



Etude physico-chimique des sables des eaux marines de la région de Sidi Ifni: granulométrie et détermination de la concentration des métaux lourds **(Physico-chemical study of marine waters sands in the region of Sidi Ifni: particle size and determination of the concentration of heavy metals)**

A. Laasri*, S. Et-taleb, Y. Morad, M. Hilali, A. Benhachemi

Laboratoire Matériaux et Environnement (LME), Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Département de chimie, Cité Dakhla B.P 8106, Agadir, Maroc

Received 06 June 2016, Revised 19 Oct 2016, Accepted 22 Oct 2016

**Corresponding author. E-mail: laasri06@gmail.com*

Résumé

Les métaux lourds sont considérés comme des éléments toxiques pour la faune, la flore, la santé humaine et animale. Dans notre travail, les sables et les eaux marines sont prélevés dans huit zones, située entre la plage d'Aglou et le port de Sidi Ifni. Ils sont caractérisés par des méthodes physico-chimiques et spectroscopiques (RX, ICP,...). Nous avons suivi les concentrations des traces des métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) par Spectrométrie d'Absorption Atomique. L'analyse physico-chimique a montré que les sept types de sables sont très riche en quartz SiO₂ et la calcite CaCO₃. Généralement les concentrations des métaux lourds dans les sables et les eaux marines prélevées dépendent de la nature du métal, et le site de prélèvement. Les résultats trouvés indiquent que les teneurs des métaux lourds ne dépassent pas les normes Marocaines.

Mots Clés : Métaux lourds, sable, eaux marines, Méthode physico-chimique

Abstract

Heavy metals are considered as toxic elements for the fauna, the flora, the human and animal health. In our work, the sands and marine waters are collected in eight zones, located between the beach of Aglou and the port of Sidi Ifni. They are characterized by physico-chemical methods and spectroscopic (RX, PKI,...). We have followed the concentrations of traces of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) by atomic absorption spectrometry. The physicochemical analysis showed that the seven types of sands are very rich in quartz SiO₂ and calcite CaCO₃. Usually the concentrations of heavy metals in the sands and the marine waters collected depend on the nature of the metal, and the sampling site. The results found indicate that the levels of heavy metals do not exceed the Moroccan standards.

Keywords: Heavy metals, sand, sea water, physico-chemical methods

1. Introduction

La pollution d'origine métallique est l'un des risques majeurs dans le monde d'aujourd'hui. Ceci est un problème courant qui concerne toutes les régions côtières [1]. En effet, plusieurs métaux lourds peuvent être très dangereux pour la santé de l'homme et pour les êtres vivants lorsqu'ils sont présents dans l'environnement à des concentrations élevées [2]. En Afrique, plusieurs études ont révélé une pollution des sédiments de surface dans l'environnement côtier marin ou dans les lacs et rivières par les métaux lourds sous forte pression industrielle et urbaine [3 - 8].

L'arsenic, le cadmium, le chrome, le cuivre, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc (les métaux et les metalloïdes) sont les micropolluants minéraux majeurs existant dans les rejets [9].

La nature est considérée comme la source majeure de la pollution par les métaux lourds, au cours du drainage des eaux dans les terrains riches en minéraux. Cela explique les teneurs observées dans les effluents et dans les sédiments.

L'objectif du présent travail est de caractériser la variabilité granulométriques des différents sites entre la plage d'Aglou et le port de Sidi Ifni, et la teneur des métaux en traces dans les différents sables et eaux marines.

En outre, les sables ont été caractérisés par diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie d'émission atomique avec Plasma Couplé par Induction (ICP-SEA) et la spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

2. Echantillonnage

2.1. Situation géographique des sites de prélèvement :

Huit sites situés entre la plage d'Aglou et le port de Sidi Ifni ont été étudiés. La zone est située entre 100 et 170km au sud de la ville d'Agadir-Maroc, sur l'océan Atlantique (voir Figure 1). Les coordonnées géographiques des sites étudiés sont comprises entre 29° 23' 02,8" et 29° 48' 17,1" de latitude Nord et 09° 50' 00,1" et 10° 10' 27,3" de latitude Ouest.

