



Contribution à l'étude de l'analyse physico-chimique et de la contamination métallique de l'eau de mer du littoral d'Agadir (Sud du Maroc).
(Contribution to the study of physico-chemical analysis and metal contamination of coastal Agadir seawater.) (South Morocco)

A. Chaouay¹, R. Okhrib¹, M. Hilali¹, L. Bazzi¹, A. Chahid², F. Khiri³

¹Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Laboratoire Matériaux ET Environnement, B.P. 8106, Agadir, Maroc

²Office National des Sécurité Sanitaire Alimentaire (ONSSA), Laboratoire régional des analyses et de recherches

³Centre Régional des métiers de l'éducation et de la formation (CRMEF), Inzegane.

Received 27 Jan 2016, Revised 15 May 2016, Accepted 18 May 2016

*Auteur correspondant. E-mail: l.bazzi@uiz.ac.ma.

Résumé

Le présent travail concerne d'une part l'étude des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer du littoral d'Agadir et d'autre part un diagnostic sur l'état de sa pollution en métaux traces (Cd, Pb et Hg). Pour réaliser cette étude, des prélèvements mensuels entre (Novembre 2013, Janvier, Avril et Juillet 2014) d'eau de mer ont été effectués au niveau de quatre zones différentes de la Baie d'Agadir. Le choix de ces quatre zones est surtout lié aux activités socio-économiques à proximité de chaque zone. Les résultats obtenus montrent que les teneurs métalliques dans l'eau de mer présentent des variations significatives selon les zones et les saisons de prélèvement. La zone 1 (plage touristique Beach club) reste cependant la moins contaminée par les métaux étudiés. Une étude en parallèle a été aussi réalisée sur la variation des paramètres physico-chimiques : pH, salinité, conductivité, température et l'oxygène dissous. A l'issue des résultats obtenus, une interprétation des données a été faite sur la base de la corrélation existante entre les différents paramètres et la répartition des zones d'étude en groupe et selon le degré de contamination en métaux lourds.

Mots clés : Contamination, littoral d'Agadir, Eaux de mer, Paramètres physico-chimiques, Métaux lourds

Abstract

This work concerns, on the one hand, the study of the physicochemical parameters of seawater coastal Agadir and secondly a diagnosis on the state of the trace metal pollution (Cd, Pb and Hg). To conduct this study, monthly withdrawals (November 2013, January, April and July 2014) of sea water were carried out at four different areas of the Bay of Agadir. The choice of these four areas is mostly linked to socio-economic activities in the vicinity of each zone. The results obtained show that the metal concentrations in seawater exhibit significant variations depending on areas and the sampling seasons. Zone 1 (tourist area) remains the least contaminated by heavy metals studied. A parallel study was also performed on the variation of the physico-chemical parameters: pH, salinity, conductivity, temperature and dissolved oxygen. In the light of the results, interpretation of the data was made on the basis of the correlation between different parameters and distribution of study areas in groups according to the degree of heavy metal contamination.

Keywords: Contamination, Bay of Agadir, sea water (Morocco), physico-chemical parameters, Heavy metals.

1. Introduction

Le Maroc possède un territoire maritime d'environ 3500 km : les côtes méditerranéennes s'étendent sur 512 km, la façade atlantique sur 2934 km. Le littoral abrite 13 régions côtières avec 145 plages dont l'étendue

varie de 0,5 à 10 km [1]. En effet les côtes marocaines présentent l'avantage d'être parmi les plus riches du monde avec une large diversité d'écosystèmes. Cela représente un patrimoine naturel riche et varié qui procure des ressources à la base de diverses activités : ostréiculture, pêche... Cependant, le littoral marocain se caractérise par une forte urbanisation qui n'a cessé de s'accroître depuis le début du siècle (+4,4 % par an) représentant 19,4 % en 1936, 29 % en 1960 et 42,8 % en 1982 [1], accompagnée d'une industrialisation importante source d'une pollution marine non maîtrisée. Le littoral concentre donc, les plus importantes agglomérations du pays : 60 % de la population des grandes villes, 50 % des activités touristiques et 92 % des industries [2].

La ville d'Agadir est connue par la vocation touristique de sa baie et la renommée internationale de ses richesses halieutiques. Elle possède une zone littorale qui présente des formations côtières variées : baies, plages, estuaires, sites portuaires et industriels. Toutefois, sa qualité se trouve de plus en plus menacée par le rejet direct des volumes importants d'eaux usées et polluants biologique et chimique résultants de l'activité des deux ports [3,4]. Cependant, l'essor économique et les activités touristiques et agricoles ainsi que la croissance démographique que la région a connue depuis plus d'une décennie, menacent la préservation des paysages et des ressources marines en l'absence de mesures de protection.

Au cours du siècle dernier, les métaux lourds ont été déversés dans les environnements côtiers du monde en raison de développement industriel [5-9]. Dans la présente étude, une contribution intéressante nous a paru envisageable, à l'évaluation des paramètres physico-chimiques et l'évaluation des trois métaux lourds à savoir le plomb, le cadmium et le mercure dans les eaux superficielles des quatre sites marins de la Baie d'Agadir, (Plage sableuse de Beach Club, Plage rocheuse d'Anza, ancien Port et Plage d'Aghroud), en essayant de déterminer leurs origines, et leur impact, à moyen et long terme, sur la qualité du milieu marin de la région.

2. Matériel et méthodes

2-1 Présentation générale des zones d'études

Pour suivre la pollution en métaux traces et l'analyse physico-chimique des eaux de mer de la Baie d'Agadir, quatre zones ont été choisies en fonction du type de plage, qualité du rejet et l'origine des polluants. La figure 1 montre le positionnement de ces quatre zones choisies le long de la baie d'Agadir. En examinant cette figure, en allant du Sud vers le Nord, se situe la plage d'Agadir (**Z1**) en face du Beach-club avec une latitude comprise entre 30°24' et 44,3'' Nord, et une longitude entre 9°36' et 19,4'' Ouest, à 3,45 km en aval se situe l'ancien port d'Agadir (**Z2**) avec une latitude comprise entre 30°25' et 25,8'' nord, et une longitude entre 9°38' et 1,4'' ouest, à 5,3 km où s'ouvrent les émissaires des eaux usées se situe la plage d'Anza (**Z3**), avec une latitude comprise entre 30°27' et 28,4'' Nord, et une longitude entre 9°39' et 58,4'' Ouest, Sa forme est convexe vers la mer. Sa longueur est de 1000 m environ pour une largeur de 100 m lors de la basse marée, et à 21 km en aval de la zone 3 se situe la plage d'Aghroud (**Z4**), avec une latitude comprise entre 30°35' et 53,8'' Nord, et une longitude entre 9°46' et 30,3'' Ouest.

