

ETUDE DE LA QUALITE PHYSICOCHIMIQUE ET DE LA CONTAMINATION METALLIQUE DES EAUX DE SURFACE DU BASSIN VERSANT DE BEHT (MAROC)

***Lakhili Ferdaous, Dr.
Benabdelhadi Mohammed, Ph.
Bouderka Nouzha, Dr.***

Laboratoire des Géo-Ressources et Environnement
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc

Lahrach Hamid, Dr.

Laboratoire des Ressources Naturelles et Environnement
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc

Lahrach Aberrahim, Prof.

Laboratoire des Géo-Ressources et Environnement
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc

Abstract

The Beht watershed is located in the north-west of Morocco. It occupies the southwest part of the Sebou basin. The study was carried out to analyze the physico-chemical parameters (T °, pH, EC, nitrates and chlorides) and assessment of contamination by trace elements (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni and Pb). Thus, water samples were taken at 15 sites in November 2013. The analysis showed an alkaline pH (between 8 and 8.8), the temperature fluctuates between 12 and 16°C and conductivity varies between 183 and 565 µs/cm. These results are within the recommended standards (WHO, 1984; MATEE, 2002). Laboratory analyzes have shown that the various parameters and heavy metals contents are weak which reflect the fact that in general the surface water in the Upper Beht has good quality. These results are almost the same as the Guigou river water (Akil & al. 2013), but lower than what is reported by Jeddi & al. (2013) for the downstream of Beht basin which contains a large industrial activity. In order to establish a link between physicochemical parameters and metal while assessing better the impact of human activity on the water quality of the Oued Beht, we conducted a statistical analysis by the CPA. This allowed to identify Pb, Fe, As, and Cu as pollution indicators. The origin of those elements is anthropogenic. It is believed that despite the weak contents of

these elements, it is essential to set up a vigilance, to monitor their evolution and continuing the sampling and analysis.

Keywords: Surface water, physic-chemistry, pollution, heavy metals, Beht

Résumé

Le bassin versant de l'oued Beht se situe au nord-ouest du Maroc. Il occupe la partie sud-ouest du bassin du Sebou. L'étude concerne l'analyse des paramètres physico-chimiques (T° , pH, C.E, nitrates et chlorures) et l'évaluation de la contamination par les éléments traces (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb). Ainsi, des prélèvements d'eau ont été effectués au niveau de 15 sites d'étude au mois de novembre 2013. Les analyses ont révélé que le pH est alcalin (entre 8 et 8,8), que la température oscille entre 12 et 16° et que conductivité varie entre 183 et 565 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Ces résultats se situent dans les normes recommandées (WHO, 1984 et MATEE, 2002). Les analyses au laboratoire ont montré que les différents paramètres et les teneurs en métaux lourds sont faibles ce qui témoigne du fait qu'en général les eaux du Haut Beht sont d'une bonne qualité. Ces résultats correspondent à ceux des eaux de l'oued Guigou (Akil et al. 2013), mais s'avèrent inférieurs à ce qui est signalé dans le bas de Beht (Jeddi et al. 2013) qui est soumis à une activité industrielle assez importante. Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et métalliques et pour mieux évaluer l'effet de l'activité anthropique sur la qualité de l'eau de l'Oued Beht, nous avons procédé à un traitement statistique par l'Analyse en Composante Principale (ACP). Ceci a permis d'identifier le Pb, le Fe, l'AS, et le Cu comme indicateurs de pollution. Ces éléments sont d'origine anthropique. Malgré les taux faibles de ces éléments, il paraît indispensable de mettre en place une vigilance, de surveiller de près leur évolution en continuant les prélèvements et les analyses.

Mots clés: Eaux de surface, physico-chimie, pollution, métaux lourds, Beht

Introduction

D'une manière générale, la qualité des eaux naturelles de surface peut résulter de contraintes naturelles et anthropiques, ainsi que de la gestion et l'économie de ces eaux. Ce sont là des facteurs à considérer pour améliorer ou même simplement conserver les sources d'eau sans les dégrader. L'activité anthropique reste la cause principale de la dégradation de la qualité des eaux naturelles (Bouras et al, 2010). Ainsi la contamination métallique des écosystèmes présente des effets néfastes qui pourraient engendrer des situations critiques voir dangereuses affectant l'équilibre écologique des écosystèmes. Pour étudier de près cette situation, nous avons

choisi le Haut Beht situé dans la partie sud-ouest du bassin du Sebou et qui n'a jamais fait l'objet d'une étude de pollution. Le but de notre travail est d'évaluer l'état qualitatif des eaux du Beht d'une part et de révéler l'emplacement des points qui peuvent présenter un risque de pollution des eaux de surface d'autre part.

Pour mener à bien ce travail, nous avons procédé à un ensemble de mesures de paramètres physico-chimiques (T°, pH, C.E, nitrates et chlorures) in situ et d'autres au laboratoire (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb). L'ensemble des résultats feront l'objet d'une étude statistique par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physico-chimiques et métalliques pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité de l'eau.

Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Beht occupe, au Nord-ouest du Maroc, une superficie de 4432 Km² environ. Il est limité au nord par la plaine du Gharb et le plateau de Meknès, au Sud par le bassin de l'Oum-Erbia, à l'Ouest par le bassin de Bouregreg et à l'Est par le Moyen Atlas (fig.1). Il occupe la partie sud-ouest du bassin du Sebou. Il prend ses origines aux confluences des oueds Tigrigra, et Ifrane à l'Est du bassin versant. Avant d'atteindre le Barrage El Kansera, le Beht reçoit les apports des oueds Bouachouch, Kharrouba, Ouchket et El Kell.

De point de vu climatique, le bassin versant de l'oued Beht jouit d'un climat de type méditerranéen qui résulte de l'importance respective des influences atlantiques, méditerranéennes et continentales sahariennes. La pluviométrie moyenne ne dépasse pas 700 mm sur l'ensemble du bassin, avec des variations entre 400 mm sur les vallées encaissées du Haut Beht et 1000 mm sur le Moyen Atlas. Les températures moyennes annuelles dans le bassin oscillent entre 15 °C et 19 °C suivant l'altitude et la continentalité. Les températures estivales sont élevées. Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des maxima moyens de 34 à 36 °C et les mois les plus froids sont décembre, janvier et février. La moyenne des minima est de 3 à 7 °C (Administration de l'Hydraulique 1991).

Sur le plan géologique, le bassin versant de l'oued Beht est constitué de trois unités géologiques et structurales différentes. Au Nord-est, la zone extrême ouest des rides pré-rifaines est composée par un complexe marneux tertiaire surmontant une série marno-calcaire et dolomique du Jurassique. Le complexe de Mâamora orientale couvre une bande de très faible extension au Nord-ouest du bassin de Beht, où les affleurements sont représentés par des sables gréseux du Plio-quadernaire surmontant des marnes miocènes. Au sud, l'oued Beht draine le domaine mesétien à formations primaires. D'un autre côté, le bassin versant de Beht est constitué par des terrains relativement

imperméables, ce qui favorise le ruissellement et augmente les pertes dues à l'évaporation qui atteint 1700 mm/an (Administration de l'Hydraulique 1991).

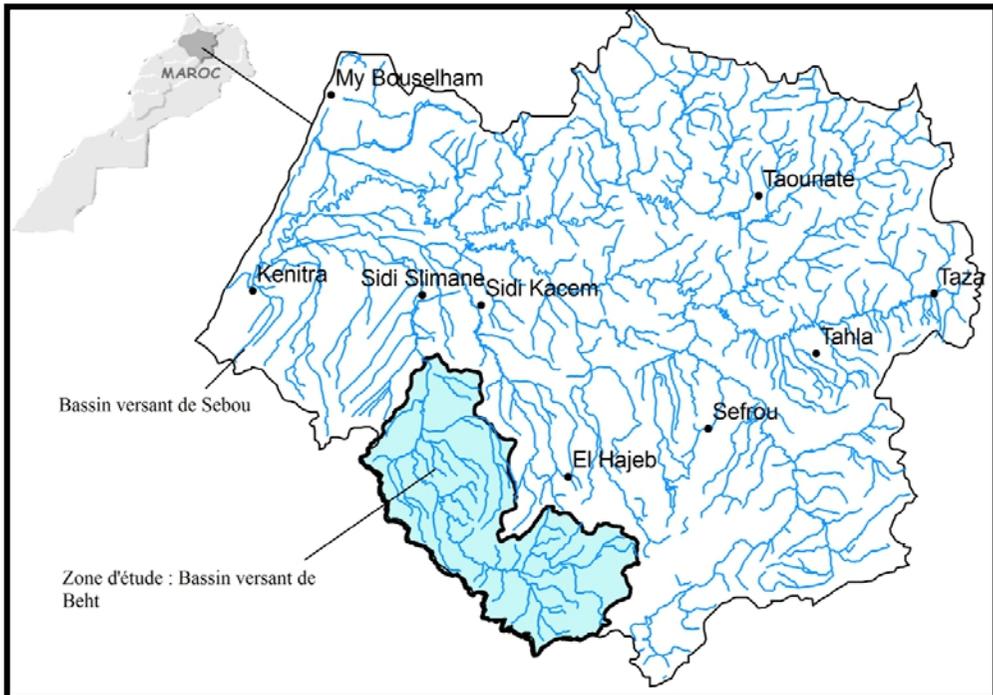


Figure.1 - Localisation du bassin versant de l'oued Beht.

Matériels et méthodes

Echantillonnage

L'échantillonnage a été fait en tenant compte de la diversité lithologique du bassin, la distribution des activités anthropiques ainsi que des zones de confluence. Nous avons choisi quinze stations de prélèvement (ECH 1 à ECH 15) réparties le long de l'oued Beht et ses affluents (fig.2) qui reflètent les caractéristiques réelles des eaux de surface de toute la zone d'étude.