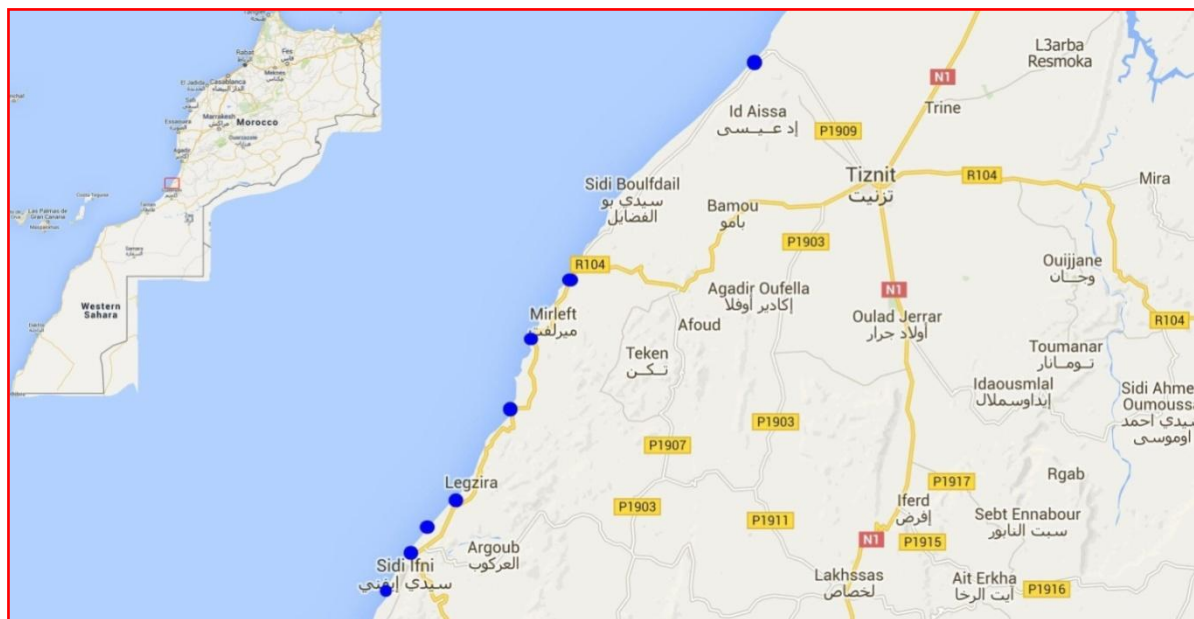


Figure 1: Situation de la région de Tiznit – Sidi Ifni sur la carte du Maroc,. Les points bleus correspondent à la localisation des sites étudiés. (Source: www.google.com/map)

Tableau 1 : Les paramètres géographique des zones de prélèvement

Zone	Nom	Position	Zone	Nom	Position
Z1	AGLOU	N : 29° 48' 17,1" W : 09° 50' 00,1"	Z5	TAMAHROUCHT	N : 29° 33' 00,4" W : 10° 03' 35,5"
Z2	BIGHANIM	N : 29° 38' 59,2" S : 09° 59' 31,8"	Z6	ELGZIRA	N : 29° 26' 23,3" W : 10° 07' 15,5"
Z3	GRIZIME	N : 29° 37' 58,2" S : 10° 00' 28,8"	Z7	SIDI IFNI PLAGE	N : 29° 23' 02,8" W : 10° 10' 27,3"
Z4	MIR LEFT MOULAY ALI CHRIFF	N : 29° 34' 10,3" W : 10° 03' 05,0"	Z8	SIDI IFNI PORT	N : 29° 21' 40,1" W : 10° 11' 39,2"

2.2. Echantillonnage du sable

L'échantillonnage a été effectué en janvier 2014, sur sept zones (voir le tableau 1). Chaque échantillon sableux a été prélevé mouillé au niveau de la côte, sur une surface de 200cm² et sur une profondeur d'environ 3 cm [10; 11]. Les échantillons sont laissés sécher à température ambiante pendant 120 heures.

