

GEOCHIMIE DES METAUX TRACES DANS LES SEDIMENTS DU BARRAGE DE LA FONTAINE DES GAZELLES, ALGERIE

GEOCHEMISTRY OF TRACE METALS IN SEDIMENT OF GAZELLES FOUNTAIN DAM, ALGERIA

HOURIA ATHMANI⁽¹⁾, MOSTEFA BOULAHIDJ⁽²⁾, NORA BOUCHAHM⁽³⁾, NADIA HOCINI⁽⁴⁾

⁽¹⁾Université Mohamed Khider- Biskra,

⁽²⁾Ecole Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement (ENSSMAL),

⁽³⁾Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Arides (CRSTRA),

⁽⁴⁾Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA)

RESUME

L'objectif de cette étude est l'évaluation du degré de la contamination inorganique par les métaux traces dans les sédiments dans le cadre de la surveillance continue de la zone humide du « Barrage de la Fontaine des gazelles ». Une carotte sédimentaire a été prélevée et découpée en 16 échantillons. L'identification des phases minéralogiques par Diffraction de Rayons X (DRX) montre une répartition presque identique le long de la carotte sédimentaire indiquant une même origine des sédiments. La composition chimique déterminée par X-ray fluorescence (XRF) confirme ces résultats et met en relief la relation entre la richesse en matière organique et la présence des oxydes dans le sédiment. Malgré les teneurs élevées de quelques métaux traces dans la carotte sédimentaire, le facteur d'enrichissement a montré que pour l'ensemble des métaux traces dosés, l'enrichissement par ces métaux est entre faible à significatif. Les bonnes corrélations positives observées pour la majorité des couples de métaux, signifient que ces éléments évoluent dans l'espace de cette zone humide par une interdépendance beaucoup plus naturelle.

MOTS CLES: Carotte sédimentaire, phases minérales, CaCO₃, DRX, XRF, matière organique, métaux traces

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the degree of inorganic contamination by trace metals in sediments as part of the continuous monitoring of a wetland "Gazelles Fountain Dam". One sediment core was collected with a number of samples equal to 16. The identification of the mineralogical phases by DRX shows an almost identical distribution along the sediment core indicating the same origin, the chemical composition by XRF confirms these results and put in light the relationship between the richness of organic matter and the presence of oxides in the sediment. Despite high levels of some trace metals in sediment core, the enrichment factor showed that for all trace metals, the Enrichment by these metals is between low to significant. Positive correlations are observed for the majority of metal pairs, which means that these elements evolve in the same direction of the variations in concentrations in the sediment core of the site « Gazelles Fountain Dam ».

KEYWORDS: Sedimentary core, mineral phases, CaCO₃, DRX, XRF, organic matter, trace metals

1 INTRODUCTION

Le barrage est un ouvrage construit sur cours d'eau. Il peut être destiné à usage multiples (irrigation, hydroélectricité, alimentation en eau domestique et industrielle, la protection contre les crues, les loisirs et à un moindre degré, l'élevage de poissons, la navigation...) (Tebbi, 2014), ou il peut être destiné à usage unique pour l'irrigation (Lecornu, 1998) comme le cas du barrage de la Fontaine des Gazelles qui est une retenue d'eau destinée à l'irrigation des régions du Nord de la ville de Biskra. Ces régions se caractérisent par la prédominance de l'activité agricole. Le déversement non contrôlé directe d'une charge polluante composée de déchets solides et liquides par les populations riveraines de l'Oued El Hai qui alimente le barrage de la Fontaine des Gazelles peut affecter l'écosystème et ses eaux destinées à l'irrigation.

Les sédiments du barrage peuvent refléter la qualité de la masse d'eau et enregistrent les effets de l'activité humaine à l'échelle locale, étant donné qu'une grande part des contaminants déversés dans les eaux se retrouve piégée dans les sédiments. Ces derniers sont des témoins du degré de pollution (Lesouef et al., 1979) et constituent une archive géochimique des contaminations dans le passé. Les sédiments jouent aussi le rôle de puits et de source des métaux traces (Clarisse et al., 2004), la contamination de ces écosystèmes aquatiques par des métaux traces reste un problème environnemental grave (Rayms- et al., 1998). Cette recherche porte sur l'évaluation du degré de contamination inorganique par les métaux traces dans les sédiments dans le cadre de la surveillance continue de l'environnement aquatique.

2 ZONE D'ETUDE

2.1 Situation géographique

Le barrage de la Fontaine des gazelles est situé à 37 Km au

Nord de la ville de Biskra, très proche du village de la Fontaine des gazelles (latitude 35°07' N, longitude 5°38' E). Construit en l'an 2000 sur une superficie d'oued El Hai (1660 km²) avec une capacité brute d'environ 55,491 Hm³ et un volume régularisable de 14 Hm³. Sa construction rentre dans le cadre du développement agricole (irrigation) de la plaine d'El Outaya (A.N.A.T, 2003). C'est un barrage à noyau central doté d'un évacuateur de crues en labyrinthe, destiné à l'irrigation de 1100 ha de terres agricoles (Tebbi, 2014).

2.2 Conditions bioclimatiques

2.2.1 La température

Le climat de Biskra est chaud et sec. Les minima absolus n'atteignent pas le zéro. D'après la série de valeurs de dix années enregistrées au niveau du Barrage de la Fontaine des gazelles, on constate que les mois les plus froids correspondent à janvier (11,74°C) et décembre (12,05°C). Cependant, les mois les plus chauds sont : juin (31,55°C), juillet (35,62°C) et août (34,37°C),.

2.2.2 La pluviométrie

L'évolution des précipitations moyennes mensuelles fournie par la direction du Barrage de la Fontaine des gazelles depuis son exploitation jusqu'à l'année du prélèvement de la carotte sédimentaire, pour différentes périodes (Fig1) montre que le mois le plus sec est le mois de juillet avec une moyenne de 1,5 mm. Septembre représente le mois le plus pluvieux avec une moyenne de 31,94 mm. Les valeurs annuelles pour la décennie 2000-2009 sont faibles avec une moyenne de 184,0 mm. Des siroccos arrivent pendant la saison sèche d'une moyenne de 58 jours/an, les vents dominants sont de secteur Sud-Est (Haouchine, 2010).