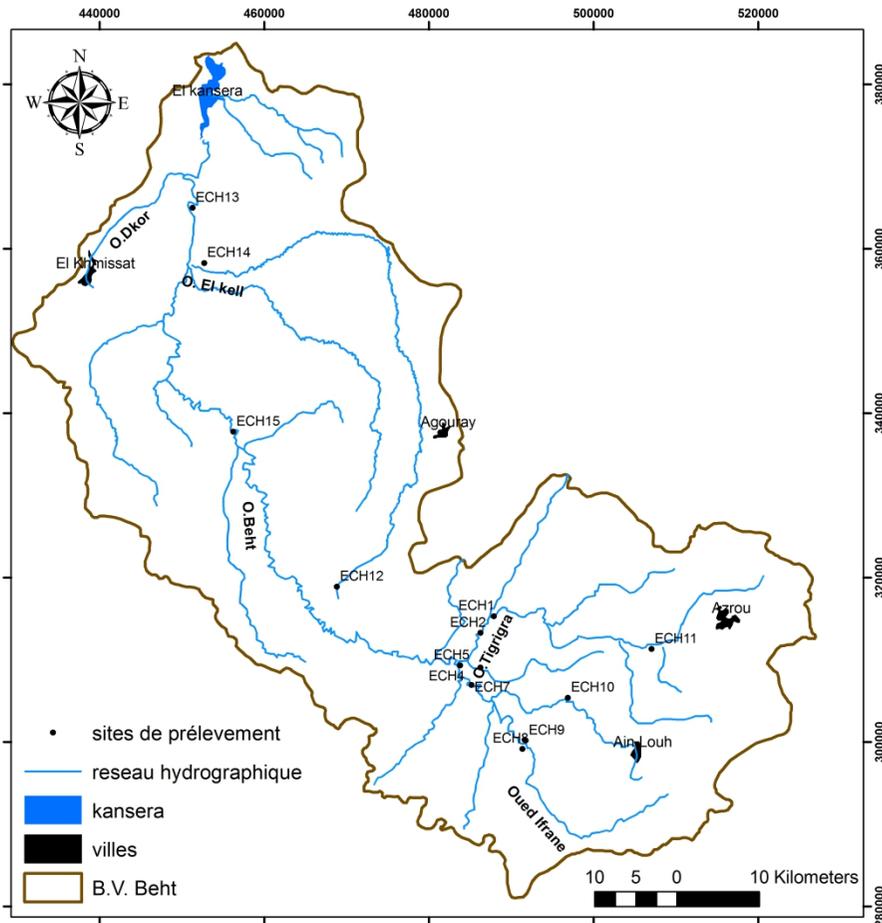


Figure 2 - Situation géographique des stations d'échantillonnage.

Paramètres physicochimiques et métalliques évalués et méthodes d'analyse

Dans le but d'évaluer le degré de pollution métallique et physicochimique, des sédiments des cours d'eau de l'oued Beht, nous avons mesuré 10 éléments métalliques et 4 paramètres physicochimiques.

Les échantillons d'eau ont été prélevés au mois de novembre 2013. A chaque prélèvement nous avons mesuré sur place la température de l'eau, de l'air, la conductivité électrique et le pH. Après ces mesures, nous avons prélevé les échantillons d'eau dans des bouteilles de plastique, préalablement rincées avec l'eau de la station. Ils ont été ensuite conservés à 4°C pendant le transport au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes AFNOR (1997) et par Rodier (1996). Les paramètres physicochimiques étudiés au laboratoire sont, les chlorures (Cl⁻), et les nitrates (NO₃⁻). Les chlorures sont mesurés par méthode volumétrique de Mohr en présence du nitrate d'argent.

Les nitrates sont dosés par la méthode colorimétrique en présence de salicylate de sodium. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de biologie de la faculté des sciences et techniques de Fès. L'étude de la contamination par les métaux lourds des eaux de surface a porté sur les éléments Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb a été réalisé au laboratoire du CNRST (Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Technique) de Rabat.

Pour une meilleure interprétation des résultats d'analyses des données hydro-chimiques des hydro-systèmes, nous les avons traitées par l'ACP qui est une méthode statistique descriptive qui a pour objectif de présenter, sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Philippeau, 1986). Cette méthode permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales (Davis, 1984). La projection des variables dans l'espace des axes F1et F2 a été obtenue avec le Logiciel XLSTAT.

Résultats et discussion

Caractéristiques physicochimiques de l'eau de l'oued

Les résultats d'analyses des échantillons d'eau prélevés à oued Beht en novembre 2013 sont présentés dans le tableau n°1.

Tableau 1- Paramètres physicochimiques des eaux

EAU	T° air	T° eau	Conductivité (us)	TDS (g/l)	PH
ECH1	13	12,5	267	1,44	8,6
ECH2	13,4	13,7	265	1,49	8,6
ECH3	15,5	14	240	1,32	8,6
ECH4	14,1	13,8	328	1,55	8,6
ECH5	16,4	16,3	273	1,49	8,4
ECH6	14,8	16,2	215	1,17	8,4
ECH7	14,6	14,5	279	1,51	8,8
ECH8	16,6	16	308	1,67	8,6
ECH9	15,5	14	314	1,7	8,1
ECH10	14,2	13,8	197	1,064	8,1
ECH11	14,9	14,3	279	1,54	8,5
ECH12	12,6	12,8	183,5	0,98	8,1
ECH13	15,1	15,3	565	3,04	8
ECH14	13,7	13,4	465	2,53	8,6
ECH15	14	16,2	253	1,36	8,5

La température de l'eau

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau et la dissociation des sels dissous. Elle a aussi un effet sur les réactions chimiques et biochimiques, sur le développement et sur la croissance des organismes vivants dans l'eau et

particulièrement les microorganismes (W.H.O, 1987). Dans la zone d'étude, les températures enregistrées varient entre 12,5°C (ECH 1) et 16,3 °C (ECH 5). Ces valeurs mesurées ne dépassent pas les normes marocaines de 2002, par conséquent l'eau de l'oued Beht appartient à la classe moyenne à excellente (fig.3).

