

**THE PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS (PCA) TO EVALUATE THE
QUALITY OF WATER OF THE BOUHAMDANE RIVER, GUELMA (NORTH-EAST
ALGERIAN)**

N. Zeghaba*, A. Laraba

Département de Géologie, F S T, Université Badji Mokhtar Annaba

Received: 15 August 2017 / Accepted: 27 April 2018 / Published online: 01 May 2018

ABSTRACT

The waterways are often charged with matters. An excess of matter generally presents a risk of contamination concerning water of irrigation as well as for groundwater. Bouhamdane is located in the center of an agricultural city; surrounded by mountains. This area finds its fertility thanks in particular to the Seybouse river and dam which ensures a vast perimeter of irrigation (13000 ha). However, the development of industry, accompanied by a very thorough growth of the population involved a deterioration of the nature of surface and underground waters. In order to evaluate the quality of water of the watershed of the Bouhamdane river, twenty six (26) samples were partly taken and analyzed in upstream of the basin (Bouhamdane, Bordj Sabat and Oued Zenati rivers), during two periods. The results have been treated statistically by the Principal Component Analysis (PCA). This approach of treatment gives an estimate on the quality of this water of the watershed in different sectors and the origin of the sources of pollution especially agricultural and domestic.

Keywords: Watershed; dam; Bouhamdane river; quality of water; (PCA); Guelma.

Author Correspondence, e-mail: nadjette36.hydro@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i2.27>



1. INTRODUCTION

La retenue d'eau de Bouhamdane est située à 23 km de Guelma, implanté sur l'Oued Bouhamdane, qui résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Bordj Sabath et l'Oued Zenati. Le sous bassin versant de l'Oued Bouhamdane occupe la Ouest de la wilaya de Guelma, fait partie du grand Oued de la Seybouse. Dans cette étude, des paramètres physico-chimiques ont été suivis sur vingt six (26) points de prélèvements, qui couvrent les deux oueds en amont du barrage. L'ensemble des paramètres est étudié pendant deux périodes ; hautes et basses eaux de l'année 2013/2015. Pendant de ces périodes, ces paramètres ont révélé une dégradation de la qualité des eaux. Une approche statistique multivariée a montré que l'Oued Bouhamdane et ses principaux affluents constituent des zones de vulnérabilité des eaux de surfaces. La caractéristique hydrographique du bassin est l'absence de grandes rivières, les cours d'eau, formés de petits oueds, se marquent par la faiblesse de leur débit. Situation qui ne favorise pas la dispersion de la pollution, associée à un manque d'infrastructure d'épuration et d'évacuation des eaux usées, ce qui explique l'objet de notre recherche [1].

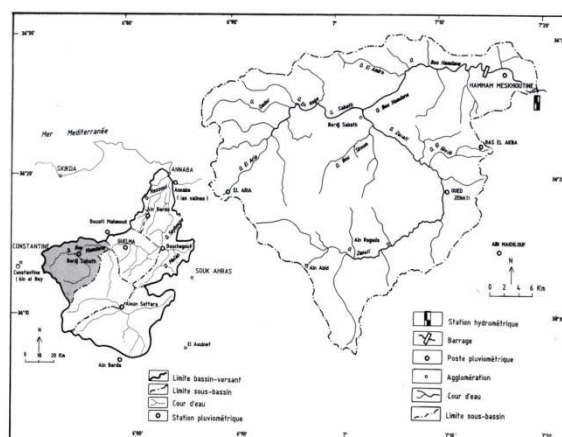
1.1 Cadre géographique et climatique

Guelma se localise au Nord Est algérien formant une cuvette entourée par les monts de (Haoura, Debagh, Mahouna et Dj Nador), faisant partie du bassin versant de l'Oued Seybouse (6470 Km²) [3]. Le bassin versant de l'Oued Bouhamdane s'étend sur une superficie de 1105 Km², pour un périmètre de 145 km à Medjez Amar2 (Tableau 1). Cette zone se caractérise par un relief accidenté, un climat tempéré, humide, une pluviométrie de 570 mm/an et une température moyenne annuelle de l'ordre de 18°C. La région de Guelma soumise à un climat de type méditerranéen, caractérisée par deux périodes différentes, l'une pluvieuse humide, l'autre sèche. Cette zone est marquée par un réseau hydrographique constitué par l'Oued principal Bouhamdane (Fig.1) et ses affluents secondaires: Oued Bordj Sabath et l'Oued Zenati [5].