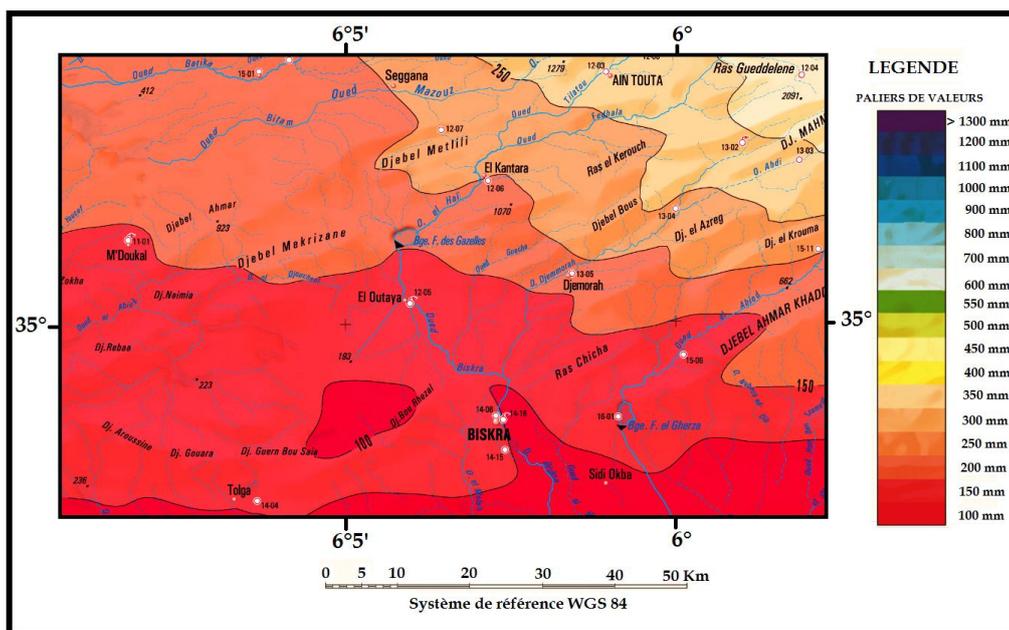


Figure 01: Carte pluviométrique Barrage de la Fontaine des Gazelles (source : extrait de la carte de pluies moyennes annuelles du Nord d'Algérie (ANRH, 2005))

2.3 Géologie et sédimentologie

Le barrage de la Fontaine des gazelles appartient aux mêmes formations rocheuses qui constituent les principaux reliefs de la wilaya de Biskra (Amri, 2006). Selon Sedrati (2011), la géologie de la wilaya de Biskra se caractérise par des formations d'origine sédimentaire à prédominance de

sédiments carbonatés. Les calcaires massifs de demi cluse d'El-kantara reviennent au Maestrichtien avec une épaisseur de 340 mètre vers le Sud, surmontés par des formations de l'oligocène, miocène et quaternaire, formées essentiellement par des marnes, galets, alluvions, argile et sables (Guiraud, 1973 : in Rerboudj, 2005) (Fig 2).

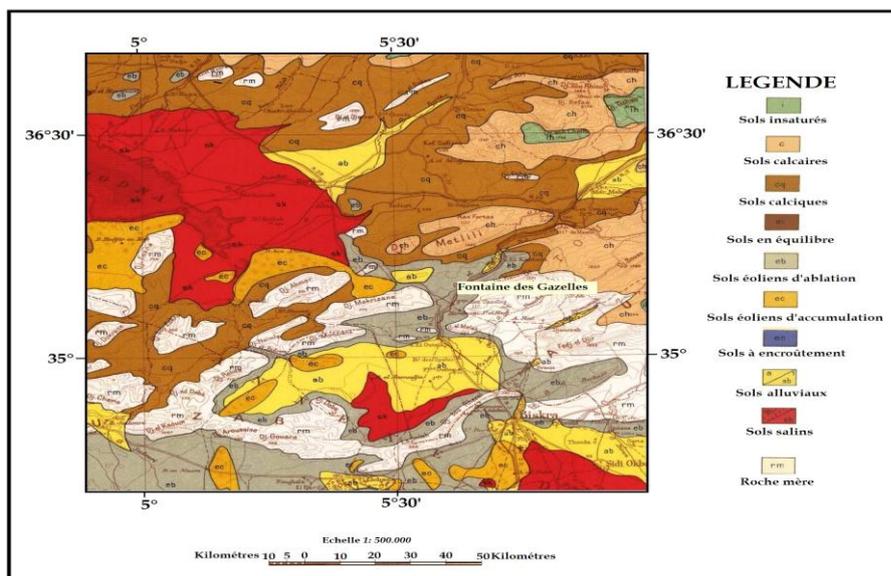


Figure 02: carte géologique de la zone d'étude Biskra (extrait de la carte du sol d'Algérie Biskra publié en 1938)

2.4 Hydrologie du bassin versant

Le Barrage s'alimente par plusieurs oueds, le plus important est l'Oued El Haie. Ce dernier prend naissance

sur les flancs du Sud des Aurès. Oued El Haie à son tour prend sa naissance à la confluence des deux oueds : oued Fedhala issue du djebel Ich Ali (1815m) et l'oued Tilatou qui descend des monts de Bellezma (2091m) et coule dans

la direction SE-NO (Boumesseneh, 2007 ; Boudjema, 2015) (Fig 3).

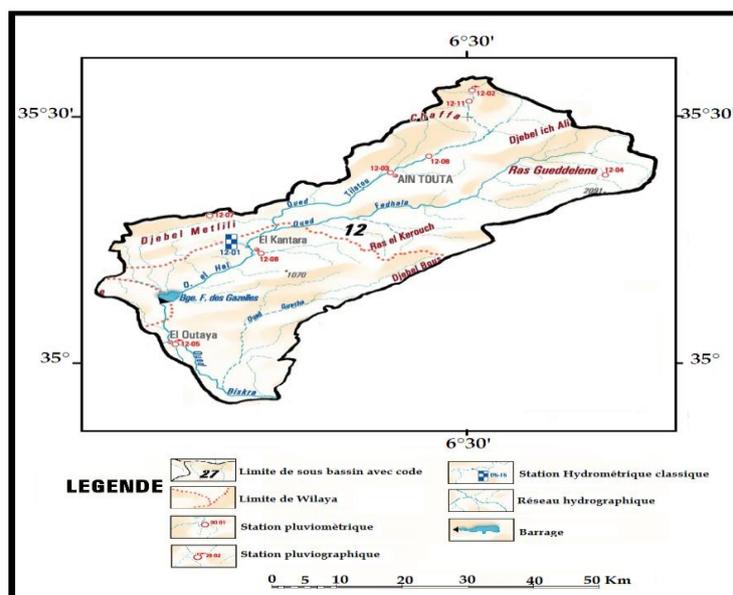


Figure 03 : Carte du réseau hydrographique du sous-bassin versant de l'Outaya (extrait de la carte du réseau hydrologique et de la surveillance de la qualité des eaux (ANRH, 2005)

L'apport moyen annuel du Bassin versant de l'Oued El-Hai est de 94,37%, ce qui fait que la plus grande quantité des sédiments piégés dans le barrage est transportée par les écoulements qui viennent de la partie amont de l'Oued El-Hai, l'apport liquide est estimé à 22,39 hm³, le Barrage de la Fontaine des Gazelles reçoit un apport moyen estimé de l'ordre de 25,6 hm³ et la lame d'eau écoulee de l'ordre de 15,12 mm/an (Rerboudj, 2005).

