



## **Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal (Contribution to Space and temporal Study of the physicochemical quality of water from the Senegal River right bank)**

**Abdoulaye Demba N'diaye<sup>a\*</sup>, Khadijettou Mint Mohamed Salem<sup>a</sup>, Mohamed Brahim El Kory<sup>a</sup>, Mohamed Ould Sid' Ahmed Ould Kankou<sup>b</sup>, Michel Baudu<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> *Laboratoire de Chimie de l'Eau, Service de Toxicologie et Contrôle Qualité, Institut National de Recherches en Santé Publique de Nouakchott, BP 695, Tél. (222) 525 31 75, Mauritanie.*

<sup>b</sup> *Unité de l'Eau, Pollution et Environnement, Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Nouakchott- BP 5026, Tél. (222) 525 13 82, Mauritanie.*

<sup>c</sup> *Laboratoire du GRESE, Université de Limoges, 23, Avenue Albert Thomas, 87000, Limoges, France*

*Received 22 Oct 2012, Revised 21 Oct 2013, Accepted 21 Oct 2013.*

*\*Correspondance. E-mail: [abdouldemba@yahoo.fr](mailto:abdouldemba@yahoo.fr); Tel: (+22247419103)*

### **Résumé**

Dans le souci de mieux comprendre et gérer la qualité des eaux de surface, l'on entreprend souvent de longues et fastidieuses campagnes d'analyses. Celles-ci génèrent généralement assez de données dont l'interprétation n'est pas toujours aisée. L'application de l'Analyse en Composantes Principales pour une telle tâche pourrait être salutaire. C'est dans l'optique d'une telle application que 8 paramètres physico-chimiques, provenant de l'analyse d'échantillons d'eau collectés entre Novembre 2009 et Septembre 2010 sur 10 sites réparties sur le long de la rive droite du fleuve Sénégal, ont été analysés. L'application de l'Analyse en Composantes Principales sur les données physicochimiques nous donne deux variété d'eau : une variété d'eau caractérisée par une température élevée, basique, de salinité importante exprimée par la conductivité électrique et les chlorures et riche en fer et une variété d'eau riche en matières et particules en suspension et dissoutes, en ammonium et de débit très élevé. La première variété est caractéristique de l'eau du fleuve Sénégal pendant la saison sèche tan disque la deuxième variété est caractéristique de l'eau du fleuve Sénégal pendant la saison des pluies. Cette étude nous montre qu'il est possible, dans la perspective de création d'un outil de gestion, de simplifier le modèle initialement construit à partir de 8 variables pour le ramener à la mesure de 3 variables relativement simple et moins onéreux (Fer, Matières en suspension et Ammonium). Cette réduction est d'autant plus intéressante que les 3 variables à prendre à compte sont de mesures simples. Dans la perspective de la création d'outils de gestion, cet outil se présente comme une bonne alternative.

*Mots clés : Evolution, physicochimique, fleuve Sénégal, Mauritanie.*

### **Abstract**

In order to better understand and manage the quality of surface water is undertaken often long and tedious campaign analysis. They usually generate enough data; the interpretation is not always easy. The application of principal component analysis for such a task could be beneficial. This is in view of such an application as seven physicochemical parameters, from the analysis of water samples collected between November 2009 and September 2010 in 10 sites spread over along the right bank Senegal river, were analyzed. The application of Principal Component Analysis of physicochemical data gives us two groups of water: a group of water characterized by a high temperature, basic, major salinity expressed by electrical conductivity, chloride and rich an iron and a group rich in water and suspended particles, ammonium and the high flow. The first is characterized by the dry seasons and the second is characterized by the raining seasons. This study shows that it is possible, in view of creating a management tool to simplify the model originally constructed from 8 variables to return it to the measurement of 3 variables relatively simple and less expensive (Iron, Suspended matters and Ammonium). This reduction is particularly interesting that the 3 variables to be taken into account are simple measures. In view of the creation of management tools, this tool looks like a good alternative.

