

# CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE LA BIOACCUMULATION MÉTALLIQUE DANS LES SÉDIMENTS ET LES ORGANISMES AQUATIQUES DU LITTORAL DE SAIDIA (MAROC ORIENTAL)

*Aouatif Fahssi*  
*Abdelhafid Chafi*

Laboratoire des Sciences de l'Eau, de l'Environnement et de l'Ecologie,  
Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed Ier,  
Oujda Maroc

---

## Abstract

The result of the coastal metal contamination in the extreme East of Morocco was based on sampling and the search for metal contamination by lead, zinc, cadmium, and iron respectively. This search was done in marine water, sediments, and in the sea. Urchin *Paracentrotus lividus*; benthic echinoderm is common in the eastern Mediterranean coast of Morocco with two sampling series (July 2011 and March 2012). The objective of this study is to evaluate the distribution of some heavy metals in the Saidia coastline, through the Biological indicator, *Paracentrotus lividus*. The heavy metal content (iron, zinc, lead and cadmium) in water, sediment, and marine organisms, were studied in four stations at the coast Saidia. The study revealed the presence of very high concentrations of metals, especially with regard to iron and zinc. Lead has relatively high values, while the cadmium is virtually absent in all samples. However, the results support a finding which is similar to the bio-accumulated metals by the sea urchin elements and those detected in water and sediment. The existence of a significant correlation between iron, zinc, and lead shows that there is a high chemical affinity between these three metals. Overall, this study allows us to identify the presence of heavy metals in water, sediment, and aquatic organisms of coastal Saidia, which is seriously disrupted by various domestic discharges, port, industrial and agricultural wastes.

---

**Keywords:** Bioaccumulation, Heavy metals, Urchin *Paracentrotus lividus*, ICP –AES, Saidia coastline

---

## Resume

Le suivi de la contamination métallique côtière de l'extrême Est marocain a été basé sur l'échantillonnage et la recherche d'une contamination métallique par le plomb, le zinc, le cadmium et le fer respectivement dans l'eau marin, les sédiments et chez l'oursin *Paracentrotus lividus*, échinoderme benthique fréquent dans la côte Est de la Méditerranée marocaine, sur deux séries de prélèvement : juillet 2011 et Mars 2012. L'objectif de ce travail est d'évaluer la distribution de quelques métaux lourds dans le littoral de Saidia, par le biais de l'indicateur biologique *Paracentrotus lividus*. Les teneurs en métaux lourds (cadmium, zinc, plomb et fer) au niveau de l'eau, des sédiments et des organismes marins (oursin *Paracentrotus lividus*), ont été étudiées dans quatre stations au niveau du littoral de Saidia. L'étude a révélé la présence des concentrations très importantes de métaux, notamment en ce qui concerne le fer et le zinc. Le plomb présente des valeurs relativement élevées, alors que le cadmium est pratiquement absent dans l'ensemble des échantillons. Cependant, les résultats obtenus permettent de constater une similitude entre les éléments bio-accumulés par l'oursin et ceux qui sont détectés dans l'eau et sédiments. L'existence d'une corrélation importante entre le fer, le zinc et le plomb montre qu'il existe une grande affinité chimique entre ces trois métaux. Dans l'ensemble, notre étude nous a permis de mettre en évidence la présence effective des métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de Saidia. Ce dernier est sérieusement perturbé par les divers rejets domestiques, portuaires, industriels et agricoles

---

**Mots clés :** Evaluation, Bioaccumulation, Métaux lourds, Oursin *Paracentrotus lividus*, ICP-AES- Littoral de Saidia

## Introduction

La pollution par les métaux lourds est un problème d'actualité, qui préoccupe toutes les communautés soucieuses de maintenir leur patrimoine hydrique à un certain degré de qualité.

Les métaux lourds sont peu métabolisés (à l'inverse des polluants organiques), ils peuvent donc être transférés dans le réseau trophique et s'accumuler dans la matière vivante (Dusquene, 1992).

Les métaux, qui sont des constituants normaux de l'environnement à l'état de traces (Bryan, 1984), Sont tous toxiques au-dessus d'un certain seuil (Kucuksezgin, 2006), Les éléments traces métalliques dits essentiels (rôle important dans les processus biologiques ex : Cuivre, Fer et Zinc) peuvent produire des effets toxiques comme ceux dits non essentiels (aucun rôle dans les processus biologiques ex : plomb et mercure) lorsque leur concentration

dépasse un certain seuil d'acceptabilité (Chiffolleau et al., 2003), (Miquell, 2001), (Turkmen et al., 2005), (Lafabrie et al., 2007).

A travers des études récentes, on constate une dégradation de plus en plus importante de la qualité de nos écosystèmes aquatiques, ce qui semble être engendré par une pollution massive et anarchique, tant par les matières organiques naturelles que par les produits industriels de synthèse, cette pollution semble affecter tous les compartiments de l'écosystème (Berg et al., 2009).

Les sédiments du fond marin sont connus par leur pouvoir d'accumulation de métaux lourds introduits dans les mers et les océans via les affluents directs industriels et urbains, les apports fluviaux et atmosphériques et lessivage des sols (Forstner et Wittmann, 1981). Ils joueraient donc le rôle d'un véritable vecteur de ces métaux aux organismes aquatiques (Pempkowiak et al., 1999). Chez ces derniers, l'accumulation biologique des métaux lourds peut se faire à partir de trois sources : l'eau, la nourriture et le sédiment.

Les mers et les océans reçoivent aujourd'hui des volumes importants en polluants comme les métaux lourds et les pesticides à partir de multiples sources tels que les rejets industriels et les rejets d'eau usée (Maamri, 2001)

Les mers semi-fermées comme la Méditerranée sont d'autant plus sensibles à cet impact que le rapport longueur des côtes sur surface de la mer est grand et que le renouvellement des masses d'eaux est moins rapide (Bellan et Peres, 1994).

Les zones côtières sont généralement fortement urbanisées et industrialisées, par conséquent, soumises à des rejets en métaux lourds d'origine anthropique parfois importants (Guillemet, 1988),

Les secteurs d'activités industrielles responsables des rejets de métaux polluants dans le littoral méditerranéen Nord Oriental sont principalement des unités algériennes situées à proximité de la ville de Saida, les deux Oueds, Moulouya et Kiss débouchant en méditerranée dans la région sont aussi à l'origine d'importants apports de matières organiques et minérales d'azote et de phosphore et dans une moindre mesure de métaux et de pesticides (Demnati et al., 2002)

l'oued Moulouya draine dans son passage les eaux de lessivage des bassins riverains où a lieu une importante activité agricole ainsi que les rejets pollués de nombreuses unités industrielles et les rejets domestiques non traités de plusieurs agglomération urbaines qui ne cessent de se développer à ses abords. Tous ces affluents apportent à l'oued Moulouya des polluants de natures diverses, en quantités notables et qui finissent inmanquablement dans la Méditerranée. (Basraoui et al., 2010).

La société métallurgique de Ghazaouat qui utilise comme matières premières des composants polymétalliques sulfureux rejette dans la mer des métaux lourds (zinc, plomb, cadmium, ect.) (Saidini, 1994),

L'étude de l'interaction entre les contaminants et les barrières biologiques est d'un intérêt considérable pour la compréhension des phénomènes éco toxicologiques et l'interprétation de la bioaccumulation et des transferts à travers les chaînes trophiques (Borgmann, 2000).

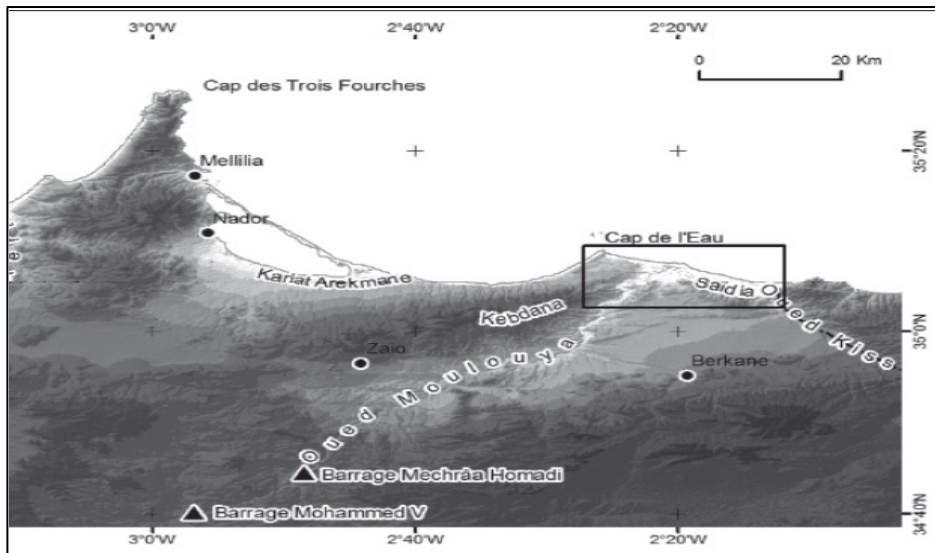
Le suivi de la contamination côtière de l'extrême Est marocain a été basé sur l'échantillonnage et la recherche d'une contamination métallique par le plomb, le zinc, le cadmium et le fer respectivement dans l'eau marin, les sédiments et chez l'oursin *Paracentrotus lividus*, échinoderme benthique fréquent dans la côte Est de la Méditerranée marocaine, sur deux séries de prélèvement dont la première série a eu lieu en juillet 2011 et la seconde en Mars 2012.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la distribution de quelques métaux lourds dans le littoral de Saidia, par le biais de l'indicateur biologique *Paracentrotus lividus*, étant donné son pouvoir élevé de concentration des métaux et son large utilisation comme de bon indicateur de la pollution métallique.

