dans la Wilaya de Sétif.

Dans les eaux du barrage Ain Dalia, le titre alcalimétrique complet n'a pas subi de modifications importantes au cours de la période d'étude, leur concentration est généralement comprise entre 14°F et 16°F.

L'alcalinité totale varie sensiblement en fonction des mois dans les eaux du barrage Foum El-Khanga, les teneurs les plus élevées sont notées en période de pluie (23,47°F au mois de février), et celles les plus faibles en période sèche (11°F au mois de juillet). Les mesures de l'alcalinité totale de l'ensemble des échantillons montrent qu'elles sont un peu plus importantes au niveau du barrage Foum El-Khanga que celles du barrage Ain Dalia. Cette alcalinité est due à la composition des formations géologiques.

L'évolution spatio-temporelle des bicarbonates dans les deux barrages d'étude présente la même allure que celle de l'alcalinité totale. Ces teneurs sont presque homogènes sur l'ensemble des eaux du barrage Ain Dalia, elles sont comprises entre 112 mg/l (au mois de mars) et 138 mg/l (au mois de juillet). Dans le barrage Foum El-Khanga, les teneurs de ce paramètre ont fluctué entre un minimum de 108,8 mg/l (au mois de juillet) et un maximum de 176,94 mg/l (au mois de février), Ceci s'explique par la dissolution importante des calcites dans le bassin versant. Généralement, les variations de l'alcalinité entre les différents mois de prélèvements sont essentiellement liées aux variations du régime des précipitations (AYAD & KAHOUL, 2016). Ces résultats dépassent largement ceux indiqués par OROU *et al.* (2016) au niveau des eaux souterraines des aquifères d'altérites du département d'Agboville.

Les teneurs en chlorures ont connu la même tendance d'évolution que la conductivité électrique. Ces teneurs dans les eaux du barrage Foum El-Khanga sont extrêmement élevées par rapport à celles enregistrées au niveau du barrage Ain Dalia. Dans ce dernier, les concentrations n'ont pas subi de fluctuations importantes, elles varient entre 45,53 mg/l (au mois d'avril) et 59,5 mg/l (au mois d'octobre). Tandis que pour le barrage Foum El-Khanga, les valeurs minimales (433,78 mg/l) et maximales (639,05 mg/l) sont relevées au cours des mois d'août et février respectivement. La nature géologique régionale et les lessivages des roches pourraient être à l'origine de ces fluctuations. Ces teneurs en chlorures restent supérieures à celles marquées par MEHANNED *et al.* (2014) au niveau du barrage Sidi Chahed et FOUAD *et al.* (2013) au niveau de l'Oued Hassar.

Les valeurs des nitrates apparaissent comme non négligeables notamment dans le barrage Foum El-Khanga, alors que le barrage Ain Dalia enregistre des teneurs très faibles variant entre 0 mg/l et 1,43 mg/l ; cette situation peut être expliquée par le faible usage des fertilisants chimiques et des pesticides liés aux activités

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

agricoles développées au niveau de ce barrage. Ces résultats concordent avec ceux de CHAHBOUNE *et al.* (2013) au niveau du lac réservoir Hassan II.

Pour le barrage Foum El-Khanga, les teneurs les plus élevées sont enregistrées en période pluvieuse (15,4 mg/l au mois de janvier), et les teneurs les plus faibles durant la période sèche (7 mg/l au mois de juillet).

L'origine des quantités importantes de nitrates provient principalement de l'application des engrais chimiques lors de la fertilisation. En cas de pluie, les ions nitrates non assimilés par les plantes sont entraînés par lessivage vers les barrages.

Par comparaison à d'autres milieux, nos teneurs en nitrates sont largement supérieures à celles enregistrées par HARRAT & ACHOUR (2010) au niveau du barrage Cheffia et Mexa, et concordent avec celles trouvées par KAHOUL & TOUHAMI (2014) au niveau des eaux de consommation de la ville d'Annaba.

Le dosage des nitrites dans les eaux du barrage Ain Dalia permet d'enregistrer de faibles valeurs ne dépassant pas 0,2 mg/l. Ces faibles teneurs obtenues en nitrites montrent que ces particules proviennent principalement du métabolisme des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Nos teneurs en nitrites se rapprochent de celles obtenues par DERWICH *et al.* (2008) au niveau de l'Oued Fès.