2.3. Echantillonnage des eaux

Les eaux ont été prélevées sur une profondeur de 0,3m et un volume de 0,5L. Avant chaque prélèvement, cinq paramètres sont relevés : la température, la conductivité, la salinité, l’oxygène dissous et le pH.

3. Résultats et discussions

3.1. Caractérisation des sables

3.1.1. Analyse granulométrique

Les échantillons séchés ont fait l’objet d’une analyse granulométrique (normes AFNOR : Agence française de normalisation). Chaque échantillon a subi d’abord un tamisage à travers un tamis de 2mm, afin d’éliminer la fraction grossière [12]. 200g de sable subissent ensuite un tamisage à sec sur une colonne de 6 tamis dont les mailles s’échelonnent de 1mm à 50 μ m. Le reflux de chaque tamis est pesé. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Analyse granulométrique des sables : pourcentage des tamis cumulé en fonction du diamètre.

		Diamètre (mm)						
		0,05	0,08	0,1	0,315	0,5	0,6	1
% des tamis cumulé	Z1 : AGLOU	0,00	0,01	0,03	72,46	99,23	100	100
	Z2 : BIGHANIM	0,00	0,01	0,02	47,98	97,19	100	100
	Z3 : GRIZIME	0,00	0,00	0,02	74,33	99,20	100	100
	Z4 : MIR LEFT	0,00	0,00	0,01	91,66	99,91	100	100
	Z5 : TAMAHROUCHT	0,00	0,01	0,02	48,95	98,43	100	100
	Z6 : ELGZIRA	0,00	0,00	0,02	86,61	99,80	100	100
	Z7 : SIDI IFNI- PLAGES	0,00	0,01	0,02	72,28	99,21	100	100

La figure 2 représente les pourcentages des tamis cumulé en fonction des tailles des tamis correspondants.

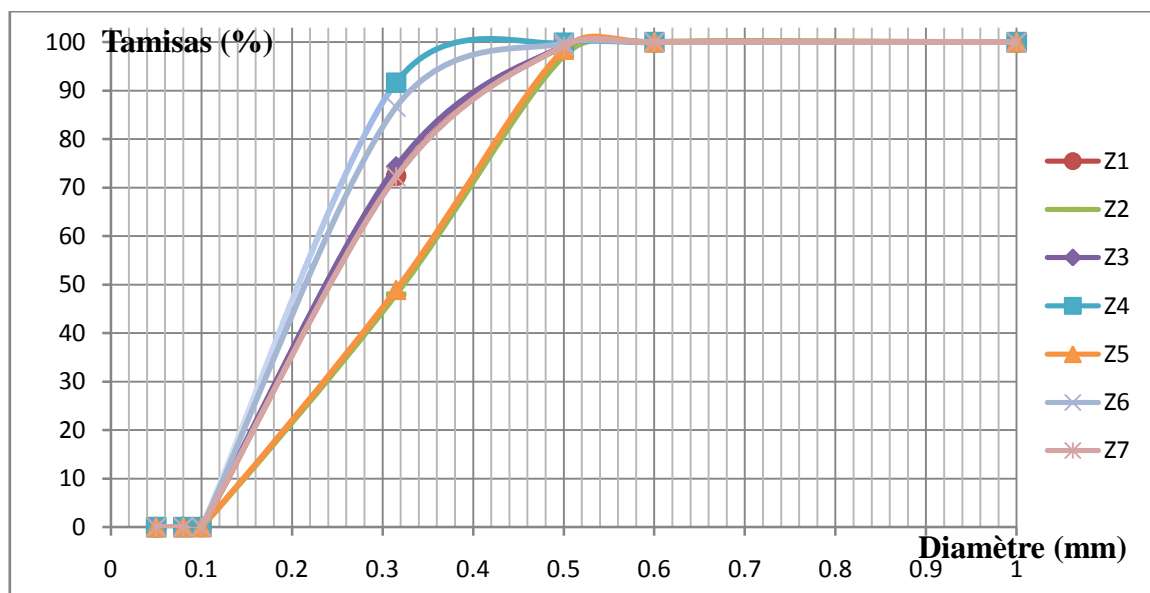


Figure 2 : Courbes granulométriques des différents types de sable

A partir de ces courbes, on peut calculer les diamètres effectifs D_{10} et D_{60} de chaque sable et leurs coefficients d’uniformité (C_u). Les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Les paramètres de base des sables utilisés