## **Matériels et méthodes**

### **Description du site d'étude**

La côte de Saidia est localisée à l'extrême Nord-Est du Maroc sur le littoral méditerranéen, Sur le plan administratif, elle fait partie de la commune urbaine de Saidia, province de Berkane (région de l'Oriental) , cette zone présente une façade maritime qui s'étend sur plus de 10km depuis l'Embouchure de l'Oued Kiss à la frontière Algéro-Marocaine (Latitude : 35.106288 ; Longitude : -2.204175) jusqu'à la rive droite de l'embouchure de la Moulouya (Latitude : 35.123101 ; Longitude : -2.344641), cette zone côtière entièrement sableuse, s'oriente sensiblement ESE-WNW et se caractérise par la présence d'une plage de pente faible et de largeur de 150 à 200m suivant les lieux, et d'un estran de forme concave (Fettahi,1996).(carte n°1)



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude. (Boumeaza et al., 2010)

La plaine côtière de Saidaia est d'une nappe phréatique salée et de sols argileux salés.

Le réseau hydrographique est constitué essentiellement par l'oued Kiss à l'est, constituant la frontière avec l'Algérie et l'oued Moulouya à l'ouest. Ils constituent les limites naturelles de la plaine de Saidaia.

La plaine littorale est caractérisée par des précipitations peu abondantes (324 mm en moyenne de 1963 à 2007) et irrégulières, avec des variations interannuelles et saisonnières importantes et une saison sèche estivale marquée.

Les cordons dunaires du littoral de Saidaia-Cap de l'eau sont des accumulations de sable, fixées ou mobiles, formant un système de dunes presque parallèles à la ligne de côte, qui matérialisent les anciennes positions du littoral (Boumeaza et al.,2010)

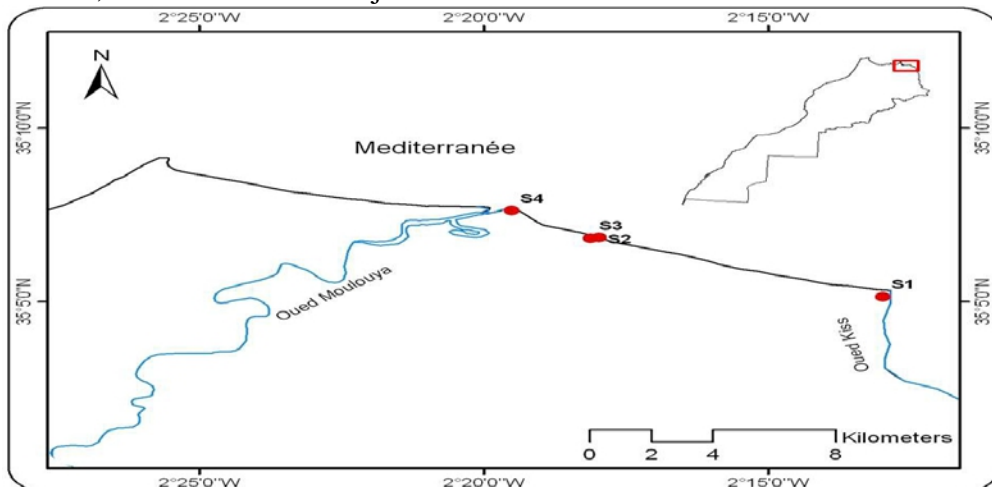
La station balnéaire de Saidaia qui possède une plage de 12 km de long est un pôle d'attraction touristique important dans la région. La qualité de sa plage de sable représente donc un grand intérêt économique lié à la fréquentation de la station balnéaire par des estivants et des vacanciers à la recherche de la mer et du soleil.

### Echantillonnage

Notre étude éco toxicologique a porté essentiellement sur la zone côtière de Saidaia, limitée par les deux embouchures, Kiss et Moulouya.

Des échantillons d'eaux, de sédiments et d'organismes aquatiques ont été prélevés selon quatre stations pour l'eau et le sédiment (S1, S2, S3 S4) et deux stations pour les oursins (S1 et S2), (carte n°2), Les stations de

prélèvement sont situées près des sources de pollution prévues. Prenant en considération la variation de certains facteurs de l'environnement (salinité, température, l'oxygène dissous, les courants et le renouvellement des eaux) deux campagnes de prélèvement ont été réalisées sur deux périodes de l'année, successivement en juillet 2011 et Mars 2012.



Carte n° 2 : Situation géographique des sites de prélèvements

**Station S1 :** Se situe sur le littoral de Saida, au niveau de la frontière Algéro-marocaine, à proximité de l'embouchure de l'Oued Kiss, cette station est choisie afin d'estimer l'impact des apports d'Oued Kiss sur la qualité du littoral de Saida.

**Station S2 :** Se situe à 9km de la station S1, au niveau du port de plaisance de la Marina Saida, cette station est choisie à fin d'évaluer l'impact des rejets portuaires sur la qualité des eaux de littoral méditerranéen de Saida.

**Station S3 :** Se trouve à 1 km de la Station S2. Le choix de cette station a le même but que la station 2.

**Station S4 :** Se situe au niveau du littoral de Saida, à proximité de l'embouchure de la Moulouya, elle est choisie afin d'estimer l'impact des apports d'Oued Moulouya sur la qualité du littoral méditerranéen de Saida.

- **L'eau :**

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polypropylène préalablement lavés à l'acide puis à l'eau distillée, et avant prélèvement rincées deux fois avec l'eau du site à échantillonner. Les échantillons d'eau sont acidifiés par de l'acide nitrique pur à 4% puis conservés à 4°C et transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4heures (Rodier,1996).

- Les sédiments :

Il faudrait noter que les échantillons d'eau et de sédiments étaient tous prélevés sur les mêmes sites. Les sédiments superficiels (5cm d'épaisseur et à peu près 200g) ont été prélevés à l'aide d'une benne sur une surface de 20cm<sup>2</sup>, à la main, dans des sacs en plastiques neufs. Les échantillons de sédiments ont été homogénéisés et conservés à 4°C, puis acheminés au laboratoire, dans un délai ne dépasse pas 4heures.

- Les oursins

L'Oursin livide ou *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) : Oursin commun, particulièrement en Méditerranée. Les piquants, assez longs, autour de 3cm, sont lisses et épais. Le test est régulier, arrondi (contour circulaire), peu élevé, aplati en face ventrale, il présente une symétrie pentaradiée qui permet de distinguer 10 secteurs reliant la bouche et l'anus. La taille du test se situe entre 5 et 7 cm. Test et piquants compris, la moyenne est d'environ 8cm.

L'oursin livide vit sur les fonds rocheux, les herbiers de posidonies jusqu'à 30m de profondeur. C'est un herbivore benthique. Il se nourrit principalement d'algues rouges (Bay-Nouailhat, 2005).

Par leur pouvoir élevé de concentration des métaux, leur pouvoir à survivre dans des conditions dans lesquelles d'autres organismes seraient éliminés et par leur large distribution, les oursins constituent de bons indicateurs de la pollution métallique (Demnati et al., 2002).

Les oursins récoltés dans le littoral méditerranéen de Saïdia, d'une taille moyenne de 5cm. Deux séries de prélèvements de 20 spécimens de *Paracentrotus lividus* ont été réalisées à l'aide d'une fourchette au niveau des rochers du port de Saïdia (S1) et des rochers situés au niveau des frontières algéro-marocaines (S2). La récolte des individus a été effectuée simultanément au prélèvement des eaux et des sédiments ; La première série a eu lieu en juillet 2011 et la deuxième en Mars 2012.

Les individus sont triés sur le terrain, stockés dans des sachets en plastique et conservés à 4°C. Afin d'éviter toute contamination par l'environnement ou le matériel de prélèvement, les modalités de prélèvements ont été effectuées selon les précautions décrites dans le manuel d'Aminot (1983). (Aminot, 1983), les individus d'oursin ont été conservés au congélateur jusqu'à la dissection et la minéralisation.