Barrage de la Fontaine des Gazelles à l'aide d'un tube en PVC de 50 cm de longueur. Le prélèvement est réalisé le 09/04/14 (Fig 4). La carotte est découpée en des épaisseurs de 0.5 cm pour la couche de [0-2] cm, 1cm pour la couche de [2-14] cm et ceci pour mieux cerner la variation de la concentration des métaux en fonction de la profondeur. Les échantillons ont été conservés par congélation (à -18°C) dans des sachets en plastique pour préserver l'essentiel les propriétés chimiques des échantillons, éviter toute contamination avec le milieu ambiant et les pertes d'éléments volatils (Charlou et Joanny, 1983) (Tableau1).

3 MATERIELS ET METHODES

Une carotte sédimentaire a été prélevée au niveau du

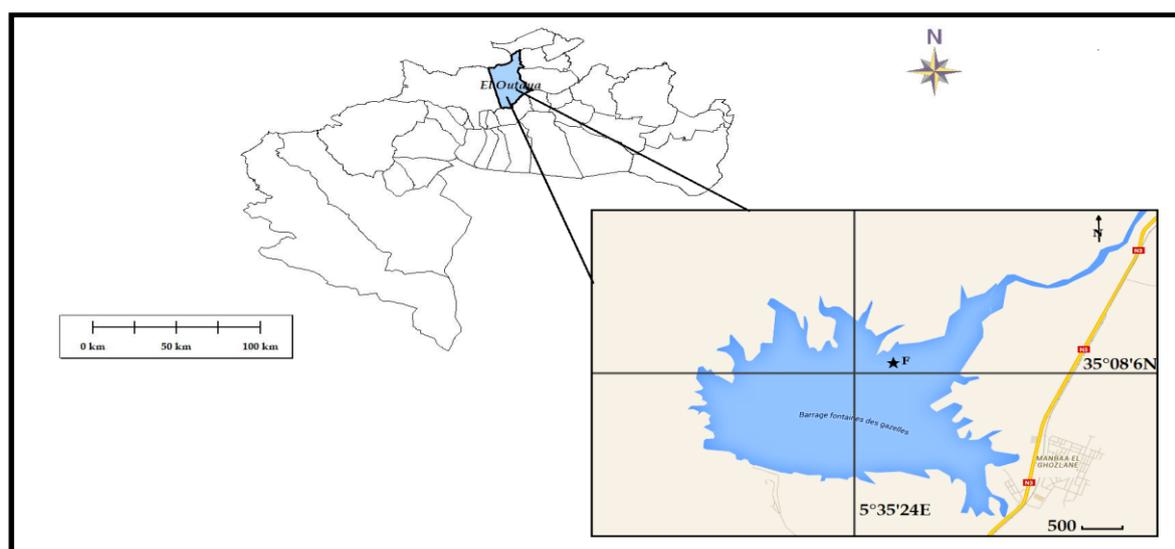


Figure 04: La situation géographique de la carotte sédimentaire prélevée au niveau de la zone d'étude

Tableau 01: Tableau synoptique des données générales sur le prélèvement de la carotte sédimentaire

Carotte		Données de la carotte F
Situation Géographique	Latitude (N)	N 34°22,756
	Longitude (E)	E 6°15,813
Nombre d'échantillons		16
Profondeur de la carotte		18 cm

Les échantillons ont subi un traitement par lyophilisation, un broyage par mortier en porcelaine et un tamisage à 2 mm. Les analyses réalisées sur ces échantillons sont les suivantes:

1. La diffraction des rayons X (DRX), une technique d'étude non destructive, utilisée couramment pour identifier les espèces minérales d'une matrice solide (Agostini, 2006 ; Hubert, 2008 ; Salvarredy-Aranguren, 2008 ; Petit, 2009 et Cazalet, 2012). La détermination des minéraux argileux par la méthode des agrégats orientés se fait à partir de trois essais (Normal sans traitement, Chauffage à 490°C, Ethylène-Glycol). Le diffractomètre utilisé (X'Pert Pro, PANalytical) est équipé d'un tube à rayons X à anticathode de cobalt.
2. Détermination des éléments majeurs par XRF : c'est une méthode d'analyse chimique élémentaire utilisant une propriété physique de la matière, la fluorescence de rayons X (Bouhali, 2005 et Bouzonville et al., 2008). L'analyse des éléments chimiques a été fait au niveau CRNA.
3. Calcimétrie : La quantification des carbonates totaux (notamment CaCO₃) a été réalisée par calcimétrie de Bernard selon la norme NF X 31-105.
4. Dosage des métaux traces par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) : Les métaux traces et l'arsenic (qui n'est pas typiquement un métal) des échantillons sédimentaires ont été dosés au niveau de CRSTRA, par la spectrophotométrie d'absorption atomique ; c'est une technique d'analyse chimique fiable et universellement appliquée (Forstner et Salomons, 1980), bien adaptée (Boust, 1981).
5. Matière organique : La détermination de la matière organique dans le sédiment a été faite par la méthode de perte au feu (Wang et al., 1996 et Wang et al., 2011). On place les échantillons pendant une nuit (16 heures) dans un four à moufle à 375°C. Le pré-séchage des échantillons à 150 °C réduit la variabilité du test en éliminant l'eau emprisonnée dans les feuillets de sédiment (MA.1010-PAF1.0, 2003). Le calcul et l'expression des résultats se font comme suit :
6. $MO(\%) = \frac{((P1 - P0) - (P2 - P0))}{(P1 - P0)} * 100$

7. Le Facteur d'Enrichissement (FE) : le calcul du facteur d'enrichissement (EF) permet de discriminer les apports anthropiques des sources naturelles, et ainsi définir l'intensité de la contamination, on se basant sur la normalisation des données, dans le but d'affranchir la variabilité de la composition intrinsèque des sédiments pouvant entraîner des variations de la teneur en métaux (Audry et al., 2004 ; Roussiez et al., 2006. Meybeck et al., 2007 ; Radakovitch et al., 2008 Emmanuelle F., 2010). En général, on utilise un élément conservatif représentatif de la fraction argileuse, tel que l'Al ou le Sc (Emmanuelle F., 2010). Le calcul est basé sur la comparaison de la teneur en métal mesurée dans l'échantillon [M], avec la teneur du bruit de fond géochimique local du même élément [Sc] RM. Les teneurs en bruit de fond naturel peuvent être établies à partir de mesures effectuées dans des sédiments de fond situés hors influence anthropique. Le scandium (Sc) a été choisi comme élément immobile de référence pour réaliser ce calcul.

$$EF = \frac{([M]/[Sc])_{\text{éch}}}{([M]/[Sc])_{\text{RM}}}$$

Où EF : facteur d'enrichissement ; [M] : concentration en métal étudié ; [Sc] : concentration en scandium ; éch : échantillon ; RM : matériaux de référence.

