

## Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (ETM), des sédiments des oueds Rhumel et Sakiet Roum, dans la zone industrielle et à Constantine (Algérie)

Fatima-Zohra Afri-Mehennaoui \*, Leila Salhi \*, Naziha Zerief \*& Smail Mehennaoui \*\*

\*Lab. Biologie et Environnement, Fac. Des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri, Constantine 25000, Algérie. Tel/fax 031 93 22 26. E-mail : [f.afri\\_mehennaoui@yahoo.fr](mailto:f.afri_mehennaoui@yahoo.fr).

\*\*Lab. Environnement, Santé et Production Animale, Fac. Des Sciences, Université Hadj Lakhdar, Batna 50000, Algérie.

### **Abstract**

*The level of trace metals contamination of Rhumel and Sakiet Roum wadis sediments, in an industrial (ENMTP complex) and urban areas of Constantine (Algeria). In the urban zones, the pollutions engendered by the various means of transportation are added to other diverse punctual or diffuse sources. The transports, the road traffics and all the activities which are connected to them contribute to the pollution of the environment of our cities by trace metals emitted in the atmosphere. The trace metals particles settle largely on sprays. By dry weather, the atmospheric fallout settle and accumulate everywhere. In urban zones, during raining days, these deposits are carried by water, which is contaminated by the local atmospheric discharges. Streaming waters arrive to networks cleansing of wastes water and watercourses. During the rainy days, streaming waters are directly evacuated in receiving wadis without treatment. Constantine is the third algerian city and is crossed by the Rhumel wadi which is the receptacle of discharges and diffuse streamings. The city is known by its complexes of mechanical engineering industries of galvanoplasty and surface treatment. The industries's effluents are treated before their emission in the Sakiet Roum and than in the Rhumel wadi. In These wadis, the assessment of the level contamination by traces metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn) was carried out on sediments. It is known that the argilo-muddy and organic particles (< 63µm) bound trace metals and can become source of pollution. On the other hand, the water concentration of traces metals don't really reveal the contamination's level of the ecosystem because metals don't persist in the dissolved state. Trace metals bind on suspended solids and settle on the bottom of the bed. On Rhumel wadi, sampling stations were chosen at upstream of Constantine city and industrial zone, than at downstream of the city. In addition two sampling stations were selected on Sakiet Roum wadi at upsteam and downstream of the effluent of the complex ENMTP. Traces metal concentrations are measured in sewage sludges and in hydroxides muds of the WWTP's industrial complex, in the sewage sludges of the WWTP Ibn-Ziad which treat wastewaters of the Constantine city. Diacid extraction (HCl + HNO<sub>3</sub>) allowed to determine the rates due to the pollution. The dosages were made by flame or flameless Atomic absorption Spectrophotometer. The traces metals concentrations (mean ± sd) of sediments of every wadi as well as those of muds hydroxides and sewage sludges, and of the soil of the storage area of muds are presented.*

**Key-words :** *Traces metals, Pollution, Wadi, Sediments, sewage sludges*

### **1. Introduction**

En milieu urbain les pollutions engendrées par les différents moyens de transports s'ajoutent aux diverses autres sources ponctuelles ou diffuses. Le parc automobile, les trafics routiers et toutes les activités qui y sont liées contribuent à la contamination de l'environnement de nos villes par les éléments traces métalliques émis dans l'atmosphère et qui se fixent en grande partie sur les aérosols. Par temps sec, les retombées atmosphériques se déposent et s'accumulent partout, sur les toitures, les trottoirs et chaussées, les routes, les sols, les cultures, les milieux aquatiques... Lors des pluies,