Tableau 1. Caractéristiques morphométriques de l'Oued Bouhamdane

Caractère	Grandeur
Superficie	1105km ²
Périmètre	145km
Longueur du rectangle équivalent	50,57km
Longueur du thalweg principal	90km
Indice de compacité	1,22
Indice de pente de Roche	0,12
Indice de pente global	11,27 m/km
Altitudes :	
Minimale	285m
Maximale	1289m
Moyenne	787,5m

Source ANBT (Agence national des barrages et transferts)

**Fig.1.** Carte de situation géographique du bassin versant de l'Oued Bouhamdane

1.2 Contexte géologique

La géologie est faite par des divers travaux réalisés sur l'Algérie orientale. Le bassin versant de la Seybouse fait partie de la chaîne alpine de l'Algérie orientale [10]. Cette chaîne est composée par la superposition des unités structurales hétérogènes, dont l'histoire géologique s'étale depuis le Trias jusqu'au Pliocène. Cet édifice complexe est partiellement recouvert par une sédimentation Mio-Pliocène et/ou Quaternaire surtout continentale [11]. Cette géologie peut-être divisée en trois grands ensembles d'après [12] : (i) un ensemble anté- nappe, (ii) un ensemble Mio-Pliocène (continental, bassin de Guelma) et (iii) un ensemble récent (Pliocène

et Quaternaire). La zone de Guelma c'est le domaine néritique de Djebel de Debagh, Héliopolis et le sud de Guelma. Cette unité à faciès carbonaté Jurassique-Crétacé, karstifiée est surmontée par plusieurs nappes de charriages et soumise à de grands accidents tectoniques. La vallée de Guelma est un ancien bassin d'effondrement longtemps fermé où s'est entassé un ensemble varié de sédiments allant du Miocène au Plio-Quaternaire. Les mouvements tectoniques du Plio-quaternaire ont une grande attribution dans la morphogenèse de la région.

2. EXPERIMENTAL

Le réseau de contrôle de la qualité des eaux de surface comprend vingt six(26) points réparties le long de la vallée de Bouhamdane de Guelma (Fig.2), sur les différents affluents du bassin, et ce de l'amont à l'aval :

- à l'amont, sur les cours des affluents de Bouhamdane (Oued Bordj Sabath, Oued Zenati) cette partie est surtout l'objet d'une activité agricole.
- à l'aval du barrage Hammam Debagh.

Trois campagnes de prélèvements ont été effectuées pendant les périodes des hautes et basses eaux (2013/2015). Sur chaque échantillon d'eau, les déterminations analytiques ont porté les paramètres suivants :

- Les éléments majeurs ; anions : HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , et cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+
- Les éléments mineurs : Fe, Znc, Cu, Mn et Pb
- Température, pH, Conductivité à 20°C,
- Demande chimique en oxygène DCO,
- Demande biochimique en oxygène DBO5,
- Paramètres de l'azote : NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-
- Phosphore : PO_4^{3-}

La série des données hydrochimiques des eaux de Bouhamdane réalisée au sein du laboratoire de recherches (laboratoire de Radio- Analyses et Environnement/Tunisie). Les échantillons d'eau ont été portés par des bouteilles en polyéthylène de 1 litre, transportés au laboratoire dans une glacière à basse température (4°C). Les paramètres ; pH, CE et T° sont

mesurés sur terrain. Le tableau 2 montre les différentes techniques choisies pour analyser les paramètres physico-chimiques utilisés dans notre étude sont décrites dans les normes AFNOR [9].

