



Évaluation de la contamination des sédiments des oueds Rémir et Siliana par les rejets miniers d'El Akhouat (Bassin versant de Siliana, Nord-Ouest de la Tunisie)

Contamination assessment of Remir and Siliana stream sediments by El Akhouat mine discharges (Siliana basin, North-western of Tunisia)

Haifa MSEDDE* & Abdallah BEN MAMMOU

Abstract : Sampling sediments from Remir (which drains the El Akhouat' s dump) and Siliana rivers, are characterized and analyzed to assess the level of metallic contamination by Pb, Zn, Fe, Cd, Mn, Cr and Cu. Contamination factor (CF) and Geoaccumulation Index (I_{geo}) revealed a severe pollution dominated, in order, by: Pb > Zn > Cd mainly localized in the middle part of Remir river. The principal component analysis of analytical results showed that Siliana's sediments are less affected by pollution while metallic elements contents reflect the background of the region.

Key words: Remir river, Siliana river, Surface sediments, Contamination, Metallic elements

Résumé : Des sédiments de surface des oueds Rémir (affluent rive gauche de l'oued Siliana interceptant les rejets miniers de la laverie d'El Akhouat,) et Siliana, sont caractérisés et analysés afin d'évaluer le degré de leurs contamination par Pb, Zn, Fe, Cd, Mn, Cr et Cu. Le calcul du Facteur de Contamination (FC) et d'Indice de Géoaccumulation (I_{geo}) révèlent une pollution, extrêmement sévère, polymétallique, dominée selon l'ordre d'abondance décroissant par : Pb > Zn > Cd. Cette pollution est localisée essentiellement dans la partie médiane de l'oued Rémir. Les teneurs en ces éléments diminuent progressivement vers la partie aval jusqu'à sa confluence avec l'oued Siliana. L'analyse en composantes principales des résultats analytiques a montré que les alluvions de l'oued Siliana sont moins touchées par cette pollution d'origine minière. Les concentrations en éléments métalliques de cet oued reflètent le Fond Géochimique de la région.

Mots clés : Oued Rémir, Oued Siliana, Sédiments de surface, Contamination, Éléments métalliques

INTRODUCTION

Les métaux lourds issus des activités industrielles sont acheminés dans les écosystèmes par voie atmosphérique et par le biais des cours d'eau (MAANAN *et al.*, 2004, GLASBY *et al.*, 2004). Ces éléments peuvent être incorporés dans les sédiments, les eaux, les matières en suspension (NIENCHESKI & BAUMGARTEN, 2000) et aussi dans les organismes vivants. Ce sont les sédiments qui constituent le piège essentiel de ces polluants. Le bassin versant aval de la mine d'El Akhouat (Nord Ouest de la Tunisie) a été longtemps touché par l'activité minière durant environs un siècle. En effet, la protection de l'environnement n'était pas une préoccupation prioritaire pendant cette période d'exploitation (1892-2006) et même après arrêt de cette activité. L'oued Rémir (affluent rive gauche de l'oued Siliana), intercepte les rejets miniers issus de la laverie d'El Akhouat depuis la digue à stérile jusqu'à la confluence avec l'oued Siliana. De plus, l'oued Rémir reçoit les fuites accidentelles qui se produisent lors du cheminement de la pulpe vers la digue. Ces fuites ont participé à l'enrichissement des sédiments de ce cours d'eau en éléments métalliques sous forme particulière.

^(*)Laboratoire des Ressources Minérales et Environnement, Département de Géologie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire 2092 El Manar Tunis, Tunisie.

• E-mail : litaiemhaifa@yahoo.fr

Le présent travail vise à étudier la répartition des métaux le long du cours d'eau de l'oued Rémir depuis la digue à stérile vers les régions en aval ainsi que celui de l'oued Siliana jusqu'à l'embouchure avec l'oued Mejerda et à évaluer leur degré de contamination par les éléments métalliques (EM) d'origine minière.

PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

La zone minière d'El Akhouat est située au Nord Ouest de la Tunisie dans la délégation de Gaâfour du gouvernorat de Siliana. La microzone d'El Akhouat fait partie de l'étage bioclimatique semi-aride moyen à hiver tempéré. Elle se caractérise par une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 469,6 mm et par un vent dominant fort, de direction Ouest, Sud-Est (OSE).

Située à 130 km de Tunis, la laverie d'El Akhouat traite le minerai par flottation différentielle pour obtenir des concentrés de plomb et de zinc. L'exploitation minière d'El Akhouat a duré presque un siècle depuis sa découverte en 1892 jusqu'à l'épuisement des réserves en 1992. Les rejets stériles sous forme de pulpe sont stockés au niveau de deux digues à proximité du site du traitement. La laverie d'El Akhouat a repris ses activités d'extraction en 1994 par la Société de Djebel Djérissa (S.D.D) pour le traitement du minerai de Fej Lahdoum. Ce dernier provient de la mine de Fej Lahdoum située à 25 km de la mine d'El Akhouat. La paragenèse minérale du gisement d'El Akhouat est constituée par une étroite association de galène (PbS), sphalérite - schalenblende (ZnS) et marcassite-pyrite (FeS₂) dans une gangue calcitique et accessoirement barytique (BOLZE, 1952; PERTHUISOT, 1978 ; DALI, 1979). La paragenèse minérale caractérisant le minerai de Fej Lahdoum est formée essentiellement, par la galène, la schalenblende et la célestite (SrSO₄), incluses dans une gangue argilo-dolomitique (SAINFIELD, 1952 ; BOUHLEL, 1993 ; VILA *et al.*, 2001). Cette activité s'est arrêtée en 2006 laissant un héritage de rejets stériles stockés au niveau de trois digues, caractérisées par des matériaux non consolidés qui sont susceptibles de se disperser sous l'effet des agents météoriques (vent et pluies) ; ce qui constitue un risque sérieux de contamination des régions situées en aval.