## **Préparation des échantillons**

- **L'eau :**

Les échantillons d'eau ont été minéralisés sur le terrain (acide nitrique pur à 4%), et une fois au laboratoire, un volume de 50ml de chaque échantillon a été filtré à travers une membrane millipore (0.45µm), le tout est conservé au réfrigérateur jusqu'au moment d'analyse.

- **Le sédiment :**

Les sédiments séchés dans une étuve pendant 48 heures à 80°C, étaient broyés dans un mortier en agate, puis tamisés, seule la fraction de diamètre inférieur à 100µm est retenue. En effet la fraction fine est généralement riche en polluant et contient une grande partie de niveau d'argile, Al- Fe/Mn d'oxyhydroxyde, de silice amorphe et de matière organique/humique qui absorbent activement et concentrent les polluants (Forstner & Patchineelam, 1980) (Thorne & Nickless, 1981) (Salmons & Förstner, 1984) (Reitner & Kralik, 1997)

Une quantité de 1g de poids sec de sédiments a été mélangée avec 10ml de HNO<sub>3</sub> (ultra-pur) et 5ml de HClO<sub>4</sub> (ultra-pur) à une température de 150°C pendant 16 heures afin d'avoir une bonne digestion (Cook, 1998). Puis, le digeste obtenue a été dilué à 50ml pour être analysé par Spectrométrie d'Emission Atomique ICP-AES.

- **Les oursins : *Paracentrotus lividus* :**

A l'aide d'un scalpel, les parties molles ont été extraites (composée essentiellement de la gonade et du tube digestif) et séchées à 80°C, 10 à 15heures jusqu'à poids constant. Elles sont ensuite finement broyées à l'aide d'un mortier en agate. Une quantité variant entre 3 et 4g de poids sec du matériel biologique a été minéralisée par acide nitrique en raison de 1ml/100mg, puis replacée dans l'étuve à 90°C pendant 24h. Les solutions obtenues ont été ensuite filtrées sur membrane microporeuse de 0.045µm, puis ajustées à 50ml par l'eau distillée pour être soumises à des analyses métalliques par IC-AES.

### **Analyse chimique des échantillons**

Les échantillons ont été analysés par ICP-AES (Spectrométrie d'Emission Atomique Couplée à un Plasma Induit) au laboratoire du Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) de Rabat.

### **Utilisation de la méthode ICP-AES**

La spectrométrie d'émission analytique est une méthode très sensible permettant de mesurer les teneurs de presque tous les éléments présents dans les solutions aqueuses, organiques ou solides par l'appareil Ultima 2 Jobin Yvon avec une limite de détection de 0,1917 ppb (ppb = µg/L).

### **Analyse statistique**

Des analyses en composantes principales (ACP) ont permis de traiter de façon plus synthétique des fichiers comprenant différents échantillons (individus) affectés de plusieurs paramètres (variables quantitatives).

L'analyse en composantes principales est un ensemble de méthodes permettant de procéder à des transformations linéaires d'un grand nombre de



variables inter-corrélées de manière à obtenir un nombre relativement limité de composantes non corrélées. Cette approche facilite l'analyse en regroupant les données en des ensembles plus petits et en permettant d'éliminer les problèmes de multi-colinéarité entre les variables (Vogt, 1993).

Un ensemble de  $n$  individus, associé à un ensemble  $p$  variables peut être représenté sous la forme d'un nuage de points dans un espace de dimension  $p$ . Le nuage de points représentant les individus est « centré-réduit » ce qui permet de donner la même « importance » à chaque variable dans le calcul des distances entre individus (Volle, 1985). Le but de l'ACP est de représenter ce nuage dans un espace de dimension réduite.

### **Resultats et discussions**

Le Fer (Fe) est essentiel pour la respiration cellulaire chez les animaux. C'est aussi un puissant catalyseur de certaines réactions biochimiques, cependant il est toxique à des doses élevées (Crichton et al.,2002).

Le Plomb (Pb) est classé parmi les métaux les plus toxiques pour l'homme et les animaux (Roony & McLaren, 1999), Il peut être bio-amplifié dans les systèmes biologiques devenant un potentiel contaminant pour les différents maillons trophiques (Amiard et al.,1979). Il n'a aucun rôle connu dans les systèmes biologiques (Kalay & Kanli,2000).

Le Zinc (Zn) est un nutriment essentiel pour les organismes aquatiques, mais s'il est en excès, il peut devenir un contaminant environnemental.

Le Cadmium (Cd) est un élément non essentiel à la vie qui provoque des effets toxiques graves dans les organismes aquatiques à des concentrations très basses.

Au plan général, on peut déjà noter que l'ensemble des échantillons ne contient pratiquement pas de cadmium.

Le tableau n°1 représente les codes utilisés pour l'interprétation des résultats :

Tableau n°1 : Codes donnés aux teneurs en métaux dans les différentes matrices et aux stations de prélèvement

Elément métallique	Codes	Stations	Code
Teneur en Fer en Eau	FeE	Station1-Juillet-2011	S1J
Teneur en Fer en sédiment	FeS	Station2-Juillet-2011	S2J
Teneur en Fer dans les tissus de l'oursin	FeO	Station3-Juillet-2011	S3J
Teneur en Pb en Eau	PbE	Station4-Juillet-2011	S4J
Teneur en Pb en sédiment	PbS	Station1-Mars2012	S1M
Teneur en Pb dans les tissus de l'oursin	PbO	Station2-Mars2012	S2M
Teneur en Zn en Eau	ZnE	Station3-Mars2012	S3M
Teneur en Zn en sédiment	ZnS	Station4-Mars2012	S4M
Teneur en Zn dans les tissus de l'oursin	ZnO		

### Teneurs métalliques dans l'eau :

Les résultats des teneurs en métaux lourds dans l'eau du littoral de Saïdia sont regroupés dans le tableau n°2, qui représente les concentrations des métaux dans l'eau pour les différents sites d'échantillonnage :

Tableau n°2 : des teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l dans les eaux du littoral méditerranéen de Saïdia

Station	Concentration des métaux lourds dans l'eau			
	CdE	FeE	PbE	ZnE
S1J	0,004	0,87	0,099	0,131
S2J	0,004	1,385	0,018	0,044
S3J	0,004	1,466	0,044	0,07
S4J	0,004	4,398	0,047	0,074
S1M	0,004	0,98	0,1	0,15
S2M	0,004	1,456	0,01	0,067
S3M	0,004	1,702	0,056	0,1
S4M	0,004	4,5	0,08	0,078

La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur métallique dans l'eau dans différents sites d'échantillonnage :

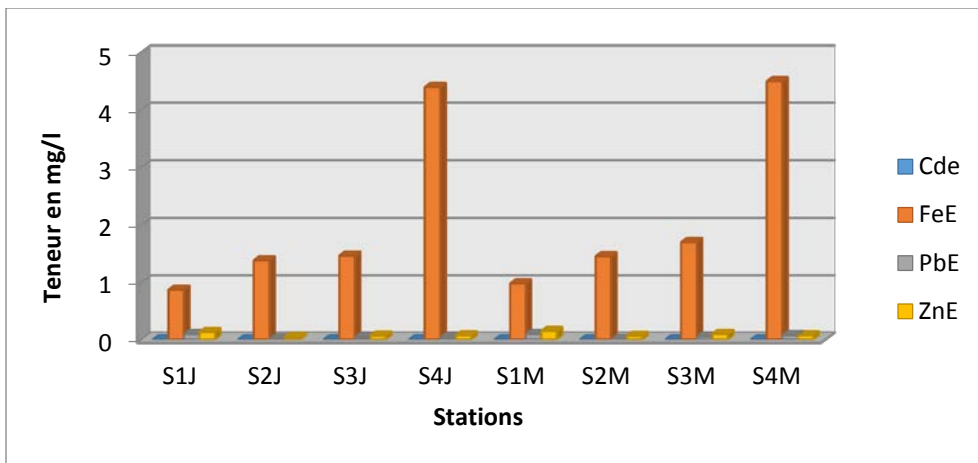


Figure n°1 : Graphes représentant les Teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l dans les eaux du littoral méditerranéen de Saidia

L’observation de ces résultats montre que les teneurs les plus élevées sont celles du fer qui oscillent entre un minimum de 0.87mg/l au niveau de la station S1J, et une teneur maximale d’une valeur de 4.5mg/l au niveau de la station S4M. L’observation montre aussi une augmentation remarquable des teneurs en fer allant de la station S1 vers la station S4 pour les deux périodes de prélèvement. Les valeurs les plus importantes s’enregistrent dans les stations les plus proches de l’embouchure de la Moulouya. Les valeurs moyennes du Zinc varient de 0,044mg/l enregistrée dans la station S2J à 0.15mg/l enregistrée dans la station S1M, les teneurs les plus élevées s’observent principalement au niveau de la station S1 (frontière Algéro - marocaine) pendant les deux périodes de prélèvement. L’évolution spatio-temporelle du Plomb au niveau des eaux marines du littoral méditerranéen de Saidia, montre des teneurs importantes au niveau de la station S1 pendant les deux prélèvements pouvant atteindre jusqu’à 0.1mg/l du Pb durant le mois de Mars 2012.