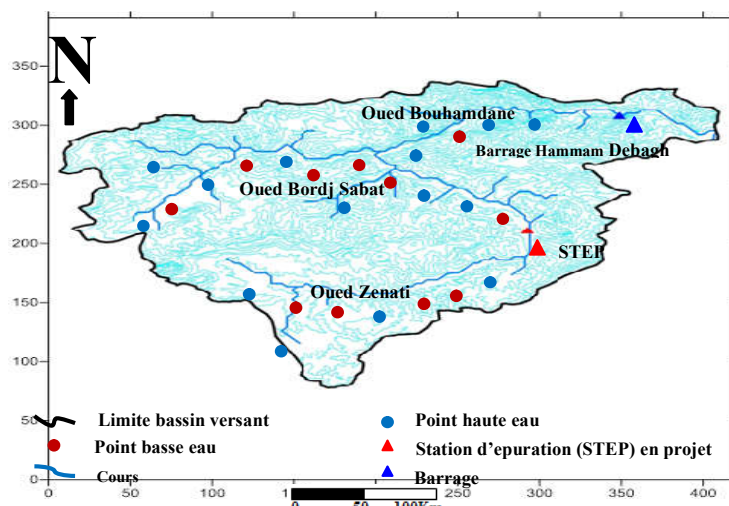


Fig.2. Localisation des points de prélèvement sur l'Oued Bouhamdane (région de Guelma)

Tableau 2. Méthodes d'analyses des variables physico-chimiques

Paramètres	Méthodes de détermination	Références
Le pH, la CE et la T°	In situ par un Multi paramètre	WTW pH/Cond 340i/SET
Le Ca ²⁺ , le Mg ²⁺ , les HCO ₃ ⁻ et les Cl ⁻	Par un titrage volumétrique	Les concentrations de Ca ²⁺ et Mg ²⁺ ont été estimés titrimétriquement en utilisant 0.05 N EDTA et 0.01 N et ceux de HCO ₃ ⁻ et Cl ⁻ par H ₂ SO ₄ et Titrage AgNO ₃ ,
Le Na ⁺ et le K ⁺	Un photomètre à flamme	Systronics Flamme Photomètre 128
L'ammonium (NH ₄ ⁺)	Spectrophotomètre UV	type UV visible
Les éléments nutritifs (NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻)	Spectrophotomètre de l'absorption atomique	PU8620 Philips
Les Sulfates (SO ₄ ²⁻)	Néphélométrie à λ=650 nm	NF T90-040
Les phosphates (PO ₄ ³⁻)	Colorimétrie à l'aide du molybdate d'ammonium (λ=880 nm)	NF EN ISO 6878 T90-023
La DCO	Oxydation en milieu acide par excès de dichromate de potassium à la température de 148°C des matières oxydables dans les conditions de l'essai en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure	NF T90-101
La DBO5	Manométrie	NF T90-103
Les éléments mineurs : Fe, Znc, Cu, Mn et Pb	Spectrophotométrie d'absorption atomique avec four à graphite, c'est une méthode de dosage d'éléments chimiques fondée sur l'absorption de radiations lumineuses par des éléments mis à l'état d'atomes neutres en phase vapeur	Pattern VARIAN AA 20

Deux études statistiques par l'analyse en composantes principales (A.C.P) ont été effectuée, la première sur un tableau [2] de vingt six(26) observations et vingt quatre(24) variables (T° pH, CE, Rsec , TAC, DHT, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , PO_4^{3-} , DBO5, DCO ,Fe ,Znc, Cu, Mn et Pb), ou les données concernent les eaux des Oueds Bouhamdane, Bordj Sabath et Zenati, (partie amont de Bouhamdane) et la deuxième a concerné les eaux du Barrage Hammam Debagh (partie aval de ce bassin), elle a été faite sur onze(11) observations pour dix neuf (19) variables (T° , pH, CE, Turb, Rsec, Mo, O_2d , Ca^{2+} , Mg^{2+} , ($Na^{+}+K^{+}$) , Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , PO_4^{3-} , DBO5, DCO). Le logiciel statistique STATISTICA a été utilisé pour le traitement de ces données.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Faciès chimique

Pour le faciès chimique, l'allure générale du diagramme de Piper montre deux faciès ; sulfaté-calcique et bicarbonaté-calcique pour l'Oued Bouhamdane et ces affluents (Fig.3.a) et le faciès le plus abondant est le chloruré-magnésien pour le Barrage Hammam Debagh (Fig.3.b).