MATERIELS ET METHODES

Dans le but d'étudier la distribution des éléments métalliques au sein des oueds Rémir et Siliana, dix huit échantillons de surface ont été prélevés au niveau du lit des oueds (Fig.1 et 2). Les échantillons des sédiments préalablement séchés à 50 °C et finement broyés dans un mortier en agate, ont été mis en solution par attaque triacide (HF, HClO₄, HNO₃) dans le but de doser le Pb, Zn, Fe, Cd, Mn, Cr, Cu et Sr par absorption atomique du type SOOLAR.

La séparation des fractions granulométriques grossières (> 63 µm) et fine (< 63µm) a été effectuée par voie humide sur un tamis de 63µm. Ce fractionnement nous a permis de déterminer le pourcentage de la fraction fine dans les sédiments superficiels.

La composition minéralogique a été déterminée par diffractométrie aux RX (DRX) à l'aide d'un diffractomètre de type « PANalytical X'Pert Pro » sur des poudres des échantillons totaux. La détermination du pourcentage des carbonates exprimés en CaCO₃ a été réalisée sur la fraction finement broyée, à l'aide du calcimètre de Bernard. La méthode de quantification de la matière organique, est celle du dosage du carbone organique par la méthode d'ANNE (1945) qui consiste en une oxydation du carbone par le bichromate de potassium en milieu sulfurique bouillant. L'évaluation de la contamination des sédiments par les EM a été effectuée par le calcul d'indices de contamination tels que le Facteur de Contamination (FC) et l'Indice de Géoaccumulation (I_{géo}). FC est le rapport entre la concentration de l'élément mesurée dans l'échantillon et la concentration de référence de l'élément (MÜLLER, 1969 ; ROSSO *et al.* 1993 ; RUBIO *et al.* 2000 ; GUEGUEN, 2003). Le Fond Géochimique Local (FGL) type stream-sediment de la région d'étude (GUEDRIA *et al.* 1990) est utilisée comme référence.

$$FC = C_m / C_{réf}$$

FC : facteur de contamination

C_m : concentration de l'élément mesurée dans l'échantillon

C_{réf} : concentration de référence de l'élément (généralement la teneur du fond géochimique local).

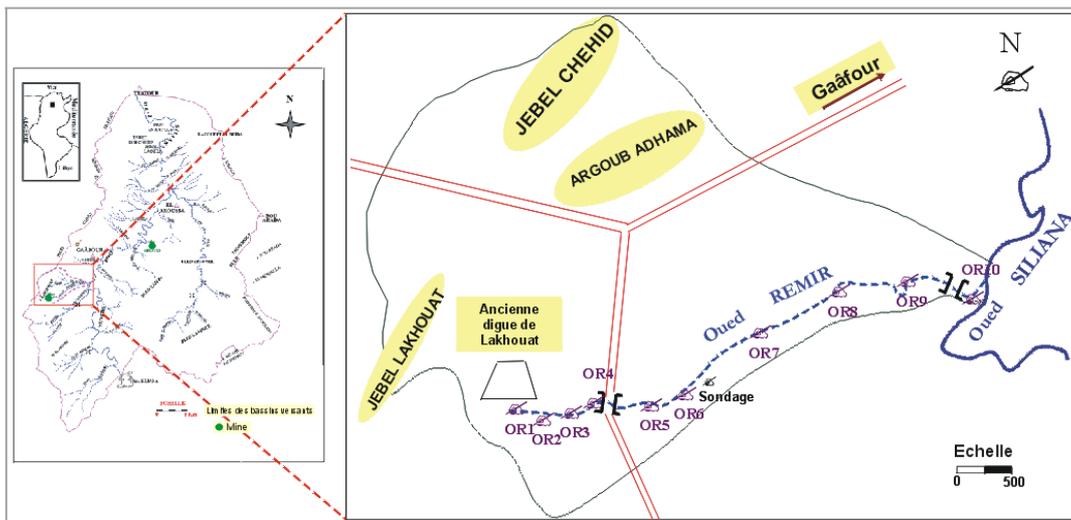


Figure 1: Localisation des échantillons de sédiments de surface au niveau de l’oued Rémir