Les résultats d’analyses des eaux du littoral méditerranéen du Saidia révèlent des teneurs très faibles en cadmium dans toute la zone d’étude avec des valeurs inférieures à 0.004mg/l.

Nous pouvons établir les ordres d’enrichissement des stations pour chaque métal et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau suivant :

Tableau n°3: ordres d’enrichissement des stations pour chaque métal

Eléments métalliques	Ordres d'enrichissement
<b>Fer</b>	S4M>S4J>S3M>S3J>S2M>S2J>S1M>S1J
<b>Zinc</b>	S1M>S1J>S3M>S4M>S4J>S3J>S2M>S2J>
<b>Plomb</b>	S1M>S1J>S4M>S3M>S4J>S3J>S2J>S2M

Ainsi, nous pouvons établir un ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations d'étude et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°4 : ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations

Stations	ordre d'enrichissement
<b>S1J</b>	Fe>Zn >Pb>Cd
<b>S2J</b>	Fe>Zn >Pb>Cd
<b>S3J</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S4J</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S1M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S2M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S3M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S4M</b>	Fe>Pb>Zn>Cd

A travers ces résultats, nous remarquons qu'au niveau des stations S1 et S4 soumises à l'effet permanent des apports des deux principale cours d'eau, Oued Moulouya et Oued Kiss, la contamination métallique est révélée importante. Par ailleurs, la station S4 est caractérisée par une forte contamination en Fer pendant les deux périodes de prélèvement. Cela peut être expliquer par les activités agricoles intenses qui se pratiquent tout au long de Oued Moulouya, faisant appel à un usage excessif d'engrais phosphatés, de fongicides et d'insecticides qui sont responsables par le biais du phénomène du lessivage d'un apport important de métaux à l'oued entrant dans la composition de ces substances (Rahhou et al., 2001) (Demnati et al.,2002). En effet, les valeurs en fer présentent un ordre décroissant allant de la station S4 vers la station S1, ce qui peut être expliqué par l'apport important en fer que draine la Moulouya par rapport à celui d'Oued Kiss. Cependant, le Zinc et le plomb révèlent des fortes teneurs au niveau de la station S1 soumise à l'effet des apports d'Oued Kiss, L'implantation du complexe d'électrolyse de zinc de Ghazaouet, à une dizaine de kilomètres de la station S1, est à l'origine du rejet de zinc, cadmium, plomb (Saidini, 1994), outre les apports par le biais des deux Oueds (Moulouya et Kiss).

#### **Teneurs métalliques dans les sédiments**

Le tableau5 montre les résultats des analyses des éléments métalliques (Zn, Pb, Cd et fer), dans les sédiments du littoral méditerranéen du Saïdia :

Tableau5 : Teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l dans les sédiments du littoral méditerranéen de Saïdia

Station	concentration dans le sédiment mg/l			
	CdS	FeS	PbS	ZnS
S1J	0,004	0,767	0,027	0,112
S2J	0,004	0,305	0,026	0,061
S3J	0,004	0,597	0,019	0,046
S4J	0,004	0,665	0,024	0,107
S1M	0,004	0,901	0,041	0,102
S2M	0,004	0,212	0,031	0,082
S3M	0,004	0,601	0,012	0,055
S4M	0,004	0,7	0,062	0,102

La figure ci-dessous représente la variation de la teneur en métaux lourds dans le sédiment des stations étudiées :

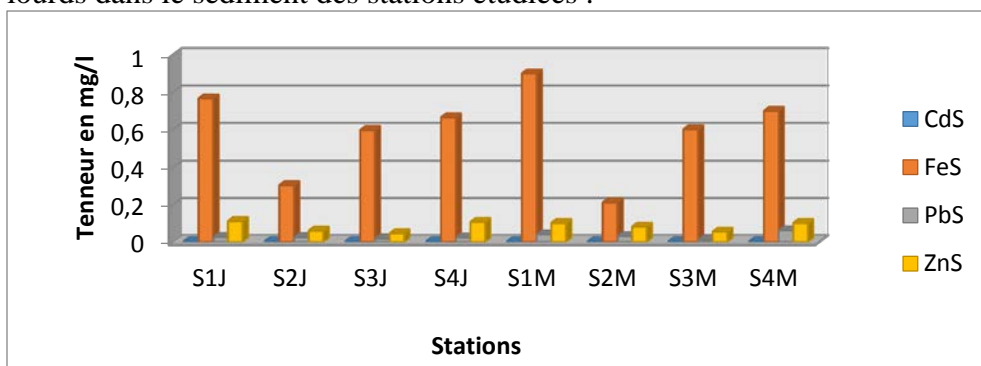


Figure n°2 : Graphes représentant des teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l dans les sédiments du littoral méditerranéen de Saïdia

Le Fer est un élément essentiel qui peut être toxique à forte concentration. Il est l'élément le plus abondant dans les sédiments du littoral méditerranéen de Saïdia, avec une valeur maximale de l'ordre de 0.901mg/l au niveau de la station S1M, et une valeur minimale de l'ordre de 0.2mg/l enregistrée dans la station S2M. Les valeurs les plus importantes en fer sont enregistrées aux niveaux des stations proches des deux embouchures Oued Kiss et Oued Moulouya (S1 et S4). Les teneurs du Zinc relevées dans les sédiments du littoral de Saïdia montrent une valeur maximale de l'ordre de 0.112mg/l enregistrée dans la S1, et une valeur minimale de l'ordre de 0,046mg/l enregistrée au niveau de la S2. Les valeurs les plus importantes en Zinc sont enregistrées au niveau des stations S1 et S4. Le Plomb est un métal toxique généralement présent en faible quantité. En effet, les teneurs relevées dans les sédiments du littoral de Saïdia montrent une valeur maximale qui est de l'ordre de 0.62mg/l, enregistrée au niveau de la station S4M, et une valeur minimale de l'ordre de 0.012mg/l enregistrée au niveau de la station

S2M. Les valeurs relativement importantes en Plomb sont enregistrées au niveau des deux stations S1 et S2. Les Teneurs en Cadmium dans toutes les stations de prélèvements des sédiments sont inférieures à une valeur de 0.004mg/l. Nous pouvons établir les ordres d'enrichissement des stations pour chaque métal et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau suivant :

Tableau n°6 : ordres d'enrichissement des stations pour chaque métal

Eléments métalliques	Ordres d'enrichissement
Zinc	S1J>S4J>S1M,S4M>S2M>S2J>S3M>S3J
Fer	S1M>S1J>S4M>S4J>S3M>S3J>S2J>S2M
Plomb	S4M>S1M>S2M>S1J>S2J>S4J>S3J>S3M

Ainsi, nous pouvons établir un ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations d'étude et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°7 : ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations

Station	Ordre d'enrichissement
<b>S1J</b>	Fe>Zn >Pb>Cd
<b>S2J</b>	Fe>Zn >Pb>Cd
<b>S3J</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S4J</b>	Ee>Zn>Pb>Cd
<b>S1M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S2M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S3M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd
<b>S4M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd

La répartition spatiale des métaux dans les différentes stations de prélèvement montre que les sites S1 et S4 présentent la plus grande teneur en fer, en zinc et en plomb.

Le fer représente l'élément le plus abondant, ces fortes teneurs de Fe se présentent sans doute sous deux formes du métal. De toute évidence, la majeure partie du fer est contenue dans les fines particules de limon et d'argile sous forme d'hydroxyde de fer communs. D'autres auteurs ont montré que la forte teneur en Fe peut être liée à la structure des silicates qui font partie des constituants majeurs des sédiments (Weiller et Welken, 1987). Les teneurs en zinc et en fer observées dans le sédiment ne peuvent provenir que de la colonne d'eau. Cependant, leur accumulation dans les sédiments est la conséquence de la conjonction entre les capacités d'adsorptions, de précipitations et de complexations (Salmons et Förstner,1984)

De ce fait, les valeurs obtenues sont relativement identiques aux celles montrées par Rahhou et al, au niveau de l'embouchure de la Moulouya, avec une abondance du fer (1195.24µg/g) et du zinc (121µg/g), le plomb présent en faible quantité (8.54µg/g) (Rahhou et al.,2001).