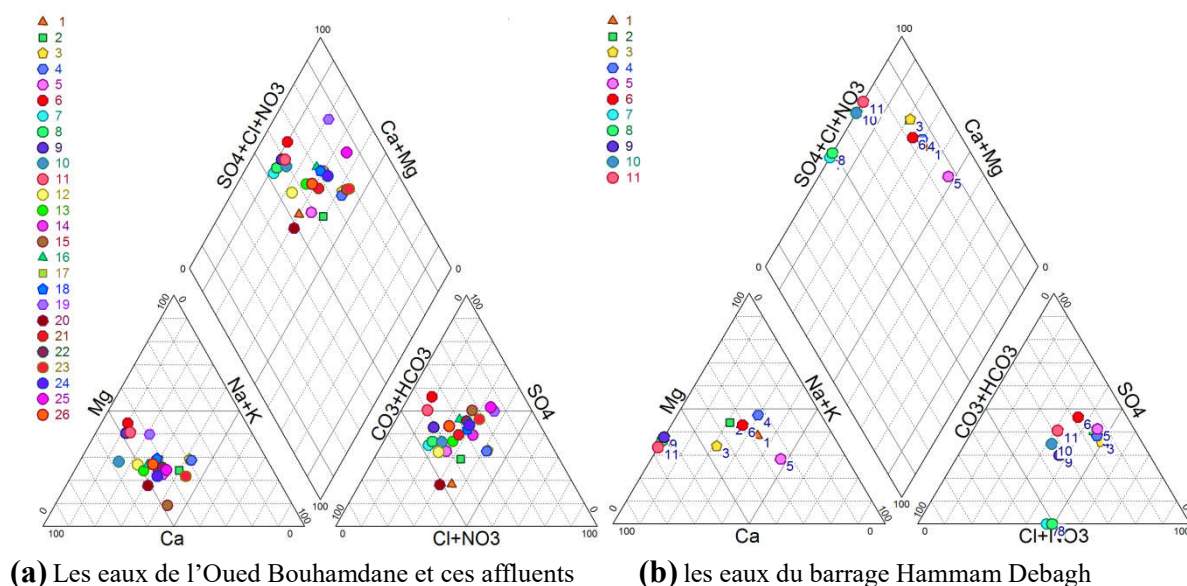


Fig.3.a .b. Représentation graphique des faciès chimiques sur le diagramme de Piper

3.2 A.C.P de l'Oued Bouhamdane et ces affluents

L'analyse des résultats permet de constater que la majorité des informations est expliquée par

les trois premiers axes factoriels [7]. Dans les deux plans factoriels F1-F2 et F1-F3, les valeurs propres des composantes F1, F2 et F3 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées dans le Tableau 3. Les trois axes pris en considération pour décrire les corrélations dans les facteurs liées aux structures spatiales, détiennent à eux seuls 76,35 % de l'information totale avec respectivement 37,90 % pour l'axe F1, 24,81 % pour l'axe F2 et 13,64% pour l'axe F3.

Tableau 3. Inerties totales de l'A.C.P des eaux de l'Oued Bouhamdane et ses affluents

Facteurs	Valeur propre	% Variance	Cumul de valeur propre	% de variance exprimée cumulée
F1	8,35	37,90	8,35	37,90
F2	5,05	24,81	13,4	62,71
F3	3,09	13,64	16,49	76,35

L'espace des variables du plan factoriel F1-F2 (Fig.4.c) montre que ce plan exprime 62,71 % de la variance exprimée. Le facteur F1 (37,90%) est déterminé dans sa partie positive par les nitrites (NO_2^-), la température, les phosphates (PO_4^{-3}), l'ammonium (NH_4^+), la (DCO) et la (DBO5), cependant la partie négative est caractérisée par les nitrates (NO_3^-), le potassium(K^+), le manganèse(Mn^{+2}), le plomb (Pb^{+2}), le cuivre(Cu^{+2}) et le résidu sec(Rsec). Les éléments qui définissent ce facteur représentant les éléments qui sont responsables de polluer ces eaux. Le facteur F2 qui explique 24,81% de l'inertie du nuage des points représentatifs des ouvrages est signifié par les chlorures (Cl^-), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), les bicarbonates (HCO_3^-) et les (SO_4^{-2}). Ce plan met en évidence la minéralisation, du moment qu'il regroupe tous les éléments responsables de la minéralisation des eaux du bassin versant de l'Oued Bouhamdane. La projection des individus selon le plan F1-F2 (Fig.4.d) montre que ces eaux se regroupent en deux familles [8]. La classe1 regroupe les individus d'eau correspondant des teneurs élevés en nitrites (NO_2^-), nitrates (NO_3^-), phosphates (PO_4^{-3}), plomb (Pb^{+2}), cuivre (Cu^{+2}) et en manganèse (Mn^{+2}), donc ces eaux sont polluées. La classe2 contient les individus qui ont une forte minéralisation ou ces eaux ayant le faciès chimique semblables.