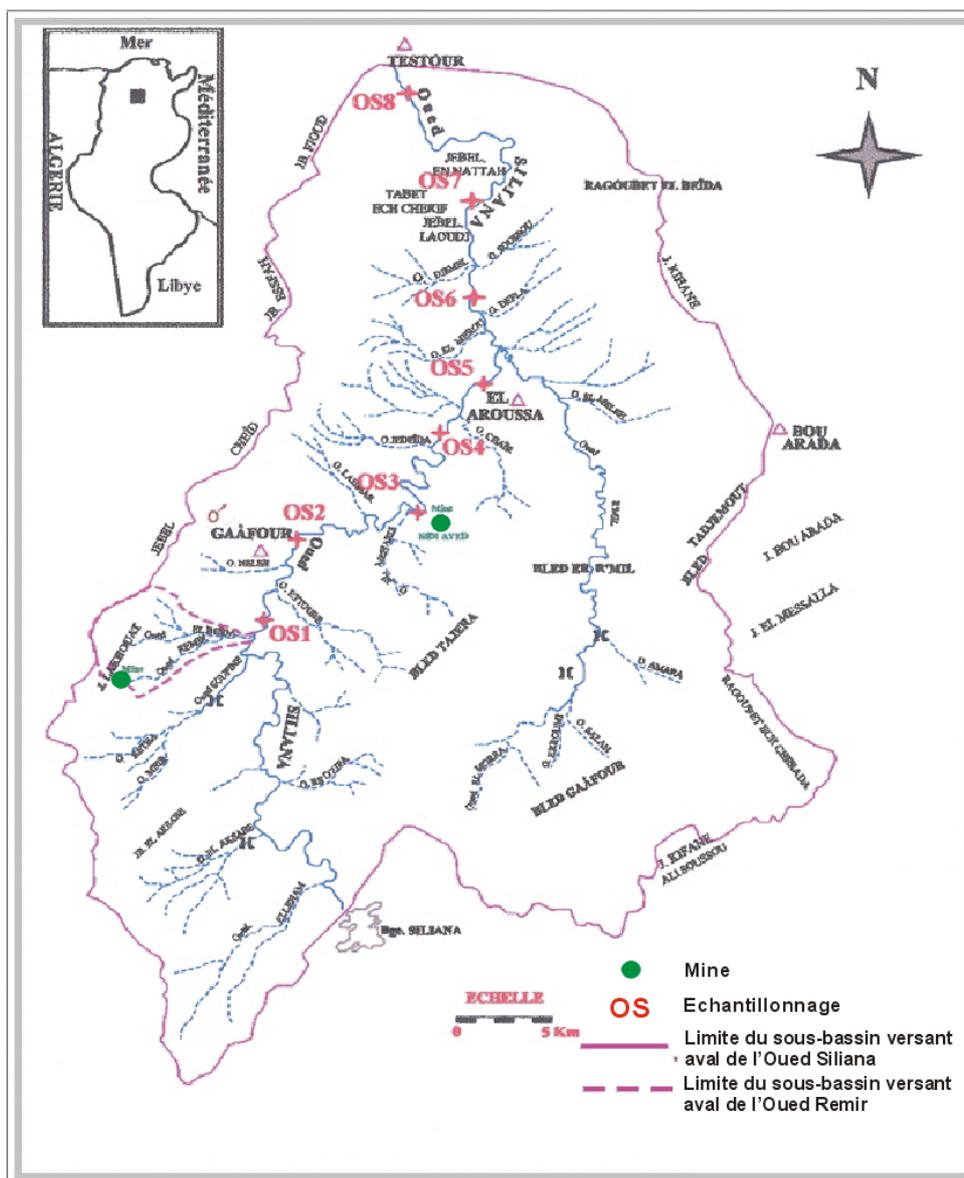


Figure 2 : Localisation des échantillons des sédiments de surfaces prélevés au niveau de l’oued Siliana

L'Indice de Géoaccumulation (I_{géo}) conçu par MÜLLER (1979) s'exprime de la façon suivante :

$$I_{géo} = \log_2 [C_m / B_n * 1.5]$$

I_{géo} : Indice de géoaccumulation

C_m : Concentration de l'élément mesurée dans l'échantillon

B_n : Concentration de l'élément dans un fond géochimique

RESULTATS ET DISCUSSION

Caractérisation des sédiments de surface de l'oued Rémir et l'oued Siliana

Les pourcentages de la fraction fine (F<63µm) et les teneurs en CaCO₃ et en carbone organique (Corg) des sédiments sont résumés dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1 : Résultats analytiques en (%) de la fraction fine (F< 63µm), du CaCO₃ et du carbone organique total (Corg) au niveau des alluvions de l'oued Rémir (OR)

	OR1	OR2	OR3	OR4	OR5	OR6	OR7	OR8	OR9	OR10	Min	Max	Moy
F < 63µm (%)	12	11	47	50	21	16	73	20	10	52	10	73	31
CaCO₃ %	46	51	18	15	20	46	27	42	25	53	15	53	34
Corg %	0,28	0,41	0,52	0,43	0,44	0,38	0,79	0,45	0,22	0,33	0,22	0,79	0,43

Le tableau 1 montre de faibles pourcentages de la fraction fine <63µm (FF) dans les échantillons de sédiments de surface de l'oued Rémir. Excepté le cas des échantillons OR4, OR7 et OR10 avec un maximum de FF au niveau de l'échantillon OR7 (73%). Ce qui laisse suggérer que la répartition de la FF au niveau du lit de l'oued Rémir est hétérogène. Cette dernière est fonction du régime hydrologique et de la morphologie de l'oued. En effet, l'oued Rémir présente des méandres qui favorisent le piégeage du matériel sédimentaire fin. Les teneurs en CaCO₃ varient entre 15 et 53 % avec une teneur moyenne de l'ordre de 34 % marquant ainsi le caractère carbonaté de ces sédiments. Le dosage du carbone organique total (Corg) a révélé que les sédiments de surface de l'oued Rémir montrent des pourcentages compris entre 0,22 % et 0,79 % avec une teneur moyenne de l'ordre de 0,42 %. Ces faibles teneurs prouvent que les sédiments de surface de l'oued Rémir sont appauvris en matière organique. La valeur maximale caractérise l'échantillon OR7 (Corg = 0,79). Ceci s'explique par le fait que ce dernier est enrichi en fraction fine (F < 63µm = 73%) qui, selon la littérature, présente une certaine affinité vis-à-vis de la matière organique.

