



ETUDE D'IMPACT DES EAUX USÉES DE LA VILLE DE TAOURIRT SUR LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE L'OUED ZA

**FAGROUCH A., BERRAHOUA., EL HALOUANI H.,
CHAFI A.**

Université Mohamed Premier, Faculté des sciences, Département de biologie,
laboratoire d'Hydrobiologie et d'Ecologie Générale, BP 524, 60000 Oujda, Maroc.

RÉSUMÉ

Ce travail s'intéresse à la qualité physico-chimique des eaux superficielles de la portion inférieure de l'oued Za qui subit l'effet des eaux usées domestiques, industrielles et agricoles de la ville de Taourirt et de sa région.

Plusieurs composés ont fait l'objet d'un suivi spatio-temporel en différents points de prélèvements situés en amont et en aval des grandes installations industrielles (papeteries, métallurgiques, huileries modernes, conserveries) et domestiques. L'analyse par la Spectrométrie d'Emission Atomique Couplée à un Plasma induit ICP-AES est utilisée pour étudier l'influence du milieu environnant sur la composition minérale de l'eau de l'oued Za (région orientale du Maroc). Les premiers résultats témoignent d'une macropollution organique et minérale importante de l'oued Za, ce qui confirme l'origine anthropogénique des polluants et peut expliquer la vie aquatique réduite en aval de la ville.

Mots-clés : physico-chimie, eaux usées, ville de Taourirt, oued Za, pollution.

ABSTRACT

The main goal of this work is the study of the physicochemical qualities of superficial water in the inferior portion of Za River which suffers from the effect of domestic, industrial and agricultural waste waters from the city of Taourirt.

Many trace metals were the subject of a spatial and temporal study upstream and down streams from the industrial areas, (paper-mill, metallurgy, olive mill, food processing and domestic). The analyses by Atomic Emission Spectrometry with the inductively coupled plasma ICP-AES have been performed to study the

impact of the environment on the mineral composition of ZA's water (eastern morocco). The first results showed the existence of an important organic and mineral macro pollution in ZA River this confirm the anthropogenic origins of pollutants which can explain the decrease in the aquatic life downstream from the city.

Key words: physicochemical, water using, city of Taourirt, Za River, pollution.

INTRODUCTION

A la suite de l'expansion démographique importante et de l'essor économique qu'a connu le pays durant ces dernières années, on assiste à des changements inquiétants dans la qualité des eaux superficielles des principaux cours d'eau marocains, engendrés par une pollution massive et anarchique tant par des matières organiques naturelles que par des produits industriels. Si bien que pour protéger la qualité des eaux naturelles contre toute dégradation excessive, de nombreuses eaux résiduaires sont traitées dans des stations d'épuration urbaines ou rurales. Ce traitement conduit à la réduction des matières oxydables, des matières en suspension et des bactéries (Koren et Bisesi 1996).

L'Oued Za, l'un des affluents permanents de la rive droite de la Moulouya (Fig.1). Il présente un cas particulier par ses caractères hydro-morphologiques, car la superficie totale du bassin à Taourirt (18.000 km²) est très supérieure à la superficie réellement drainée et qui est de l'ordre de 8.000 km² ; en effet les Hauts plateaux du cours amont possèdent un réseau hydrographique très diffus, temporaire, et qui ne fonctionne qu'exceptionnellement car la majorité des eaux superficielles s'infilte ou s'évapore avant d'atteindre le Za.

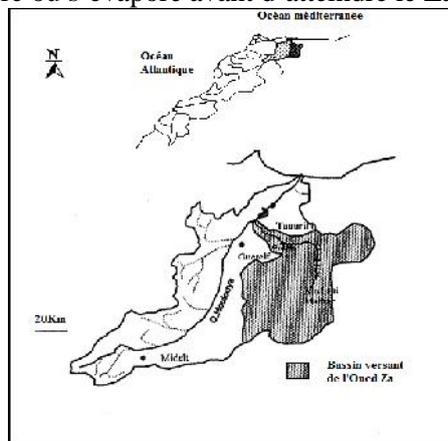


Figure1 : Carte de situation géographique du bassin versant de l'oued Za.

Nous tenterons à travers ce travail de décrire l'état actuel de la qualité des eaux

de l'oued Za et par l'analyse en composante principale (ACP), la structure spatio-temporelle de l'écosystème soumis aux influences anthropiques qui sont considérés comme un processus naturel de dégradation les eaux de surface et d'altération leur utilisation par l'industrie, l'agriculture (Carpenter *et al.*, 1998 ; Jarvie *et al.*, 1998; Simeonov *et al.*, 2003). Le but de ce travail est de développer des méthodes d'analyse élémentaire pour mesurer le degré de contamination du aux éléments polluants.