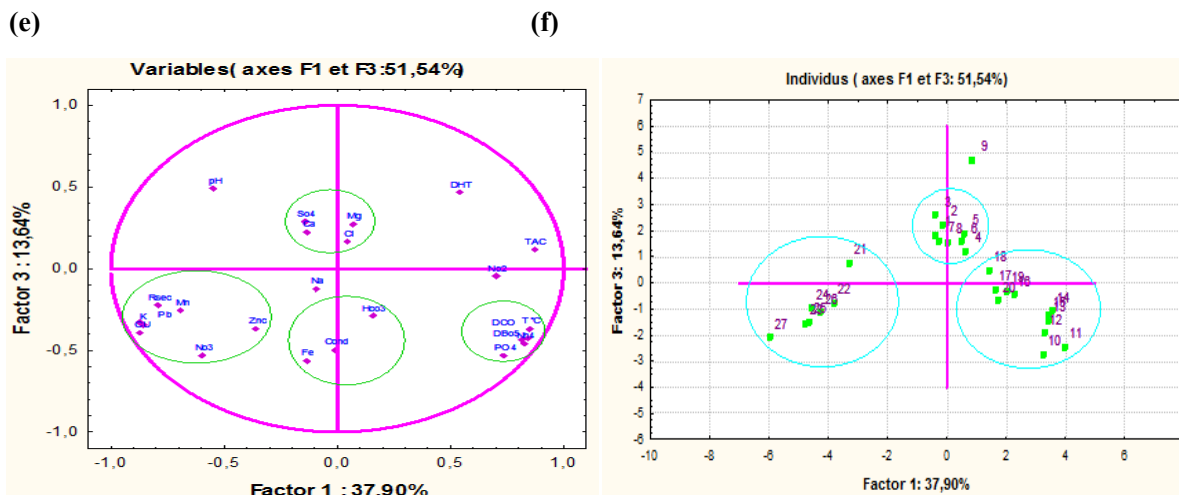


Fig. 5 .e. f. Représentation graphique de l'A.C.P. des eaux de l'Oued Bouhamdane et ses affluents selon les axes F1 et F3

3.3 A.C.P. des eaux du Barrage Hammam Debagh

Les résultats de cette approche statistique sont présentés sous forme de tableaux et des graphiques. Le tableau 4 présente les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque facteur et leur cumul, le facteur F1, avec une variance exprimée de 54,92 %, est le plus important, ensuite viennent le facteur F3, avec 9,92% de la variance exprimée. La liaison existant entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont portés sur une matrice de corrélation [6]:

- La conductivité électrique(CE) avec les paramètres : Ca^{2+} (0,93), Mg^{2+} (0,95), $(Na^+ + K^+)$ (0,86) et HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} (0,97) ;
- La turbidité avec les paramètres : Mg^{2+} (0,96), Cl^- (0,93), HCO_3^- (0,98), et SO_4^{2-} (0,97) ;
- Les chlorures avec les alcalino-terreux ; Ca^{2+} (0,94) et Mg^{2+} (0,95).
- Les bicarbonates avec SO_4^{2-} (0,99), Cl^- (0,96) et aux alcalino-terreux ; Ca^{2+} (0,94) et Mg^{2+} (0,98) ;
- Les phosphates avec les paramètres : Ca^{2+} (0,66), Mg^{2+} (0,68), $(Na^+ + K^+)$ (0,72), Cl^- (0,77) et HCO_3^- SO_4^{2-} (0,68).