**Teneurs métalliques chez l’oursin: *Paracentrotus lividus***

Les résultats des teneurs en métaux lourds accumulés chez les oursins *Paracentrotus lividus* sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau n°8 : Teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l accumulés dans la partie molle de l’oursin *Paracentrotus lividus* du littoral méditerranéen de Saïdia

Station	Concentration dans les tissus de l'oursin mg/l			
	CdO	FeO	PbO	ZnO
S1J	0,004	0,653	0,052	0,02
S2J	0,004	0,701	0,06	0,04
S1M	0,004	0,678	0,078	0,032
S2M	0,004	0,72	0,07	0,08

La figure 3 représente l’évolution des teneurs en métaux lourds accumulés dans les tissus de l’Oursin *Paracentrotus lividus* :

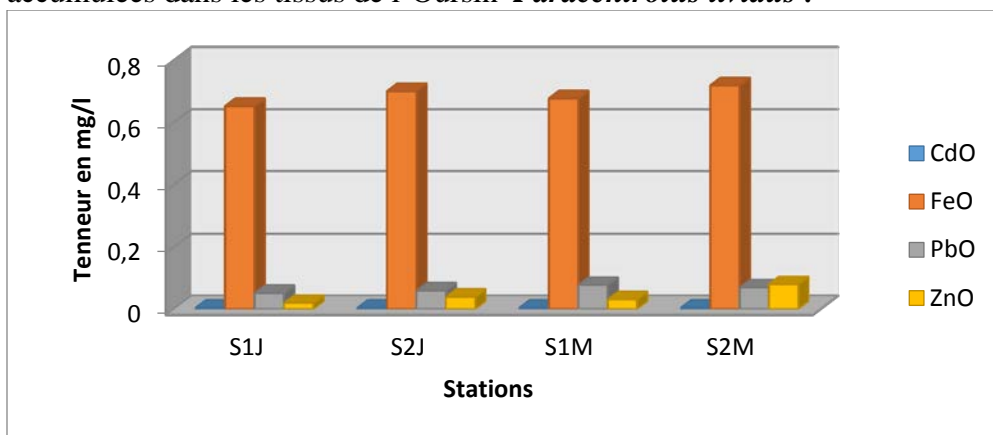


Figure3 : Graphes représentant des teneurs en métaux (Fe, Cd, Pb et Zn) exprimées en mg/l accumulés dans la partie molle de l’oursin

***Paracentrotus lividus* du littoral méditerranéen de Saïdia :**

L’observation de ces résultats montre que les teneurs les plus élevées sont celles du Fer pour les deux stations S1 et S2 et pendant les deux récoltes (juillet et Mars) avec une valeur maximale de 0.72mg/l enregistrée chez les individus récoltés au niveau de la station S2M, et une valeur minimale de l’ordre de 0.653mg/l enregistrée chez les individus récoltés au niveau de la station S2J. Le zinc présente des valeurs qui oscillent entre une valeur maximale de 0.08mg/l enregistré pour les individus récoltés en Mars 2012 dans la station S2 (rochers du port de saïdia), et une valeur minimale de l’ordre de 0.02mg/l enregistré en Juillet 2011 chez les individus récoltés dans la station S1. Les résultats d’analyses montrent des valeurs non négligeables en Plomb et relativement constantes dans les deux stations et pendant les deux périodes de récoltes, avec une valeur maximale de l’ordre de 0.078mg/l enregistrée chez les oursins récoltés dans la station S1M, et une valeur

minimale de 0.052mg/l enregistrée chez les oursins récoltés au niveau de la station S1J. Le Cadmium présente des teneurs faibles chez les deux lots d'individus et pendant les deux périodes de récolte.

Nous pouvons établir les ordres d'enrichissement des stations pour chaque métal et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau suivant :

Tableau n°9 : ordre d'enrichissement des stations pour chaque métal

Elément métalliques	Ordres d'enrichissement
Fer	S2M>S2J>S1M>S1J
Zinc	S2M>S2J>S1M>S1J
Plomb	S1M>S2M>S2J>S1J

Ainsi, nous pouvons établir un ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations d'étude et nous obtenons le résultat présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 10: ordre d'enrichissement pour les différents éléments métalliques dans les différentes stations

Stations	Ordre d'enrichissement
<b>S1J</b>	Fe>Pb>Zn>Cd
<b>S2J</b>	Fe>Pb>Zn>Cd
<b>S1M</b>	Fe>Pb>Zn>Cd
<b>S2M</b>	Fe>Zn>Pb>Cd

Les résultats montrent un degré élevé de contamination en métaux chez l'oursin *Paracentrotus lividus*, le fer étant l'élément le plus abondant dans les tissus de l'organisme suivi par le plomb et le zinc. En effet, le fer est un constituant du pigment respiratoire des mollusques et crustacés : hémocyanine et hémoglobine (Chasard-Bouchaud, 1985). En ce qui concerne la distribution du Zn, il intervient probablement dans les phénomènes de calcification (Delmas, 1992), de même que dans la maladie dite de "l'oursin chauve" : "Le zinc s'accumule dans les zones nécrosées du test", ce qui laisse penser à une fonction physiologique de ce métal. Selon Augier et al, chez les oursins, les organes cibles sont principalement les intestins, puis les gonades, et que ce sont les gonades qui présentent les meilleures caractéristiques d'indicateur biologique. Mais certaines parties dures telles que les piquants et la lanterne d'Aristote peuvent aussi accumuler de façon importante les métaux lourds, dans quelques cas particuliers. (Augier et al., 1997). Les résultats observés chez l'oursin *Paracentrotus lividus* sont comparés avec ceux qui sont obtenus dans des études plus anciennes (Demnati et al, 2002), concernant la même zone de notre étude, elles révèlent la présence de métaux lourds avec des teneurs allant de 2.5 à 130µg/g en fer plomb, cuivre et zinc et des traces de cadmium. La même étude a montré des concentrations plus élevées dans les échantillons de l'intestin de l'oursin que celles des gonades (Demnati et al., 2002). Ainsi, des



teneurs élevées en métaux lourds ont été notées par, Augier et al, au niveau des gonades de l'oursin, 275 à 795 µg/g de matière sèche) (Augier et al.,1997). Boudaoud et Kazi-Taami ont également rapporté des teneurs élevées en métaux chez l'oursin (*Paracentrotus lividus*) au niveau du littorale de Ghazaouat (Algérie). (Saidini,1994).

Dans notre étude, Les organismes récoltés au niveau de la station S2 présentent des teneurs relativement élevés par rapport à ceux de la station S1, et cela en terme des deux métaux fer et zinc, alors que les organismes de la station S2 révèlent une concentration élevée en plomb. En cherchant à expliquer en partie la présence de ces éléments, on peut penser aux rejets de la station balnéaire de Saidia, ainsi qu'au port de plaisance récemment construit (2008). Ainsi la pollution métallique des ports de plaisance constitue un problème écotoxicologique préoccupant pour le milieu marin (Augier et al., 1997), étant donné que la station S2 se trouve au voisinage de ce port, et en comparant les valeurs en métaux obtenus dans nos prélèvements avec ceux de Demnati, réalisés en 2002, on peut confirmer l'impact de ces aménagements touristiques, sur l'augmentation des teneurs métalliques. La majorité des éléments ont des teneurs plus élevées dans le lot récolté en Mars que celles mesurées dans le lot de juillet. Ceci est peut-être dû à une influence des conditions météorologiques. Certains auteurs (Catsiki & Arnoux,1987), ont émis l'hypothèse que la bioaccumulation des métaux lourds évolue dans le temps en fonction des saisons et aussi suivant les organismes étudiés, Il faut tenir compte aussi des facteurs physiques comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, les courants et le renouvellement des eaux qui jouent un rôle sur la rétention des toxiques par les organismes (Romeril, 1974).

Cependant, les résultats obtenus permettent de constater une similitude entre les éléments bio-accumulés par l'oursin et ceux qui sont détectés dans l'eau et sédiments.

L'analyse des résultats est assez complexe, car le raisonnement doit englober quatre facteurs de variation : les métaux, les différents matrices étudiés, les stations et les périodes de prélèvement.

### **Traitement statistique des résultats**

Dans le but d'expliquer le comportement des métaux lourds dans les différentes matrices pendant les deux périodes de prélèvement (juillet 2011 et Mars 2012), et d'apporter des informations nécessaires sur la pollution du littorale de Saidia, nous avons utilisé l'analyse des données recueillies en composantes principales (ACP). Au plan général, l'ensemble des échantillons ne contient pratiquement pas de cadmium. Ainsi, l'application de cette méthode a été réalisée sur 9 variables centrées réduites, qui

représentent les concentrations en métaux lourds (Pb, Fe et Zn) dans l'eau, les sédiments et les tissus biologiques de l'oursin *Paracentrotus lividus*.