Les concentrations de ce paramètre pour les eaux du barrage Foum El-Khanga avaient subi des fluctuations importantes, Les valeurs les plus importantes sont marquées aux mois de décembre (1,98 mg/l) et les faibles teneurs au mois de juillet (0,057 mg/l). Ces valeurs importantes indiquent des rejets d'eaux usées dans ce barrage, et surtout l'utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture. Il est important de signaler que les eaux en contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites. Les valeurs obtenues s'avèrent en accord avec celles trouvées par BEN MOUSSA *et al.* (2012) au niveau de l'Oued Koumane.

L'évolution spatio-temporelle des teneurs en azote ammoniacal dans les deux barrages a montré des valeurs faibles durant toute la période d'étude. Elles ont varié entre 0,018 mg/l (au mois de juillet) et 0,78 mg/l (au mois de septembre) pour le barrage Ain Dalia, et entre 0,03 mg/l (au mois de septembre) et 0,57 mg/l (au mois de décembre) dans les eaux du barrage Foum El-Khanga. Les faibles teneurs en azote ammoniacal montrent que ces particules proviennent principalement du métabolisme des composés azotés où l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne et ne présage d'aucune pollution d'origine anthropique. Nos résultats restent comparables avec ceux trouvés par MEHANNED *et al.* (2014) au niveau du barrage Sidi Chahed.

L'évolution de la teneur en sulfates affiche des valeurs très importantes, les eaux du barrage Foum El-Khanga étant plus chargées (de 161,3 mg/l à 428,78 mg/l) que celles du barrage Ain Dalia (de 123,5 mg/l à 149 mg/l). La forte teneur en sulfates est reliée à l'abondance des formations évaporitiques secondaires, principalement le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et anhydrite (CaSO_4).

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

Dans le barrage Fom El-Khanga, l'évolution temporelle montre que les teneurs en sulfates sont très importantes en période pluvieuse. Cette élévation des teneurs pourrait être due aux activités agricoles (l'utilisation d'engrais chimiques) et de lessivage. Les teneurs en sulfate de nos eaux sont supérieures à celles enregistrées par CHAHBOUN *et al.* (2013) au niveau du barrage Hassan II et par EL ASSLOUJ *et al.* (2007) au niveau de l'Oued Boumoussa.

D'une façon générale, le dosage des orthophosphates dans les deux barrages donne des valeurs très faibles. La concentration a fluctué entre 0 mg/l et 0,24 mg/l pour les eaux du barrage Ain Dalia, et entre 0 mg/l et 0,13 mg/l pour les eaux du barrage Fom El-Khanga. Ce niveau d'orthophosphates est lié à l'absence ou à une très faible utilisation des engrais phosphatés, de même que les apports de détergents ou lessives phosphatées et des déjections humaines. Nos résultats restent comparables à ceux de DERWICH *et al.* (2010).

Analyse explicative

Cette analyse a été réalisée sur un tableau de données centrées-réduites (ACP normée) de deux individus (barrages) et de quinze variables : Température de l'eau (Temp), pH, Conductivité (Cond), Turbidité (Tur), Dureté totale (TH), Calcium (Ca^{2+}), Magnésium (Mg^{2+}), Titre alcalimétrique complet (TAC), Bicarbonates (HCO_3^-), Chlorures (Cl^-), Nitrates (NO_3^-), Nitrites (NO_2^-), Azote ammoniacal (NH_4^+), Sulfates (SO_4^{2-}), Orthophosphates (PO_4^{3-}).

Le plan factoriel F1-F2 nous a permis d'expliquer 62,33 % (F1 : 46,04 % et F2 : 16,29 %) de la variabilité totale. La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 (Figure 3) montre que :

– la turbidité, les orthophosphates, l'azote ammoniacal, les nitrites, la température et le pH sont corrélés positivement avec F1. Ce pôle regroupe donc la majorité des