Les variables ne présentant apparemment aucune relation satisfaisante avec les autres variables sont : le pH, la matière organique(MO), les nitrites (NO_2^-), la demande chimique en oxygène(DCO), l'ammonium (NH_4^+) et l'oxygène dissous(O_2d). Ces fortes corrélations entre

ces variables mettent en évidence la similarité des phénomènes à l'origine de la circulation de ces ions dans les eaux du Barrage Hammam Debagh [4].

Tableau 4. Inerties totales de l'A.C.P du Barrage Hammam Debagh

Facteurs	Valeur propre	% Variance	Cumul de valeur propre	% de variance exprimée cumulée
F1	7,70	54,92	7,70	54,92
F3	3,38	9,92	11,08	64,84

Pour l'axe F1(Fig.6.g), le premier cercle de points dans sa partie positive, regroupant les chlorures(Cl⁻), le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺), le sodium (Na⁺), les sulfates (SO₄²⁻), la conductivité électrique (CE), les bicarbonates (HCO₃⁻), les phosphates (PO₄⁻³), les nitrates(NO₃⁻) et la turbidité, cependant la partie négative est caractérisée par le regroupement des nitrites (NO₂⁻), de pH, de la demande chimique en oxygène (DCO), de matière organique (MO) et d'oxygène dissous (O₂d), qui s'opposent au premier nuage de points. Cet axe regroupe les éléments responsables des faciès chimiques de ces eaux qui sont le chloruré – magnésien, le chloruré - calcique, le bicarbonaté - calcique et le sulfuré- calcique, avec l'influence de conductivité électrique dans un coté et les facteurs de pollution d'origine domestique et agricole dans l'autre coté. F3 représentant 9,92 % de la variance totale (Fig.6.g) met en évidence dans sa partie négative l'ammonium (NH₄⁺) et le résidu sec(Rs). On peut donc dire que les groupes F1 et F3 sont des axes regroupent tous les éléments responsable de la minéralisation et de pollution de ces eaux. La projection des individus selon le plan F1-F3 (Fig.6.h) montre selon l'axe F1 dans son sens positif un ensemble de points regroupant les individus ayant le faciès chimique chloruré-magnésien et le chloruré-calcique. Dans le sens négatif un deuxième nuage de points s'opposant au premier et il est caractérisé par le faciès bicarbonaté – calcique et sulfuré-calcique.

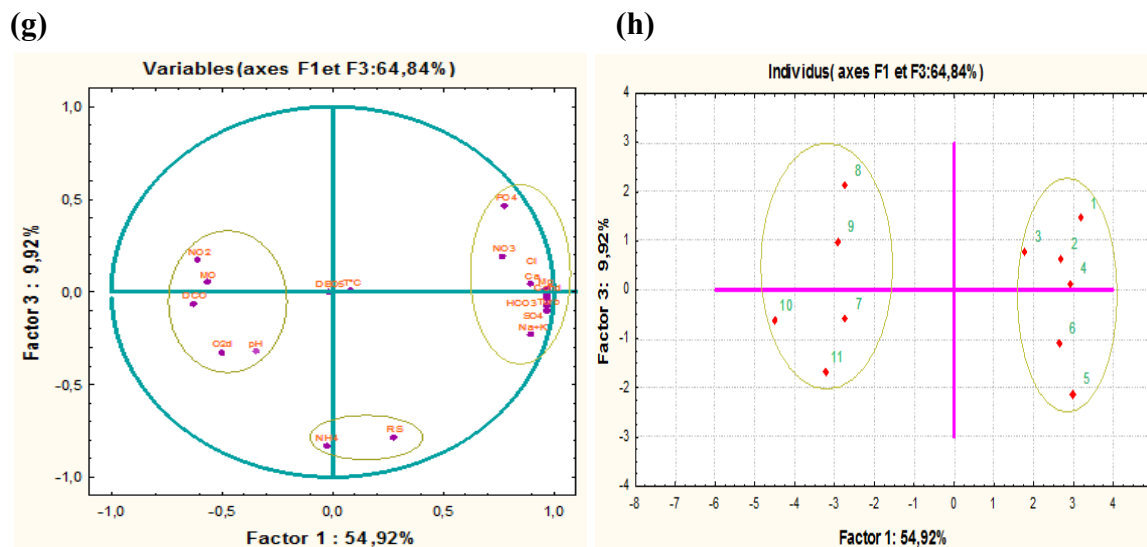


Fig.6 .g. h. Représentation graphique de l’A.C.P de la retenue d’eau Hammam Debagh selon le plan F1 et F3