Paramètre*	D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	Observations	K (cm/s)
------------	---------------	---------------	-------	--------------	----------

Z1 : AGLOU	0,130	0,270	2,077	Sable étalé	0,017
Z2 : BIGHANIM	0,150	0,350	2,333	Sable étalé	0,023
Z3 : GRIZIME	0,130	0,265	2,038	Sable étalé	0,017
Z4 : MIR LEFT	0,125	0,230	1,840	Sable séré	0,016
Z5 : TAMAHROUCHT	0,150	0,350	2,333	Sable étalé	0,023
Z6 : ELGZIRA	0,125	0,240	1,920	Sable séré	0,016
Z7 : SIDI IFNI- PLAGÉ	0,130	0,270	2,077	Sable étalé	0,017

*Définition des paramètres [12,13] :

- D_{10} (D_E) : correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10% de la masse de l'échantillon.
- D_{60} : correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 60% de la masse de l'échantillon.
- $C_u = D_{60}/D_{10}$: le coefficient d'uniformité.
- $K=100(D_{10})^2$: Perméabilité : Il caractérise la vitesse d'écoulement de l'eau au sein d'un matériau

D'après les courbes granulométriques on peut conclure que le diamètre des sables est compris entre 0,1 et 0,5mm. Les sables de la zone 4 et 6 montrent une richesse en grains fins avec une granulométrie uniforme « $C_u < 2$ ». Par contre les sables des autres zones possèdent une granulométrie plus grande et moins uniforme. Les sables des zones 2 et 5 sont identiques. De même pour les sables des zones 1, 3 et 7.

Le tableau 3 montre que la perméabilité de toutes les zones est assez élevée [14]. La perméabilité est autour de la valeur 0,017 pour les sables des zones Z1, Z3, Z4, Z6 et Z7, et 0,023 pour les sables Z2 et Z3.

3.1.2. Diffraction des rayons X (DRX)

La technique de diffraction des rayons X permet de déterminer les différentes phases cristallines d'un corps solide, et aussi de déterminer la taille de cristallites.

L'appareil utilisé est équipé d'un tube à rayons X avec anti-cathode en cuivre (radiation $K\alpha_1$ et $K\alpha_2$), d'un porte échantillon tournant combiné à un passeur automatique, ainsi d'un détecteur X'Celerator associé à un monochromateur secondaire. Les longueurs d'onde utilisées sont :

$$\lambda_{K\alpha_1} = 1,540 \text{ \AA} \text{ et } \lambda_{K\alpha_2} = 1,544 \text{ \AA}$$

L'analyse des diffractogrammes enregistrés (par exemple figure 3) permet d'identifier les différentes phases présentes dans le sable par comparaison à la base de données ICDD PDF2 (The International Centre for Diffraction Data Powder Diffraction File version 2). Les différents composés et leurs formules chimiques sont regroupés dans le tableau 4.