2-2. Prélèvement des eaux et mesure des paramètres physico-chimiques

Pour la réalisation de ce travail, nous avons effectué des prélèvements périodiques entre (Novembre **2013**, Janvier, Avril et Juillet **2014**) d'eau de mer de quatre zones différentes de la baie du grand Agadir suivant le protocole défini par [10]. Les prélèvements ont été effectués à Chaque point et sur 20 cm sous la surface de l'eau entre 9 heures et 12 heures du matin, à marée basse. Dans la zone 2 (Ancien port d'Agadir), les prélèvements d'eau ont été effectués au moyen d'une bouteille de prélèvements Niskin 1010 (General Oceanics, USA) de 2 l de capacité, avant d'être placée dans des flacons stériles en polyéthylène (1,5L). A chaque prélèvement, la température de l'eau ($T^{\circ}e$), la conductivité électrique (σ), la salinité (sal), le pH et l'oxygène dissous (OD) ont été mesurés in situ. Ils ont été ensuite conservés à 4°C pendant le transport au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes [11]. et par [12]. La qualité des mesures des paramètres chimiques et physiques sur le terrain a été contrôlée grâce à l'utilisation des étalons certifiés CONSOR. Les bouteilles destinées aux analyses des métaux traces ont été nettoyées suivant la méthode décrite par [12]. Les flacons contenant les échantillons d'eaux de mer à analyser ont été décontaminés et contenant l'agent de préservation [0,5 ml de HNO₃ 50 % (V/V) à pH=2], ont été transportés au laboratoire dans des conditions isothermes entre 4°C et 6°C à l'obscurité, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Le pH et la température ont été mesurés à l'aide d'un pH mètre (HI 8014 Hanna Instruments).

2-3 Dosage des métaux traces

Les méthodes d'analyses des métaux en traces (Cd, Pb et Hg), sont celles préconisées par les normes [11].et par [12]. Le dosage des métaux en traces a été effectué sur les échantillons d'eau de mer prélevés de chaque Zone après leurs filtrations sur filtre cellulosique de 0,45µm selon [12]., et leurs stabilisations par HNO₃ 50 % (V/V) à pH=2, selon les méthodes d'analyses préconisées par les normes [11] et par [12]. Le Cadmium et le plomb ont été dosés par spectrométrie d'absorption atomique (SAA) à four à graphite GFA-EX7i. L'appareil est de marque Perkin Elmer AA-6300 Shimadzu; flamme Air acétylène, équipé d'un four à graphite GFA-EX7i). Il est piloté par un logiciel WIZAR. Les analyses ont été effectuées au sein du laboratoire régional des analyses et de recherches d'Agadir appartenant à l'office national des sécurités sanitaires alimentaires (ONSSA) certifié (ISO 17025). L'analyse du mercure dans l'eau de mer est réalisée par Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) formation de vapeurs froides (L'appareil est de marque Aula 254 automatid mercury alyzer)

2-4 Traitement statistique et analyse des données

La variabilité des teneurs en métaux a été étudiée à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (mois et zones) effectuée par analyse en composantes principales (ACP) du logiciel XL STAT [13]. C'est une méthode qui permet de synthétiser, de décrire et de classer les données d'un tableau pour fournir un résumé. Elle permet d'évaluer l'importance relative de chaque élément dans la structure de l'ensemble [14]. Son utilisation permet de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit [15]. Cette méthode est appliquée dans notre cas pour apprécier, les relations entre les différentes variables que nous avons mesurées, mais surtout pour accéder à leur structuration afin de pouvoir les regrouper par zone.

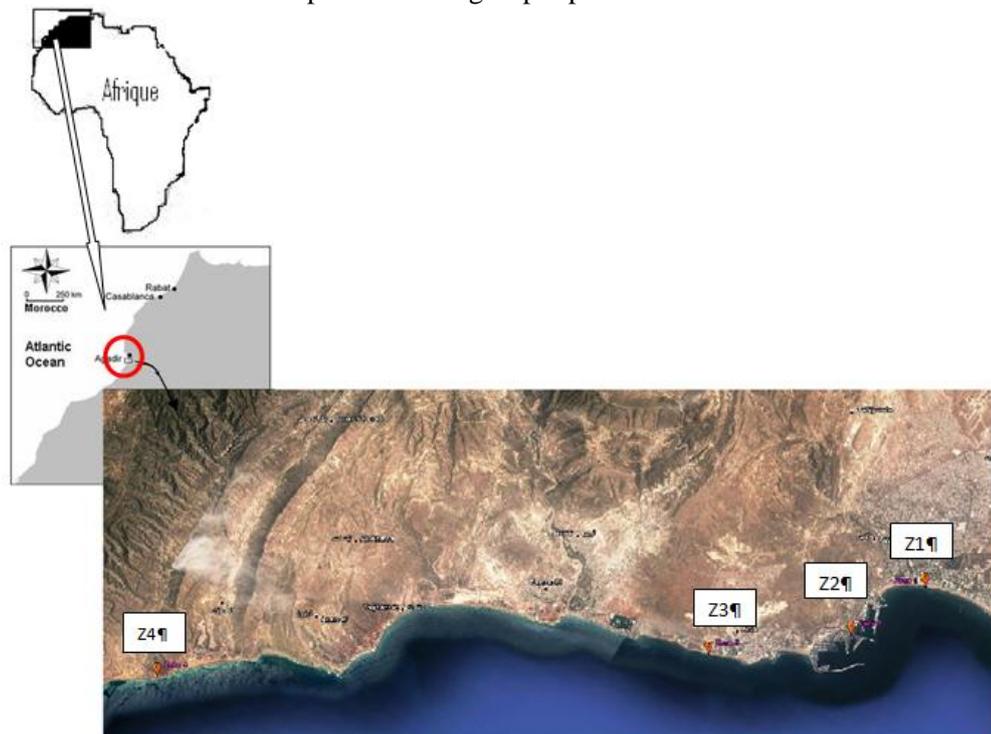


Figure.1. Localisation des zones de prélèvement de l'eau de mer de la Baie du grand Agadir (Maroc).