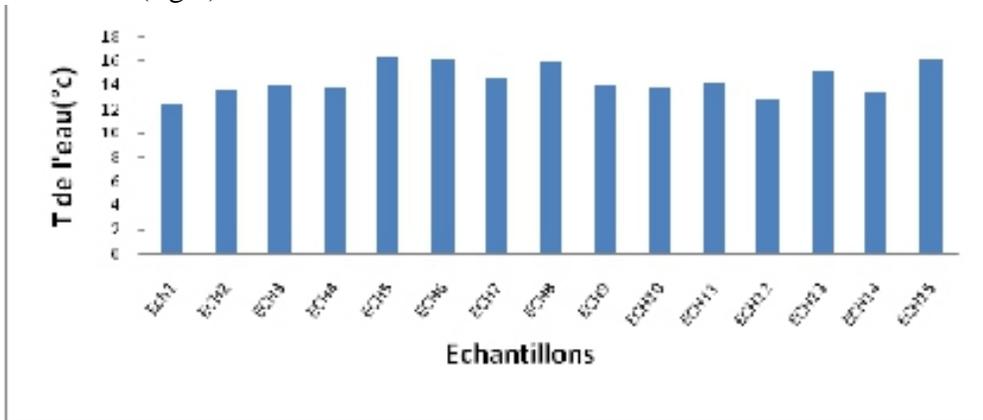


Figure 3 - Variation spatiale de la temperature de l'eau

Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Ezzaouaq, 1991; El Blidi et al 2003; Himmi et al., 2003).

Le pH est alcalin dans les 15 stations sans variations notables (entre 8 et 8,6). Cette alcalinité est surtout liée aux terrains calcaires ou marno-calcaires jurassiques traversés par le Beht (fig. 4).

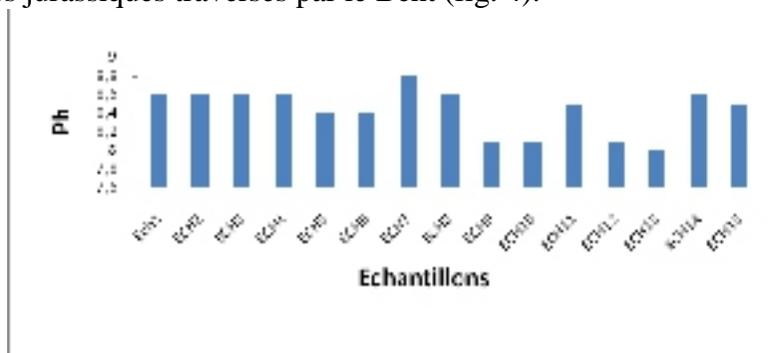


Figure 4 - Variation spatiale du potentiel hydrogène

Conductivité Electrique

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit en fonction de sa concentration et sa conductivité. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, et renseigne sur le taux de salinité. Les résultats de mesures de l'ensemble des échantillons de l'oued Beht montrent que les valeurs sont comprises entre 183,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de la station 12 et 565 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de la station 13 au cours du mois de novembre (Fig.5). Ces valeurs restent inférieures à la norme marocaine des eaux de surface (2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

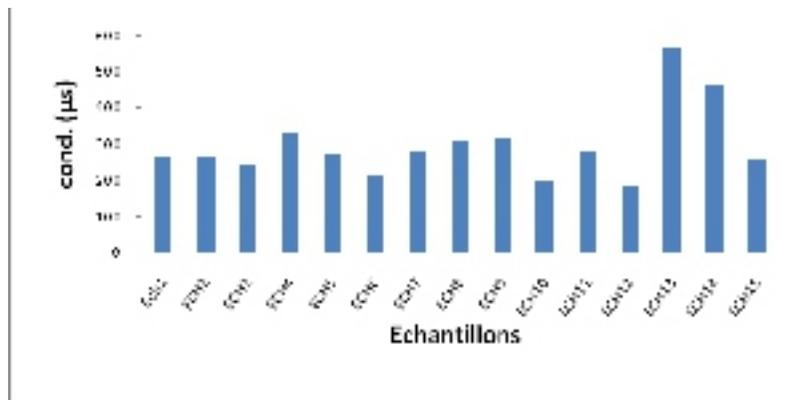


Figure 5- Variation spatiale de la conductivité électrique

Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. Les concentrations en ions chlorures relevées dans les eaux de l'oued Beht s'échelonnent entre 35,5 mg/l (ECH 12) et 284mg/l (ECH 13). Les valeurs minimales sont enregistrées dans la partie amont de l'oued à l'exception des stations 8, 9 et 10 localisées respectivement en aval d'oued Ifrane (8 et 9) et la ville de Ain Louh (10) qui enregistrent des valeurs un peu plus élevées. Les valeurs maximales sont observées au niveau des stations 13, 14 et 15 (fig.6). Leurs positions très en aval du bassin permet d'expliquer cette augmentation par cumule des valeurs des chlorures. Toutes fois, les chlorures enregistrent des teneurs qui ne dépassent pas les normes marocaines fixées à 750 mg/l (N.M, 2002). Ce qui permet de classer ces eaux dans la grille bonne des eaux de surface.