MILIEU ETUDIE ET METHODES

Le bassin versant de l'oued Za se situe dans la région orientale du Maroc, comprise entre les méridiens 1,8 et 3,2 W et les parallèles 32,7-34,6 N. Pour la plus grande partie, il est intégré dans le domaine morphogénétique essentiellement jurassique (Fig.2) (dolomie du Lias sur les bordures et calcaires du Dogger au centre (Simont et Thauvin 1971).

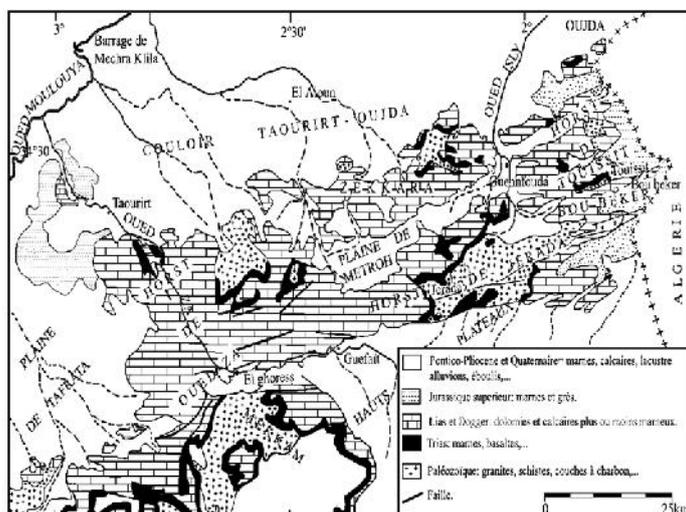


Figure 2 : carte géologique du bassin versant de l'oued Za.

Le bassin draine la partie méridionale et occidentale de la chaîne des horsts avec une direction Sud-est au Nord-ouest. Par sa position, le bassin versant de l'oued Za jouit d'un climat méditerranéen de type semi aride, caractérisé par des écoulements superficiels particulièrement contrastés, tant du point de vu inter-annuel qu'intra-annuel, avec des torrents. Les taux de chute de pluie dans la région varient de 230 à 280 mm/an, avec une valeur moyenne de 255 mm/an. Les chutes de pluie importantes se situent en décembre et en avril, tandis que le juillet et l'août sont les mois les plus secs. La température moyenne est 16.4°C, avec les valeurs minimales de 4°C en janvier et le maximum de 42°C en août. La ville de Taourirt comporte 206 580 habitants.