ces dépôts sont entraînés par une eau, qui en milieu urbain est déjà contaminée par les rejets atmosphérique locaux, et qui fait l'effet d'une chasse. Les eaux de ruissellement gagnent les réseaux d'assainissement et les cours d'eaux. Lors des événements pluvieux, les eaux sont directement évacuées dans les oueds récepteurs, sans traitement préalable en STEP. Dans les cours d'eau, les ETM d'origine atmosphérique s'ajoutent aux différentes autres sources urbaines, industrielles, agricoles et même naturelles. Constantine, troisième ville d'Algérie est traversée par l'oued Rhumel, cours d'eau de type méditerranéen, représentatif du nord-est algérien et réceptacle de rejets et ruissellements diffus. La ville est connue par ses complexes d'industries mécaniques, de traitement de surfaces et galvanoplasties (complexes : pelles, grues, CPG ; compacteurs, compresseurs, CCC ; chariots élévateurs, CCE) dont les effluents « traités » contaminent néanmoins les milieux récepteurs, l'oued Rhumel et son affluent Sakiet Roum. L'existence de ces entreprises de transformation des métaux, au moyen de produits corrosifs, tributaires de grandes quantités d'eau, a accentué encore cet aspect de la pollution. Dans le rapport du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (M.A.T.E.), de l'année 2005, on a estimé que les entreprises industrielles génèrent annuellement plus de 220 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées. A noter que ces eaux sont chargées de plus de 55 000 tonnes de charge de pollution dissoute et plus de 134 000 tonnes de matières en suspension (matières solides), ainsi que 8 000 tonnes de matières azotées. Ces eaux deviennent donc chargées de produits toxiques non biodégradables et sont finalement acheminées vers les réseaux hydrographiques les plus proches. Le résultat de cette pollution est alors, perceptible à l'œil nu : les oueds et cours d'eau récepteurs perdent leur aspect naturel. Ce phénomène s'observe dans les oueds de Constantine où se déversent quotidiennement, en plus des eaux usées urbaines, des rejets industriels dont ceux de la filiale SONACOME. Ces rejets, traités, des établissements industriels tels le complexe C.P.G, vers l'Oued Sakiet Roum (à environ 600 m en aval de cette unité), qui rejoint à environ 100 m plus en aval l'Oued Rhumel, finissent par altérer le milieu naturel récepteur. A fortiori notre étude s'est orientée vers cette unité industrielle, qui, à notre avis, constitue la principale source de pollution de son environnement. En ce sens, plusieurs éléments toxiques peuvent provenir de cette unité tels que le chrome, zinc, lors des opérations de chromage-zincage puis des phosphates, cyanures, nitrites, etc. qui entrent dans le processus de traitement des métaux. La forme hexavalente sous laquelle le chrome est très toxique mais aussi très soluble dans l'eau est la plus problématique. Cette solubilité lui confère une grande mobilité dans les écosystèmes si bien qu'une pollution au chrome (VI), d'abord très localisée, peut concerner ensuite une zone beaucoup plus vaste. Les méthodes mises en œuvre aujourd'hui pour traiter les rejets pollués par du chrome (VI), visent généralement à le réduire en chrome (III), afin de diminuer les impacts écotoxicologiques et leur étendue. Pour le CPG, ce traitement est effectué au sein d'une station de détoxification des eaux usées industrielles.

Nous nous sommes proposés d'évaluer le niveau de contamination par le chrome en particulier, ainsi que par six autres métaux : Cd, Cu, Mn, Zn, Pb, Ni, qui lui sont souvent associés, des sédiments de l'oued Sakiet Roum et ceux de l'oued Rhumel, situés aux alentours de la zone industrielle ENMTP d'Ain Smara, ainsi que du sol de l'aire de stockage des boues du Complexe Pelles-Grues (CPG), des boues d'hydroxydes de la station de détoxification et des boues d'épuration de la STEP de l'ENMTP. De plus, les conséquences engendrées par la zone urbaine de Constantine sur les teneurs des sept métaux ont été évaluées dans les sédiments de l'oued Rhumel. Par contre les teneurs des ETM dans l'eau ne traduisent pas réellement le niveau de contamination de l'écosystème, car les métaux ne persistent pas à l'état dissous mais se fixent sur les MES et se déposent au fond du lit. Il faut souligner que depuis 1997, les eaux usées urbaines (domestiques et industrielles) de Constantine sont collectées et traitées au niveau de la STEP Ibn Ziad dont les boues ont été analysées. Plus récemment, la STEP d'Oued Athmania traite les eaux usées collectées en amont de Constantine et de Ain-Smara. Les eaux traitées des deux STEP regagnent l'oued Rhumel et ce dans l'objectif de protéger les barrages Hammam Grouz (actuellement à sec) en amont et Béni Haroun en aval de Constantine. L'impact de l'émission de l'eau traité sur les teneurs en ETM du Rhumel a été évaluée.