Sur le tableau 11, nous avons regroupé les résultats d'analyse chimique de l'eau, des sédiments et des solutions biologiques extraites de la partie molle des oursins :

Tableau11 : Teneurs en métaux lourds dans les différentes matrices du littoral de saidia (Eau, sédiment et organismes), en fonction des stations étudiées et pendant les deux périodes de prélèvement (nd : teneur non défini dans cette station)

Station	Concentration dans l'eau (mg/l)			concentration dans le sédiment (mg/l)			Concentration dans les tissus de l'oursin (mg/l)		
	FeE	PbE	ZnE	FeS	PbS	ZnS	FeO	PbO	ZnO
S1J	0,87	0,099	0,131	0,767	0,027	0,112	0,653	0,052	0,02
S2J	1,385	0,018	0,044	0,305	0,026	0,061	0,701	0,06	0,04
S3J	1,466	0,044	0,07	0,597	0,019	0,046	Nd	nd	nd
S4J	4,398	0,047	0,074	0,665	0,024	0,107	Nd	nd	nd
S1M	0,98	0,1	0,15	0,901	0,041	0,102	0,678	0,078	0,032
S2M	1,456	0,01	0,067	0,212	0,031	0,082	0,72	0,07	0,08
S3M	1,702	0,056	0,1	0,601	0,012	0,055	Nd	nd	nd
S4M	4,5	0,08	0,078	0,7	0,062	0,102	Nd	nd	nd

Le tableau ci-dessous, représente la matrice de corrélation en analyse en composantes principales (ACP) :

Tableau12: Matrice de corrélation pour les teneurs en métaux lourds déterminées dans L'eau, les sédiments et les tissus d'oursins correspondant du littoral de Saidia

Variables	FeE	PbE	ZnE	FeS	PbS	ZnS	FeO	PbO	ZnO
FeE	<b>1</b>	-0,003	-0,337	0,132	0,451	0,340	<b>-0,760</b>	-0,743	-0,533
PbE	-0,003	<b>1</b>	<b>0,870</b>	<b>0,936</b>	0,435	0,647	-0,052	-0,007	-0,473
ZnE	-0,337	<b>0,870</b>	<b>1</b>	<b>0,796</b>	0,203	0,616	0,297	0,373	-0,081
FeS	0,132	<b>0,936</b>	<b>0,796</b>	<b>1</b>	0,304	0,563	-0,277	-0,202	-0,651
PbS	0,451	0,435	0,203	0,304	<b>1</b>	0,448	-0,138	-0,068	-0,109
ZnS	0,340	0,647	0,616	0,563	0,448	<b>1</b>	0,062	0,083	-0,119
FeO	<b>-0,760</b>	-0,052	0,297	-0,277	-0,138	0,062	<b>1</b>	<b>0,978</b>	<b>0,811</b>
PbO	-0,743	-0,007	0,373	-0,202	-0,068	0,083	<b>0,978</b>	<b>1</b>	<b>0,817</b>
ZnO	-0,533	-0,473	-0,081	-0,651	-0,109	-0,119	<b>0,811</b>	<b>0,817</b>	<b>1</b>

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $p=0,05$

D'après les résultats de cette matrice, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Le fer dans l'eau (FeE) corrèle négativement avec le fer dans les tissus de l'oursin (FeO), le coefficient de corrélation est de -0.760.

- Le plomb dans l'eau corrèle positivement avec le zinc dans l'eau (ZnE) et le fer dans le sédiment (FeS) d'une façon très significative, avec des coefficients de corrélation respectivement de 0,870 et 0,936.
- Le zinc dans l'eau (ZnE) corrèle positivement avec le plomb dans l'eau (PbE) et le fer dans le sédiment (FeS), 0,870 et 0,796 sont les deux coefficients de corrélation respectivement.
- Le fer dans le sédiment corrèle positivement et d'une façon très significative avec le plomb dans l'eau avec un coefficient de 0,936, et corrèle positivement aussi avec le zinc dans l'eau avec un coefficient de 0,796.
- Une corrélation positive et significative existe aussi entre Le fer et le zinc, et entre le fer et le plomb, et entre le plomb et le zinc dans les tissus de l'oursin, dont les coefficients de corrélations sont respectivement : 0.811, 0.978 et 0.817.

L'existence d'une corrélation importante ente le fer, le zinc et le plomb montre qu'il existe une grande affinité chimique entre ces trois métaux dans l'eau et les sédiments et leur bioaccumulation dans les organismes aquatiques.

La projection de l'ensemble des paramètres sur le plan formé par les deux premières composantes principales (axe 1 et axe 2) est illustrées par la figure 4.

Le cercle de corrélation formé par l'axe F1 et F2 montre 78.91% de l'information totale.

Ces deux axes expliquent respectivement 43.35% et 35.56% d'inertie et décrivent bien la plupart des paramètres étudiés.

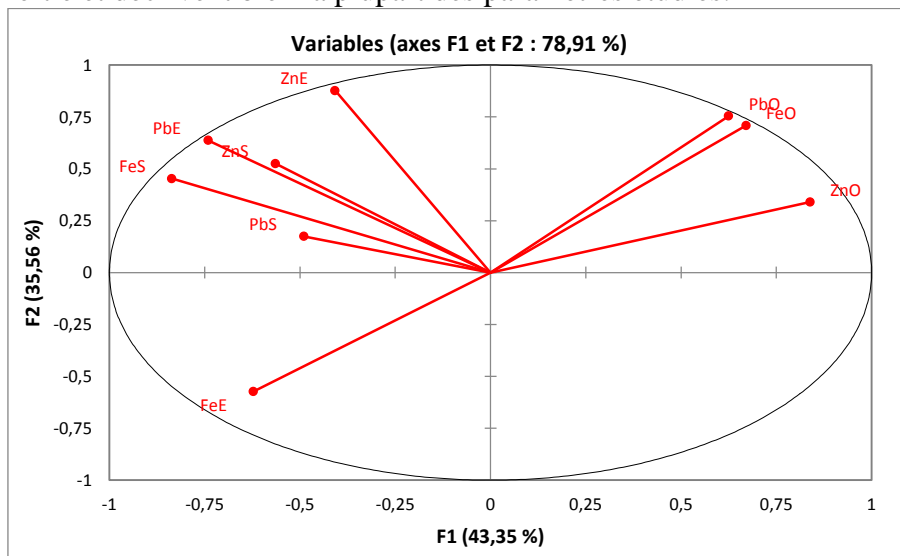


Figure 4 : cercle des corrélations des 9 variables dans le plan factoriel F1 xF2 de l'ACP

L'examen de l'organisation des 9 variables sur les plans F1xF2 de l'ACP a révélé que l'axe factoriel F2 oppose deux ensembles de variables ; il est corrélé positivement avec les trois éléments métalliques accumulés par l'oursin (fer zinc et plomb), et corrélé négativement avec les éléments métalliques des eaux et sédiments.

De cette analyse il ressort donc le double rôle fonctionnel du premier axe factoriel, il définit clairement un pôle de contamination de son côté positif traduisant la bioaccumulation des métaux lourds par les oursins. Dans son côté négatif il représente un pôle de contamination des eaux et des sédiments en métaux toxiques. Dans un moindre degré de corrélation, l'axe factoriel F1 est déterminé, essentiellement, par le zinc de l'eau.

La figure 5 présente La projection des 8 stations de prélèvements sur le plan factoriel F1xF2 :

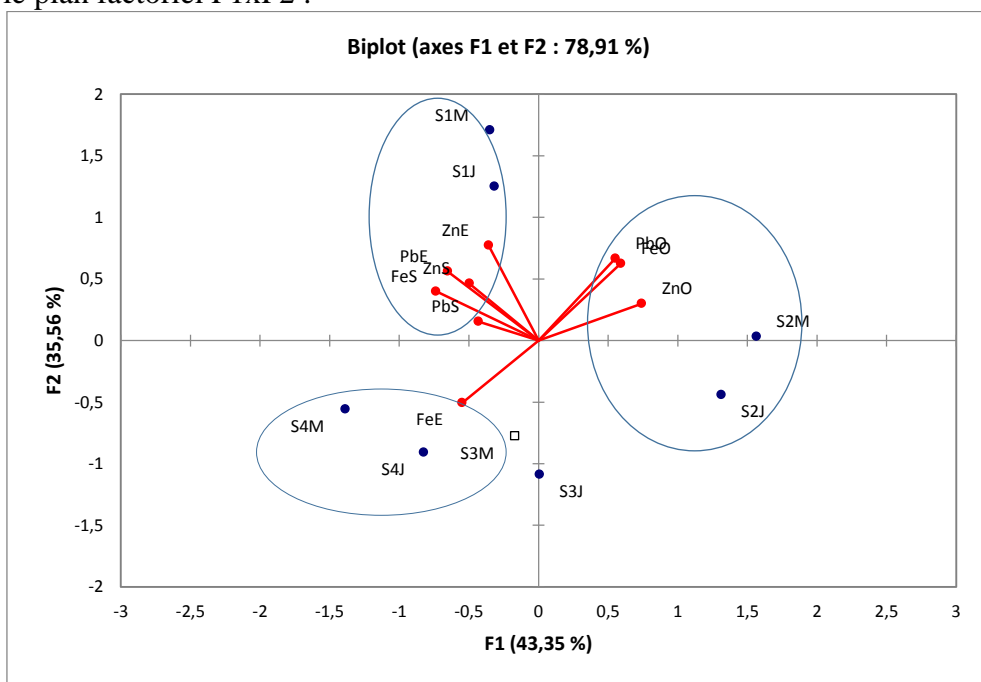


Figure 5: Représentation graphique des nuages de points de prélèvements dans le plan factoriel F1xF2 de l'ACP appliquée aux 9 variables mesurées en Juillet 2011 et Mars 2012

L'examen de cette figure met en évidence la variabilité spatio-temporelle de la contamination métallique du littoral de Saidia au niveau des stations étudiées. En fait, la structure typologique dégagée par le plan F1xF2 montre l'individualisation de trois zones selon leur degré de contamination :

- ✓ Une zone formée de la station S2 qui se caractérise par une forte contamination des oursins en zinc, plomb et Fer
- ✓ Une zone formée des stations S4 et S3 caractérisées par une forte contamination de l'eau par le fer.