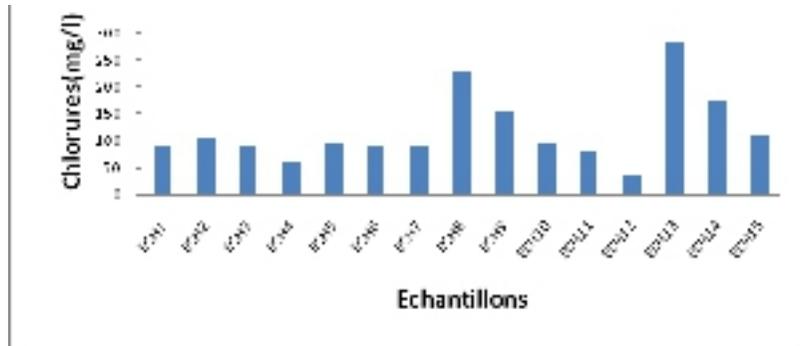


Figure 6 - Variation spatiale des chlorures

Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l. Les teneurs en nitrates enregistrées au cours du mois de Novembre varient entre 0,009 mg/l (ECH1) et 0,9 mg/l (ECH4), (Fig.7). Ce qui reste largement inférieur à 30 mg/l, fixée par les normes marocaines. Ces résultats permettent de conclure que les eaux étudiées le long de l'oued Beht et ses affluents ne présentent aucun risque de pollution par les nitrates.

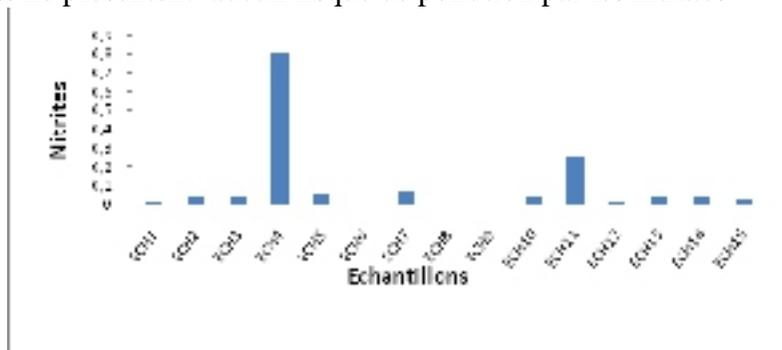


Figure 7 -Variation spatiale des nitrites

Métaux lourds

Les éléments les plus étudiés dans les eaux de surface marocaines sont (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni et Pb). La présence de ces métaux même à des faibles concentrations dans les eaux de surface peut avoir des impacts écologiques et sanitaires importants.

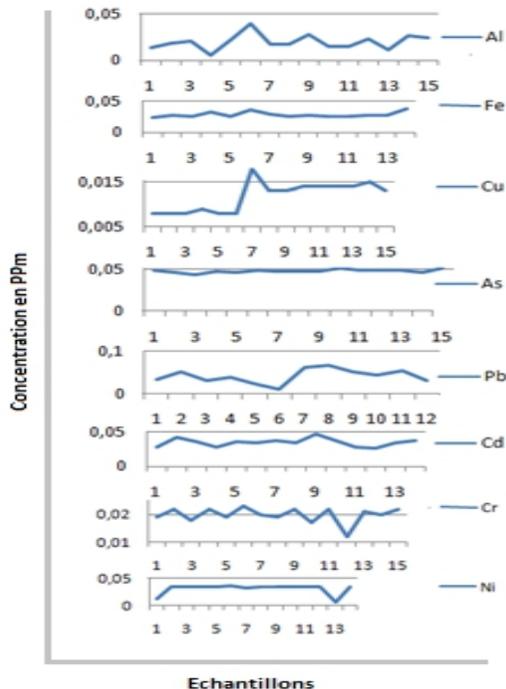


Figure 8 : Variation spatiale des métaux lourds

Le dosage de ces métaux montre que les eaux de Beht contiennent des éléments traces avec des teneurs très négligeables ne dépassant pas 0.06 ppm (Fig.8). Par conséquent, ces concentrations ne présentent aucun danger quant à la qualité des eaux de l'Oued Beht. En effet, elles restent très inférieures aux valeurs limites préconisées par les normes marocaines. Ces résultats concordent avec ceux signalés par Akil et al. (2013) au niveau d'oued Guigou entre Timehdit et Almis Guigou. L'oued Beht prend ses sources dans le Moyen Atlas pas loin de la région où coule l'oued Guigou. Par contre, les résultats trouvés par Azzaoui et al. (2002) au niveau de l'Oued Sebou présentent des valeurs plus importantes.

La pollution des eaux de surface par les métaux lourds au Maroc est due à l'activité industrielle, dans la région d'étude, cette activité est quasiment absente ce qui pourrait expliquer les faibles teneurs dans l'oued Beht.

Les faibles teneurs en métaux traces dans le Haut Beht peuvent être expliquées par l'absence des activités industrielles au niveau de la région d'étude et qui constituent généralement le foyer de pollution par ces éléments dans les eaux de surface marocaines.