Tableau 2 : Résultats analytiques en (%) de la fraction fine (F< 63µm), du CaCO₃ et du carbone organique total (Corg) au niveau des alluvions l'oued Siliana (OS)

	OS1	OS2	OS3	OS4	OS5	OS6	OS7	OS8	Min	Max	Moy
F < 63µm	17	32	63	59	29	85	7	18	7	85	39
CaCO₃ (%)	66	58	58	44	39	42	30	36	30	66	46
Corg (%)	0,04	0,11	0,04	0,11	0,19	0,18	0,04	0,25	0,04	0,25	0,12

Les échantillons OS3, OS4 et OS6 présentent les pourcentages les plus élevées en FF (> 50 %). Les teneurs en CaCO₃ oscillent entre 30 et 66 % avec une teneur moyenne de l'ordre de 46 % soulignant le caractère carbonaté de ces sédiments. Le carbone organique total montre des valeurs faibles signalant de ce fait que les sédiments de l'oued Siliana sont appauvris en matière organique.

Teneurs en éléments métalliques (EM) et en Sr des sédiments de surface des oueds Rémir et Siliana

Les résultats d'analyses des EM et du Sr au niveau de la fraction totale des échantillons des sédiments de surface de l'oued Rémir (tableau 3) montrent des teneurs très élevées par rapport à celles trouvées au niveau de l'oued Siliana. L'ordre d'abondance des éléments dosés se présente comme suit Fe>Zn>Sr>Pb>Mn>Cd>Cu>Cr.

Les EM et le Sr se concentrent essentiellement à proximité de la digue en OR1 (15 m) et au niveau de la partie médiane de l'oued Rémir (cas des stations OR4 et OR5 situées respectivement à 500 m et à 1400 m environ en aval de l'ancienne digue d'El Akhouat). Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source polluante des rejets miniers, les teneurs en EM diminuent. Cette surcharge métallique est en parfaite relation avec les quantités de déchets miniers rejetés au niveau du lit de ce cours d'eau.

Tableau 3: Teneur totale en éléments métalliques et en Sr (mg.kg⁻¹) au niveau des sédiments de surface de l'Oued Rémir (OR) et l'Oued Siliana (OS)

		Pb	Zn	Cd	Fe	Cu	Cr	Mn	Sr
O. Rémir	OR1	15677	26903	73	47765	100	68	906	8234
	OR2	6172	20473	65	30207	79	47	802	3684
	OR3	3710	19117	52	18853	27	36	2040	19484
	OR4	23256	38271	177	40248	43	31,4	2625	42774
	OR5	18615	35536	150	29147	64	30,8	1820	28759
	OR6	8317	22569	55	19023	35	31,3	1215	8828
	OR7	6924	9524	21	22529	39	69	1267	3198
	OR8	6286	17144	37	29936	28	30	780	10154
	OR9	683	2457	9	12253	23	19	322	2124
	OR10	280	2346	3	21669	8	57	264	1559
O. Siliana	OS1	182	242	1	21115	25	47	206,3	100
	OS2	106	224	0,7	19207	18	59	199,3	120
	OS3	134	314,3	0,5	18271	31	47,5	195,4	138
	OS4	45	117,6	0,4	15329	14	62	191,4	123
	OS5	71	92,2	0,2	12918	13	44,7	190,9	97
	OS6	36	91,0	0,2	14003	6	53,3	199,2	99
	OS7	71	57,6	0,1	9483	7	27,3	158,6	78
	OS8	156	98,1	0,1	11889	29	36,0	171,5	102
	F.G.L	45	118	1	28500	23	32	395	1219

F.G.L : Fond Géochimique Local type stream sediment de la région d'étude (GUEDRIA *et al.* 1990)

Par comparaison avec les teneurs correspondantes au Fonds Géochimique Local (FGL), nous constatons que les sédiments de l'oued Rémir révèlent une contamination polymétallique très marquée pour Pb, Zn et Cd. Si nous prenons le cas des stations OR4 et OR5 qui sont considérées comme les stations les plus affectées, nous trouvons que les teneurs en Pb, Zn, Cd représentent respectivement des teneurs 516 fois, 324 fois et 177 fois supérieures à celles du FGL. La partie aval de l'oued Rémir, plus précisément les stations OR9 et OR10, affiche les concentrations les plus faibles par rapport à celles observées en amont.

Les valeurs enregistrées au sein des sédiments de l'oued Siliana en ces éléments précités sont nettement inférieures à celles du Fond Géochimique Local (FGL). De ce fait, nous pouvons signaler que les sédiments de surface de l'oued Rémir présentent des concentrations très élevées en EM (Pb, Zn, Cd, Fe et Mn) et en Sr qui dépassent le FGL, ce qui témoigne de l'effet néfaste des rejets miniers. Cette pollution métallique est accentuée au niveau de la partie centrale de l'oued caractérisée par des

méandres constituant un milieu propice pour le piégeage d'EM sous forme particulière. Les sédiments de l'oued Siliana affichent des teneurs beaucoup moins élevées en ces éléments. Ils sont dilués par les apports alluviaux du bassin versant de Siliana.