*Keywords: evolution, physico-chemical, Senegal River, Mauritania.*

## 1. Introduction

Dans la plupart des pays en voie de développement, par manque de moyens, le contrôle et le suivi de la qualité des eaux de surface utilisées pour la production des eaux de consommation ne sont pas systématiques. D'un point de vue scientifique, les campagnes de contrôles environnementaux produisent de grandes quantités de données qui, très souvent, ne sont pas simples à interpréter [1 ; 2]. Dans ce contexte, l'utilisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour l'interprétation des données semble une solution intéressante pour une meilleure compréhension de la qualité des eaux et des états écologiques des milieux étudiés [3]. Cette technique a également l'avantage d'identifier et de lier les différents facteurs (sources) aux effets observés sur les systèmes aquatiques. Elle est donc un meilleur outil de gestion des ressources en eaux permettant de trouver des solutions rapides aux problèmes de pollution [4-6].

Peu d'études ont été conduites sur la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie [7- 9]. Les travaux de Kankou [7] ont montré que la pollution du sol est la première responsable de la pollution des eaux et raison pour laquelle des résidus de pesticides tels que le méthylparathion, le 2,3-dichloropropionanilide et le paranitrophénol ont été décelés sur les eaux de la rive droite du fleuve Sénégal. Les travaux de Mint Mohamed Salem et al, [8 ; 9] ont mis en évidence d'une part, la présence très élevée des germes indicateurs de la contamination fécale, qui constituent sans doute une menace pour les habitants qui tirent l'eau nécessaire à la majeure partie de leurs besoins. D'autre part, parmi les paramètres physiques et chimiques étudiés, les valeurs de la turbidité sont très élevées pendant les saisons des pluies, comme la littérature l'indique cette forte turbidité pourrait être un vecteur des microbes, parasites et autres tels que les résidus de pesticides et des traces de métaux lourds.

L'objectif de la présente étude est l'application des techniques statistiques multi variées pour évaluer la qualité de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal. Dans la mesure où le fleuve Sénégal subit des contraintes qui menacent ses qualités physiques, chimiques et bactériologiques. A différents points géographiques ce cours d'eau reçoit des rejets d'eau usée domestique ou industrielle [7].

## 2. Matériels et Méthodes

### 2.1. Présentation et Hydrographie du fleuve Sénégal

Né dans le massif de Fouta Djallon en République de Guinée, le fleuve Sénégal se jette dans l'océan Atlantique après quelques 1 770 km de parcours. Il est le deuxième grand fleuve d'Afrique de l'ouest après le Niger 4 200 km. Son bassin versant fait 337 000 km<sup>2</sup> dont 60 000 km<sup>2</sup> dans le territoire national du Sénégal. Ses principaux affluents, le Bafing 750 km, le Bakoye 562 km et la Falémé 625 km, prennent leurs sources dans les montagnes de Fouta Djallon. Les autres affluents situés plus en aval comme le Kolimbiné 450 km et le Karakoro 310 km sont de moindre importance. Son débit moyen annuel actuel est de l'ordre de 410 m<sup>3</sup>/s en moyenne [7].

Le contexte sahélien du bas delta associé à une forte variabilité annuelle des pluies et des écoulements, a toujours favorisé de la part des populations locales des stratégies d'adaptation. Cependant, ces stratégies ajustées tout au long de l'histoire ne peuvent toujours pas répondre ou faire face à une modification régionale durable du contexte climatique. La sécheresse des décennies 1970 et 1980, sur l'ensemble de l'Afrique de l'ouest a favorisé l'émergence de réponses comme les ouvrages hydrauliques.

L'écoulement du fleuve est caractérisé par une forte irrégularité annuelle. Les conditions climatiques particulièrement dures ont entraîné un énorme déficit hydrique dans toute la vallée du fleuve Sénégal. En effet, le niveau des écoulements moyens annuels a connu une baisse très sensible ces dernières années puisque les volumes d'eau écoulés ont diminué de 14 milliards m<sup>3</sup>/an entre 1968 et 1987 [7].

Devant un tel état de fait et suite aux grandes sécheresses de ces années, les états de la Mauritanie, du Mali et du Sénégal ont créé l'Organisation pour la Mise en Valeur de Fleuve Sénégal (OMVS). Les objectifs majeurs de l'OMVS ciblent l'amélioration des revenus et la croissance économique dans les pays membres et à la modération les impacts des changements brutaux pouvant affecter le niveau de vie des populations rurales. C'est dans ce sens que le barrage anti-sel de Diama et le barrage hydroélectrique de Manantali ont été construits sur le cours principal du fleuve Sénégal respectivement en 1986 et 1988.