Analyse en composantes principales (ACP)

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et métalliques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité de l'eau de l'Oued Beht, un traitement statistique ACP a été appliqué à l'ensemble des paramètres. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro-chimiques (Bennasser, 1997; El Morhit et al, 2008). Pour cela 15 individus qui correspondent aux prélèvements ont subi le traitement des données par l'analyse en composantes principales. Nous avons utilisé 14 variables : température, pH, CE, TDS, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Na, Ni et Pb. Le Tableau 2 et la Figure 9 donnent respectivement les corrélations entre variables et facteurs et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

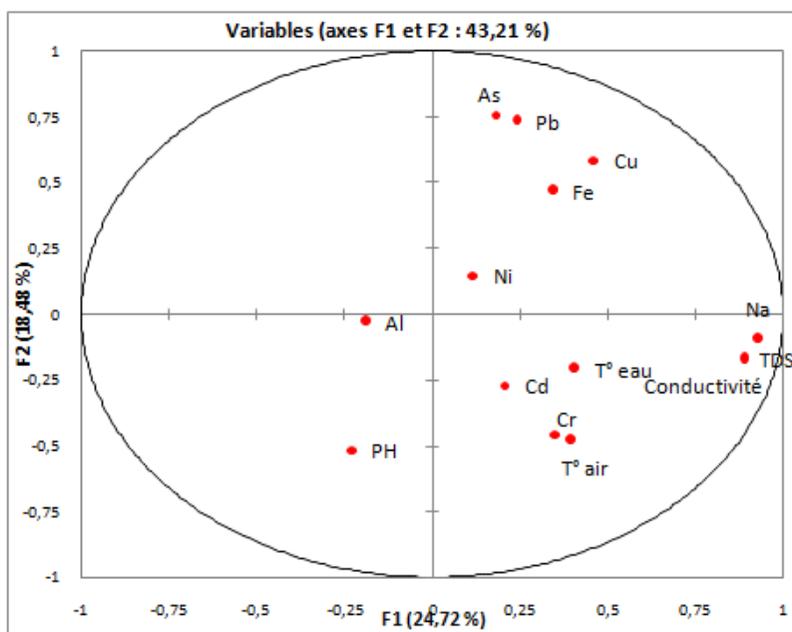


Figure 9 - Répartition des paramètres physico-Chimiques et des métaux selon le plan F1x F2.

	F1	F2
Al	-0,186	-0,029
As	0,182	0,759
Cd	0,207	-0,270
Cr	0,354	-0,457
Cu	0,464	0,584
Fe	0,348	0,470
Na	0,931	-0,096
Ni	0,118	0,147
Pb	0,242	0,734
T° air	0,398	-0,481
T° eau	0,407	-0,209
Cond(us)	0,888	-0,175
TDS (g/l)	0,888	-0,169
PH	-0,225	-0,515

Tableau 2 - Corrélation entre les Variables et les facteurs

L’analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 43,21 % sont exprimés. L’axe F1 possède une variance de 24,72 % est exprimé par la température, la conductivité électrique, le TDS et le Na (Tab. Et Fig.). L’axe F2 a une variance de 18,48 % et constitué par les variables ÷As, Pb, Cu, pH et Fe (Tab. Et Fig.).

L’axe F1 constitué par les paramètres qui sont : la température de l’eau et de l’air, la Conductivité électrique, le TDS, le Na, le Cd, et le Cr, présente les corrélations suivantes : CE&Na (0.933), TDS&CE (0.993), Na&TDS(0.924), Cd&T°(air) (0.500), T(eau)&Cr (0.410), pH&CE (0.316), T&pH (0.145) et pH&Cl⁻ (0.021) (Tableau). L’axe F2 constitué par As, Pb, Cu, pH et Fe présente les corrélations suivantes: Fe&As (0.532), Ph&As (-0.455), Pb&As (0.459) et Pb&Cu(0.510) (Tab.3).

Tableau 3 - Corrélation entre les variables

Variables	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Na	Ni	Pb	T° air	T° eau	Cond.(us)	TDS (g/l)	PH
Al	1													
As	-0,081	1												
Cd	-0,092	-0,078	1											
Cr	0,087	0,001	-0,082	1										
Cu	-0,098	0,359	0,112	-0,181	1									
Fe	0,008	0,532	0,074	0,211	0,431	1								
Na	-0,230	0,061	0,125	0,228	0,326	0,096	1							
Ni	0,052	0,209	0,120	-0,051	0,261	0,056	0,013	1						
Pb	0,024	0,459	-0,129	-0,322	0,510	0,371	0,114	0,012	1					
T° air	0,087	-0,273	0,500	0,265	-0,049	-0,083	0,296	0,502	-0,101	1				
T° eau	0,315	0,165	0,352	0,410	-0,052	0,353	0,239	0,519	0,013	0,694	1			
Cond.(us)	-0,253	-0,082	0,030	0,330	0,272	0,101	0,933	-0,206	0,067	0,165	0,079	1		
TDS (g/l)	-0,200	-0,093	0,036	0,321	0,288	0,096	0,924	-0,231	0,102	0,180	0,092	0,993	1	
PH	-0,127	-0,455	0,185	0,289	-0,151	-0,007	-0,237	-0,338	-0,303	-0,005	0,001	-0,125	-0,131	1