Néanmoins, les stations OS1, OS2 et OS3 présentent des concentrations élevées en Pb, qui sont respectivement 7 fois, 4 fois et 5 fois supérieures à celles du FGL. Ces teneurs diminuent progressivement en aval du cours d'eau. L'échantillon de la station OS8 près de la confluence de l'oued Siliana avec l'oued Mejerda à Testour, affiche cependant une concentration assez importante en Pb. Cette concentration est 6 fois supérieure à celle du FGL. Alors que les éléments Zn, Cd, Fe, Cu, Cr et Mn, révèlent des teneurs assez proches ou inférieures à celles du Fond Géochimique Local (FGL). Ceci suggère l'existence d'une autre source de contamination en Pb des sédiments de surface de l'oued Siliana à Testour.

Évaluation de la contamination métallique des cours d'eau

Les moyennes de FC (Facteur de contamination) en éléments métalliques pour les sédiments de surface de l'oued Rémir ont permis de classer les éléments selon l'ordre de contamination décroissant suivant : $Pb > Zn > Cd > Sr \gg Mn > Cu > Cr > Fe$ (Fig. 3).

Les sédiments de surface de l'oued Rémir montrent une très forte contamination par Pb, Zn et Cd. En effet, les valeurs de FC dépassent largement 6 depuis l'amont de l'oued jusqu'à son aval ; excepté le cas de l'échantillon OR10 où les valeurs de FC pour Pb et Cd sont respectivement de l'ordre de 6 et 3. En ce qui concerne le Sr, les valeurs de FC sont très élevées surtout en OR3, OR4 et OR5 (Fig.3).

La contamination des alluvions de l'oued Rémir par Cu, Cr, Fe est modérée à nulle ($FC < 1$) (Fig. 4). Alors que pour Mn, la contamination est modérée à considérable puisque au niveau de certaines localités du cours d'eau $3 < FC(Mn) < 6$.

Les alluvions de l'oued Siliana présentent une contamination modérée à considérable pour Pb ($1 < FC < 4$), alors qu'elle est nulle pour les autres éléments.

Finalement, nous constatons que le degré de contamination des sédiments par Pb, Zn, Cd et Sr est très élevé, essentiellement, au niveau de la partie médiane de l'oued Rémir. Cette contamination diminue vers la partie aval ainsi que le long du cours d'eau de l'oued Siliana. Toutefois, les résultats de calculs du FC prouvent que les sédiments de surface de l'oued Siliana sont affectés par une contamination modérée à considérable par Pb. Cette contamination concerne essentiellement les stations OS1, OS2 et OS3 (Fig.3).

La figure 5 montre que les sédiments de surface de l'oued Rémir sont considérés comme fortement à très fortement pollués par Zn et Pb ($4 < I_{géo} < 8$). Excepté, le cas des échantillons OR9 et OR10 où l'indice de géoaccumulation pour Pb montre des valeurs négatives témoignant de la diminution de la pollution des sédiments par Pb près de la confluence avec l'oued Siliana. Toutefois, nous avons noté un enrichissement en Sr qui réside essentiellement au niveau de la partie centrale de l'oued représentée par les échantillons OR3, OR4, OR5, et OR6. Cet enrichissement doit son origine aux rejets miniers de Fej Lahdoum riches en célestite ($SrSO_4$). Pour le Cd, les valeurs d' $I_{géo}$ sont comprises entre 1 et 7. En effet, nous avons constaté que la pollution des sédiments par le Cd concerne principalement la partie amont et médiane de l'oued ($4 < I_{géo} < 7$) alors qu'en se rapprochant de la confluence avec l'oued Siliana (OR9 et OR10), les sédiments sont considérés comme moyennement pollués à non pollués puisque les valeurs de l'indice de géoaccumulation du Cd sont respectivement de l'ordre de 3 et 1. Dans le cas des éléments Fe, Cu, Mn et Sr, $I_{géo}$ présente des valeurs négatives inférieures à 0 ou à 2. Ce qui prouve que les alluvions de l'oued Rémir appartiennent à la classe des sédiments non pollués à moyennement pollués par ces éléments.

Dans le cas des alluvions de l'oued Siliana, les $I_{géo}$ calculés pour Pb, Zn, Cd, Fe, Mn et Sr montrent des valeurs négatives ou inférieures à 1 (Fig.4) indiquant que les sédiments superficiels sont non pollués par ces éléments où on peut dire qu'ils reflètent le fond géochimique de la région.

Etude statistique

Une analyse en composante principale (ACP) des données géochimiques des sédiments de surface des oueds Rémir et Siliana a été effectuée. Cette ACP regroupe, comme variables, les éléments métalliques (Zn, Pb, Cd, Mn, Fe), Sr et les paramètres suivants : fraction fine ($F < 63\mu\text{m}$), teneur en CaCO_3 , teneur en Al_2O_3 , carbone organique (Corg) et comme éléments d'observations, dix-neuf échantillons ; le but de cette analyse étant de voir l'influence de ces paramètres sur la répartition spatiale des éléments métalliques le long des cours d'eau étudiés.