Notre principal objectif est de mettre en évidence le rôle des effluents du complexe ENMTP de Ain Smara (en amont de Constantine) sur la contamination métallique du récepteur, l'oued Sakiet Roum

ainsi que celle de l'oued Rhumel par l'intermédiaire du compartiment sédiment. Dans un deuxième temps nous évaluerons le niveau de concentration des éléments traces métalliques des sédiments du Rhumel sous l'influence d'une zone urbaine, Constantine.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Localisation des sites de prélèvements

A Ain Smara, les sites de prélèvements sont au sein du CPG, de la STEP du complexe et des deux cours d'eau les plus proches de la zone industrielle ENMTP et qui reçoivent les effluents aqueux, soit deux sur Sakiet Roum et deux sur le Rhumel. Les boues hydroxydes sont échantillonnées après leur passage par la presse à boue, au niveau de l'installation de détoxification des eaux usées du CPG. De même du sol est prélevé sur l'aire de stockage des boues hydroxydes. Au niveau de Constantine, les sédiments du Rhumel sont prélevés en amont et en aval de Constantine ainsi que les boues d'épuration de la STEP Ibn-Ziad qui traite les eaux résiduaires de Constantine puis dans les sédiments du Rhumel en amont et aval de cette STEP.

### 2.2. Nature et préparation des prélèvements

Les prélèvements ont concernés les sédiments, les boues d'épuration de STEP, les boues hydroxydes ainsi que le sol de l'aire de stockage. Nous rapporterons les résultats des dosages des éléments traces métalliques (ETM) déterminés dans les sédiments des oueds :

- Sakiet Roum en amont et aval de la confluence oued-effluent ;
- Rhumel en amont et aval de la confluence avec Sakiet Roum ;
- Rhumel en amont et aval de Constantine ville ;
- Rhumel en amont et aval de la STEP Ibn Ziad.

Nous rapporterons également les teneurs des ETM déterminées dans les boues hydroxydes, dans le sol de l'aire de stockage de ces dernières, ainsi que celles des boues d'épuration de la STEP du complexe ENMTP et de la STEP Ibn-Ziad. Notre intérêt porte sur la pollution récente, et dans ce sens, les sédiments fins superficiels (< 5cm), ainsi que le sol sont prélevés à l'aide d'une cuillère en inox. Les boues sont prélevées dans les bassins de séchage. Les échantillons sont séchés dans une étuve à 80°C puis broyés. Ceux destinés au dosage des éléments traces métalliques sont passés au tamis en inox de mailles de 63µm. Diverses études ont montré que les particules de diamètre inférieur à 200 µm (mais surtout à 63 µm) concentrent l'essentiel des contaminations métalliques (Förstner, 1982 ; Robbe, 1984). La coupure à 63 µm est en effet une séparation traditionnelle en sédimentologie entre les sables d'une part (> 63µm) et la vase (limon et argile) d'autre part. Les échantillons sont conservés à 4°C.