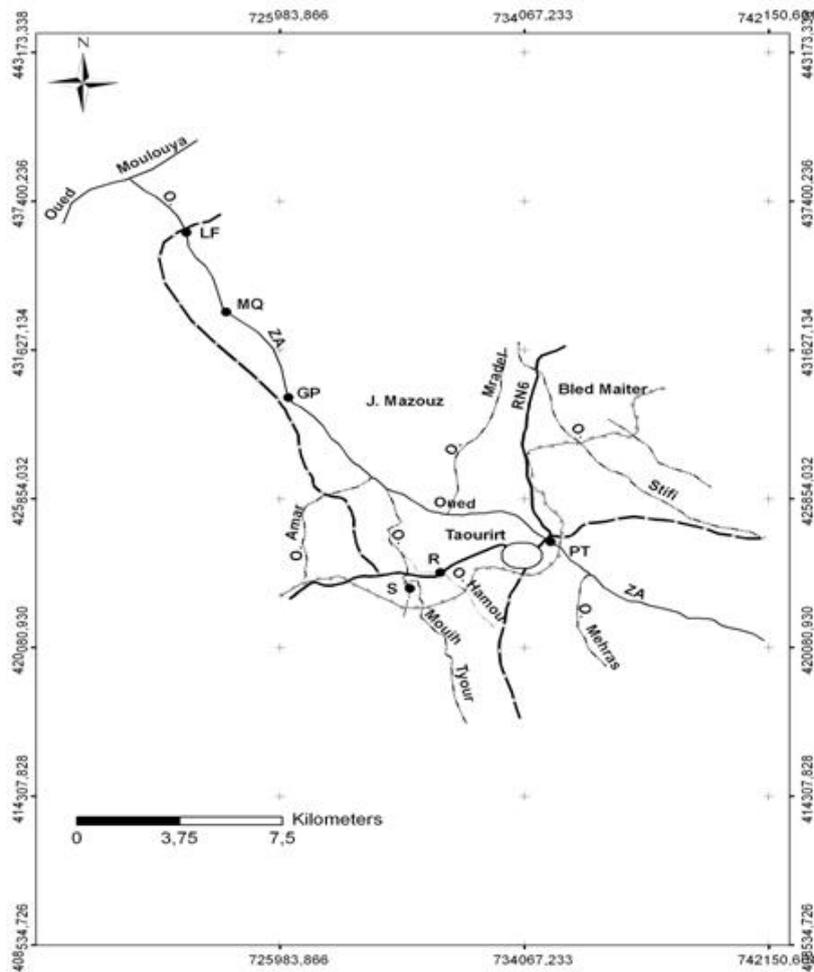


Figure 3 : Localisation des stations d'étude. **PT** : Pont de Taourirt ; **R** : Rejet industriel des Huileries des Olives ; **S** : Sortie de la station d'épuration (STEP) des eaux usées domestiques ; **GP** : station en aval des rejets ; **MQ** : station à Larbaâ ; **LF** : station à Ouled Lefkir.

Dans le but d'apprécier les caractéristiques physicochimiques des eaux de l'oued Za et de pouvoir évaluer les effets des rejets polluants, six stations ont été choisies dont quatre sur l'oued (PT, GP, MQ, LF) réparties sur une distance environ de 35 km (Fig.3), une sur l'oued Hamou ((R) Rejet industriel) et une (S) à la sortie de la station d'épuration (STEP) (le site se situe en bordure immédiate de l'oued Moih Et Tyour au sud Ouest et à 4 km environ de la ville de Taourirt). Celles ci ont été visitées à 8 reprises entre mars 2007 et mars 2008 où les analyses ont porté sur 23 variables dont 4 d'entre elles (température, oxygène, pH, conductivité) ont été mesurées sur le terrain, tandis que les autres

(DBO, DCO, MES, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) ont été analysées au laboratoire selon les normes AFNOR sur des échantillons d'eau prélevés en surface et transportés à 4°C.

Les échantillons d'eaux, utilisés pour la détermination des métaux lourds, sont acidifiés sur le terrain avec HNO_3 ultra pur à pH 2, ont été stockés avant analyse dans des bouteilles de polyéthylène nettoyées par acide nitrique (HNO_3) ultra pur. Pour chaque station, le dosage des éléments en traces a été effectué par la spectrométrie d'Emission Atomique associée à un Plasma à Couplage Inductif (ICP-AES), à l'aide d'un appareillage de marque Ultima 2 Jobin Yvon avec un nébulisateur ultrasonique. L'acquisition est faite en utilisant le logiciel qui a été livré par l'appareil PV5.2. La calibration est obtenue à l'aide de solutions 1000 ppm livrées par le constructeur de l'appareil. Cette technique permet de déterminer environ 70 éléments avec une limite de détection de l'ordre du ng/g, une déviation standard relative de 1% et une grande rapidité de traitement des échantillons (Fardy et Warner, 1992; Jarvis *et al.*, 1992).

RESULTATS ET DISCUSSION

La qualité moyenne des eaux de l'oued Za se caractérise par des températures de l'eau sans différence significative entre les différentes stations. La température de l'eau reste liée aux conditions locales (climat, durée d'ensoleillement, débit) (Mc Neely *et al.*, 1980). Les matières en suspension sont quant à elles liées en général aux séquences hydrologiques des fleuves (crue et étiage) (Fontvieille, 1987; Mehennaoui Afri, 1988) et à la nature de la charge rejetée. Au niveau des rejets d'eaux usées, on assiste à une augmentation importante des MES, particulièrement au niveau du rejet des huileries d'olives. Elle atteint des niveaux très critiques lors des campagnes d'activités des huileries, à cause de l'importance de la charge polluante générée par les huileries d'olives de la ville de Taourirt et de sa région. Ceci témoigne aussi de l'importance des rejets solides déversés dans le milieu récepteur par la ville de Taourirt. La conductivité électrique constitue une bonne appréciation de la minéralisation d'une eau. Une conductivité élevée traduit une quantité de sels solubles et ionisables très importante. Le réseau hydrographique de l'oued Za est caractérisé par une eau très minéralisée puisqu'elle présente une conductivité au niveau des sources de $2600 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ en moyenne liée à la nature des terrains traversés (Belouali, 1999).

A partir des différents paramètres mesurés, nous avons calculé les coefficients de corrélation à l'aide du logiciel Statistica 6.0.