3- Résultats et discussion

Les résultats du suivi spatial des paramètres physicochimiques sont représentés sur les figures de 2 à 6.

3-1 Température de l'eau (T)

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques [16]. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau et particulièrement les micro-organismes [17]. Les valeurs de la température mesurées dans les quatre zones sont représentées dans la figure 2. Les températures enregistrées varient en fonction des périodes de prélèvements, elles oscillent entre 22°C et 23 °C en mois de Novembre, Janvier et Avril et entre

24°C et 25°C en mois de Juillet. Ces légères variations de température suivent celles du climat de la région. Globalement, la température moyenne de l'eau de mer des zones étudiées est liée aux conditions météorologiques car la couche superficielle est soumise à l'influence directe du climat régional qui est caractérisé par une saison froide et une saison chaude.

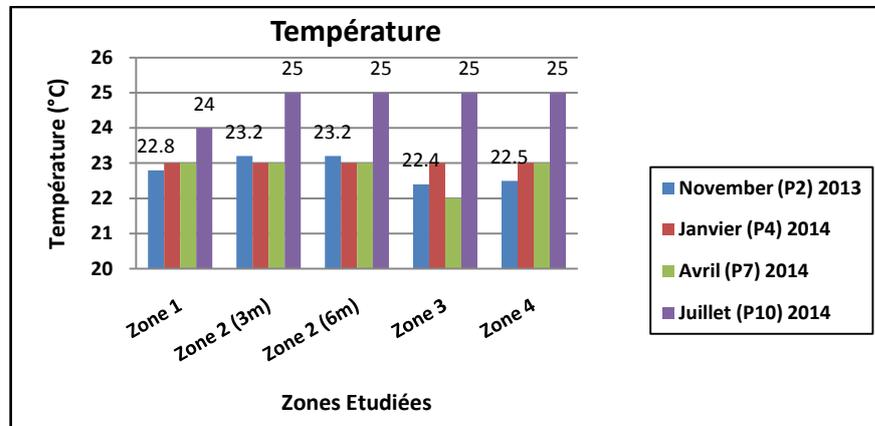


Figure 2 : Evolution Spatio-temporelle de la température (°C) de l'eau de mer de la baie d'Agadir

3-2 Potentiel hydrogène (pH)

Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples. Il mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates [18, 19, 20]. La variation du pH causée par certains rejets industriels ou les apports d'eaux de ruissellement est un indice de pollution [21]. Les valeurs observées révèlent que le pH des eaux de mer (figure 3) est alcalin dans toutes les zones étudiées de la baie d'Agadir, aussi bien en période de pluie qu'en période sèche. La valeur du pH varie entre 8,02 et 8,62 (figure 3). Ces valeurs sont proches aux valeurs du pH de l'eau de mer qui est de 8,3 [22]. Les faibles variations du pH enregistrées dans ces zones sont liées à l'action alcalinisante de l'eau de mer.

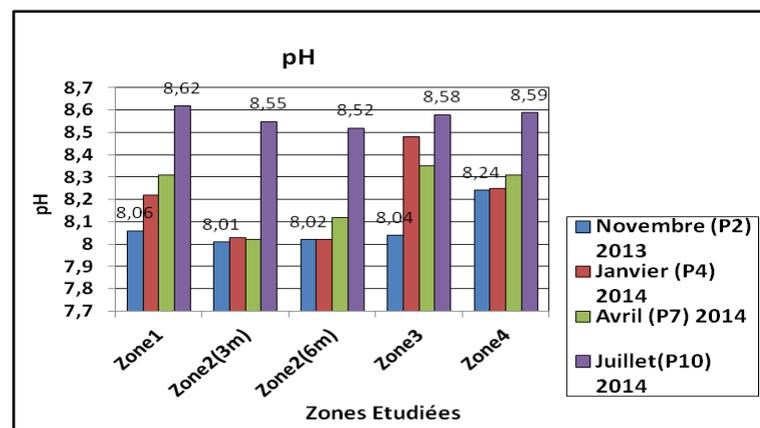


Figure 3 : Evolution Spatio-temporelle du pH de l'eau de mer de la baie d'Agadir

3-3 Salinité (Sa)

La salinité des eaux de mer des sites étudiées montre des variations saisonnières très marquées (figure 4). Durant la saison pluvieuse, les apports pluviométriques abaissent la salinité des eaux pour atteindre 30,1g/l, contrairement à la saison sèche où a lieu une élévation de ce paramètre suite à la forte évaporation. Les valeurs moyennes extrêmes de la salinité enregistrées au cours des différentes campagnes sont de 30,1g/l dans les quatre zones au mois de Janvier et de 36,6 g/l au mois de Novembre, Avril et Juillet. Ces résultats sont comparables à ceux trouvés dans la même région dans des travaux antérieurs [23, 24,25].

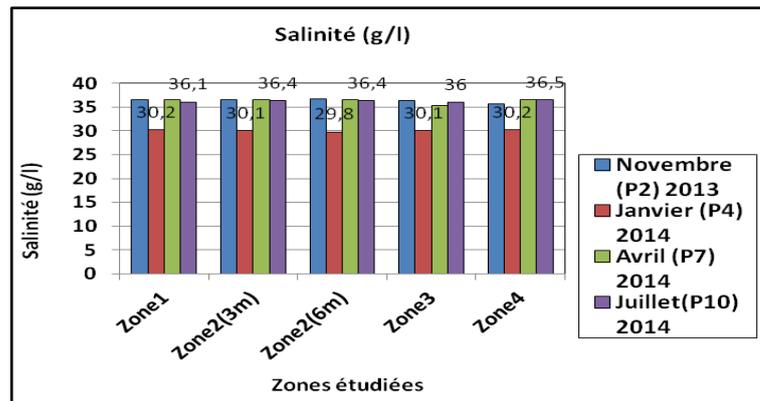


Figure 4 : Evolution Spatio-temporelle de la salinité (g/l) de l'eau de mer de la baie d'Agadir

3-4 Conductivité (σ)