### 2.3. Techniques d'extraction des éléments traces métalliques

La méthode retenue est une digestion humide à l'eau régale (aqua regia), mélange d'HNO<sub>3</sub> (Suprapur 63%) et d'HCl (Suprapur 37%), dans les proportions 1:3 (1V/3V). Dans des bombes à téflon, 10ml d'un mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique concentrés sont ajoutés à 0.5g de sédiment, de sol, ou de boues secs tamisés à 63µm. La digestion est effectuée sous pression et à chaud dans un four à micro-ondes (modèle MWS-2, Berghof B).

Tableau 1 : Etapes et conditions d'extraction des métaux lourds.

Etapes	Temps (mn)	T° (°C)	Puissance (%)
1	20	175	80
2	20	100	40
3	5	20	40

Elle est réalisée en trois étapes, selon les conditions notées dans le tableau 1.

Après refroidissement, le liquide obtenu est transféré par filtration (sur papier Whatman 540), dans une fiole de 50 ml, les bombes à téflon sont rincées et complétées avec de l'eau pure. Tous les

extraits sont conservés à 4°C dans des flacons en polypropylène, rincés préalablement par de l'acide nitrique (5N) et l'eau déminéralisée, afin d'éviter les éventuelles contaminations. L'efficacité du processus d'extraction est contrôlée à l'aide de l'analyse d'un échantillon de référence certifié. Il s'agit d'un sédiment d'un lac canadien (Lake Sediment n°LKSD1), provenant de CANMET, dont les teneurs certifiées en ETM ont été déterminées après extraction à l'eau régale.

#### 2.4. Techniques de dosage des éléments traces métalliques

Les dosages du chrome, zinc, plomb, cadmium, cuivre, nickel et manganèse, sont effectués par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme et électrothermique de type *Perkin-Elmer AAnalyst 100*. Les gammes d'étalonnage sont préparées à l'aide de solution mère Perkin-Elmer à 1000 mg/l.

### 3. Résultats et Discussion

Les teneurs (moyennes  $\pm$  écartype) des ETM déterminées dans les sédiments des oueds Sakiet Roum et Rhumel sont présentés dans le tableau 2. A la lecture de ce tableau, il ressort que les valeurs déterminées en aval excèdent celles de l'amont excepté pour le Cd au niveau de Sakiet Roum et du Rhumel à Constantine et le Cu dans le cas du Rhumel dans la zone de L'ENMTP. Les teneurs en ETM peuvent être classées, en fonction de leur abondance relative dans les sédiments du Rhumel, au niveau de l'ENMTP (**fig.1**), comme suit:  $Mn > Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd$ ; et pour son affluent Sakiet Roum ainsi:  $Mn > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu > Cd$ . Il ressort de cette synthèse que Mn, Pb et Cd occupent la même place dans la hiérarchie pour le Rhumel et son affluent. Dans l'ensemble la séquence des teneurs est maintenue de l'amont vers l'aval sauf pour le Ni et Cu pour le Rhumel, et sauf pour le Zn et Cr pour Sakiet Roum dont le comportement est légèrement inversé. Ce sont les deux éléments les plus abondants à l'exutoire de la zone industrielle ENMTP par rapport à l'amont. Les concentrations moyennes observées dans les sédiments du Rhumel sont nettement supérieures à celles trouvées dans ceux de Sakiet Roum pour le Mn, Zn, Pb, et légèrement supérieures pour le Ni, Cu, Cd. Seul le Cr enregistre des teneurs élevées au Sakiet Roum par rapport à son receveur le Rhumel. Il ne fait pas de doute que les très fortes concentrations de certains métaux relevées dans les sédiments analysés sont le résultat d'une pollution industrielle et urbaine. La pollution engendrée par le complexe ENMTP ainsi que la pollution urbaine dont les origines sont multiples et où les moyens de transports contribuent largement, est mise en évidence par analogie entre les stations amont et aval pour chacun des cas étudiés (tableau 2). Les teneurs en Cr (8563mg/kg ms) et en Zn(3339mg/kg ms) des boues de la STEP du complexe ENMTP (tableau 3) sont supérieures à celles des valeurs limites pour l'épandage des boues (tableau 4) contrairement à celles d'Ibn-Ziad qui pourraient, elles, être utilisées comme engrais organiques tout en tenant compte des teneurs et de la nature des sols à amender. Les boues hydroxydes sont excessivement concentrées en Cr puis en Zn, Cu, Pb, et leur stockage constitue un danger pour l'environnement dans la mesure où les métaux toxiques peuvent être entraînés par les eaux de pluie et contaminer les sols et les cours d'eau voisins. Le sort de ces boues doit être murement réfléchi. Le sol de l'aire de stockage révèle des teneurs élevées en Cd, Cr, Pb, Zn et traduit une contamination par lessivage des boues stockées. Les eaux usées de Constantine sont traitées en STEP. Les teneurs des ETM ont été déterminées dans les boues d'épuration et dans les sédiments du Rhumel en amont et en aval de la STEP pour apprécier le niveau de contamination des rejets urbains et déceler les effets des eaux traitées sur l'oued (tableau 4). Le traitement des eaux en STEP contribue à l'augmentation des teneurs du Cd, Cu, Pb, Zn.