Les facteurs d'enrichissement peuvent être regroupés en 5 classes (Tessier et al., 2011) :

FE < 2 : enrichissement inexistant ou faible;

2 < EF < 5 : enrichissement modéré ;

5 < EF < 20 : enrichissement significatif;

20 < EF < 40 : enrichissement très fort

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Détermination des phases minéralogiques par DRX

La diffraction des rayons X (DRX) a permis de caractériser les phases minéralogiques présentes dans les échantillons et de préciser autant que possible la nature des minéraux (qualitativement et semi-quantitativement) (Fig 6). On observe la dominance minéraux des carbonatés : Calcite (d= 2.8Å, 2.25Å, 2.06Å), aragonite (d=4.24Å, 1.90Å) ; de la dolomite (d= 2.87Å, 2.27Å) ; suivie des minéraux silicatés: Quartz (d=2.8Å, 3.35Å, 3.27Å) ; on note la présence de la Goethite (d=4.14Å, 2.45Å) et d'Anatase (d=1.89Å) dans l'échantillon du milieu et de fond de cette carotte.

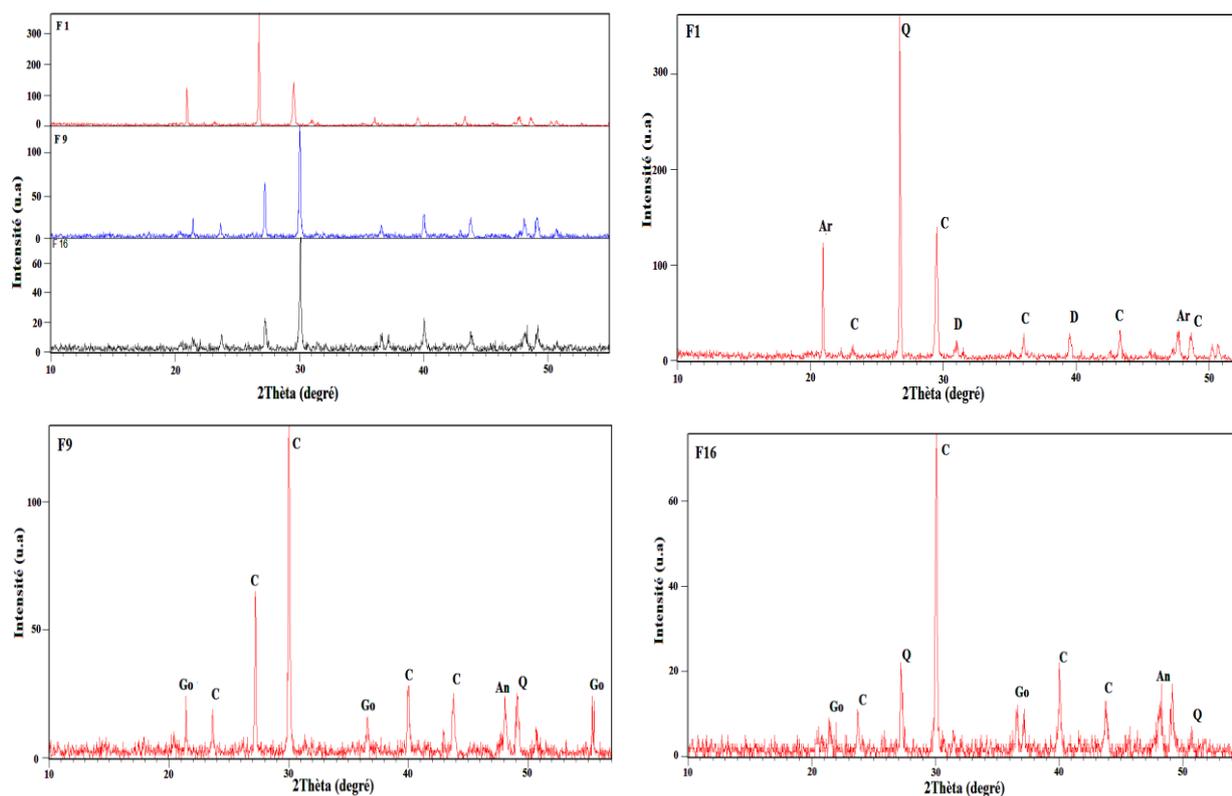


Figure 06: Les diffractogrammes des échantillons de la carotte sédimentaire du barrage de la Fontaine des Gazelles (Go : Goethite, C : Calcite, Q : Quartz, An:Anatase, Ar : Argonite et D : Dolomite)

Cette hétérogénéité dans la composition minéralogique dans la carotte F et surtout due aux formations géologiques très variables qui affleurent dans l'environnement géologique de l'Oued El Haie. On y rencontre des roches sédimentaires allant du calcaires parfois dolomitiques aux roches marneuses fortement altérées en surface du fait surtout du climat très rude de la région. Les différentes unités géologiques qu'on rencontre s'étalent du Quaternaire au Trias. Dans cette région, le faciès géologique se présente avec une dominance carbonatée est à un degré moindre gréseuse. Ces formations fournissent à la plaine des

sédiments riches en calcaire, de marnes et parfois en sable.

4.2 Détermination de la composition chimique par XRF

Les résultats des analyses élémentaires totales par XRF réalisée sur les échantillons de la carotte sédimentaire prélevée au niveau du barrage de la Fontaine des Gazelles, sont donnés dans le Tableau 2.

Tableau 02: La composition chimique de quelques échantillons de la carotte sédimentaire de Barrage de la Fontaine des Gazelles (F1: échantillon de surface [0-0,5]cm, F9: échantillon du milieu [6-7]cm et F16: échantillon du fond [16-18]cm)

	Compound	F1	F9	F16
Concentrations (%)	SiO ₂	32,1	32	31,2
	Al ₂ O ₃	8,3	9,5	9,9
	CaO	36,2	36,9	37,9
	Fe ₂ O ₃	3,6	3,6	3,8
	K ₂ O	1,1	1,1	1,1
	MgO	0,09	3,6	6,8
	TiO ₂	0,73	0,63	0,73
	SO ₃	0,43	0,24	0,23
	P ₂ O ₅		0,12	0,065

Concentration (ppm)	MnO	255	423	469
	Sr	655	695	688
	Ba	395		
	Zr	146	231	152
	Rb	19	26	26
	Zn	44	41	41
	Y	10	7	12
	Cr	48	40	27
	Ni	12	8	8
	Cu	22	28	26
	As	45	15	
	Ce	76	66	76

Ces données confirment les résultats obtenus par DRX et la calcimètre de bernard où on constate que le CaO qui présente les phases carbonatées est dominant dans la carotte F avec une moyenne de 36% suivi des silicates (32%). L'alumine Al_2O_3 qui caractérise les phases argileuses est présent avec un taux moyen de (9%), ce qui peu indiquer une faible présence des argiles. La composition globale des autres oxydes (Fe_2O_3 , MgO et K_2O) atteint des pourcentages moyens de: 8, 26 %.

4.3 Matière organique

La matière organique joue également un rôle spécifique : d'une part, elle peut intervenir directement dans des réactions chimiques et/ou biochimiques, d'autre part, elle peut, lors de son évolution, modifier les propriétés du milieu. L'origine de la matière organique dissoute et particulaire présente dans l'eau fluviale peut être autochtone (production primaire principalement), allochtone (lessivage du sol du bassin versant) ou formée par le cumule des deux fractions.