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier le degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa conductivité spécifique. Les valeurs moyennes enregistrées, montrent des variations importantes (figure 5). Elles oscillent entre 47 ms/cm au mois de Janvier et 55,4ms/cm au mois de Novembre, Avril et Juillet. La répartition temporelle de la conductivité électrique des eaux de mer des zones étudiées montre une diminution pendant la période pluvieuse. L'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

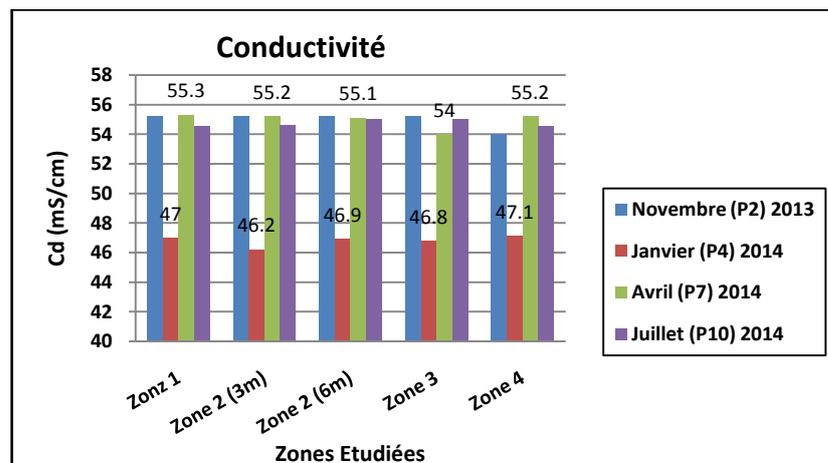


Figure 6 : Evolution Spatio-temporelle de la conductivité (mS/cm) de l'eau de mer de la baie d'Agadir

3-5-Oxygène dissous (OD mg/l)

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution. Sa présence dans les eaux de surface joue un rôle prépondérant dans l'autoépuration et le maintien de la vie aquatique. La concentration d'oxygène dissous évolue essentiellement sous l'influence de l'activité biologique des micro-organismes présents le long de la colonne d'eau et aussi en fonction du mélange adventif avec d'autres masses présentant des concentrations en O₂ différentes. Dans notre étude, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées au mois de Juillet par rapport à celles des mois de Novembre, Janvier et Avril (figure 6). En effet, les teneurs enregistrées dans les quatre zones varient entre 6,8 mg O₂/L enregistrée au mois de Janvier et 7,2 mg O₂/L respectivement au mois de Juillet. Ceci est en désaccord avec les études antérieures, suggérant qu'une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [26]. Cette baisse de l'oxygène dissous en période hivernale peut être expliquée par :

- Les apports excessifs en matières organiques fermentescibles rejetées par les égouts de la ville d'Anza et de ces environs, les rejets de l'activité de la pêche au niveau de l'ancien port, et par l'activité touristique ;

- La charge en matière organique biodégradable d'origine domestique, industrielle rejetée et accumulée, contribuant à une chute sensible de l'oxygénation du milieu,
- Les apports excessifs des eaux pluviales en matières organiques polluantes pendant cette période se traduisant ainsi par une consommation accrue de l'oxygène et une baisse intermédiaire de sa teneur ;
- Les mouvements de la marée, qui engendre un brassage continu de la masse d'eau et par conséquent un enrichissement de la phase dissoute [27].

Par contre, l'amélioration de la qualité de l'eau de mer des zones étudiées en saison estivale peut être expliquée par la diminution d'apports organiques et par l'absence de remontée de la charge bactérienne.

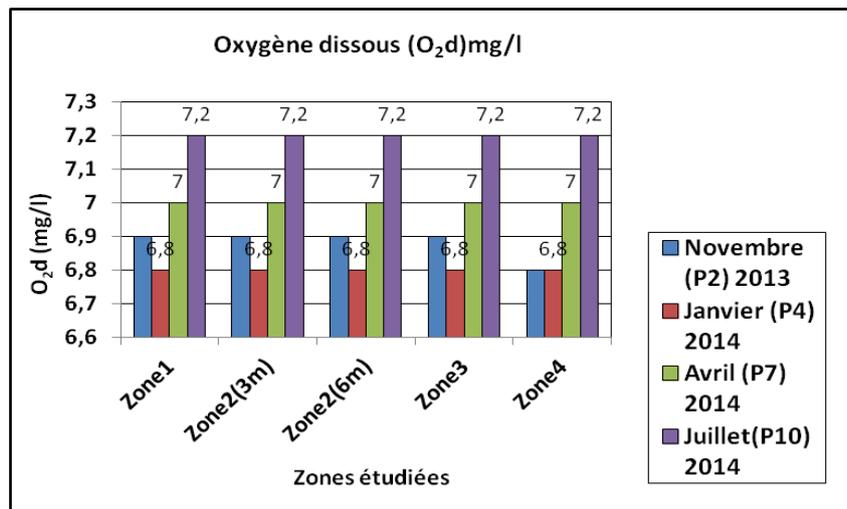


Figure 6 : Evolution Spatio-temporelle de l'Oxygène dissous (O₂d mg/l) de l'eau de mer de la baie d'Agadir

3-6 Analyse des métaux lourds (Cd, Pb et Hg)

Les résultats des analyses des éléments traces métalliques étudiées (Cd, Pb et Hg) dans l'eau de mer de la Baie d'Agadir pendant la période d'étude (Novembre 2013-Juillet 2014) sont représentés sur les figures 7, 8 et 9.

Si l'on passe en revue chacune des zones étudiées, on constate que les valeurs mesurées pour les trois métaux lourds (Cd, Pb et Hg), manifestent des fluctuations très fortes dans le temps et dans l'espace. On remarque aussi, une large variation dans la distribution des métaux lourds entre les différentes stations (figures 7, 8 et 9). Ceci mérite bien d'être expliqué pour les trois métaux lourds, particulièrement pour les concentrations du cadmium en automne.