Les axes factoriels obtenus par le traitement statistique des données montrent une bonne répartition des paramètres étudiés, puisque le taux d'inertie cumulé autour des deux premiers axes atteint 77% (Tableau 4)

Tableau 4 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

Axes	Val. propre	% Total var	% Cumul
1	5,9	58,6	58,6
2	1,8	18,4	77

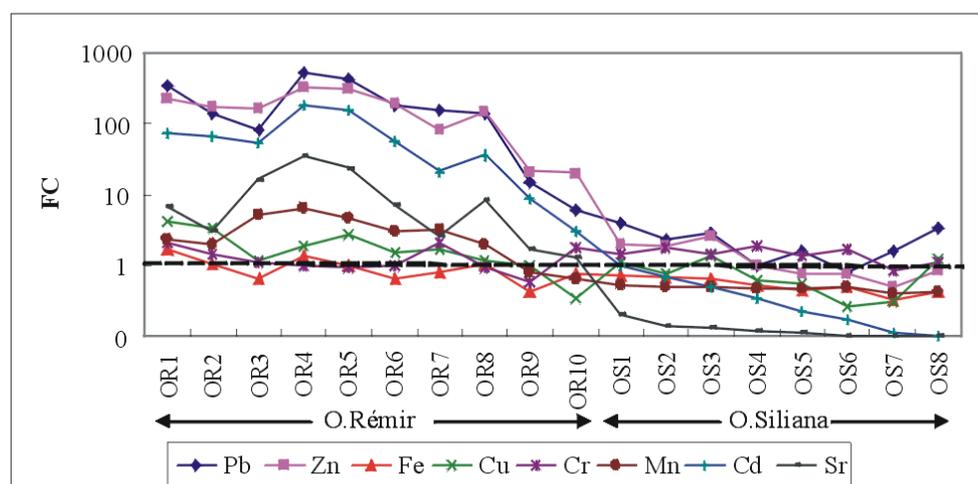


Figure 3 : Variation du Facteur de contamination (FC) le long du tracé des cours d'eau Rémir et Siliana

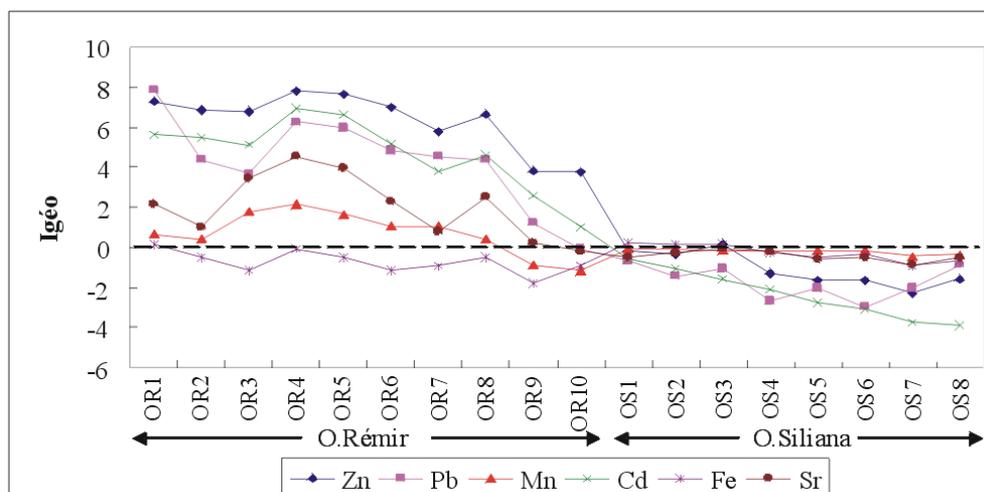


Figure 4 : Variation d'Indice de Géoaccumulation (Igeo) le long du tracé des cours d'eau Rémir et Siliana

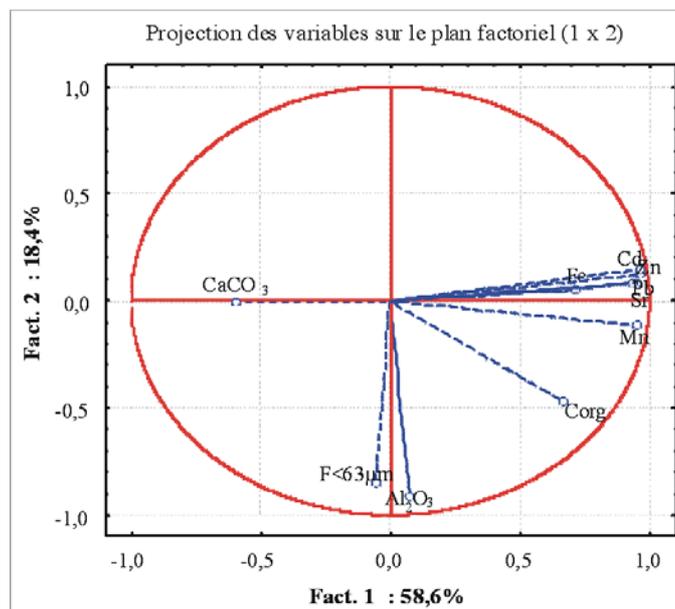


Figure 5: Distribution des EM et du Sr au niveau des alluvions des oueds Rémir et Siliana dans le plan de l'ACP1 formé par les axes F1 et F2