Les valeurs du taux de la matière organique en pourcentage comprises dans l'intervalle [1,02-7,29]% avec une moyenne de 3,64% et un écart type ($\sigma_F = 2,53\%$) montrent une certaine hétérogénéité dans la distribution verticale. On

effet, on observe une nette diminution du taux de la matière organique depuis le niveau de profondeur de 10 cm vers la surface. Ceci peut être en rapport directe avec les processus diagénétiques et surtout l'amoinissement des apports en matière organique, résultat de la réduction de la biomasse ou de sa consommation dans la colonne d'eau et/ou en milieux benthique (Fig 7).

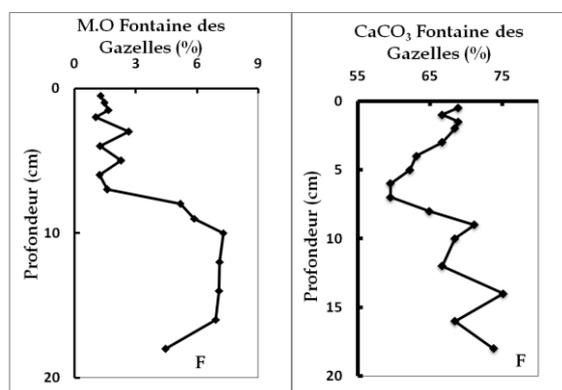


Figure 07: Profils verticaux de la matière organique et des carbonates de calcium en pourcentage dans la carotte sédimentaire du barrage de la Fontaine des Gazelles

4.4 Teneurs des carbonates

Le pourcentage des carbonates de calcium varie entre un minimum de 55,83%, un maximum de 70,42 % et un écartype de 4,44% (Figure 7).

Selon Baize, 1988 les valeurs des carbonates de calcium allant de 50 – 80% forment des sédiments très fortement calcaire, c'est le cas de la carotte F.

Le profil vertical montre certaines fluctuations dont la plus importante se situe aux niveaux de profondeur 6 et 7 cm et correspond certainement à un déficit significatif en $CaCO_3$ dans les apports et l'accumulation dans le sédiment. A partir du niveau 6 cm, la concentration en $CaCO_3$ commence à augmenter vers la surface, ce qui peut correspondre à une augmentation du taux de $CaCO_3$ dans les apports et l'accumulation dans les sédiments.

L'évolution des deux profils de la matière organique et des $CaCO_3$ sont en partie inter dépendants. En effet, l'amoinissement de la matière organique dans les apports est accompagné par l'augmentation du taux des carbonates de calcium. Dans l'écosystème aquatique, ceci peut correspondre au développement d'espèces biologiques,

notamment zooplanctoniques et/ou zoobenthiques à test carbonaté qui arrivent à dévorer la matière organique produite et fournissent après leur mort des carbonates de calcium qui s'accumulent dans le sédiment. A une échelle plus large de l'environnement global, ceci peut correspondre aussi à la sécheresse et à la désertification qui font que la couverture végétale se rétrécit et s'amointri, ce qui favorise, en parallèle, le phénomène d'érosion des facies géologiques à majorité carbonatés et leur transport vers ce milieu humide pour s'accumuler dans le sédiment.

4.5 Métaux traces

Les concentrations des métaux traces relevées dans les sédiments du barrage de la Fontaine des Gazelles sont moyennement élevées pour certains métaux (Zn, Pb, Cr et Cu, Mn) et relativement normales à faibles pour d'autres (Mn, Ag, Sc, Co, Ni et Cd) et même pour l'arsenic (tableau 3). Les écarts types relativement élevés de certains métaux, comme le Mn, le Zn, le Cr, le Fe ..., renseignent sur la grande hétérogénéité des teneurs relevées le long de la carotte sédimentaire.

L'analyse des profils de distribution verticale des concentrations des métaux évoque que :

- La majorité des métaux et l'arsenic manifestent un enrichissement progressif du sédiment en ces métaux avec le temps à partir du fond. C'est l'exemple du fer, du cobalt, du plomb, du cuivre ...
- Certains autres métaux, par contre, observent un état stationnaire avec le temps : c'est l'exemple du cadmium, du chrome, du nickel, le scandium ...
- Quelques métaux (Pb, Cu, Zn, Fe) montrent une

anomalie identique entre 9 et 5 cm de profondeur. L'argent, quand à lui, montre une anomalie plus ou moins variable qui s'étale sur échelle de temps plus large : à partir de 9 cm de profondeur jusqu'à presque le temps actuel.

Cette analyse succincte fait apparaître que d'une manière globale, le comportement géochimique des éléments traces étudiés est régit beaucoup plus par les phénomènes et processus naturels. L'enrichissement du sédiment en métaux et en arsenic avec le temps est certainement influencé par la pression et les apports anthropiques que nous pouvons considérer comme faible à négligeable. Les anomalies décelées pour certains métaux peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Comme ces anomalies concernent des métaux très utilisés dans les activités anthropiques et elles se manifestent d'une manière brutale et assez limitées dans le temps, renseignent beaucoup plus sur un impact anthropique que celui naturel.

Pour mieux élucider l'archive géochimique des sédiments de ce barrage, ces observations et cette analyse sont à confronter avec d'autres données non disponibles présentement, tels que :

- Le fond géochimique local et régional dont dépend en partie l'enrichissement des sédiments en métaux,
- La nomenclature des activités industrielles et la gestion de sa charge polluante dont peut dépendre les anomalies observées pour certains métaux.
- Le recensement des événements naturels exceptionnels du passé dans la région, telles que les intempéries sévères et les inondations dont peut dépendre l'enrichissement chronique et/ou ponctuel des sédiments en métaux traces (Tableau 3, Fig8).