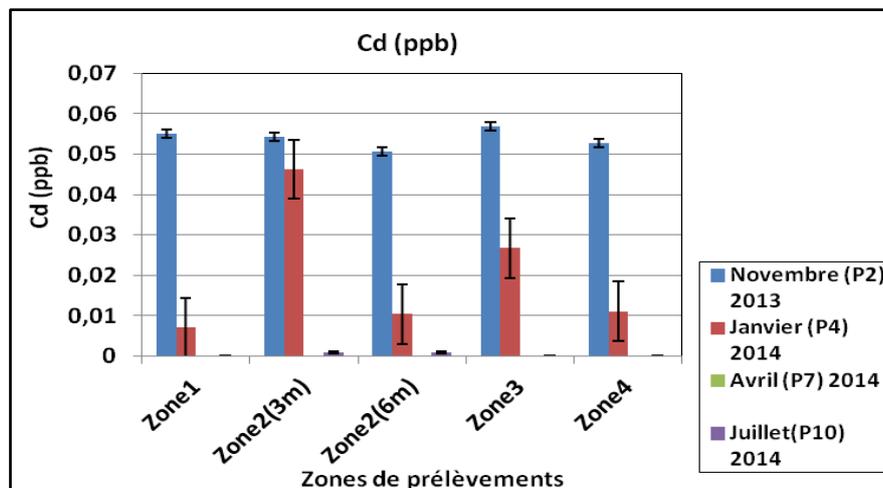


Figure 7 Evolution Saisonnière de la teneur du Cadmium dans les eaux de mer de différentes zones étudiées de la Baie d'Agadir

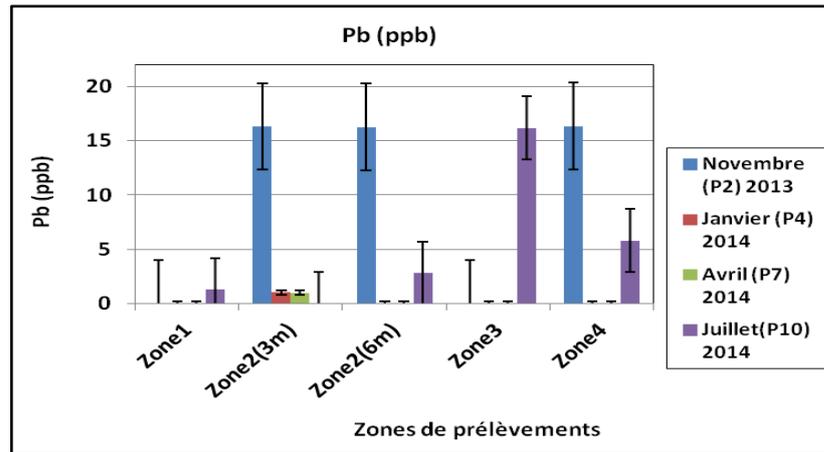


Figure 8 Evolution Saisonnière de la teneur du Plomb dans les eaux de mer de différentes zones étudiées de la Baie d'Agadir

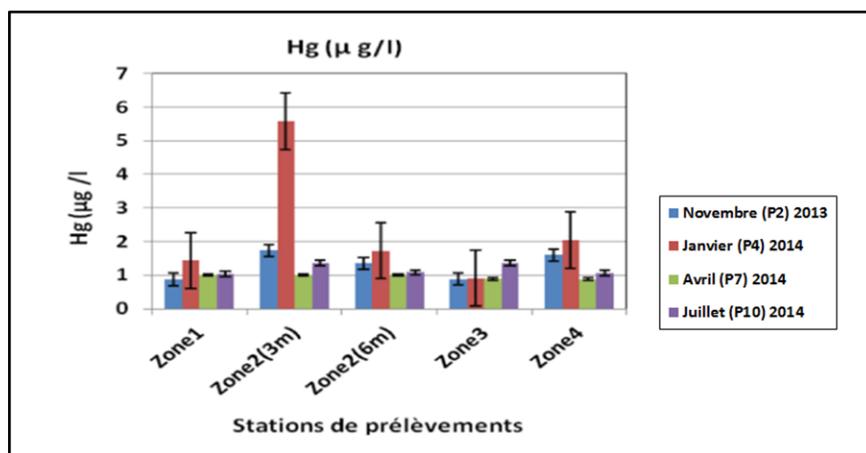


Figure 9 Evolution Saisonnière de la teneur du Mercure dans les eaux de mer de différentes zones étudiées de la Baie d'Agadir

Cas du cadmium:

En observant les valeurs trouvées pour le cadmium dans différentes zones étudiées, on remarque un passage des valeurs maximales en automne 2013 et en hiver 2014 et à des valeurs minimales en printemps et en été. Ce phénomène peut être lié à la direction du vent lors du prélèvement, aussi et vraisemblablement le résultat de la position de la jetée du port de l'usine qui dirige les eaux chargées en effluent vers le large. Ces eaux ne tardent pas à revenir vers la côte lorsque le vent prend de secteur Nord-Sud. D'autres points de rejets pourraient être en cause, en particulier le rejet des eaux usées urbaines et industrielles au niveau de la zone 3.

Cas du Plomb:

L'élévation de la concentration du Plomb au niveau de la zone Z2 (Ancien port d'Agadir) peut être expliquée par :

- des pollutions diffuses (rejets des polluants dans le bassin, apports dus à l'existence de sites industriels désaffectés) et par l'activité de la pêche à ce niveau.
- L'embarquement des bateaux pendant la saison de repos et l'entretien de ces derniers.
- L'apport indirect du Pb par lessivage des routes par les eaux pluviales pendant le mois de Janvier.

Les concentrations élevées de Pb au niveau de la zone Z3, semblent être liées en partie au grand trafic routier (route, principale) qui relie Anza à Essaouira. Le plomb, utilisé comme antidétonant dans les carburants des moteurs des véhicules, est libéré directement dans l'atmosphère par les pots d'échappement. La contamination est directe par les retombées atmosphériques, aussi par les rejets des eaux usées urbaines et industrielles sans aucuns traitements.

Pour la zone Z4, l'augmentation de la concentration du Plomb au mois de Novembre peut être expliquée par l'apport indirect après lessivage des routes par les eaux pluviales [28,29] et par sa proximité à un grand centre touristique offrant des débouchés commerciaux et par l'activité sportive de jet-ski (scooter des mers) pratiquées dans la mer de cette plage. Les concentrations diminuent énormément au niveau de la zone 1.