Le barrage de Diama, implanté dans l'estuaire du fleuve Sénégal, est situé à 26 km en amont de Saint Louis. Il empêche l'intrusion du biseau salé dans le delta et une partie de la moyenne vallée. Une transformation radicale de la vallée du Sénégal s'opère et marque une première rupture avec la construction des barrages de Diama et de Manantali à laquelle il faut associer la mise en eau de diverses infrastructures hydrauliques.

Le fleuve Sénégal joue un rôle très important comme source principale d'eau de surface pour la Mauritanie ainsi que le Sénégal et le Mali (Figure 1). En effet, ce fleuve arrose les quatre pays et draine un bassin versant de 340000 km<sup>2</sup>. Il est alimenté par trois affluents principaux : le Bafing, le Bakoye et la Falamé qui prennent tous

leurs sources dans le massif du Fouta Djallon en Guinée et qui se regroupent pour former ce fleuve qui est d'une longueur de 1800 km et traverse les quatre pays cités pour arriver au barrage de Diama en Mauritanie [10].



Figure 1: Quatre pays riverains du fleuve Sénégal et leurs différentes régions

Le barrage de Manantali est situé dans le bassin édifié sur le cours du Bafing, principal affluent du fleuve Sénégal. Le Bafing fournit approximativement 45% des apports du fleuve. Le barrage de Manantali a un rôle de stockage et de régulation des débits du fleuve. Avec une capacité de 12 milliards de  $m^3$ , il permettra notamment: de garantir un débit régularisé de  $300m^3/s$  (navigation), la production d'énergie électrique (800 GWh) et l'irrigation de 225.000 ha. Le barrage de Diama est situé dans le delta du fleuve à 25Km de l'embouchure. Il assure une fonction "anti-sel" en empêchant la remontée du front marin dans le lit du fleuve pendant l'étiage. Son influence arrivait jusqu'à Boghé (250 Km Est de Rosso) avant Diama. Le barrage permet également le rehaussement du plan d'eau (irrigation gravitaire / réduction de la hauteur de pompage) dans la vallée, 1,5m IGN avec l'endiguement actuel et 2,25 m IGN avec celui envisagé. Le barrage de Diama doit permettre l'irrigation de 125.000 ha supplémentaires [10].

Le régime d'écoulement du fleuve Sénégal dépend essentiellement des précipitations dans le Haut-Bassin. Il est caractérisé par : une saison de hautes eaux, de juillet à octobre et une saison de basses eaux à décroissance régulière, de novembre jusqu'à mai/juin. La saison des hautes eaux culmine en fin août ou début septembre et s'achève rapidement dans le courant d'octobre. Ensuite le débit décroît très fortement pour devenir quasiment nul à l'étiage, vers février mars. Avant la construction des barrages de Diama et de Manantali, à la fin de la saison sèche, en mai ou juin, il ne subsistait en général qu'un très faible débit d'étiage dans les grands cours d'eau ou dans les plus favorisés parmi leurs petits affluents.

A Bakel, qui est souvent considéré comme la station de référence du fleuve Sénégal étant située à l'aval du dernier affluent important (la Falémé), le débit moyen annuel du fleuve est d'environ  $676 m^3/s$ , correspondant à un apport annuel de l'ordre de 21 milliards de mètres cubes. Les débits moyens mensuels évoluent entre les valeurs extrêmes de  $3.320 m^3/s$  en septembre et de  $9 m^3/s$  en mai. Les modules annuels des principaux cours d'eau du bassin s'établissent comme suit: Bafing :  $180 m^3/s$  à Manantali, Bakoye :  $149 m^3/s$  à Oualia, Falémé :  $134 m^3/s$  à Gourbassi et Sénégal :  $676 m^3/s$  à Bakel.

Une autre caractéristique importante du régime du fleuve Sénégal résidait dans son irrégularité interannuelle accentuée. Pour la période entre les années hydrologiques 1903-1904 et 1995-1996, l'écart entre le débit moyen annuel de l'année la plus humide et celui de l'année la plus sèche pouvait être dans la proportion de 6 à 1, avec pour l'année 1923-1924, un débit moyen annuel de  $1265 m^3/s$  et un volume annuel de 39,5 milliards de  $m^3$ . Pour l'année 1987/1988, un débit moyen annuel de  $216 m^3/s$  et un volume annuel de 6,8 milliards de  $m^3$ .

## 2.2. Prélèvement et Analyses des eaux de la Rive droite du fleuve Sénégal

Tous les travaux de terrain ont été effectués sur la zone d'étude située sur la rive droite du fleuve Sénégal (Figure 2).