Dans le but de mettre en évidence une structure spatio-temporelle permettant de repérer les facteurs ou les phénomènes les plus déterminants les relations entre les variables, nous avons pratiqué une analyse en composantes principales (ACP) sur la matrice de données formée par 48 relevés effectués dans les 6 stations à l'occasion de 8 campagnes. Pour mieux évaluer l'effet des eaux usées

sur la qualité des eaux de l'oued Za, nous avons utilisé une méthode statistique dite Analyse en Composante Principale Normée (A.C.P.N) qui 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). L'analyse en composantes principales est une méthode basée sur l'étude des corrélations entre les échantillons et/ou les variables (Foucart, 1982 ; Wenning et Erickson, 1994). Le traitement par statistique multivarié est largement utilisé pour caractériser et évaluer la qualité d'eau de surface et d'eau douce, c'est utile pour témoigner les variations spatiotemporelles provoquées par les facteurs naturels et humains saisonnières (Grimalt *et al.*, 1990 ; Librando, 1991 ; Andrade *et al.*, 1992; Elosegui et Pozo, 1994 ; Aruga *et al.*, 1995 ; Roberto *et al.*, 1995 ; Reisenhofer *et al.*, 1998; VEGA *et al.*, 1998). C'est une méthodologie largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques (Domenico et Schwartz 1990; El Amrani-Paaza *et al.*, 1994).

L'Analyse Composant Principale (ACP) a permis également de trouver des associations entre les variables, donc réduire le dimensionnement de la table de donnée. Cela est accompli par la diagonalisation de la matrice de corrélation des données qui transforment un grand nombre de variables à un plus petit nombre de facteurs sous-jacents (principaux composants (PCs)) sans perdre beaucoup d'information (Jackson, 1991 ; Meglen, 1992 ; Beatriz *et al.*, 2000). A aussi été appliqué pour trouver des facteurs clairement définis lequel pourrait être interprété plus facilement. Les résultats de cette analyse sont représentés dans le Tableau 1 et la figure 4. Ils permettent de mettre en évidence certaines tendances. La matrice de départ comporte 23 variables physicochimiques placés en colonnes et 48 relevés placés en lignes. L'ensemble de ces données aux 6 stations choisies durant la période de mars 2007 à mars 2008 (Tableau 2).

Tableau 1. Les valeurs propres (matrice de corrélation) et statistique associées aux variables actives seules.

Variables	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3
Cond	-0,38325	0,686455	-0,054397
O2	0,34097	-0,642808	-0,432506
sal	-0,46228	0,756531	0,235927
Tc	0,22099	0,363311	-0,075865
PH	0,48229	-0,774942	0,056599
DBO	-0,39829	0,882239	-0,090956
DCO	-0,42032	0,867293	-0,110171
MES	-0,32150	0,875520	-0,037440
N-NO3	-0,42974	0,854167	-0,103588
N-NO2	-0,51696	0,729285	-0,110162
P-PO4	0,03262	0,479475	0,253802
N-NH4	-0,34959	-0,111235	0,863867
Al	-0,89483	-0,382795	-0,010434
Ca	-0,92882	-0,296104	-0,028285
Fe	-0,89716	-0,377769	-0,012598
K	-0,94902	-0,203186	-0,063582
Mg	-0,90776	-0,356250	-0,009436
Mn	-0,89475	-0,382926	-0,010395
Na	-0,92890	-0,277747	-0,020059
Zn	-0,89459	-0,383263	-0,010288
P	-0,90117	-0,370328	-0,010940
S	-0,90520	-0,349202	-0,019134
Cl	-0,82184	0,308567	-0,173640
Var. Exp	10,73578	7,260182	1,146452
Prp.Tot	0,46677	0,315660	0,049846

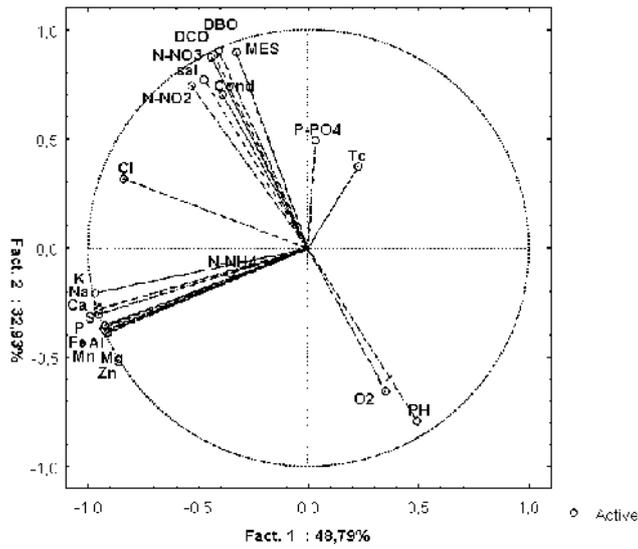


Figure 4 : Projection des variables sur le plan factoriel (1 x 2).
 Tableau 2. Codes utilisées pour le traitement de l'A.C.P.