Tableau 2 : Teneurs (moyennes  $\pm$  écart-type) en mg/kg des ETM dans les sédiments des oueds Sakiet Roum (a) et Rhumel (b) en amont et aval de l'ENMTP et dans les sédiments du Rhumel (c) en amont et aval de Constantine ; d = valeurs standard pour le bassin Rhône-Méditerranée-Corse définies en 1986 (Génin et al, 2003) ; e = valeurs de référence pour la Seine (Thévenot, Meybeck et al, 1998) ; n= nombre de campagnes de prélèvement.

ETM	Oued Sakiet Roum à l'effluent ENMTP (a)			Oued Rhumel confluence Sakiet Roum- Rhumel (b)			Oued Rhumel Ville de Constantine (c)			Valeur de référence	
	n	Amont	Aval	n	Amont	Aval	n	Amont	Aval	(d)	(e)
Cd	4	2,5 $\pm$ 1,2	2,18 $\pm$ 1	4	2,7 $\pm$ 1,2	4,1 $\pm$ 1,2	9	2,3 $\pm$ 1,3	2,45 $\pm$ 1,3	0,5	0,35
Cr	4	90 $\pm$ 10	141 $\pm$ 34	4	67 $\pm$ 8,6	83 $\pm$ 19	9	32 $\pm$ 17	38 $\pm$ 17	25	50
Cu	4	19,5 $\pm$ 1	28 $\pm$ 3	4	25 $\pm$ 1	22,5 $\pm$ 12	9	16 $\pm$ 11	26 $\pm$ 18	20	15
Ni	4	42 $\pm$ 2	49 $\pm$ 2	4	33 $\pm$ 1,5	44 $\pm$ 7	9	29 $\pm$ 9	42 $\pm$ 22	10	17
Pb	4	22 $\pm$ 9	36 $\pm$ 17	4	56 $\pm$ 6,4	70 $\pm$ 11	9	69 $\pm$ 28	120 $\pm$ 58	20	25
Zn	4	94 $\pm$ 2,3	135 $\pm$ 99	4	134 $\pm$ 9	172 $\pm$ 17	9	133 $\pm$ 36	234 $\pm$ 83	75	80
Mn	4	232 $\pm$ 9	218 $\pm$ 14	4	247 $\pm$ 10	252 $\pm$ 19	9	191 $\pm$ 82	227 $\pm$ 66	-	-

Tableau 3 : Teneurs (moyennes  $\pm$  ET) en mg/kg ms des ETM dans les boues d'épuration de STEP, dans les boues hydroxydes et dans le sol de l'aire de stockage des boues de l'ENMTP.