Les échantillons ont été prélevés dans des villages situés à Rosso au niveau de dix (10) sites numérotés de 1 à 10 : Bag de Rosso (1), N'diourbel (2), Assekaf 1 (3), Assekaf (4), le Sept Km (5), village des pêcheurs 1 (6), village des pêcheurs 2 (7), village des pêcheurs 3 (8), village des pêcheurs 4 (9) et village des pêcheurs 5 (10).

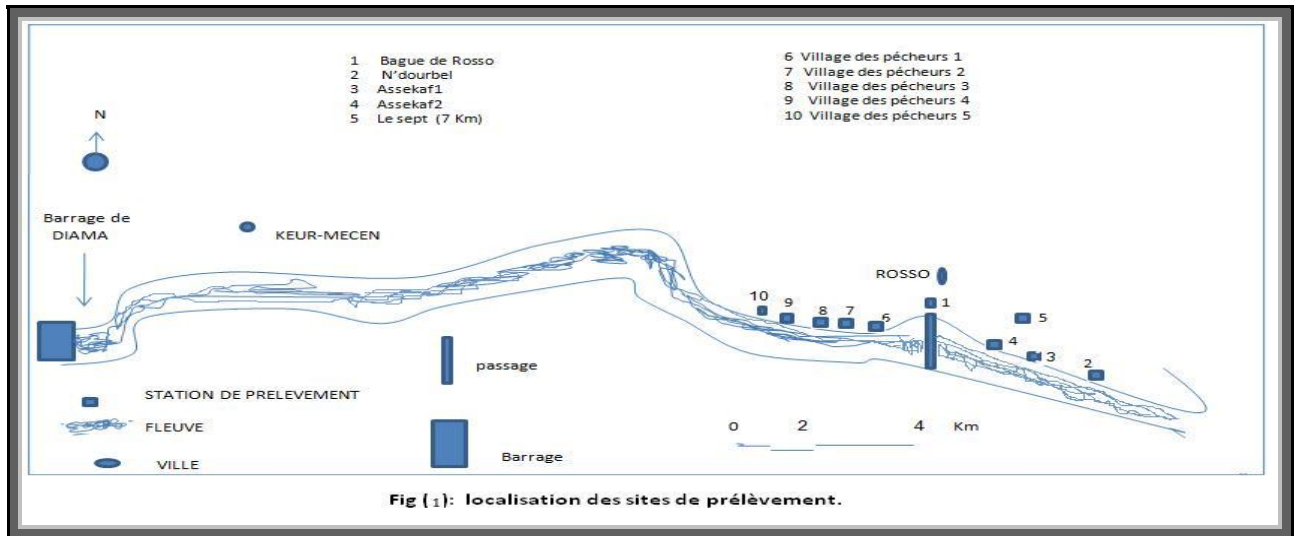


Figure 2 : Localisation des sites de prélèvements

Les prélèvements ont été effectués trimestriellement entre Novembre 2009 et Septembre 2010 dans des flacons en polyéthylène d'une capacité de 1litre. Les paramètres physicochimiques étudiés sont la température (T), le pH (pH), le débit, la conductivité électrique (CE), les chlorures (Cl<sup>-</sup>), les matières en suspension (MES), l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et le fer (Fe). La température et le potentiel d'Hydrogène ont été déterminés par un pH-mètre de type Hanna HI 9024 muni d'une sonde mesurant la température. La conductivité électrique a été mesurée par un conductimètre de type Hanna HI 8733. Les chlorures sont mesurés par méthode volumétrique de Mohr en présence du nitrate d'argent [11]. Les matières en suspension sont déterminées par filtration d'un volume d'eau usée sur filtre cellulosique (0,45 microns mètre) [11]. L'ammonium est dosé par un Spectrophotomètre UV-Visible de type 722 S Beijing par la méthode colorimétrique en présence du réactif Nessler. Le fer est dosé par un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique à Flamme Perkin Elmer de type AA 440 piloté par un Logiciel Win Lab et muni d'un passeur automatique de type AS Plus 96. Les données du débit du fleuve ont été obtenues à partir du Rapport des experts de l'OMVS (Organisation de la Mise en Valeur du fleuve Sénégal). L'étude statistique a été basée sur l'ACP. Les matrices de corrélations intermédiaires, les corrélations entre les variables et les axes et la projection des variables dans l'espace des axes F1et F2 ont été obtenues avec un Logiciel XLSTAT 2010.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Qualité physicochimique de l'eau de la Rive droite du fleuve Sénégal

L'appréciation de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal a été suivie par le biais de l'analyse de l'eau récoltée au niveau de 10 sites durant la période Novembre 2009 à Septembre 2010. Les Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9 rapportent les valeurs moyennes relatives aux différents paramètres physico-chimiques en fonction du temps et les sites étudiés.