Campagne 26/03/2007 11/05/2007 19/06/2007 27/07/2007 25/09/2007 22/11/2007 24/01/2007 01/03/2008								
Code	1	2	3	4	5	6	7	8
Variables	Conductivité à 20 °C	Oxygène dissous	Température	PH	Demande biochimique en oxygène	Demande chimique en oxygène	Matière en suspension	
Code	cond	O2	T C	PH	DBO	DCO	MES	
Variables	Nitrates	Nitrites	Orthophosphates	Ammonium	Aluminium	Calcium	Fer	Potassium
Code	N-NO3	N-NO2	P-PO4	N-NH4	Al	Ca	Fe	K
Variables	Magnésium	Manganèse	Sodium	Zinc	Phosphore	Soufre	Chlorure	
Code	Mg	Mn	Na	Zn	P	S	Cl	
STEP/rejets	Eaux usées brutes	Bassins Anaérobies	Bassins Facultatifs	Bassins de Maturations	Eaux Epurées	Rejet Industriel		
Code	E	BA	BF	BM	S	R		
Oued Za	Pont de Taourirt	Aval des rejets	Station Larbaâ	Ouled Lefkir				
Code	PT	GP	MQ	LF				

Le Tableau (3) permet une première approche typologique des différents variables et leur regroupement sur les trois composantes principales à partir de leur contribution. Le premier axe, associé à la première valeur propre (11,22257) (Tableau 2), apparaît fortement corrélé aux variables (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, P, S et Cl). Sur la base de l'importance des coordonnées factorielles (corrélations entre les variables et les facteurs) des variables de l'analyse, et en tenant compte du signe de ces corrélations, nous pourrions peut-être appeler la première dimension, un axe de minéralisation particulièrement le Chlorure, tandis que le second facteur fait plutôt référence à la charge polluante (DBO, DCO, MES) et à l'ion de nitrates (N-NO₃), nitrites (N-NO₂) et le pH. Par contre l'axe 3 est corrélé l'azote ammoniacal (N-NH₄). On peut être dire également que la deuxième composante désigne l'axe de la charge organique et oxydable. Cette typologie des variables est accompagnée d'une typologie des relevés qui explique les phénomènes, 86,73 % de l'information étant détenue par les trois premières composantes, seules les représentations dans le plan 1 x 2 ont été réalisées (Fig.4).

Tableau 3 : Les coordonnées factorielles des variables sur les corrélations variables actives et supplémentaires. Poids Factoriels (Sans rot.) Extraction : Compos. Principales (Poids marqués > ,700000).

Valeur numéro	Val. propr	% Total variance	Cumul Val. propre	% Cumul
1	11,22257	48,79379	11,22257	48,7938
2	7,57319	32,92692	18,79576	81,7207
3	1,15377	5,01641	19,94954	86,7371
4	0,90972	3,95529	20,85926	90,6924
5	0,83728	3,64033	21,69653	94,3327
6	0,47291	2,05615	22,16945	96,3889
7	0,25093	1,09100	22,42038	97,4799
8	0,24510	1,06567	22,66548	98,5456
9	0,15253	0,66319	22,81801	99,2088
10	0,09522	0,41402	22,91324	99,6228
11	0,04409	0,19169	22,95733	99,8145
12	0,01819	0,07909	22,97552	99,8936
13	0,01250	0,05437	22,98802	99,9479
14	0,00626	0,02722	22,99428	99,9751
15	0,00312	0,01355	22,99740	99,9887
16	0,00150	0,00653	22,99890	99,9952
17	0,00063	0,00275	22,99954	99,9980
18	0,00034	0,00150	22,99988	99,9995
19	0,00012	0,00051	23,00000	100,0000
20	0,00000	0,00001	23,00000	100,0000
21	0,00000	0,00000	23,00000	100,0000
22	0,00000	0,00000	23,00000	100,0000
23	0,00000	0,00000	23,00000	100,0000

Dans un premier temps nous avons réalisé une analyse en composantes principales touchant à toutes les stations (eaux usées et eaux de l'affluent) et aux différents mois considérés (Fig.3).