Cas du mercure:

Les hétérogénéités de distribution du mercure Hg, les fortes concentrations durant la période humide, peuvent être le résultat de différences saisonnières dans les apports atmosphériques et des eaux pluviales. On observe une très forte concentration enregistrée au mois de janvier au niveau du port, due probablement à une pollution ponctuelle par des rejets industriels. Cependant, ces hypothèses restent spéculatives.

3-7 Typologie de la contamination métallique de l'eau de mer de la Baie d'Agadir

L'analyse multifactorielle (ACP) effectuée nous a permis de classer et de traiter les informations relatives aux paramètres physico-chimiques et aux éléments traces métalliques dans les eaux de mer de la Baie d'Agadir au cours de la période d'étude. Le but est d'établir des corrélations entre l'ensemble des variables de l'eau de mer. Cette ACP a été effectuée sur une matrice des données constituée de 20 prélèvements (5 Zones x 4 campagnes) au cours desquels les 8 variables (température de l'eau (T), salinité (Sa), conductivité (σ), pH, oxygène dissous (O₂d), Cd, Hg et Pb) ont été mesurées.

Les valeurs propres de l'ACP des deux composantes F1 et F2 et leur contribution à l'inertie totale sont représentées sur les Figures 10 et 11.

Les codes des variables ayant une forte corrélation et leurs coordonnées sont donnés dans le Tableau 1.

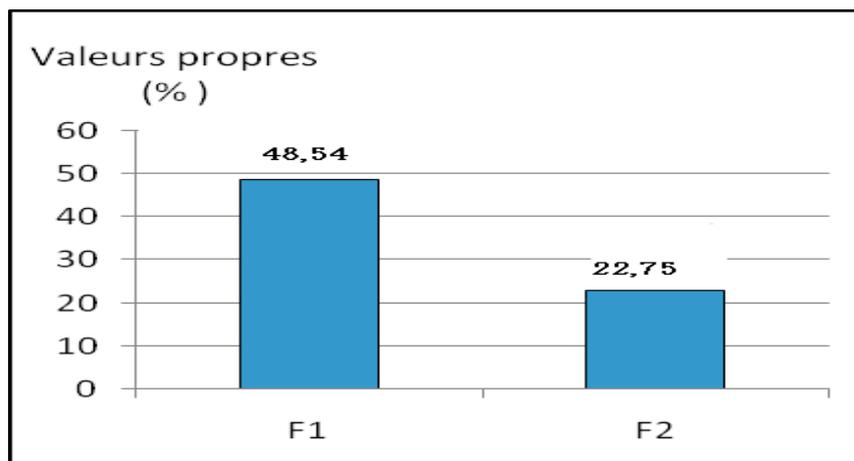


Figure 10 Approche graphique de l'ACP : Répartition de l'inertie entre les axes des paramètres physico-chimiques et des métaux dans l'eau de mer selon le plan F1xF2.

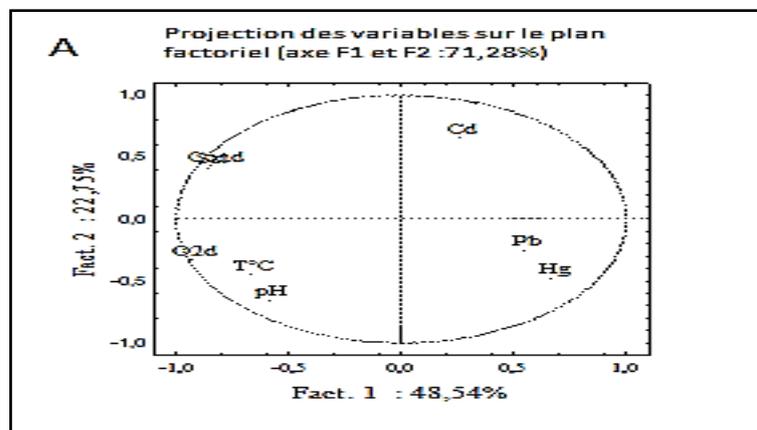


Figure 11 Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques et des métaux dans l'eau selon le plan F1xF2. A, cercles de corrélation des variables

Tableau 1 Codes de l'ACP et corrélations des variables avec les axes.

Stations	Code	Campagnes	Code	Variables	Codes	Axe 1	Axe 2
plage d'Agadir	Z1	Novembre	11	Mercure	Hg	0,678500	-0,481774
ancien port(3m)	Z2	Janvier	1	Cadmium	Cd	0,264278	0,652477
ancien port(6m)	Z3	Avril 2014	4	Plomb	Pb	0,552633	-0,254868
plage d'Anza	Z4	Juillet 2014	7	Conductivité	Cnd(σ)	-0,834993	0,423101
plage d'Aghroud	Z5			pH	pH	-0,585367	-0,660881
				T°eau	T°e	-0,665435	-0,450924
				Salinité	Sa	-0,847493	0,407896
				O₂d	OD	-0,919945	-0,334100

Résultats des variables :

Les Tableaux 2 et 3 regroupent les résultats de l'analyse de l'ACP. Nous constatons que les deux premiers facteurs restituent à eux seuls 71.28% de la dispersion du nuage ; ce qui permet de négliger les autres facteurs. Les deux premières colonnes du **tableau 3** permettent de réaliser le graphique des variables représenté sur la figure 10.

Tableau 2 : matrice des données des variables ayant une forte corrélation et leurs coordonnées

Val. Propres (matrice de corrél.) & stat. associées (Métaux lourds ACP.sta) Variables actives seules				
	Val. propr	% Total	Cumul	Cumul
Hg	3,882823	48,53529	3,882823	48,5353
Cd	1,819902	22,74877	5,702725	71,2841
Pb	1,294060	16,17576	6,996786	87,4598
σ	0,665178	8,31473	7,661964	95,7745
pH	0,233725	2,92156	7,895689	98,6961
T	0,068032	0,85040	7,963721	99,5465
Sal	0,035987	0,44983	7,999707	99,9963
O₂d	0,000293	0,00366	8,000000	100,0000