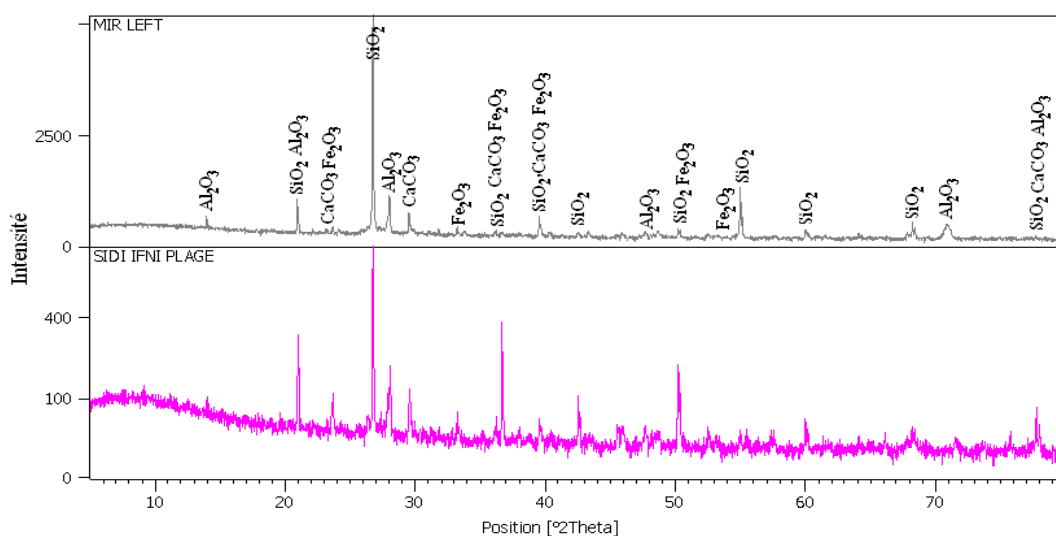


Figure 3 : Diffractogrammes des sables de la plage de Mirleft et Sidi Ifni

Tableau

Type du sable	Nom du composé	Formule chimique
---------------	----------------	------------------

Z1 : AGLOU-	Quartz - alpha	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃
Z2 : BIGHANIM	Quartz - alpha	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃
	Aragonite	Ca(CO ₃)
Z3 : GRIZIME	Quartz - alpha	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃
	Aragonite	Ca(CO ₃)
Z4 : MIR LEFT	Quartz ,syn	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃
Z5 : TAMAHROUCHT	Quartz ,syn	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃
Z6 : ELGZIRA	Quartz - alpha	SiO ₂
	Calcite, syn	CaCO ₃
Z7 : SIDI IFNI- PLAGES	Quartz - alpha	SiO ₂
	Calcite	CaCO ₃

L'analyse des sables a montré que le quartz et la calcite sont les deux phases dominantes pour tous les échantillons. Les autres minéraux sont minoritaires. Pour les identifier il est nécessaire d'utiliser d'autres techniques.

3.1.3. La spectrométrie d'émission atomique : I.C.P

La spectrométrie d'émission atomique avec Plasma Couplé par Induction (Inductively Coupled Plasma) des différents types de sable a permis de déterminer leurs compositions minéralogiques. Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux 5 et 6.

Le tableau 5 regroupe les pourcentages moléculaires des oxydes présents dans chaque échantillon.

Tableau 5 : Pourcentages moléculaires des oxydes contenus dans les sables (ICP)

Zone	% Moléculaire									
	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Perte
Z1	46,95	20,55	6,68	2,39	1,73	1,58	0,24	0,12	0,03	19,73
Z2	53,11	16,48	7,01	1,88	2,17	1,19	0,15	0,08	0,02	17,91
Z3	53,50	17,27	6,99	2,08	1,98	1,28	0,16	0,09	0,02	16,63
Z4	48,39	19,94	6,41	2,21	1,72	1,55	0,23	0,14	0,02	19,39
Z5	50,89	17,97	6,91	1,89	1,99	1,22	0,16	0,08	0,02	18,87
Z6	53,30	16,05	7,61	1,87	2,15	1,22	0,18	0,10	0,02	17,50
Z7	52,76	17,73	6,58	1,67	1,94	1,08	0,15	0,07	0,02	18,00

On remarque que les principaux constituants des sept types de sables sont la silice SiO₂ et l'oxyde de calcium CaO ce qui est en bon accord avec les résultats obtenus par DRX. La zone 1 contient un taux en silice plus faible que les autres sites. Par contre, il présente le plus fort pourcentage de CaO, MgO et de Fe₂O₃. Toutes les zones contiennent un taux non négligeable d'alumine d'environ 7% et de MgO et K₂O compris entre 1 et 2 % [15]. Les taux en P₂O₅, TiO₂ et MnO sont faibles mais comparables aux pourcentages normaux [16,17].