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques [12]. Au cours du mois de Novembre les températures varient légèrement et oscillent entre 27,3 °C et 28 °C (Figure 3), au cours du mois de Mars les températures varient entre 27,1 °C et 28,1 °C (Figure 3). Par contre au cours du mois de Juillet, les températures varient entre 26,1 °C et 28,9 °C (Figure 3). Au cours du mois de Septembre la température minimale est de 26,8 °C et la température maximale est de 28,9 °C (Figure 3). Ces variations de température suivent celles du climat de la région. Les températures de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal mesurées en période d'étiage sont légèrement supérieures à celles relevées en période pluvieuse dans tous les 10 sites de prélèvements confirmant ainsi les travaux antérieurs [10].

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H<sup>+</sup> 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 [13]. Le pH de l'eau dépend de l'équilibre carbonique et de l'activité photosynthétique des écosystèmes. Le pH enregistré au cours du mois de Novembre oscille entre 6,6 et 7,8 (Figure 4). De même le pH varie aussi, au cours du mois de Mars, entre 6,7 et 7,5 (Figure 4). Au cours du mois de Juillet, les valeurs de pH varient entre 6,8 et 7,5 (Figure 4). Les valeurs de pH oscillent entre 6,8 et 7,7 au

cours du mois de Septembre (Figure 4). On constate que dans tous les cas que les valeurs de pH sont proches de la neutralité. La variation du pH entre les campagnes ne dépasse pas en général une unité de pH et l'allure des courbes (Figure 4) est très variable et ne suit pas une loi régulière. Les valeurs du pH mesurées dans les eaux du fleuve Sénégal placent ce dernier dans la classe excellente à bonne des eaux de surface ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ).