Le cercle de corrélation formé par les axes F1 et F2 donnant (81,82) % de l'information totale montre, selon l'axe F1, une opposition entre les eaux bien oxygénées et les eaux polluées par la matière organique, matière en suspension, nitrate, nitrite. Selon l'axe F2, on note une opposition entre les eaux fortement minéralisées particulièrement riches en chlorure et les eaux polluées par l'ion ammonium. Il définit ainsi un gradient de pollution croissant de bas vers le haut, qui se traduit par une diminution de l'oxygène et de pH, et une augmentation de la DCO, DBO, MES, nitrates et des nitrites.

En effet, les profils spatiaux de la DBO et de la DCO sont opposés à celui de l'oxygène dissous. Les valeurs enregistrées dans le secteur étudié montrent une charge importante en matière organique. Des taux aussi élevés, témoignent d'une pollution organique intense. Au niveau de la station GP sur l'oued Za, soumise en permanence (toute l'année) aux rejets organiques des huileries d'olives et des eaux domestiques de la STEP, la situation est très critique, Les valeurs les plus faibles d'oxygène dissous sont enregistrées au niveau de la station GP ($3,59 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$) au moment de l'étiage (diminution de débit de l'oued Za), où l'apport excessif en matière organique entraîne une baisse importante de l'oxygène dissous par suite de son utilisation dans le phénomène de biodégradation. Cependant on assiste en période pluvieuse à une restauration par augmentation significative des teneurs d'oxygène dissous grâce au brassage des eaux.

L'évolution des formes azotées reflète le déséquilibre chimique dû à la pollution organique importante. En effet, l'évolution de l'ion ammonium dans les différentes stations montre des variations spatiales relativement élevées. Les nitrites (N-NO_2^-) montrent des valeurs faibles, comprises entre 0,003 et 0,5 mg d'N/l avec cependant une légère augmentation enregistrée au niveau du rejet des huileries d'olives et au niveau de la STEP qui reçoit également une partie des rejets industriels. Par contre les nitrates, état le plus oxydé de l'azote, montrent des variations spatio-temporelles importantes témoignant d'une nitrification appréciable dans le milieu récepteur due probablement à la turbulence importante et à la bonne oxygénation.

Les orthophosphates, sont relativement élevées dans les stations de prélèvement proches de la STEP et du rejet industriel, par contre dans les eaux de l'oued Za, on note un léger enrichissement. Ces valeurs restent cependant faibles au regard de l'ampleur de la pollution dans la région.

Pour les éléments en traces métalliques : Les résultats obtenus par l'analyse en composantes principales montre que le premier facteur correspondant à la plus forte valeur propre (11,22257) représente environ (48,79%) de la variance totale. Le second facteur associé à la valeur propre (7,57319) représente environ (32,92%) de la variance totale. Les cercles de corrélation qui représentent la projection des coordonnées des variables dans le plan factoriel (1 x 2) des deux

premières composantes, montre que les deux premières valeurs propres supérieures à 1, représentent environ 81,72% de la dispersion totale, seules les représentations dans le plan (1 x 2) ont été réalisées. Le premier axe est déterminé par le groupe de variables (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, P, S et Cl), par contre le second axe est déterminé par le DBO, DCO, MES, N-N03.

Les concentrations de Cl, S, P, K, Mg et Zn sont particulièrement élevées à la source de pollution en raison des rejets industriels et domestiques. Après avoir faiblement décliné en station MQ et en station LF, les teneurs en Zn croissent en station LF. Pour As et Cd, les valeurs mesurées dans toutes les stations étudiées, sont inférieures à nos limites de quantification de l'appareil (le cas du Cd LQ=0,004 et As LQ=0,01) ; La concentration en manganèse est relativement élevée au niveau du rejet industriel, cela peut s'expliquer par ses utilisations dans la céramique, la peinture et l'agriculture en tant qu'élément important dans la nutrition des plantes (Forstner *et al.*, 1981), avec une concentration faible de Mn dans la S.T.E.P. Le manganèse représente un problème majeur dans les eaux naturelles. Cet élément peut causer des taches disgracieuses et produire un précipité brun-noir (Koukal *et al.*, 2004 ; Sheldon *et al.*, 2006). L'augmentation des concentrations en Ca, Na, Mg, P, S, Cl et en Al à partir de la station GP peut être corrélée à l'utilisation des réactifs dans l'industrie de la conservation des olives, des accumulateurs, des tanneries, des papeteries, de la céramique, constructions des matériaux. La concentration du calcium reste élevée avec une légère augmentation de PT à LF dans les différents échantillons des eaux de l'oued Za. Une origine majoritairement naturelle est très probable, compte tenu de l'aspect calcaire qui caractérise la composition géologique de la région traversée par la rivière (Abdellaoui, 1990), et également la quantité rejetée par les eaux usées de la ville de Taourirt. Par contre, la concentration du Ca atteint des valeurs importantes (132,56 ppm) aux niveaux des usées de la STEP, et maximales (426,8 ppm) au niveau du rejet des huileries d'olives.