Tableau 3 : matrice des données des variables,

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7	Fact. 8
Hg	0,678500	-0,481774	-0,519355	0,039782	-0,066437	0,165764	-0,065784	-0,000118
Cd	0,264278	0,652477	0,662971	0,215597	0,042896	0,099687	-0,081489	-0,000155
Pb	0,552633	-0,254868	0,388172	-0,680940	0,121621	0,019170	-0,011134	0,000044
σ	-0,834993	0,423101	-0,271001	-0,201003	0,059747	0,078681	0,004748	0,012071
pH	-0,585367	-0,660881	0,192376	0,249096	0,344924	0,047938	0,015938	-0,000058
T	-0,665435	-0,450924	0,509034	-0,019356	-0,287009	0,093034	0,057824	0,000500
Sal	-0,847493	0,407896	-0,252474	-0,206251	0,047965	0,080725	0,011415	-0,012113
O₂d	-0,919945	-0,334100	0,028542	-0,089831	-0,073906	-0,081169	-0,145410	-0,000227

Résultats des individus :

Tableau 4 : matrice des données des individus

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7	Fact. 8
Z2-1	2,76066	0,11149	0,39732	1,29040	-0,877216	0,032033	-0,305779	0,007494
Z2-4	-0,10765	-0,02181	-2,12403	-0,67593	-0,827142	0,053886	-0,007463	-0,013305
Z2-7	-2,61899	-0,96489	0,86630	0,14340	-0,264551	0,059151	0,018906	0,013488
Z3-11	-0,11489	2,01067	0,53984	-0,44540	-0,211047	0,210441	0,044313	-0,000420
Z3-1	3,67927	-1,10031	0,92461	-1,62937	-0,229705	-0,213737	-0,065561	-0,034821
Z3-4	-0,83481	0,91335	-0,69032	-0,30880	-0,188478	-0,759715	0,329996	0,009758
Z3-7	-2,55077	-0,91769	0,88269	0,01239	-0,332426	0,039132	0,003121	0,014258
Z4-11	0,10039	2,45390	0,05295	0,22286	0,270220	-0,151151	-0,291243	0,004802
Z4-1	2,08581	-1,16286	0,34214	1,85201	0,467228	0,199154	0,098873	-0,014240
Z4-4	0,13162	-0,55842	-2,18835	0,05749	0,773758	-0,204960	-0,301966	0,013568
Z4-7	-2,39103	-1,23378	1,12060	-0,20431	-0,066946	0,026194	-0,000891	0,018814
Z5-11	0,49176	1,72804	0,56691	0,15291	0,955672	0,109511	0,326163	-0,011475
Z5-1	3,22922	-1,49265	0,99371	-1,40470	0,542626	0,138469	0,007054	0,034923
Z5-4	-0,49017	-0,66937	-1,97680	-0,22781	0,071492	0,355553	0,073228	0,000954
Z5-7	-2,62446	-1,10128	0,94996	0,01715	-0,087403	0,094872	0,038125	-0,031145

Dans le plan factoriel F1 x F2 :

Les deux premières colonnes des facteurs F1 et F2 fournissent les coordonnées des individus (zone et mois du prélèvement), et ont permis de réaliser le graphique des individus (Figure12). L'axe F1 de la figure11 présente une corrélation positive avec le plomb (Pb) et le mercure (Hg), et une corrélation négative avec l'oxygène dissous (O₂d), pH, et la température (T°C). Le Cd n'est pas significatif, donc il a une corrélation positive avec les 2 axes. La conductivité et salinité (Sa) ont une corrélation négative avec l'axe1 et positive avec l'axe2. Le Cadmium (Cd) s'oppose systématiquement avec la température T, le pH et l'O₂d à l'axe1. Cela explique que le Cd existe quand la température (T°C) et le pH augmentent. La salinité et la conductivité s'oppose systématiquement avec le mercure (Hg), et le Pb par rapport à l'axe1. L'analyse globale (figure 12) permet de définir une typologie dominée par l'individualisation des 4 groupes GI, GII, GIII et GIV. Cette organisation spatiale dégage la position exacte des zones par rapport à leur situation :

- Groupe I (GI) comprend les zones1, 2 et 4 situées dans une zone à forte pollution due à une diminution de l'oxygène dissous, et une teneur élevée en Pb et Hg .Ceci s'explique par une activité industrielle maritime au mois du Janvier. La teneur de ces métaux augmente indépendamment des autres variables sur l'axe1.

- Groupe II (GII) caractérisé par une homogénéité pour les variables (T et pH), une augmentation de la concentration en oxygène dissous liée aux influences marines, une diminution de pollution organique importante et une charge importante en Pb et Hg pendant le mois de juillet. La présence de ces éléments pourrait être liée au trafic routier et aux activités maritimes et touristiques.

- GIII et GIV ont une hétérogénéité pour toutes les variables, néanmoins le GIII (mois de Novembre) caractérisé par une teneur élevée en Cadmium (Cd), et une augmentation de la salinité et de la conductivité causée par une pluviométrie cruelle. Donc cela explique qu'il y a une corrélation positive avec le Cd, salinité et conductivité.

Les deux axes F1 et F2 confirme que les prélèvements du mois d'Avril présente une diminution en O₂ dissous et en métaux traces ; ce qui explique une pollution bactérienne causée par les rejets des eaux usées chargées de matières organiques.

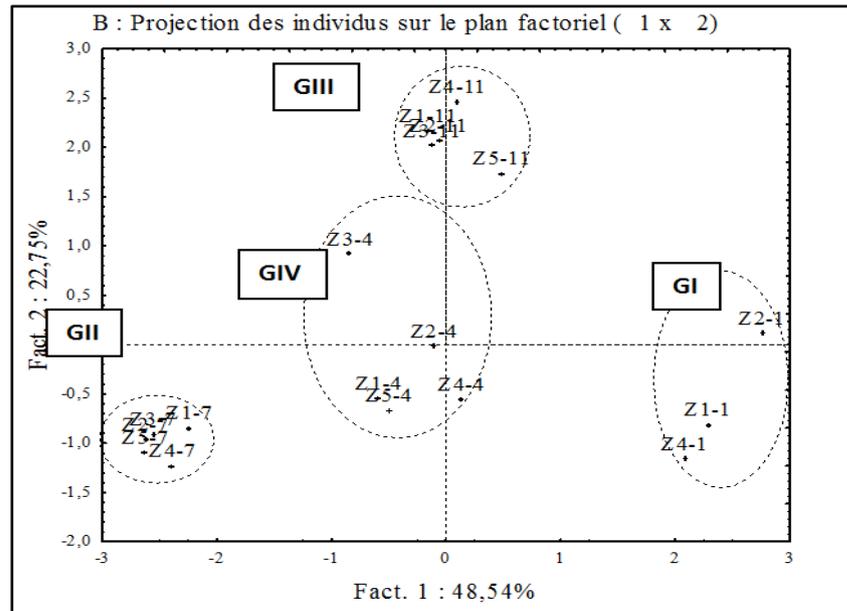


Figure12 Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques et des métaux traces dans les eaux de mer selon le plan F1xF2. Carte factorielle des zones et de campagnes.