ETM	STEP ENMTP	Boues hydroxydes	Sol de l'aire de stockage
Cd	7,4	3,9 $\pm$ 0,6	6,7
Cr	8563	152 905 $\pm$ 46 108	214
Cu	642	4389 $\pm$ 1654	21
Ni	83	160 $\pm$ 65	47
Pb	289	558 $\pm$ 153	133
Zn	3339	8481 $\pm$ 4512	263
Mn	249	330 $\pm$ 206	282

Tableau 4: Teneurs (mg/kg ms) des ETM dans les boues d'épuration et dans les sédiments du Rhumel en amont et aval de la STEP Ibn Ziad ;

ETM	STEP Ibn-Ziad (moy ± ET)	Sédiments		France Teneurs moyennes	Etats-Unis Teneurs moyennes	Valeurs limites pour épandage des boues (UE)
		Amont STEP	Aval STEP			
Cd	2,25 ± 0,5	1,75	2,8	2,5	26	20
Cr	50 ± 12	46	44	134	432	1000
Cu	128 ± 75	25,4	32	371	712	1000
Ni	85 ± 42	41	38	45	167	300
Pb	169 ± 19	72,5	144	95	303	750
Zn	756 ± 133	195	265	789	1526	2500
Mn	183 ± 83	255	205	-	-	-

Le Mn est naturellement présent dans les sédiments, et sa teneur peut être relativement élevée, et étroitement dépendante de la nature du substrat. Dans notre cas on n'observe pas de différences inter-sites significatives entre le Rhumel et son affluent Sakiet Roum, observation déjà rapportée par Afri-Mehennaoui (2004), entre le Rhumel et son affluent le Boumerzoug et le Hammimine. Donc on peut souligner l'absence de pollution par cet élément pour toutes nos stations, si on compare nos teneurs à celle proposée par Taylor (1964, *in* Biney et al, 1994), pour les sédiments de la croûte continentale qui est de 950 **mg/kg**, et 750 mg/kg pour les sédiments non pollués.

#### **4. Conclusion**

Cette étude a permis la mise en évidence, sans équivoque, de l'impact du Complexe Pelles et Grues (CPG) de l'Entreprise Nationale des Machines des Travaux Publics (ENMTP) sur l'augmentation des teneurs en ETM fixés sur les sédiments des cours d'eau Oued Rhumel et Sakiet Roum. Les sédiments constituent un véritable réservoir pour les polluants les plus divers et jouent un rôle dans la propagation spatiale et temporelle des contaminants. Le stockage des boues contaminées constitue un véritable danger pour l'environnement et leur détoxification doit être entreprise. La pollution urbaine par les ETM d'origines multiples et qui contaminent tous les écosystèmes augmente avec le nombre de véhicules de transport et d'engins de chantier en croissance continue.

#### **Références**

- 1- Afri-Mehennaoui F.Z., L. Sahli & S. Mehennaoui (2004): Assessment of sediment trace metal level and biological quality of Rhumel river by using multivariate analysis. *Environmetrics*, 15: 435-446.
- 2- Förstner U., 1982. Accumulative phases for heavy metals in limnic sediments, *Hydrob*, 91,269-284.
- 3- Genin B., C. Chauvin & F. Menard (2003): Cours d'eau et indices biologiques, Pollution – Méthodes – IGBN ; 2eme Ed. Educagri Ed. livre + CD, 221 p.
- 4- Robbe D. (1984) : Interprétation des teneurs en éléments métalliques associés aux sédiments. Rapport des laboratoires, série Environnement et Génie urbain EG-1, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 149 p
- 5- Thévenot D., M. Meybeck, A. Chesterikof, M. Chevreuil, W.W. Huang, A. Estebe, Z. Idlafkih,
- 6- Jairy, A.L. Bussy, S. Garnaoud, J.M. Mouchel (1998): La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé ; Meybeck M., de Marsily G. Fustec E. (Eds), Elsevier, Paris. 749 p.