Le tableau 6 rassemble les concentrations des métaux en traces déterminées par spectrométrie ICP. Les résultats obtenus montrent que les sables de tous les sites se caractérisent par une variété des métaux.

Tableau 6 : Concentration (en ppm) des métaux contenus dans les sables déterminée par ICP

Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
----	----	----	----	----	----	----

Sr	732	633	612	640	619	561	586
Ba	241	322	291	253	308	348	326
Nb	92	56	117	54	58	85	48
Sn	81	64	102	64	70	75	54
Zn	66	9	21	54	35	80	50
B	41	32	33	39	32	45	34
Cr	27	22	23	28	35	35	30
Cu	30	14	27	21	24	25	35
Co	20	12	15	14	22	20	25
Y	12	9	12	12	11	12	12
Pb	43	30	40	31	98	39	42
Mo	<8	19	10	10	15	<8	14
As	<8	30	<8	<8	49	<8	34
Ni	<17	<17	<17	<17	24	<17	25
Se	<40	<40	<40	<40	<40	<40	<40
Sb	<32	<32	<32	<32	<32	<32	<32
W	<23	<23	<23	<23	<23	<23	<23
Bi	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Li	<15	<15	<15	<15	<15	<15	<15
Ge	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Be	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

La zone 1 contient un taux en Baryum le plus faible, mais une concentration en Strontium la plus forte comparée aux autres sites. La zone 2 possède une teneur plus faible en Bore, Cobalt, Chrome, Cuivre, Plomb, Yttrium et Zinc que les autres zones. Par contre, il contient la plus forte concentration de Molybdène. La zone 3 présente une concentration plus élevée de Niobium et d'Étain.

Dans la zone 5 l'Arsenic et le Plomb ont des teneurs plus fortes que les autres zones. La zone 6 possède des teneurs maximum de Bore, Baryum, Chrome et zinc. Mais il présente une teneur minimum de Strontium.

Les taux de Cobalt, Cuivre et Nickel sont très importants dans la zone 7. Par contre cette zone possède la teneur la plus faible de Niobium et d'Étain.

La figure 6 représente la répartition des concentrations en métaux lourds (Cu, Pb, Zn, Cd) dans les sept types de sables prélevés dans les différentes zones.

On constate que la valeur la plus élevée a été enregistrée dans la zone 7 (35ppm) pour le cuivre. La teneur de ce métal dans les sites Z1, Z3, Z6 et Z7 dépasse les normes données par USEPA [18]. La teneur maximale en zinc a été mentionnée dans la zone 6 (80ppm). Pour le plomb la valeur maximale est enregistrée dans la zone 5 (98ppm). Cette valeur dépasse les normes (19-55ppm) prescrites dans l'océan Atlantique [19].

3.2. Suivi des métaux lourds dans les eaux marines

La teneur des métaux lourds en traces dans les différentes eaux marines est suivie par la méthode de spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) au sein du laboratoire Matériaux et Environnement (LME) de l'université Ibn Zohr. L'appareil utilisé est équipé d'une lampe à cathode creuse de cadmium, cuivre, plomb et zinc, et d'un ensemble nébuliseur-brûleur air-acétylène.

Les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau 7.

La Figure 7 présente l'histogramme de répartition des concentrations en métaux lourds dans les eaux marines prélevées dans les différentes zones.