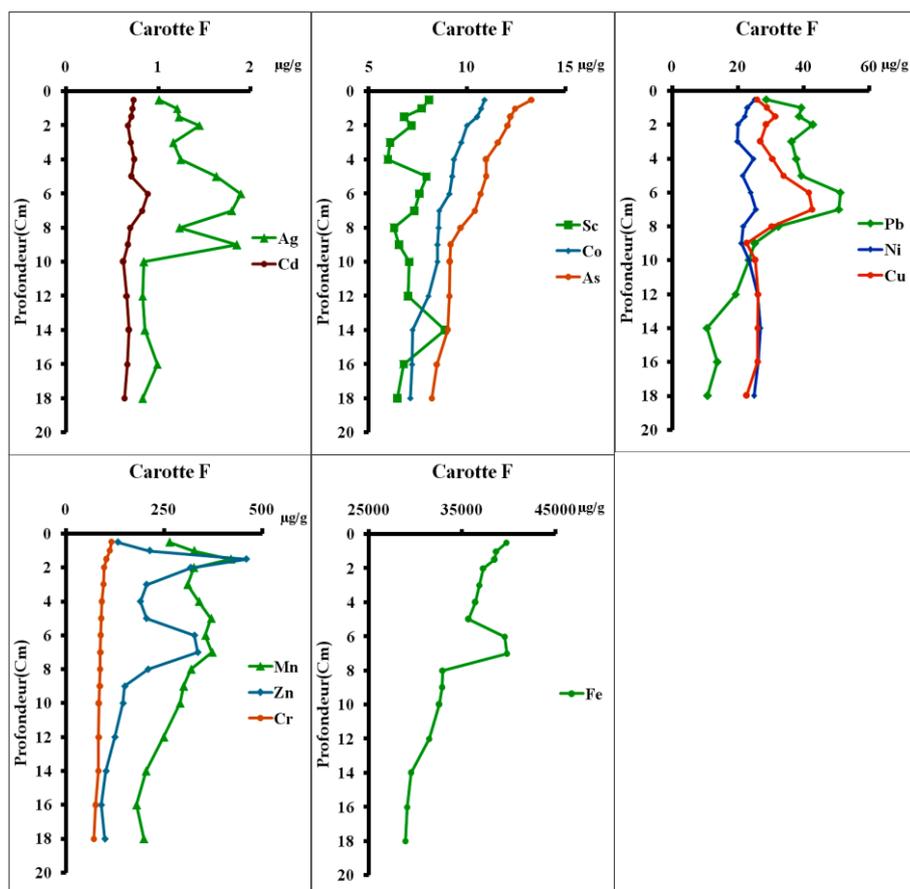


Figure 08: Les profils verticaux des métaux traces dans la carotte sédimentaire du Barrage de la Fontaine des Gazelles

Tableau 03: Teneurs en µg/g des métaux traces et de l'arsenic de la carotte sédimentaire F prélevée dans le Barrage de la Fontaine des Gazelles

Profondeur (cm)	Mn	Zn	Ag	Pb	Sc	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	As	Cd	
F1	0,5	263,70	131,85	1,01	28,66	8,06	115,85	39729,98	10,90	25,08	25,79	13,29	0,73
F2	1	326,51	213,26	1,21	39,31	7,69	112,05	38676,01	10,73	22,93	28,76	12,44	0,72
F3	1,5	420,11	460,06	1,22	38,74	6,81	102,92	38486,99	10,52	22,15	31,49	12,22	0,71
F4	2	325,55	317,77	1,45	42,89	7,17	97,72	37284,57	9,99	20,09	28,69	12,08	0,67
F5	3	309,89	204,95	1,16	36,40	6,10	95,61	36845,71	9,72	19,92	26,91	11,59	0,70
F6	4	338,85	189,42	1,24	37,82	5,98	91,15	36449,17	9,35	24,77	30,60	10,99	0,74
F7	5	369,92	204,96	1,63	39,33	7,94	90,42	35707,93	9,25	21,41	33,84	10,97	0,71
F8	6	355,29	327,65	1,90	51,24	7,58	88,75	39549,87	9,12	23,85	41,56	10,68	0,88
F9	7	372,50	336,25	1,80	50,84	7,32	87,70	39813,13	8,58	25,57	42,72	10,40	0,82
F10	8	318,61	209,30	1,23	32,37	6,29	87,61	32927,47	8,57	21,71	30,43	9,69	0,69
F11	9	299,34	149,67	1,85	25,14	6,54	86,52	32833,01	8,51	21,18	22,61	9,16	0,67
F12	10	290,41	145,20	0,84	23,46	7,05	83,81	32575,47	8,50	23,34	25,37	9,15	0,62
F13	12	248,84	124,42	0,83	29,26	7,00	83,57	31459,93	8,03	25,99	26,25	9,11	0,66
F14	14	203,64	101,82	0,86	23,64	8,87	82,95	29534,29	7,22	26,87	25,96	9,01	0,69
F15	16	179,28	89,64	0,99	16,79	6,79	75,89	29111,84	7,21	26,11	25,99	8,48	0,66
F16	18	197,81	98,91	0,83	19,81	6,45	71,55	28924,56	7,13	24,95	22,76	8,21	0,63
Moyenne		301,27	301,27	206,57	1,25	33,48	7,10	90,88	34994,37	8,96	23,50	29,36	10,47

Ecart type	67,94	67,94	104,57	0,37	10,34	0,78	11,82	3932,74	1,22	2,23	5,84	1,56
Max	420,11	420,11	460,06	1,90	51,24	8,87	115,85	39813,13	10,90	26,87	42,72	13,29
Min	179,28	179,28	89,64	0,83	16,79	5,98	71,55	28924,56	7,13	19,92	22,61	8,21

4.6 Facteurs d'Enrichissement (FE)

On observe au niveau de la carotte sédimentaire prélevée au niveau du Barrage de la Fontaine des Gazelles que les facteurs d'enrichissement pour les éléments : Co, Ni, Fe et Ag ne dépassent pas 2 ce qui les rend dans la gamme de la variabilité naturelle ; pour les autres métaux traces, il y'a une légère contamination avec des facteurs d'enrichissement modérée pour l'ensemble des métaux : $0,75 < EF(Pb) < 4,34$; $0,87 < EF(Mn) < 2,35$; $0,66 < EF(Cd) < 2,52$; $0,97 < EF(Ag) < 2,83$; $0,69 < EF(Cu) < 3,38$. Un

enrichissement significatif est constaté dans les premiers centimètres de la carotte [1–4] cm pour : $(0,88 < FE(Zn) < 5,16)$ et $(0,96 < FE(Cr) < 5,64)$, et le long de la carotte pour $(1,95 < FE(As) < 9,18)$ donc le milieu est contaminé en As (Tableau 4).

Les anomalies décelées pour quatre métaux (Zn, Cu, Pb et Ag) sont plus ou moins bien renseignées par les facteurs d'enrichissement. L'anomalie du fer, par contre, n'est pas détectée par le facteur d'enrichissement et ceci revient au fait que ce métal se présente avec des concentrations très élevées (Tableau 4).

Tableau 04: Facteurs d'enrichissement des éléments métalliques identifiés dans la carotte F

Profondeur (Cm)	F.E (Mn)	F.E (Zn)	F.E (Ag)	F.E (Pb)	F.E (Fe)	F.E (Cr)	F.E (Ni)	F.E (Cu)	F.E (Cd)	F.E (Co)	F.E (As)
0,5	1,24	1,24	1,04	2,23	1,24	3,11	1,30	1,78	1,84	1,39	9,18
1,0	1,62	2,12	1,57	3,19	1,27	3,21	1,24	2,80	1,91	1,33	8,33
1,5	2,35	5,16	1,80	3,56	1,43	1,76	1,36	3,38	2,12	1,37	4,81
2	1,73	3,38	2,02	3,74	1,31	1,58	1,17	2,92	1,91	1,47	1,95
3	1,93	2,57	1,91	3,73	1,53	5,64	1,36	2,45	2,35	1,35	2,86
4	2,16	2,42	2,08	3,95	1,54	1,77	1,73	2,84	2,52	1,53	3,57
5	1,77	1,97	2,06	3,09	1,13	2,64	1,12	2,37	1,82	1,55	3,78
6	1,78	3,30	2,51	4,23	1,32	1,52	1,31	3,05	2,38	1,15	4,52
7	1,94	3,50	2,46	4,34	1,37	1,55	1,45	3,24	2,29	1,13	2,63
8	1,93	2,54	1,95	3,21	1,32	1,80	1,44	2,69	1,93	1,17	2,30
9	1,74	1,75	2,83	2,40	1,27	1,82	1,35	2,35	1,31	1,35	3,01
10	1,57	1,57	1,20	2,08	1,17	1,38	1,38	2,00	0,93	1,30	4,37
12	1,35	1,36	1,18	1,72	1,13	1,39	1,55	2,08	1,05	1,14	4,83
14	0,87	0,88	0,97	0,75	0,84	0,96	1,03	0,69	0,66	1,03	5,54
16	1,01	1,01	1,46	1,27	1,08	0,96	0,99	1,31	1,41	0,81	8,06
18	1,17	1,17	1,29	1,05	1,13	1,11	0,97	1,10	1,06	1,05	6,79