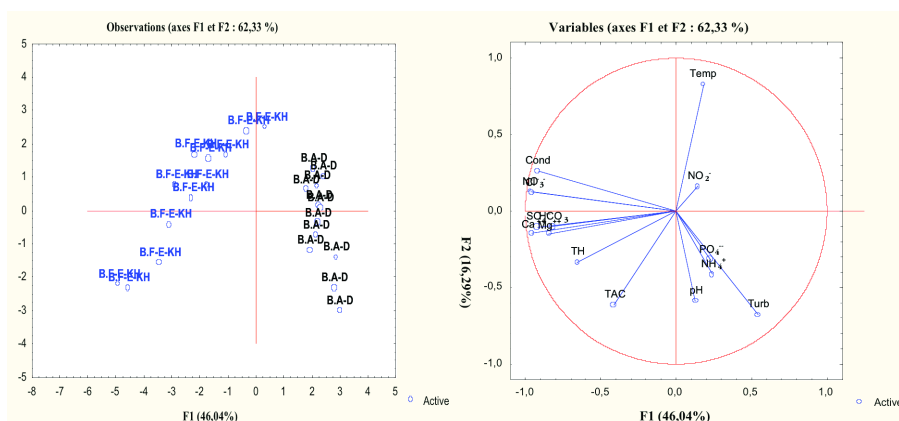


Figure 3

Répartition des paramètres physico-chimiques et des barrages sur le plan F1 x F2.
Distribution of physico-chemical parameters and dams on the plane F1 x F2.

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

paramètres qui déterminent les indicateurs de pollution organique et domestique. Cet axe définit alors un gradient croissant de pollution organique, allant de son pôle négatif vers l'autre pôle positif ;

– les paramètres : conductivité, bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, magnésium, calcium et la dureté totale sont corrélés négativement avec F1. Ce dernier, par son pôle négatif, renseigne sur la majorité des paramètres qui déterminent le degré de la minéralisation des eaux, et oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement ou moins chargées. Il définit alors un gradient croissant de minéralisation allant de la droite vers la gauche de l'axe ;

– l'axe F2 est associé positivement avec la température et négativement à des variables telles que la turbidité, TAC, NH_4^+ et PO_4^- . Il définit un axe de pollution par les particules organiques et domestiques.

L'analyse de la carte factorielle (Figure 3) montre l'individualisation nette des deux barrages (Ain Dalia et Foum El-Khanga) selon leurs paramètres physico-chimiques. Le premier groupe, situé dans le pôle négatif du premier plan factoriel, est constitué exclusivement par les eaux du barrage Ain Dalia (B-A-D). Ses eaux plus turbides, moins minéralisées, présentent un degré de pollution organique un peu élevé, alors que le deuxième groupe, situé dans le pôle opposé de ce même plan factoriel, est formé essentiellement par les eaux du barrage Foum El-Khanga (B-F-E-KH). Ses eaux, plus minéralisées que celles du groupe 1, sont relativement riches en éléments minéraux.

Nous constatons également que le premier axe permet déjà de les isoler convenablement au plan conductivité, bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, magnésium, calcium et la dureté totale, ce qui nous indique que les eaux du barrage Foum El-Khanga sont caractérisées par une minéralisation plus importante que celle des eaux du barrage Ain Dalia. Sur le deuxième axe, la différenciation est tranchée de façon *intra-site*, en expliquant la variabilité temporelle de la qualité physico-chimique du même barrage.

Conclusion

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons d'eau des deux barrages d'études Foum El Khanga et Ain Dalia utilisées respectivement en agriculture et en alimentation d'eau potable, ont permis de révéler le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux.

À la lumière des résultats obtenus, on constate que la quasi-totalité des paramètres analysés des eaux du barrage Ain Dalia sont conformes aussi bien à la réglementation nationale qu'internationale en matière de potabilité de l'eau, à l'exception d'une turbidité un peu élevée. Par ailleurs, les eaux du barrage Foum El-Khanga révèlent une minéralisation élevée, comme l'indiquent les valeurs élevées de la conductivité électrique, dureté totale, chlorures et le calcium. Cette minéralisation est d'origine naturelle en relation avec le contexte géologique de la région.

Qualité des eaux de deux barrages de la région de Souk-Ahras

Ces résultats ont fait l'objet d'une analyse en composantes principales (ACP) dont l'objectif ultime est de faire une interprétation des résultats obtenus, de ressortir la corrélation existant entre les différents paramètres et la différenciation des deux barrages selon leurs caractéristiques physico-chimiques.

L'analyse en composantes principales normée nous a permis de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans les barrages étudiés. En effet, l'ACP nous a permis de distinguer nettement les eaux des deux barrages et aussi de décrire la structure par deux caractéristiques principales :

- les eaux du barrage Ain Dalia se caractérisent par une pollution organique un peu élevée, qui se traduit par les valeurs des orthophosphates, de la turbidité, de l'azote ammoniacal et des nitrites ;
- les eaux du barrage Foum El-Khanga se caractérisent par une minéralisation très importante, vu les valeurs élevées de la conductivité, des bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, magnésium, calcium et de la dureté totale.