✓ Une troisième zone est distinguée, caractérise la station S1, avec une forte contamination des eaux et sédiments par les trois éléments métalliques (fer zinc et plomb).

## Conclusion

Le présent travail de recherche dont l'objectif principale était : d'évaluer la distribution de quelques métaux lourds dans le littoral de Saidia, par le biais de l'indicateur biologique *Paracentrotus lividus*, a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Au niveau des stations soumises à l'effet permanent des apports des deux principale cours d'eau, Oued Moulouya et Oued Kiss, la contamination métallique est révélée importante, par ailleurs, la station S1 est caractérisée par une forte contamination en Fer. Cela a été expliqué par les activités agricoles intenses qui se pratiquent tout au long de Oued Moulouya, faisant appel à un usage excessif d'engrais qui sont responsables d'un apport important de métaux à l'oued. Les valeurs en fer présentent un ordre décroissant, allant de la station S4 vers la station S1. Une telle décroissance peut être expliquée par l'apport important en fer que draine la Moulouya par rapport à celui d'Oued Kiss. Cependant, le Zinc et le plomb révèlent des fortes teneurs au niveau de la station S1 soumise à l'effet des apports d'Oued Kiss. Cela est lié à l'implantation du complexe d'électrolyse de zinc de Ghazaouet, à une dizaine de kilomètres de la station S1.
- La répartition spatiale des métaux dans les différentes stations de prélèvement montre que les sites S1 et S4 présentent les teneurs les plus élevées en fer, en zinc et en plomb.
- Le fer représente aussi l'élément le plus abondant dans les échantillons de sédiments. Cela s'explique par le fait que la majeure partie du fer est contenue dans les fines particules de limon et d'argile sous forme d'hydroxyde de fer communs. Ainsi, la forte teneur en Fer peut être liée à la structure des silicates qui font partie des constituants majeurs des sédiments.
- Les teneurs en zinc et en fer observées dans le sédiment ne peuvent provenir que de la colonne d'eau, leur accumulation dans les sédiments est la conséquence de la conjonction entre les capacités d'adsorptions, de précipitations et de complexations.
- Les résultats montrent un degré élevé de contamination en métaux chez l'oursin *Paracentrotus lividus*, le fer étant l'élément le plus abondant dans les tissus de l'organisme suivi par le plomb et le zinc. En effet, le fer est un constituant du pigment respiratoire des mollusques et crustacés : hémocyanine et hémoglobine. Par ailleurs, dans notre étude, Les organismes récoltés au niveau de la station S2 présentent des teneurs relativement élevés par rapport à ceux de la station S1, et cela en terme des deux métaux fer et zinc, alors que les organismes de la station 2 révèlent une concentration

élevée en plomb. Cela a été expliqué en partie par l'apport des rejets de la station balnéaire de Saidia et du port de plaisance de la marina récemment construite, étant donné que la station S2 se trouve au voisinage de ce port.

- La majorité des éléments ont des teneurs plus élevées dans le lot récolté en Mars que celles mesurées en juillet. Ceci est peut-être dû à une influence des conditions météorologiques. Ainsi que la bioaccumulation des métaux lourds évolue dans le temps en fonction des facteurs physiques comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, les courants et le renouvellement des eaux qui jouent un rôle sur la rétention des toxiques par les organismes.
- Cependant, les résultats obtenus permettent de constater une similitude entre les éléments bio-accumulés par l'oursin et ceux qui sont détectés dans l'eau et les sédiments.
- L'analyse des résultats est assez complexe, car le raisonnement doit englober quatre facteurs de variation : les métaux, les différentes matrices étudiées, les stations et les périodes de prélèvement.
- L'examen statistique met en évidence la variabilité spatio-temporelle de la contamination métallique du littoral de Saidia au niveau des stations étudiées. L'existence d'une corrélation importante entre le fer, le zinc et le plomb montre qu'il existe une grande affinité chimique entre ces trois métaux dans l'eau et les sédiments et leur bioaccumulation dans les organismes aquatiques.

Dans l'ensemble, notre étude nous a permis de mettre en évidence la présence effective des métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les organismes aquatiques du littoral de Saidia.

En effet, ce dernier est sérieusement perturbé par les divers rejets domestiques, portuaires, industriels et agricoles.

Cependant, l'étude d'autres facteurs est indispensable pour l'optimisation de l'évaluation de la contamination du littoral de Saidia par les différents éléments métalliques. En effet, pour augmenter le niveau de confiance des résultats obtenus, des études de plus en plus approfondies sur les origines de cette pollution s'est avérées intéressantes.

### **References:**

- Abdolhossein., Parizanganeha., Hajisoltania P et Zamanib A.(2010). Assessment of heavy metal pollution in surficial soils surrounding. *Procedia Environmental Sciences*, 162–166.
- Afnor. (1999). Recueil des normes françaises: qualité de l'eau. 3<sup>ème</sup> édition.
- Aland K et Gordan F W. (1985). Atomic spectroscopy.
- Amiard J.C., Amiard-Triquet C., Metayer C., Marchan J., et Ferre R. (1979). Etude du transfert de Cd, Pb, Cu, et Zn dans les chaînes trophiques néritiques

et estuariennes –I. Etat dans l'estuaire interne de la Loire (France) au cours de l'été. *Water Res.*

Aminot A. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. C.N.E.X.O. Brest.

Augier H., Desmerger R., Egèa M., Imbert E et Park w.k. (1997). Étude à l'aide de bio-indicateurs (oursins et moules) de la pollution des ports de plaisance par les métaux traces sur le littoral provençal. *Mar. Life*, 7(1-2), 67-81

Azzaoui S. (1999). Métaux lourds dans le bassin versant du Sebou, géochimie, source de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Kénitra: Université Ibn tofail .

Azzoui S., El Hanbali M et Leblanc M. (2002). cuivre, plomb, fer et manganés dans le bassin versant du Sebou, sources d'apport et impact sur la qualité des eaux de surface. *Water Quality Research Journal of Canada*, 37(4), 773-784.

Baghdad B., Naimi M., Bouabdeli A., Sonet P., Garcia A S., Bounakhla M et Inigro Inigro A C. (2009). Evaluation de la contamination et évaluation de la qualité des eaux au voisinage d'une mine abandonnée d'extraction de Plomb (zaida-Haute Moulouya-Maroc).

12<sup>ème</sup> conférence interrégionlae- *Environ Water.* ,

Basraoui Y., Chafi A., Zarhloule A et Demnati S. (2010). Contribution à l'étude de la pollution de la zone côtière Saidia/Moulouya (Maroc Nord Oriental). *Afrique science*, Volume 06(3), 64 - 74.

Bay-Nouailhat A. (2005). Description de *Paracentrotus lividus*:

<http://www.mer-littoral.org/30/Paracentrotus>.

Bellan J M. (1994). *La pollution des mers*. 3<sup>ème</sup> édition, presses universitaires de France, collection. Presse universitaires de France, collection que sais-je, 127.

Bendahhou Z. (1995). La zone littorale de la Moulouya (Maroc nord-oriental), Transits sédimentaire, évolution morphologique géochimie et état de la pollution, Rabat, Maroc, Thèse de 3<sup>o</sup> cycle, Université Med V,

Berg L R., Raven P H et Hassenzahil D M. (2009). *Environnement*. De Boek..

Bhattacharya A., Routh J., Jacks G., Bhattacharya P et Morhit M. (2006). Environmental assessment of abandoned mine tailings in Adak Va'sterbotten district (northern Sweden). *Applied Geochemistry* (21), 1760–1780.

Briefert, C et Perroud, R. (2001). *Chimie de l'environnement, air, sol, déchets*. Paris.