4.7 Corrélation inter-métaux

Les résultats obtenus sur dix-huit échantillons révèlent, pour les douze métaux analysés, que des bonnes corrélations positives sont observées pour la majorité des couples de métaux, ce qui signifierait que ces éléments évoluent dans le même sens des variations des

concentrations dans la carotte. Cela signifie que les éléments étudiés sont inter dépendants et qu'ils sont beaucoup plus régis par les facteurs naturels que celui anthropique et qu'ils ont d'une manière globale, la même origine naturelle. Ceci corrobore en grande partie ce qui a été déjà signalé plus haut (Tableau 5).

Tableau 05: Matrice de corrélations entre les métaux dans la carotte sédimentaire du Barrage de la Fontaine des Gazelles.

	Mn	Zn	Ag	Pb	Sc	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	As	Cd
Mn	1											
Zn	0,86	1										
Ag	0,65	0,55	1									
Pb	0,88	0,80	0,74	1								
Sc	-0,10	-0,05	0,01	-0,03	1							
Cr	0,49	0,40	0,14	0,51	0,26	1						
Fe	0,79	0,72	0,56	0,90	0,12	0,78	1					
Co	0,67	0,55	0,26	0,66	0,06	0,95	0,86	1				
Ni	-0,54	-0,41	-0,41	-0,45	0,35	-0,33	-0,34	-0,51	1			
Cu	0,67	0,68	0,66	0,81	0,17	0,12	0,63	0,21	0,02	1		
As	0,60	0,54	0,24	0,66	0,18	0,95	0,87	0,97	-0,41	0,27	1	
Cd	0,53	0,54	0,67	0,75	0,22	0,28	0,71	0,31	0,10	0,88	0,38	1

Corrélation significatives ($p < 0,05$) en gras

Le couple d'éléments Mn-Ni montre, par rapport aux autres couples, de bons coefficients de corrélations négatives. Cette corrélation signifie que pour les deux couples, la relation est inversement proportionnelle dans le temps.

Les corrélations non significatives entre les couples d'éléments métalliques tels que : Mn- Cr, Zn- Cr, Ni-Zn et Cu-As impliqueraient que ces métaux ne proviennent pas des mêmes sources naturelles et/ou anthropiques et qu'ils n'ont pas les mêmes affinités et les mêmes comportements chimiques et géochimiques dans l'environnement naturel.

Le Scandium, élément assez rare, ne se corrèle avec aucun des métaux étudiés, ceci laisserait penser que cet élément évolue indépendamment des autres.

5 CONCLUSION

Les résultats d'analyse par DRX et de la composition chimique par XRF, permettent de déterminer les phases minéralogiques dominantes dans la carotte. Dans cette recherche, on observe la dominance des carbonates de calcium : Calcite, aragonite et dolomite, suivie des silicates : Quartz, Goethite et d'Anatase. Le dosage du calcaire total a confirmé ces résultats ou on a trouvé que le sédiment est très fortement calcaire. Le taux de la matière organique est faible avec une certaine hétérogénéité dans sa distribution le long de la carotte, donc un apport irrégulier de la même source.

Les métaux : argent, plomb, zinc et fer ont une distribution hétérogène des concentrations le long de la carotte, les autres métaux traces sont marqués par une répartition homogène. Les valeurs les plus élevées des métaux traces sont observées au niveau des couches superficielles de la carotte [1 –8] cm. Les profils verticaux des teneurs des couples de métaux : Cu-Pb et As-Co montrent une forte similitude entre les couples, cela est certainement du à un apport continu et d'une même source.

L'analyse de l'évolution du taux la matière et des carbonates de calcium dans le sédiment a permis de montrer que cette évolution pourrai être engendrée, i) à l'échelle locale du barrage par le développement d'espèces

biologiques à test calcaire qui dévorent la biomasse produite dans la masse d'eau du barrage et ii) à l'échelle régionale par l'amointrissement de la biomasse (couverture végétale, agriculture ...) par les changements climatiques qui pourrai, aussi engendrer une érosion significative.

Les métaux se présentent en deux groupes. Un groupe (Pb, Zn, Co, Fe ...) dont la concentration augmente avec le temps dans le sédiment à partir du fond en raison des apports externes dont l'origine est mixte (naturelle et anthropique). Cependant, tous les indices convergent pour dire que l'origine naturelle est assez prédominante. Le deuxième groupe des métaux (Cd, Sc, Ni, Cr) présente des concentrations assez stationnaires avec le temps.

Cinq métaux (Zn, Pb, Cu, Fe et Ag) manifestent des anomalies le long de la carotte. Pour le Zn, le Pb, le Cu et le Fe l'anomalie se situe entre 9 et 5 cm de profondeur et ne peut être qu'anthropique. L'anomalie de l'Ag s'étale sur une plus grande épaisseur entre 10 cm de profondeur et la surface du sédiment et elle présente des fluctuations dans le temps.

Bien que la majorité des observations et autres paramètres étudiés (corrélation inter métaux, facteur d'enrichissement ...) renseignent beaucoup plus sur l'origine naturelle comme potentielle, les concentrations modérément élevées relevées pour certains métaux sont à confronter avec celles du fond géochimique local/régionale pour déterminer relativement l'importance de l'origine naturelle de celle anthropique.