RÉFÉRENCES

- AFNOR. (1999).- *Recueil de normes françaises : qualité de l'eau*. Troisième édition.
- AKATUMBILA, L., MABIALA, M., LUBINI, A., PWEMA, K. & MUSIBONO, E.A. (2016).- Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa/République démocratique du Congo. *Larhyss Journal*, **26**, 7-29.
- ALLALGUA, A., KOUACHI, N., BOUALEG, C., AYARI, A. & BENSOUILEH, M. (2017).- Caractérisation physico-chimique des eaux du barrage Foum El-Khanga (région de Souk-Ahras, Algérie). *European Scientific Journal (ESJ)*, **13** (12), 258-275.
- AYAD, W. & KAHOU, M. (2016).- Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie). *J. Mater. Environ. Sci.*, **7** (4), 1288-1297.
- BEN MOUSSA, A., CHAHLAOU, A., ROUR, E.H., CHAHBOUNE, M. & ABOULKACEM, A. (2012).- Étude du changement de l'état des eaux de l'Oued Khoumane à la confluence avec les eaux thermales de la source Ain Hamma Moulay Idriss Maroc. *Larhyss Journal*, **11**, 17-36.
- BENTOUATI, L. & BOUZIDI, A. (2011).- Étude de la qualité des eaux souterraines de la wilaya de Setif. *Science Lib Éditions Mersenne*, **3**, 111-207.
- BOUAROUDJ, S. (2012).- *Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation*. Thèse de Magistère en Écologie. Université Mentouri Constantine, 75 p.
- CHAHBOUNE, M., CHAHLAOU, A., ZAID, A. & BEN MOUSSA, A. (2013).- Contribution à la caractérisation physico-chimique des eaux du lac réservoir du barrage Hassan II. *Larhyss Journal*, **14**, 61-77.
- DERWICH, E., BENAABIDATE, L., ZIAN, A., SADKI, O. & BELGHITY, D. (2010).- Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal*, **08**, 101-112.
- DERWICH, E., BEZIANE Z., BENAABIDATE L. & BELGHYTI, D. (2008).- Évaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraîchère au Maroc. *Larhyss Journal*, **07**, 59-77.
- EL ASSLOUJ, J., KHOLTEL, S., EL AMRANI-PAAZA, & HILALI, A. (2007).- Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, volume **20** (3), 309-321.

Bulletin de la Société zoologique de France 142 (2)

- FOUAD, S., CHLAIDA, M., BELHOUARI, A., HAJJAMI, K. & COHEN, N. (2013).- Qualité bactériologique et physique des eaux de l'Oued Hassar (Casablanca, Maroc) : caractérisation et analyse en composantes principales. *Les technologies de laboratoire*, **7** (30), 105-113.
- GHAZALI, D. & ZAID, A. (2013).- Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). *Larhyss Journal*, **12**, 25-36.
- GUERGAZI, S., HARRAT, N. & ACHOUR, S. (2006).- Paramètres organiques et potentiels de formation du chloroforme d'eaux de surface de l'Est Algérien. *Courrier du Savoir Scientifique et Technique*, **7**, 45-50.
- HARRAT, N. & ACHOUR, S. (2010).- Pollution physico-chimique des eaux de barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration. *Larhyss Journal*, **8**, 47-54.
- KAHOUL, M. & TOUHAMI, M. (2014).- Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). *Larhyss Journal*, **19**, 129-138.
- LAKHILI, F., BENABDELHADI, M., BOUDERKA, N., LAHRACH, H. & LAHRACH, A. (2015).- Étude de la qualité physico-chimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *ESJ*, **11** (11), 132-147.
- MEHANNED, S., CHAHLAOUI, A., ZAID, A., SAMIH, M. & CHAHBOUNE, M. (2014).- Typologie de la qualité physico-chimique de l'eau du barrage Sidi Chahed Maroc. *J. Mater. Environ. Sci.*, **5** (5), 1633-1642.
- MOUISSI, S. & ALAYAT H. (2016).- Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la Caractérisation Physico-Chimique des Eaux d'un Écosystème Aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien). *J. Mater. Environ. Sci.*, **7** (6), 2214-2220.
- OROU, R.K., SORO, G., SORO, D.T., N'GUESSAM-FOSSOU, R.M., ONETIE, O.Z., AHOUSSE, E.K. & SORO, N. (2016).- Variation saisonnière de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des aquifères d'altérites du département d'Agboville (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *ESJ*, **12** (17), 213-241.
- RODIER, J. (1984).- *L'analyse de l'eau*. 7^e édition Dunod.

(reçu le 24/03/2017 ; accepté le 30/06/2017)