Conclusion

A la lumière des résultats obtenus au niveau des paramètres physico-chimiques mesurés dans l'eau de mer et de la charge métallique de l'eau de mer de la baie d'Agadir, les conclusions suivantes peuvent être annoncées :

- ❖ Les valeurs obtenues des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité et salinité) sont conformes avec les valeurs enregistrées dans l'eau de mer habituelle.
- ❖ Pour l'oxygène dissous, les valeurs mesurées dans les saisons d'hiver et du printemps sont inférieures par rapport aux valeurs d'été.
- ❖ Une contamination métallique de l'eau de mer de la Zone2 (ancien port d'Agadir) par les 3 métaux traces étudiés.
- ❖ L'ensemble des métaux lourds dans les quatre zones ont montré des variations saisonnières importantes caractérisées par des valeurs élevées en automne et en hiver et des valeurs plus faibles en été, excepté la zone 3 qui a enregistré une valeur très élevée en été pour le plomb.
- ❖ Les teneurs métalliques de l'eau de mer de la baie d'Agadir, dans les quatre saisons, montrent des variations significatives selon les zones caractérisées par des rejets d'eaux usées et industrielles et la saison de prélèvement.
- ❖ Les concentrations les plus élevées sont celles du Plomb (16,34 ppb) suivi du mercure (5,6 μ g/l) et du cadmium (0,056 ppb). Un suivi minutieux de l'évolution de cette pollution s'avère d'une grande nécessité pour sauver et protéger l'écosystème marin afin de préserver ses potentialités bioécologiques et d'améliorer l'état de santé de la population marine.
- ❖ Aucune relation ne se dégage entre les paramètres physico-chimiques et la teneur en métaux traces étudiées. Les variations saisonnières ne semblent pas modifier le niveau de contamination par le Pb, Cd, et Hg.
- ❖ Les fluctuations métalliques observées sont plus influencées par les conditions d'origine anthropique que d'origine naturelle de l'eau de mer.

Références

1. Mansour M. (2003) TS7 Coastal Zone Management, 2nd FIG Regional Conference, 2-5 décembre Marrakech Maroc, (2003) 1-7.
2. Hannou E.K. TS7 Coastal Zone Management, 2nd FIG Regional Conference, 2-5 décembre Marrakech Maroc, (2003) 1-13.
3. SAFEGE, Projet d'assainissement liquide du grand Agadir, Rapport final. Agence Française du Développement et Régie Autonome Multiservices d'Agadir (1994) 215.
4. SAFEGE Projet d'assainissement liquide du grand Agadir. Rapport d'étude, Agence Française du Développement et Régie Autonome Multi-services d'Agadir (1998) 149.
5. Lee S.V. Cundy, A.B. *Coastal and Shelf Science* 53 (2001) 619-636
6. Bellucci L.G. Frignani M. Paolucci D. Ravanelli M. *Science of the Total Environment* 295 (2002) 35.
7. Munksgaard N.C. Lim K. Parry D.L. *Coastal and Shelf Science* 57(2003) 399.
8. Spencer K.L. Cundy A.B. Croudace I.W. *Coastal and Shelf Science* 57(2003) 43.
9. Maanan M. Zourarah B. Carruesco C. Aajjane A. Naud J. *Journal of African Earth Sciences* 39(2004) 3 et 473.
10. Rodier. J. L'analyse de l'eau Dunod 9^{ème} Ed., (1984)798.
11. Association Française de Normalisation (AFNOR), Recueil des Normes françaises Environnement. Tomes 1, 2, 3 et 4 (1997) 1372.
12. Rodier J. Bazin C. Broutin J.P. Chambon P. Champsaur H. Rodi L. L'analyse de l'eau, 8ème édition. Dunod Ed., Paris, France (1996) 1383
13. Foucart S. (1982) Analyse factorielle. Programme sur ordinateur. Masson, Paris, France.
14. Lefebvre J. Modèle mathématiques en hydrologie. Centre d'informatique géologique, Ecole Nat.Mines, Paris, (1980).
15. Clarke K.R. and Ainsworth. M. *Mar. Ecol.*, 92 (1993) 205.
16. LEYNAUD G. B.T.I. Ministère de l'agriculture, (1968) 224-881.
17. W H.O. Global Environment Monitoring system, (1987).
18. Ezzaouaq M. Thèse Doct. Etat, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, Maroc, (1991) 140.
19. El Blidi S. et Fekhaoui M. *Bull. Inst. Sci. Rabat, Maroc section Sciences de la Vie*, 25 (2003) 57.
20. Himmi N. Fekhaoui M. Foutlane A. Bourchich H. El Maroufy M. Benazzou T. et Hasnaoui M. *Riv. Idrobiol. Perugia* 42 (2003) 1 et 129.
21. Aminot A., and M. Chaussepied., Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Aminot A., Chaussepied M. ed., Paris (1983).
22. Aminot A , kerouel R., Ifremer Éd. Paris (2004) 336.
23. Lagbouri,A. Thèse de 3ème cycle. Agadir.Maroc (1997) 147.
- 24 . Moukrim,A., Kaaya,A.,Najimi,S.,Romeo,M.,Gnassia- Barelli M.,Narbonne,J.F. *Environ. Contam. Toxicol.* 65 (2000) 478-485
25. Agnaou M. Thèse de Doctorat, Agadir, Maroc (2010) 72-80
26. Hebert S. & Légaré S. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec (2000) 5
27. El Morhit M. Thèse de Doctorat, Rabat Maroc (2009) 31
28. Conor R. Applied sciences publishers Ed. London, (1980) 290
29. Goody D.C. Shand P. Kinnibur D.G. et Vanriemedij K. *Europ. J. Soil Sci.*, 46 (1995) 265-285.

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