REFERENCES

- [1] Agostini F., 2006. Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins. Thèse de Doctorat de l'Université des Sciences et Techniques de Lille, France, p188+annexes.
- [2] A.N.A.T, 2003. Etude Schéma Directeur des Ressources en Eau. Wilaya de Biskra. Rapport .60P
- [3] ANRH, 2005. Carte des pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie pour la période de Septembre 1965 à 2002. Echelle 1: 500000, effectué par l'institut

- National de Cartographie et de Télédétection à Alger.
- [4] Amri C., 2006. Les Collemboles de quelques habitats et biotopes de l'est algérien : Inventaire et dynamique saisonnière. Mémoire Magister de l'Université Mentouri Constantine, Algérie, 108p.
- [5] Audry S., Schäfer J., Blanc G. And Jouanneau J.M., 2004. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environ. Pollut.* 132(3): 413-426.
- [6] Baize, D., 1997. Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Editions, Paris, France, 408 p.
- [7] Boudjema A, 2015. Hydrogéologie, vulnérabilité et modélisation de la nappe du Mio-Pliocène d'El Outaya, (Biskra, Sud-Est algérien). Thèse Doctorat de l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 151p + annexes.
- [8] Bouhali A., 2005. Synthèse, Caractérisation et Etude Structurale par Diffraction des RX des Oxalates mixtes à base de Plomb, de Lanthane et de Strontium. Magister En Chimie Université Mentouri de Constantine, Algérie, p99+annexes.
- [9] Bougherara M., 2011. Etude du fond géochimique de la région de Tlemcen Par la technique XRF. Mémoire de Magister Chimie Option : Spectrochimique et Méthode d'Analyse de l'Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algérie, p77. <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/handle/112/2336>
- [10] Boumesseneh A., 2007. Les inondations dans la ville de BISKRA, Causes et Impacts(Algérie). Mémoire Magistère de l'Université de El Hadj Lakhdar-Batna, Algérie, 202 p.
- [11] Boust, D., Fischer, J.C., Ouddane, B., Petit, F., and Wartel, M., 1999. Fer et manganèse: réactivités et recyclages. Rapport Seine Aval. Ifremer, France, 40 pp.
- [12] Bouzonville, A., Colin, A., Durin, L., Gruffat, V. Et Chassagnac, T., 2008. Analyse rapide des métaux et autres minéraux dans des milieux solides pollués (déchets, sols) à l'aide de méthodes non destructives de terrain par fluorescence X. Rapport Final, RECORD(REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement), France, p 44.
- [13] Clarisse, O ; Ouddane, B ; Fischer. J. C Et Wartel, M. (2004). Les sédiments : puits ou source de contaminants métalliques ? Contribution au projet pluridisciplinaire dynamique du fonctionnement des vasières (DYVA). Programme Seine-Aval 2. Rapport annuel 2003. P : 1-14.
- [14] Cazalet Loustau, M., 2012. Caractérisation physico-chimique d'un sédiment marin traité aux liants hydrauliques – Évaluation de la mobilité potentielle des polluants inorganiques. Thèse Doctorat en Sciences de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, p218+ annexes.
- [15] Charlou, J. & Joanny, M., 1983. Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, zn, cu ,cd, co, ni, cr, mn) dans les sédiments marins par absorption atomique. In aminot, a., chaussepied, m. (eds): manuel des analyses chimiques en milieu marin. Bndo/documentation, brest, p285-295.
- [16] Emmanuelle F., 2010. Détermination des niveaux historiques en radionucléides et éléments traces métalliques à partir d'enregistrements sédimentaires au sein des marges alluviales du Rhône aval et de la Têt. Rapport finale DEI/SESUREN°2010-02, IRSN.
- [17] Forstner, U., & Salomons, W., 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: assessment of sources and intensities. *Environmental Technology Letters*, vol.I, pp.494-505.
- [18] Haouchine A., 2010. Hydrogéologie en zone semi aride et aride : région de Biskra (Algérie). Thèse Doctorat de l'Université de Houari Boumediene – Alger, Algérie, 155 p.
- [19] Hubert F., 2008. Modélisation des diffractogrammes de minéraux argileux en assemblages complexes dans deux sols de climat tempère. Implications minéralogique et pédologique. Thèse Doctorat de l'Université de Poitiers, p46.
- [20] Lecornu J., 1998. Les barrages et la gestion des eaux. Paper presented at the International Conference Water and Sustainable Development, Paris, France.
- [21] Lesouef, A ; Belamie, R Et Montiel, A. (1979). Un indicateur de pollution à mémoire. L'analyse des métaux dans les sédiments de rivière. *J. Fr. Hydrol* ; 10 (3) :165-172
- [22] MA.1010–PAF1.0, 2003. Détermination de la matière organique par incinération : méthode de perte de feu (PAF). Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Ministère de l'Environnement du Québec, Canada, p9.
- [23] Meybeck M., Lestel L., Bonté P., Moilleron R., Colin J.L., Rousselot O., Hervé D., De Pontevès C., Grosbois C. and Thévenot D.R., 2007, Historical perspective of heavy metals contamination (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) in the Seine River basin (France) following a DPSIR approach (1950-2005). *Sci. Total Environ.* 375(1-3): 204-231.
- [24] Petit J.C.J., 2009. Géochimie isotopique du Cu- Zn et spéciation des éléments en trace métalliques par titrage acidimétrique. Développement et applications aux phases particulières de l'estuaire de l'Escaut, aux émissions atmosphériques et aux sols contaminés d'Angleur/Prayon. . Thèse Doctorat de l'université libre de Bruxelles, Belgique, p305.
- [25] Radakovitch O., Roussiez V., Ollivier P., Ludwig W., Grenz C., Probst J.L., 2008. Input of particulate heavy metal from rivers and associated sedimentary deposit on the Gulf of Lion continental shelf. *Estuarine Coastal and shelf Science*, 77, 285-295.
- [26] Rerboudj A., 2005. Essai de quantification de l'érosion et perspective de la protection du barrage de la Fontaine des Gazelles contre l'envasement (approche numérique). Mémoire de Magister de l'Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 147p.
- [27] Rousset D., 2002. Etude de la fraction argileuse de séquences sédimentaires de la Meuse et du Gard.

- Reconstitution de l'histoire diagénétique et des caractéristiques physico-chimiques des cibles. Aspects minéralogiques, géochimiques et isotopiques. Thèse Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, France, p227+annexes.
- [28] Rayms-Keller A., Olson K. E., McGaw M., Oray C., Carlson J. O. & Beaty B. J., 1998. Effect of Heavy Metals on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 39: 41-47.
- [29] Sedrati N., 2011. Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de Biskra-sud est Algérien. Thèse Doctorat de l'Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, 252p + annexes.
- [30] Salvarredy Aranguren M. M., 2008. Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse Doctorat de l'Université Toulouse III –Paul Sabatier, France, p375+annexes.
- [31] Tebbi F.Z., 2014. Modélisation de la régularisation des barrages dans la région des aurès. Thèse Doctorat de l'Université Hadj Lakhdar Batna, Algérie, 123p + annexes.
- [32] Tessier E., Garnier C., Mullot J., Lenoble V., Arnaud M., Raynaud M., et Mounier S., 2011. Study of the spatial and historical distribution of sediment inorganic contamination in the Toulon Bay (France) *Mar.Pollut.Bull.*2011.07.022.
- [33] Wang X., Smethurst P., Herbert A., 1996. Relationships between three measures of organic matter or carbon in soils of eucalypt plantations in Tasmania. *Australian Journal of Soil Research* 34: 545–553.
- [34] Wang Q., Li Y., Wang Y., 2011. Optimizing the weight loss-on-ignition methodology to quantify organic and carbonate carbon of sediments from diverse sources. *Environmental Monitoring and Assessment* 174: 241–257.