CONCLUSION

La méthode d'analyse ICP/AES, utilisée dans ce travail permet d'évaluer le degré de pollution d'une rivière par l'analyse de son eau.

Dans les échantillons d'eau les éléments qui ont été analysés par ICP-AES, sont : Al, As, Ca, Cd, Fe, K, Mg, Mn, Na, Pb, Zn, P, S et Cl. Les concentrations de certains éléments en trace variaient selon l'écoulement (Rosa et Riccardo, 2007). La concentration de la plupart de ces éléments présente une augmentation significative en aval de la ville de Taourirt à l'exception de certaines valeurs qui sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil (le cas du Cd LQ=0,004, As=0,01), ce qui donne des renseignements sur la nature et l'origine des rejets effectués. La concentration élevée et quasi constante du calcium suggère une origine en majorité naturelle. Malgré leur augmentation en aval de la ville, les concentrations de polluants

restent inférieures aux valeurs maximales généralement admises (Ross, 1985). Néanmoins ces teneurs peuvent expliquer la vie aquatique réduite constatée dans la rivière (Phillips et Rainbow, 1992; Minear, 1982). Par conséquent, des mesures sévères de contrôle des rejets industriels s'imposent si l'on veut éviter la contamination à travers les productions agricoles irriguées en grande partie avec l'eau de cette rivière.

Notre étude fournit un bon exemple d'une pollution intense occasionnée par des conditions hydrochimiques sérieusement influencées par des rejets domestiques et industriels très chargés en polluants organiques et minéraux dans des conditions de climat semi aride. Pour la plupart des paramètres physicochimiques, les valeurs enregistrées dépassent les normes marocaines (2002). Par ailleurs, vers l'aval, le rejet des huileries d'olives ne fait que détériorer la qualité de ces eaux, une situation déjà compliquée par la présence de substances toxiques qui interfèrent avec l'autoépuration et la récupération du cours d'eau surtout au moment des activités des huileries d'olives. Ceci constitue un risque majeur de dégradation de ce milieu aquatique vital pour l'équilibre écologique et socio-économique de toute la région de la ville de Taourirt. Une réduction importante de cette charge s'avère nécessaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier H. OUDDARI pour leur assistance technique (From UATRS-CNRST-Rabat).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELLAOUI A. (1990) Contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau Marocains par les métaux lourds cas de l'oued Boufekrane, *D.E.S-Chimie. Université Moly Ismail, Meknès*.
- ANDRADE J.M., PADRA D., MUNIATEGUI S., GONZAÂ LEZ, E., ALONSO E. (1992). Multivariate analysis of environmental data for two hydrographic basins. *Anal. Lett.* 25, 379-399.
- Aruga, R., Gastaldi, D., Negro, G. & Ostacoli, G. (1995). Pollution of a river basin and its evolution with time studied by multivariate statistical analysis. *Anal. Chim. Acta.* 310, 15-25.
- BEATRIZ H., RAFAEL P., MARISOL V., ENRIQUE B., JOSE MANUEL F., LUIS, F. (2000). Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Wat. Res. Vol.* (34), 3, 807-816.
- BELOUALI A. (1999). Recherche hydrobiologique sur un cours d'eau du Maroc oriental (oued Za). D.E.S.A. Univ. Mohammed 1^{er}. Faculté des sciences Oujda. 150p.