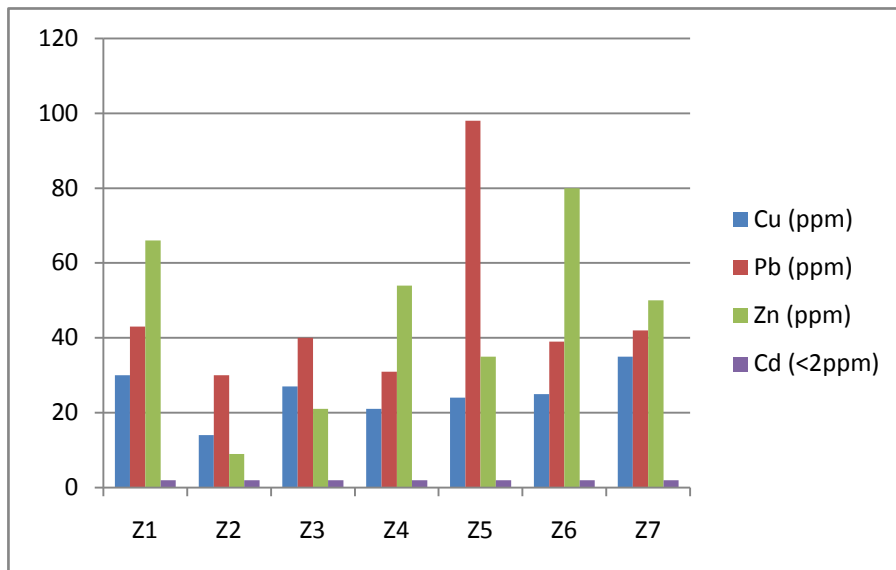


Figure 6 : Concentration (en ppm) des métaux lourds

Tableau 7 : Concentration des métaux lourds dans les eaux marines.

Zone	Concentration des métaux en traces (ppm)		
	Cd	Pb	Cu
Z1 : AGLOU	1,21	8,70	14,27
Z2 : BIGHANIM	1,58	4,27	0,64
Z3 : GRIZIME	1,19	16,22	0,43
Z4 : MIR LEFT	3,04	8,60	0,52
Z5 : TAMAHROUCHT	2,71	8,59	0,66
Z6 : ELGZIRA	3,36	7,12	0,31
Z7 : SIDI IFNI- PLAGE	0,88	6,86	0,45
Z8 : SIDI IFNI- PORT	1,94	16,19	0,47

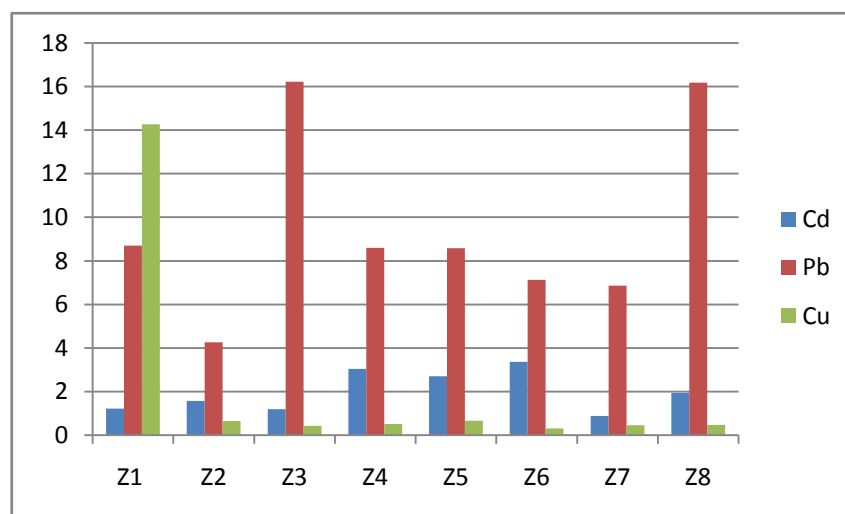


Figure 7 : Concentration (en ppm) des métaux lourds dans les eaux marines

On remarque que les concentrations en cuivre sont comprises entre 0,31 et 14,27 ppm. Mais la valeur la plus élevée (14,27) a été enregistrées dans la zone 1. Pour le plomb, la concentration moyenne enregistrée est de 9,56 ppm et la teneur maximale (16,22 et 16,18 ppm) a été enregistrée respectivement aux zones 3 et 8. Ces valeurs de teneur en plomb dépassent les concentrations de référence pour l'Atlantique [20].