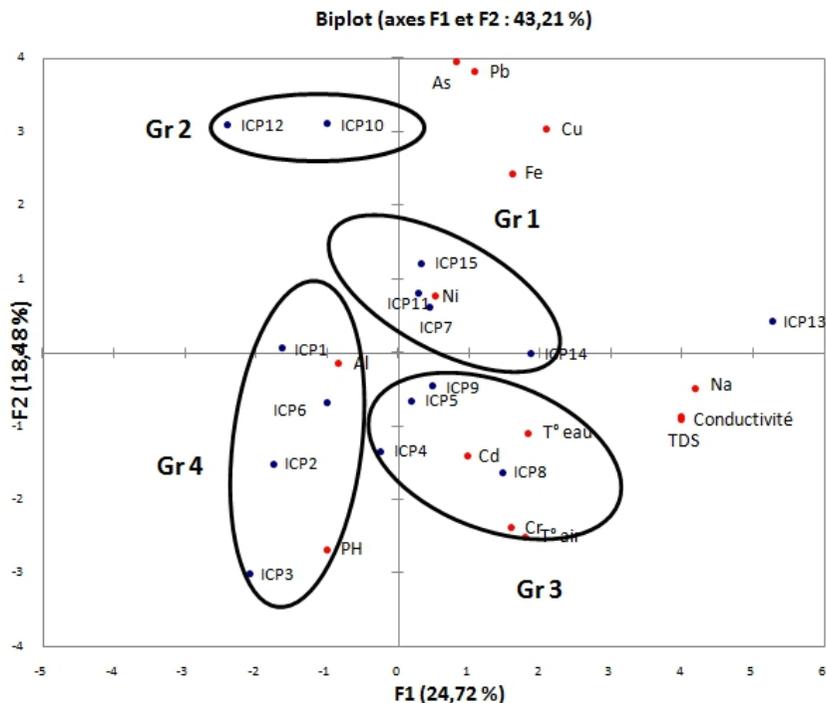


Figure 10 - Répartition des variables et des individus en fonction des axes F1 et F2

L'application de l'analyse en composantes principales sur les données physicochimiques et métalliques de l'eau de l'Oued Beht révèle la présence de quatre types d'eau :

Une variété d'eau (Gr1) présentée par les stations 15, 14, 11 et 7, exprimées par l'axe F1 et situées sur le cours d'eau principal de Beht est caractérisé par une faible minéralisation vue l'emplacement de ces stations qui est proche du centre (Zéro) à l'exception de l'échantillon 14 prélevé sur l'oued El Kell où la minéralisation est plus remarquée (Fig.10). Cette variété est vulnérable à la pollution par le Ni surtout dans la partie représentée par l'échantillon 7 malgré sa concentration qui ne dépasse pas les normes.

Une variété d'eau (Gr2) est représentée par deux échantillons 12 et 10 situés sur le coté positif de l'axe F2 (Fig.10), ceci nous indique que cette variété présente des indices de pollution par les métaux suivants : As, Pb, Fe et le Cu. Cette exposition à la pollution est localisée au centre du bassin versant.

Le groupe trois (Gr3) comprend les stations 4, 5, 8 et 9, situées en amont du bassin versant (Fig.10). Il est caractérisé par une eau dont la température est élevée, et légèrement chargée par le Cr et le Cd qui pourraient avoir un effet néfaste sur la qualité de cette eau s'ils dépassent les normes.

Le groupe quatre (Gr4) contenant les échantillons 1, 2,3 et 6, (Fig.10), est localisé dans le partie amont de la zone d'étude. Ils sont caractérisés par un pH légèrement plus bas par rapport aux autres variétés, tout en restant toujours alcalin. Ces points se trouvent sur le coté négatif de l'axe F2 ce qui montre que cette eau ne présente aucun danger de point de vue métaux lourds.

L'échantillon 13 fait l'exception de n'appartenir à aucun groupe. Il est situé sur le coté positif de l'axe F1 ce qui lui confère un taux élevé en Na par rapport aux autres avec une minéralisation importante et un TDS élevé (Fig.10). Ce taux élevé par rapport aux autres trouve son explication par simple accumulation de minéralisation vu son emplacement très en aval juste avant le barrage de l'Elkansera.

L'ACP montre que la pollution par les métaux (Pb, Fe, AS, et Cu) est représentée le long de l'axe F2 (Fig.10). Cette pollution est plutôt anthropique et résulterait de la présence des déchets domestiques, des produits phytosanitaires utilisés dans l'agriculture et des excréments d'animaux au bord de l'oued.

Pour cette étude de la pollution des eaux de surface de l'oued Beht, l'ACP est un outil qui a offert la possibilité de simplifier l'étude de notre milieu aquatique et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en compte. Nous avons montré au cours de cette étude qu'il est possible, dans la perspective de création d'un outil de gestion, de simplifier le modèle initialement construit à partir de 14 variables, pour le ramener à la mesure de 4 qui sont Pb, Fe, AS, et Cu.

Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail ont permis de faire une évaluation de la qualité physicochimique et de la contamination en métaux lourds dans les eaux d'oued Beht.