- CARPENTER S.R., CARACO N.F., CORRELL D.L., HOWARTH R.W., SHARPLEY A.N., SMITH V.H., (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecol. Appl.* 8, 559–568.
- DAVI J.C. (1984). *Statistics and data analysis in geology*. 2^e édition, WILEY (Éditeur), New-York, États-Unis, 550 p.
- DOMENICO P.A., SCHWARTZ, F.W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*. Wiley International (Éditeur), New-York, États-Unis, 824 p.
- EL AMRANI-PAAZA N., BENAVENTE J., CRUZSANJULIAN J.J. (1994). Aplicación del análisis de componentes principales al estudio de las características físico-químicas de las aguas del delta del río Adra (Almería, España). *Bol. Geol. Min.*, 3, 478-484.
- ELOSEGUI A., POZO J. (1994). Spatial versus temporal variability in the physical and chemical characteristics of the Aguera stream (Northern Spain). *Acta. Ecologica-Int. J. Ecology* .15, 543-559.
- FARDY J. J., WARNER I. M. (1992) *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 157, 239.
- FONTVIEILLE D. (1987). La circulation du carbone organique dans les écosystèmes lotiques. Cas du phénomène d'autoépuration. *Thèse Univ. Lyon I*, 135 pp.
- FORSTNER U., WITTMANN G. T. W. (1981). Metal Pollution in the Aquatic Environment, pp. 14-34. Springer-Verlag, New York.
- FOUCART T. (1982). Analyse factorielle. Programmation sur microordinateurs. *Masson Ed.*, 234p.
- GRIMALT J.O., OLIVE J., GOMEZ-BELINCHON J. I. (1990). Assessment of organic source contributions in coastal waters by principal component and factor analysis of the dissolved and particulate hydrocarbon and fatty acid contents. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 38, 305-320.
- JACKSON J. E. (1991). A User's Guide to Principal Components. *wiley, New York*.
- JARVIE H.P., WHITTON B.A., NEAL C. (1998). Nitrogen and phosphorus in east coast British Rivers: speciation, sources and biological significance. *Sci. Total Environ.* 210/211, 79–110.
- JARVIS K. E., GRAY A. L., HOU R. S. (1992). Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Blackie Glasgow*.
- KOREN H., BISESI M. (1996). Handbook of environmental health and safety, Principles and practices, vol. II, 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, États-Unis.
- KOUKAL B., DOMINIK J., VIGNATI D., ARPAGAUS P., SANTIAGO S., OUDDANE B., BENAABIDATE L. (2004). Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco). *Environmental Pollution*. 131, 163-172
- LIBRANDO V. (1991). Chemometric evaluation of surface water quality at regional level. *Fresenius. J. Anal. Chem.* 339, 613-619.

- Mc Neely R. N., Neimanis V. P., Dwyer L. (1980). Référence sur la qualité des eaux. Guide des paramètres de la qualité des eaux. *Environnement, Canada, Direction de la Qualité des Eaux, Ottawa, Canada.*
- MEGLEN R. R. (1992). Examining large databases: a chemo-metric approach using Principal Component Analysis. *Mar. Chem.* 39, 217-237.
- MEHENNAOUI AFRI F.Z. (1988). Contribution à l'étude de la qualité physicochimique de l'oued RhumeI-Kebir. *Comptes-rendus 1^oSéminaire sur l'Environnement en Algérie, Constantine, 2^o7-30 nov. 1988, 11 pp.*
- MINEAR R. A. (1982) Water Analysis, Vol 1. *Inorganic Species, Part 1, pp. 9-23. Academic Press, New York.*
- NORMES MAROCAINES (2002). *Bulletin officiel N° 1276-01 du 10 chaabane 1423 fixant les normes de qualité des eaux d'irrigation.*
- PHILLIPS J. H.D., RAINBOW P. (1992). Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants, pp. 54-57. *Elsevier Applied Science, Oxford.*
- REISENHOFER E., ADAMI G., BARBIERI P. (1998). Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo River, North-eastern Italy): A chemometric approach. *Wat. Res.* 32, 1193-1203.
- ROBERTO A., DANIELA G., GIOVANNI N., GIORGIO O. (1995). Pollution of a river basin and its evolution with time studied by multivariate statistical analysis. *Analytica Chimica Acta.* 310, 15-25.
- ROSA C., RICCARDO B. (2007). Transport of trace elements under different seasonal conditions: Effects on the quality of river water in a Mediterranean area. *Applied Geochemistry.* 22, 2777-2794.
- ROSS T. (1985). The Continental Crust: Its Composition and Evolution, pp. 14-20. *Blackwell Scientific, Oxford.*
- SHELDON R.H., HENRY P.L., DEREK H.C.W., BRIAN J.F. (2006). The determination of trace elements in Fe-Mn oxide coatings on pebbles using LA-ICP-MS. *Journal of Geochemical Exploration* 91: 110-124.
- SIMEONOV V., STRATIS J.A., SAMARA C., ZACHARIADIS G., VOUTSA, D., ANTHEMIDIS A., SOFONIOU M., KOUIMTZIS Th. (2003). Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Res.* 37, 4119-4124.
- SIMONT M., THAUVIN J.P. (1971). Resources en eau du Maroc. Domaines du Rif et du Maroc oriental. pp 233-244. *Tome 1. Ed du service Géologique du Maroc, Rabat, 321p.*
- VEGA M., PARDO R., BARRADO E., DEBAN L. (1998). Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Wat. Res.* 32, 3581-3592.
- WENNING R.J., ERICKSON G.A. (1994). Interpretation and analysis of complex environmental data using chemometric methods. *Trends in Anal. Chem.* 13, 446-457.