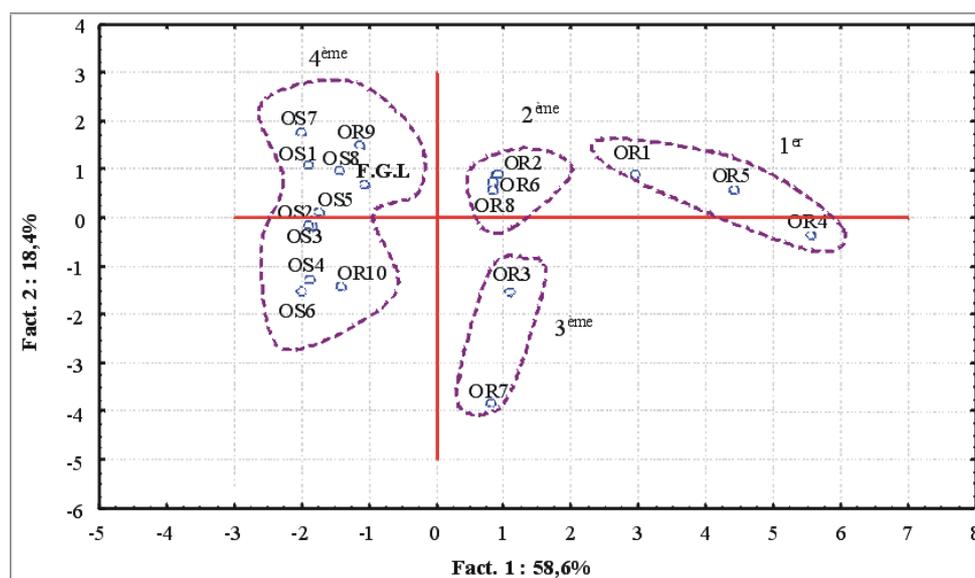


Figure 6: Projection des individus sur le plan factoriel (1x2)

La projection des variables sur le plan factoriel (1x2) (Fig. 5) montre que l'axe principal F1 présente plus que 58% de la variance totale. Cet axe est caractérisé dans le sens positif par la variation du Carbone Organique (Corg) et des teneurs en éléments métalliques tels que Pb, Fe, Zn, Cd, Mn et en Sr alors que, dans le sens négatif, F1 exprime la variation des proportions en CaCO_3 . A la lumière de ces résultats, l'axe F1 définit un axe de pollution métallique dans le sens positif. Cette pollution est diluée par la teneur en CaCO_3 . L'axe F2 exprime 18,4 % de la variation totale. Il indique la variation du taux d'alumine (Al_2O_3) et de la fraction fine (F<63m).

La projection des éléments d'observations sur le plan factoriel (1x2) (Fig. 6) montre l'existence de quatre groupes essentiels définis comme suit :

- le premier groupe est désigné par les échantillons OR1, OR4 et OR5. Ces derniers sont les plus touchés par la pollution métallique.

- le deuxième groupe est formé par les échantillons OR2, OR6 et OR8 qui peuvent être considérés comme les moins touchés par la pollution métallique par rapport à ceux du premier groupe.

- le troisième est constitué par OR3 et OR7 qui sont des échantillons riches en matière fine argileuse et en matière organique. Ces paramètres présentent une affinité vis-à-vis des EM et favorisent la rétention des éléments métalliques.

- le quatrième regroupe les échantillons OR9, OR10 et OS1- OS8. Ces derniers sont les plus éloignés de l'effet de l'activité minière. Ils sont proches du Fond Géochimique Local de la zone d'étude (FGL) et présentent de fortes teneurs en CaCO₃. Selon BAIZE (2002), le calcaire semble agir comme un diluant des teneurs en EM. En effet, tout ce passe comme si la plupart des EM étaient dilués dans une quantité variable de carbonate de calcium. Cet auteur a mentionné que la décarbonatation naturelle progressive entraîne automatiquement une augmentation relative des teneurs en EM.

Matrice de corrélation

Le tableau 5 illustre la matrice de corrélation des éléments métalliques (EM) et du Sr et les paramètres : F<63µm, Corg et Al₂O₃. Nous avons constaté que les EM sont fortement corrélés entre eux et avec le Sr ($r > 0,55$). Le coefficient de corrélation élevé entre ces éléments soulève l'hypothèse d'une contamination commune, d'une distribution homogène et/ou d'un comportement similaire de ces éléments vis-à-vis des processus physico-chimiques qui se déroulent dans le milieu. En effet, ces EM appartiennent à une même association minérale caractéristique des rejets miniers, formée essentiellement par la galène (PbS), la sphalérite (ZnS), la pyrite, la marcassite (FeS₂) et la célestite (SrSO₄).

Tableau 5 : Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés au niveau des alluvions des oueds Rémir et Siliana (N=19)

	Pb	Zn	Cd	Fe	Mn	Sr	CaCO₃	F<63µm	Corg	Al₂O₃
Pb	1	0,95	0,96	0,78	0,84	0,87	-0,45	-0,12	0,53	0,05
Zn		1	0,96	0,74	0,89	0,87	-0,44	-0,20	0,61	0,00
Cd			1	0,69	0,88	0,94	-0,50	-0,13	0,50	-0,05
Fe				1	0,55	0,56	-0,08	-0,13	0,35	0,14
Mn					1	0,93	-0,64	0,06	0,70	0,13
Sr						1	-0,62	0,00	0,48	-0,07
CaCO₃							1	-0,04	-0,48	0,14
F<63µm								1	0,16	0,63
Corg									1	0,46
Al₂O₃										1

Les valeurs en gras représentent les corrélations significatives à un niveau de signification alpha= 0,05 d'après le tableau du coefficient de corrélation de Schwartz (1963).

Nous avons noté une bonne corrélation positive entre le carbone organique (Corg) et les EM tels que Pb, Zn, Cd, Mn et le strontium (Sr). La matière organique développe un effet chélateur vis-à-vis des éléments métalliques. Elle constitue, de ce fait, un support privilégié des métaux engendrant la « complexation » organo-métallique au niveau des sédiments. Les mêmes constatations ont été signalées par TAHIRI *et al.* (2005). Le calcaire semble se corréler négativement aux éléments métalliques (EM) et au Strontium (Sr).