Les concentrations en cadmium sont comprises entre 0,88 et 3,36 ppm avec un maximum d'environ 3ppm enregistré aux zones 4 et 6.

Conclusion

Les résultats obtenus à partir des différents paramètres granulométriques montrent que les sables de de la zone 4 et 6 sont riche en éléments très fins avec une granulométrie uniforme «Cu< 2» ; par contre le sable des autres zones possède une granulométrie grosse et variée. Le diamètre des grains de tous les sables est situé entre 0,1 et 0,5mm.

L'analyse physico-chimique réalisée sur les sables marines a montré que ce dernier se compose en grand pourcentage de quartz et la calcite presque de 50% et 17% respectivement, et en pourcentage non négligeable d'alumine d'environ 7% et de MgO et K₂O compris entre 1 et 2 %.

L'étude réalisée sur la détermination de la teneur des métaux lourds en traces dans les différentes sables et eaux marines a montré que les concentrations de métaux lourds (Cu, Pb, Zn, Cd) dépassant les normes autorisées pour le cuivre, le zinc et le plomb, même pour les zones non contaminées sont très proches des valeurs maximales autorisées.

Références

1. Ben Bouih H., Nassali H., Leblans M., Srhiri A., *Afrique Science*. 1 (1) (2005) 109-125.
2. Kanu I., Achi O.K., *Appl. Technol. Environ. Sanit.* 1 (1) (2011) 75-86.
3. Okoye B.C.O., Afolabi O. A., Ajao E.A., *Environ. Stud.* 37 (1991) 35-41.
4. Biney C., Amuzu A. T., Calamari D., Kaba N., Mbome I. L., Naeve H., Ochumba P. B. O., Osibanjo O., Radegonde V., Saah M. A. H., *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 28 (2) (1994) 134-159.
5. Obasohan E.E., Oronsaye J.A.O., Obano E.E., *Afr. J. Biotechnol.* 5 (10) (2006) 974-982.
6. Gbombele S., Bernard S. M., Nagnin S., Ernest K. A., Fernand K. K., Sompohi G. P. Z., Tanina S., *J. Biol. Chem. Sci.* 3 (6) (2009) 1408-1427.
7. Gnandi K., Tobschall H.J., *Sci. Total Environ.* 236 (1999) 181-190.
8. Horsfall, M. J., Spiff, A.I., *Environ. Monit. Assess.* 78 (2001) 309-326.
9. Miramand P., Fichet D., Bentley D., Guary J.C., Caurant F., *Earth Planet. Sci. Lett.* 327 (4) (1998) 259-264.
10. Chauhan O.S., *Coastal Res.* 8 (1) (1992) 172-182.
11. Abuodha J.O.Z., *African Earth Sci.* 36 (2003) 41-54.
12. Ez-zahery M., thèse de doctorat, Université Ibn Zohr Agadir, Maroc, (2009).
13. Aba aaki R., *Mor. J. Chem.* 2 (5) (2014) 494-501.
14. Costet J., Sanglerat G., Cours pratique de mécanique des sols, 3ème édition. (1981).
15. Ammar J.M., *Um-Salama Science Journal.* 4 (2) (2007) 285-289.
16. Ezzirari N., Bahi L., *eng. res. appl.* 2 (5) (2012) 835-845.
17. Abrid D., Laafou S., Abdallaoui A., El Hamaidi A., Essahlaoui A., *Innov. Res. Adv.* 1 (5) (2014).
18. Hamdy Y., Post L., *Creat. Lakes-Res.* 11 (3) (1985) 353-365.
19. Boutier B., Chiffolleau J.F., Auger D., Truquet I., *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 36 (1993) 133-145.
20. Lambert C., Nicolas E., Veron A., Buat-Menard P., Klin khammer G., Le Corre P., Morin P., *Oceanol. Acta*, 14 (1) (1991) 59-66.

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com/>