Borgmann U. (2000). Accumulation, regulation and toxicity of copper, zinc, lead and mercury in *Hyalella azteca*.. *Hydrobiologia*, (259), 79-89.

Bouabdli A., Saidi N., M'rabet S., Escarre J., et Le blanc M. (2005). Oued Moulouya vecteur de transport des métaux lourds (Maroc).

- Boumeaza T., Sbai A., Salmon M., Benata M., et Andre O. (2010). Impacts écologiques des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia , Maroc oriental. Méditerranée, 98-100.
- Bryan G W, (1984). Pollution due to heavy metals and their compounds. Marine ecology, (5), 1290- 1431.
- Catsiki A., et Arnoux A. (1987). Etude de la variabilité des teneurs en Hg, Cu, Zn, Pb de trois espèces de mollusques de l'étang de Berre (France).. Mar. environ.Res, (21), 175-187.
- Chasard-Bouchaud C. (1985). Bioaccumulation de métaux stables et radioactifs par les organismes benthiques de la Baie de seine structuraux, ultrastructuraux et microanalytiques. Cah.Bio.Mar, (26), 63-86.
- Chiffolleau J F., Auger D., Boutier B., Rozuel E et Truquet I. (2003). Dosage de certains métaux dans les sédiments et la matière en suspension par absorption atomique. Ifremer, p. 45.
- Cook, R. (1998). Bioavailability of Trace Métal in Urban Contaminated Soil.PhD thesis. s.l.:Département of Natural Resource Sciences. McGill University. Québec. Canada. ,
- Crichton, R R., Wilmet S., Legseyer R et Ward R J. (2002). Molecular and cellular mechanisms of iron homeostasis and toxicity in mammalian cells.. J. Inorg. Biochem. (91), 9-18.
- Dakki M : Diagnostic pour l'aménagement des zones humides du nord-est du Maroc. (2003). Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement Secrétariat d'Etat à l'Environnement.
- Delmas P. (1992). Etude des populations de *Paracentrotus lividus* (Lmk) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à une pollution complexe en Provence Nord-Occidentale densités, structure, processus de détoxification (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe) Thèse doct.. s.l.:Univ. Aix-Marseille III, Fr.
- Demnatis S., Chafi A., Attrassi B., Maamri A., Haloui B., Kharbouaa M., Ramdani M. (2002). Bio-accumulation des métaux lourds chez l'oursin *PARACENTROTUS LIVIDUS* (Lamarck) sur la côte Est de la Méditerranée marocaine. Actes Inst.Agron.Vet (Maroc), 79-84.
- Dusquene S. (1992) : Bioaccumulation métallique et métallothioneines chez trois espèces de poissons du littoral Nord-Pas De Calais. Thèse de Doctorat en Biologie et Santé.. Lille: Université des Sciences et Techniques de Lille.
- El Founti L. (2000). Évaluation de la qualité physico-chimique et métallique dans le bassin versant de la Moulouya. Kénitra: faculté des sciences Kénitra,
- Fettahi A. (1996). Protection du littoral dans l'oriental : Situation et perspectives, 208-212.
- Forstner U P. (1980). Chemical associations of heavy metals in polluted sediments from the lower Rhine River.. Am. Chem. Soc. Adv. Chem. Ser., (189), 177-193.



- Forstner U W. (1981). Metal pollution in aquatic environment.r.. Springer.berlin, p. 453.
- Guillement M. (1988). Thèse de Doctorat de 3ème cycle; Impact des rejets urbains et industriels de la région Toulouse-sud sur l'écosystème aquatique de la Saouane. Toulouse: Univ. Paul. Sabatier.
- Herceberg S. (1991). Les oligoéléments en médecine et biologie. Lavoisier Tec et Doc.
- Idlafkih Z., Cossa D., Meybecks M. (1995). Comportement des contaminants et traces dissous et particulaires (AS,Cd,Cu,Hg,Pb,Zn) dans la seine. Hydro.Ecol 7, (1-2), 127-150.
- Juvanovic S., Carrot F., Deschamps N., Vukotic P A.(1995). study of the air pollution in the surroundings of an aluminum smelter using Epiphytic. Journal of Trace Microprobe Techniques, 463–471.
- Kalay M., Kanli M. (2000). Elimination of essential (Cu, Zn) and nonessential (Cd, Pb)metals from tissues of a freshwater fish *Tilapia zillii* following an uptake protocol. Turkish. Journal of Biology, (24), 429-436.
- Kennedy V C., Zellwager G W., Jines B F. (1974). Filter pore-size effects on the analysis of Al, Fe, Mn, and Ti in water. Water resources research, (10), 785–790.
- Kinney M. (2002). ML. Urbanisation, biodiversité and conservation.. Biosci, pp. 883-890. ..
- Kucuksezgin, F., Kontas, A., Altay, O., Uluturhan, E., Darilmaz, E. (2006). Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations.. Environment International, (32), 41-51.
- Lafabrie C., Pergent G., Kantin R., Pergent-Martini C et Gonzalez J L. (2007). Trace metals assessment in water, sediment, mussel and seagrass species- Validation of the use of *Posidonia oceanica* as a metal biomonitor.. Chemosphere, 68(11), 2033-2039.
- Maamri, A. (2001). Impact of human activities on lagoon environments: the case of Nador Lagoon in Morocco. 9th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, 46-49.
- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou M et Clooster V. (2011). Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc orientale). Larhyss Journal, 149-169.
- Mermut A R., Jain J C., Song L I., Kerrich R., Kozac L et Jana S. (1996). Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Sakatchewan, Canada. Journal of environmental quality, 25(4), 845-853.
- Miquel M. (2001). Les effets des métaux lourds sur l'Environnement et la Santé., s.l.: Rapport office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologues. Rapport Sénat N°261.

- Mullis, R M., Revitt D M et Shutes R B E. (1997). The impact of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. *Water sci. Technol*, (36),195-199.
- Norme Marocaine de qualité des eaux. (2002). Arrêté conjoint du Ministre de l'équipement et du Ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n°1275-01 du 10 Chaabane 1423, (17- 10-2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface. Rabat, Bulletin Officiel Maroc, N°5062.
- Pempkowiak J., Sikora A., Biernacka E. (1999). Speciation of heavy metals in marine sediment vs their bioaccumulation by mussels. *Chemosphere* , 32(2), 313-321.
- Pradd. (1999). *Projet de Développement et d'Aménagement Régional de l'Oriental. Rapport de prospective Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat (Maroc)*,
- Rahhou I., Maamri A., Melhaoui M., Chafi A et Chergui H. (2001). Accumulation de quelques éléments métalliques (Zn, Cu, Pb, Fe, Cd) chez la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla*) au niveau de l'estuaire de la moulouya. *Marine Life*, 11(1-2), 33-38.
- Ramousse R., Le Berre M et Le Guelte L. (1996). *Introduction aux statistiques*.
- Reitner, J K. (1997). *Aktuogeologic eines natunahen gerinnes: sedimentgeologic and Umweltgeologie and beispied des marchfeldkanals.. Mih. Sterr. Geol. Ges*, (88), 79-96.
- Rodier J. (1996). *L'analyse de l'eau naturelle, eau résiduelle, eau de mer. 8ème édition éd. Paris: Dénod Paris*.
- Romeril M G. (1974). Trace metals in sediments and bivalve Mollusca in Southampton water and solent. *Revue. Revue int. Océanogr. méd*, (33), 31-47.
- Roony C P et McLaren R G. (1999). Distribution and phytoavailability of lead in soil contaminated with lead shot. *Water, air and soil*, (11), 535–548..
- Ruellan A. (1971). *Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya ( Maroc oriental)*. Paris: ORSTOM.
- Saidini K. (1994). *Présence des métaux lourds (Fe, Zn,Pb, Cd) chez quelques espèces de poissons et d'algues au niveau du littoral Ouest Algérien. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État*.
- Salomons W et Forstner U. (1984). *Metals in the hydrocycle.. Berlin, Springer*, 349.
- Thorne L T. et Nickless G. (1981). The relation between heavy metals and particle size fractions within the Severn estuary (U.K.) intertidal sediments.. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, (19), 207-213.
- Trefry JH et Presley BJ. (1976). Heavy metals in sediments from San Antonio Bay and the northwest Gulf of Mexico. *Enviro. geol*, pp. 1:283-294.

Turkmen A., Turkmen M., Tepe Y et Akyurt I. (2005). Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea,. Food Chemistry, (91), 167-172.

Vogt W.P. (1993). Dictionary of statistics and methodology..Kindle edition.

Volle M. (1985). Analyse des données, (3eme édition).Collection « économie et statistiques avancées ». Economica.

Weiller K et Welken R D. (1987). Behavior of iron and manganese in comparison to other in Elbs estuary. Heavy metal environmental. Inter. Conf, 227-229.