CONCLUSION

Le suivi spatial des teneurs en EM révèle une nette contamination métallique des sédiments de l'oued Rémir par les rejets miniers issus de la laverie d'El Akhouat. Cette contamination est accentuée au niveau de la partie centrale méandriforme de l'oued.

L'évaluation des teneurs métalliques des sédiments de surface par l'utilisation d'indices de contamination (FC et Igéo) montre un net gradient décroissant de l'amont de l'oued Rémir jusqu'à sa confluence avec l'oued Siliana ; puis de l'amont de l'oued Siliana jusqu'à sa confluence avec l'oued Mejerda à Testour. La contamination de l'oued Rémir est tributaire de la charge polluante véhiculée par le cours d'eau et de la morphologie de l'oued. En effet, la partie centrale méandriforme de l'oued Rémir favorise le piégeage des EM sous forme particulière.

L'approche statistique nous confirme l'importance de la contamination des sédiments de l'oued Rémir par les EM engendrée par l'activité minière. Cette pollution est atténuée au sein des alluvions de l'oued Siliana dont les teneurs en EM et en Sr reflètent le Fond Géochimique Local (FGM) de la région. Nous pouvons suggérer que les apports détritiques, essentiellement d'origine carbonatée, du bassin versant de Siliana contribuent à la dilution de cette pollution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADDED, A., 1981. Etude géochimique et sédimentologique des sédiments marins du Delta du Rhône. Thèse Doct. 3^{ème} cycle. Univ. Pierre et Marie Curie. Paris. 236p.
- BOLZE, J., 1952. Diapirs triasiques et phases orogéniques dans les monts de Tébourouk (Tunisie septentrionale). *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, 231/8 : 480-482.
- BOUHLEL, S., 1993. Gîtologie, minéralogie et essai de modélisation des minéralisations à F-Ba-Sr-Pb-Zn associés aux carbonates (Jurassique et Crétacé) et aux diapirs triasiques: gisement de Stah, Kohl, Zriba, Guebli, Boujaber et Fedj Lahdoum (Tunisie septentrionale). Th. d'Etat. Fac.Sc.Tunis 293 p.
- DALI, T., 1979. Etude géologique de la région de Gaâfour (Atlas tunisien). Thèse 3^{ème} cycle, Géol. Struct. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris. 101p.
- GLASBY, G.P.; SZEFER, P.; GELDON, J. & WARZOGA, J.; 2004. Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland. *Sci Total Environ*, 330 : 249–269.
- GUEDRIA, A.; LOUKIL, CH. & BEN TALOUBA, B., 1990. Prospection géochimique stratégique de la partie Ouest de la feuille de Gaâfour au 1:50000
- GUEGUEN, Y., 2003. Réalisation d'un système expert pour le bilan de la contamination métallique du réseau hydrographique de la Seine. DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatique et Géochimie. 47 p.
- HAMMAMI, M. & MANSOURI, A., 1988. Mine d'El Akhouat. Étude géologiques et géochimiques et reconnaissance par sondage. ONM 1986-1988. Rapport interne. 25p.
- MAANAN, M.; ZOURARAH, B.; CARRUESCO, C.; AAJANE, A. & NAUD, J., 2004. The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast). *J. Afr Earth Sci* 39: 473-483.
- MÜLLER, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rhiens-Veränderunge seit. *Umschau* 79: 133- 149.
- NIENCHESKI, L.F. & BAUMGARTEN M.G.Z., 2000. Distribution of particulate trace metal in the southern part of the Patos Lagoon estuary. *Aquatic Ecosystem Health & Ecosystem Management*, 3: 515–520.
- PERTHUISOT, V., 1978. Dynamique et pétrogenèse des extrusions triasiques en Tunisie septentrionale. Thèse Doc. Sci., Univ. Paris.
- ROSSO, A. ; LA FONT, M. & EXINGER, A., 1993. Effets des métaux lourds sur les peuplement d'Oligochètes de l'ILL et de ses affluents (Haut Rhin, France). *Annls. Limnol.* 29, (3-4) : 295-305.
- RUBIO, B. ; NOMBELA, M.A. & VILAS F., 2000. La contaminación por metales pesados en las Rias Baixas gallegas : nuevos valores de fondo para la Ria de Vigo (NO de España). *Journal of Iberian Geology*, 26 : 121-149.
- SAINFELD, P., 1952. Les gîtes plombo-zincifères de Tunisie. *Annales des Mines et de la Géologie* N° 9. Imprimerie S.E.F.A.N. Tunis. 252 p.
- SCHWARTZ, D., 1963. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Flammarion Ed. 767p.
- TAHIRI, L. ; BENNASSER, L. ; IDRISSE, L. ; FEKHAOU, M. ; EL ABIDI, A. & MOURADI, A., 2005. Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water Qual. Res. J. Canada*, 40, 1 : 111–119.
- VILA, J.M., GHANMI M. & BEN YOUSSEF M., 2001. Les « glaciers de sel » sous-marins des marges continentales passives du nord-est du Maghreb (Algérie- Tunisie) et de la Gulf Coast (USA) :

comparaisons, regard spécial sur les « glaciers de sel » composites illustré par celui de Fedj el Adoum (Nord-ouest tunisien) .*Revue Globale. Eclogia geol. Helv. In* : GHANMI M. (2003) Géodynamique de la plate-forme saharienne et de sa marge septentrionale au Crétacé. Son évolution vers l'Atlas septentrional ; interférences du rifting et de l'halocinèse. Habilitation Universitaire, spécialité Géologie. FST, 347 P.