Les analyses physico-chimiques ont révélé un pH alcalin (entre 8 et 8,8), une température oscille entre 12 et 16°, une conductivité qui varie entre 183 et 565 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et des teneurs de nitrates qui ne dépassent pas 0,9 mg/l ainsi que les chlorures qui sont entre 35,5 mg/l au niveau de la station 12 sur le cours d'eau principal de Beht et 284mg/l au niveau de la station 13 juste avant barrage El kansera. L'évaluation de la contamination par les métaux lourds (Al^{3+} , As^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} et Pb^{2+}) dans l'oued Beht a donné des teneurs faibles ne dépassant pas 0,06 ppm. Ces résultats sont conformes aux normes sanitaires européennes et marocaines (WHO, 1984 et MATEE, 2002) dans toutes les zones prospectées. Les eaux de surface d'oued Beht ne présentent donc pas de risque de pollution par les métaux lourds. Toutefois, elles restent vulnérables. En effet, l'analyse statistique par l'Analyse en Composantes Principales des données

physicochimiques et métalliques a permis de faire ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et de différencier une zonalité de la qualité de l'eau dans la région étudiée, dont les zones les plus exposées au risque de pollution sont celles représentées par les stations 10 et 12 qui se situent respectivement à l'amont de Oued El Kell et en aval de Ain Louh. L'ACP a permis de mettre en évidence quatre métaux lourds (Pb, Fe, AS, et Cu) à des taux acceptables dans l'immédiat mais susceptibles de croître et de générer ainsi une pollution avérée dans ces zones.

La comparaison de nos résultats de l'oued Beht avec d'autres cours d'eau marocains (Sebou et Oued Guigou) montre que celles-ci restent inférieures aux limites tolérables en relation avec le faible développement socio-économique des villes installées sur le bassin versant de Beht. Néanmoins, il est important de mettre en place un plan d'action pour la réduction des polluants de l'eau afin d'en préserver la qualité. De fait, les eaux superficielles de l'oued Beht restent une source importante d'alimentation en eau potable des villes de Khmisset et Tifelt.

References:

- Abboudi A., Tabyaoui H., El Hamichi F., Benaabidate L., Lahrach A., Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc European Scientific Journal august 2014 edition vol.10, no.23 issn: 1857 – 7881 (print) e - issn 1857-7431. 11 p
- Administration de l'hydraulique (1991), ressources en eau dans le bassin de l'oued Beht (province de Khémisset). Publication de l'administration de l'hydraulique, ministère des travaux publics de la formation professionnelle et de la formation des cadres, février 1991.
- Afnor, (1997). Qualité de l'eau. Recueil des normes françaises environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4. 1372 p
- Azzaoui S., El Hanbali M. et Leblanc M. Cuivre, plomb, fer et manganèse dans le bassin versant du Sebou ; sources d'apport et impact sur la qualité des eaux de surface. Water qual. Res. J. Canada, 2002- volume 37, no. 4, 773-784.
- Bennasser L. (1997). Diagnose de l'état de l'environnement dans la plaine du Gharb: suivi de la macro-pollution et ses incidences sur la qualité hydrochimique et biologique du bas Sebou. Thèse de doctorat d'état es science. Univ. Ibn Tofail; Kénitra, Maroc, 157p
- Bouras S., Maatoug M., Hellal B. et Ayad N. Quantification de la pollution des sols par le plomb et le zinc émis par le trafic routier (cas de la ville de Sidi Bel Abbès, Algérie occidentale). Les techniques de laboratoire –volume 5, n°20 (2010) 11-17.

- Champsaur H., Rodi I. (1996). L'analyse de l'eau, 8^{ème} édition. Dunod, Paris, France.
- Davis J.C. (1984). Statistics and data analysis in geology. 2e edition, Wiley (edits), New-York, USA, 550 p.
- El Blidi S., Fekhaoui M. (2003). Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 25 : 57–65.
- El Hatimi; M. Achab; B. Emoumni. Impact des émissaires et canalisation sur l'environnement de la baie de Tanger (Maroc). Approche géochimique. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section sciences de la terre (2002), n°24, 49-58.
- El Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., El Blidi S., El Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A., Jbilou M. (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section sciences de la terre, n°30, 39-47.
- Ezzaouaq M. (1991). Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé. Thèse D.E.S. fac. Sci. Rabat, 140 p.
- Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bouchic H., El Maroufy M., Benazzout T., Hasnaoui M. (2003). Relazione plankton-parametri fisici chimici in un bacino dimaturazione (laguna mista beni slimane – Morocco. Rivista di idrobiologia. Universitadegli studi di Perugia, departemento di biologia animale ed ecologia laboratorio di idrobiologia "G.B. Grassi", 110–111p.
- Jeddi F., Boussalwa E., El Harfi A., El moukrifi Z. , Dakir Z. (2013). Evaluation de paramètres physicochimiques de bas oued Beht (Maroc). Science Lib Editions Mersenne : Volume 5, N ° 130208 I SSN 21114706, 9p.
- Leynaud G. (1968). Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.
- Philippeau, G. 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principales. I.t.c.f., paris, 63 pp.
- Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition, Dunod, Paris, 1383 p.
- W.H.O. (1987). Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global environment monitoring system, WHO, UNEP.