4. CONCLUSION

Cette étude a montré également l’importance et l’utilité des techniques d’analyses des composantes principales (ACP) pour obtenir la qualité des eaux du bassin versant de l’Oued Bouhamdane ; de l’amont (Oued Bouhamdane et ses affluents ; Oued Bordj Sabat et Oued Zenati) vers l’aval (Barrage Hammam Debagh). Les résultats obtenus dans les deux ACP réalisées respectivement pour l’Oued Bouhamdane et ses affluents et le Barrage Hammam Debagh ont conduit à la mise en évidence des différentes caractéristiques des eaux du bassin versant de l’Oued Bouhamdane. En effet, la représentation graphique de l’ACP des eaux de l’Oued Bouhamdane et ses affluents dans les deux espaces factoriels F1-F2, F1-F3, a mis en évidence deux (2) classes: la première classe regroupe les eaux [4] qui sont fortement minéralisées ou ces eaux ayant le faciès chimique semblables, la deuxième classe renferme les eaux polluées, ayant des teneurs élevées en métaux lourds ; le plomb (Pb), le cuivre (Cu), le Fer (Fe), le Zinc (Zn) et le manganèse (Mn). Pour l’ACP des eaux du Barrage Hammam Debagh a permis de dégager une typologie dominée par deux (2) groupes d’eau et de retenir tous les éléments responsables, de la minéralisation (les chlorures (Cl^-), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), les bicarbonates (HCO_3^-) et les sulfates (SO_4^{2-})) et de pollution (les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), la demande chimique en oxygène (DCO), la

matière organique(MO),...) de ces eaux.

5. REFERENCES

- [1] Belkhiri L., Mouni L., Narany T.S., Tiri A., Eaux souterraines pour le développement durable, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gsd.2016.10.003>
- [2] Belkhiri L, Mouni L, Boudoukha A., Journal des sciences de la terre africaines, 66–67, (2012) 46–55, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2012.03.001>
- [3] Djemai M., Saibi H., Mesbah M., Robertson A., Journal de l'hydrologie : Études régionales, 12 (2017) 33–49, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.04.002>
- [4] Amadou H., Laouali M.S., Manzola A. Analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région Tillabery: application des méthodes analyses statistiques multi varies. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°20, Décembre 2014, pp. 25-41
- [5] Benchaiba L. Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau bassin versant de l'Oued Bouhamdane (W.Guelma, Nord-Est Algérien).Science Lib Mersenne Editions: Volume 4(2007), NR ° 120701 ISSN 2111-4706, pp2-9
- [6] Chaouki I., Mouhir L., Fekhaoui M., El Abidi A., Bellaouchou A., El Morhit M. Application de l'analyse en composantes principales(ACP) pour l'évaluation de la qualité des eaux usées industrielles de Salam Gaz – Skhirat. J. Mater. Environ. Sci. 6 (2) (2015) 455-464
- [7] Kendouci M.A., Kharroubi B., Maazouzi A., Bendida A. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées a déchargé dans l'environnement naturel, cas rivière de Béchar, Algérie. Énergie Procedia 36 (2013) 287 – 292
- [8] Mouissi S., Alayat H. 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) (2016) 2214-2220
- [9] Afnor. Recueil des normes françaises, Qualité de l'eau. 1994. Edition Afnor.
- [10] Durand Delga M. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Bull.Serv. Carte Géol. Algérie, N.S, n°39, 9.89-131 (1969), 9 fig., Alger
- [11] Vila J.M. La chaine Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse Doctorat d'état (1980) Univ. Pierre et Marie – Curie, Paris VI, 665 p

[12] Lahondère. J. C. Les séries ultra telliennes d'Algérie nord-orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Thèse d'Etat Univ (1987).Paul Sabatier, Toulouse 204p.

How to cite this article:

Zeghaba N, Laraba A. The principal components analysis (PCA) to evaluate the quality of water of the Bouhamdane river, Guelma (North-East Algerian) .*J. Fundam. Appl. Sci.*, 2018, *10(2)*, 383-395.