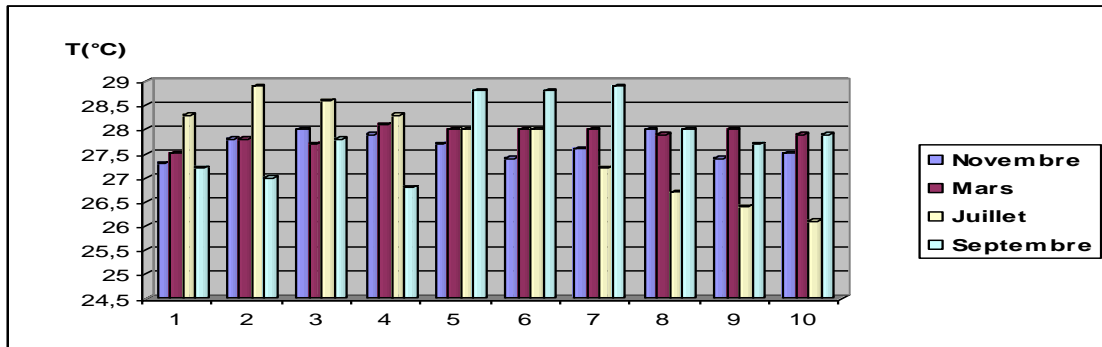


Figure 3: Evolution Spatio-temporelle des valeurs de la température

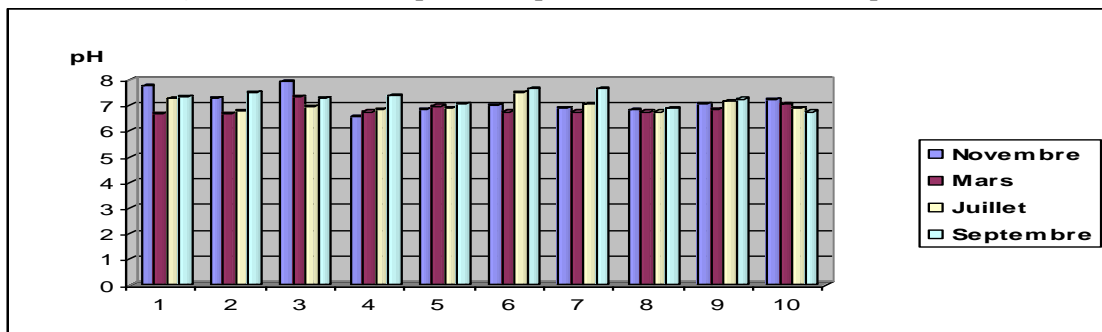


Figure 4: Evolution Spatio-temporelle des valeurs de pH

La situation hydrologique du bassin du fleuve Sénégal, caractérisée par des écoulements au niveau des principales stations, montre que l'hivernage s'est installé dans cette partie du territoire des Etats membres de l'OMVS. En effet, les premières précipitations dans le bassin ont été enregistrées au mois de mai 2012. Le tableau ci-après donne le cumul mensuel des hauteurs de pluies enregistrées au niveau de certaines stations pluviométriques du bassin du fleuve Sénégal. Il faut noter que depuis le début du mois d'août, l'activité pluvieuse a augmenté dans le haut bassin où sont déjà enregistrés par exemple: 917,1 mm de pluie à Manantali avec 444,6 mm au mois d'août ; 873,1 mm à Oualia, avec 516,7 mm au mois d'août et 605,5 mm à Daka Saïdou, avec 341,4 mm au mois d'août. Les sites de Bafing Makana, Manantali, Oualia, Gourbassi, Bakel et Diama présentent des valeurs moyennes respectives de 565,6 m<sup>3</sup>/s, 623,8 m<sup>3</sup>/s, 197,3 m<sup>3</sup>/s, 1427 m<sup>3</sup>/s et 864,4 m<sup>3</sup>/s (Figure 5).

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. [10]. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide [4]. La teneur en matières en suspension des eaux est fonction de la nature du terrain traversé. Les teneurs les plus importantes en matières en suspension sont observées au mois de juillet (360 mg/L au niveau du site numéro 6 correspondant au village des pêcheurs 1; 320 mg/L au niveau du site numéro 9 correspondant au village de pêcheurs 4) (Figure 6). Les valeurs des matières en suspension en période de crue (hiver) sont élevées par rapport à celles de la période d'étiage. Ceci est dû à des pluies abondantes qui entraînent une très forte érosion des terrains au voisinage du fleuve Sénégal (lessivage des sols). Cette remarque est en accord avec plusieurs études effectuées ailleurs [15 ; 16].

La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. Les mesures de la Conductivité électrique de l'ensemble des échantillons montrent qu'elles sont comprises entre 61 et 115 µS/cm au cours du mois de Novembre (Figure 7). De même au cours du mois de Mars, les valeurs de la conductivité électrique oscillent entre 49 µS/cm et 96 µS/cm (Figure 7). Au cours du mois de Juillet, les

valeurs de la conductivité électrique varient entre 49  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 78  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 7). De même, au cours du mois de Septembre, les valeurs de la conductivité électrique oscillent entre 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 69  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure 7). On remarque que la conductivité dans la saison sèche plus élevée que la saison des pluies. La répartition temporelle de la conductivité électrique des eaux étudiées montre une diminution pendant la période pluvieuse (Figure 7). L'explication de cette diminution réside dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

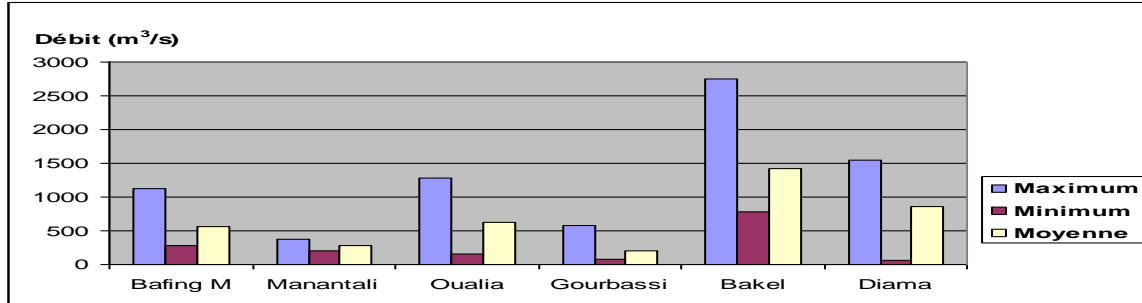


Figure 5: Evolution spatio-temporelle du débit du fleuve Sénégal

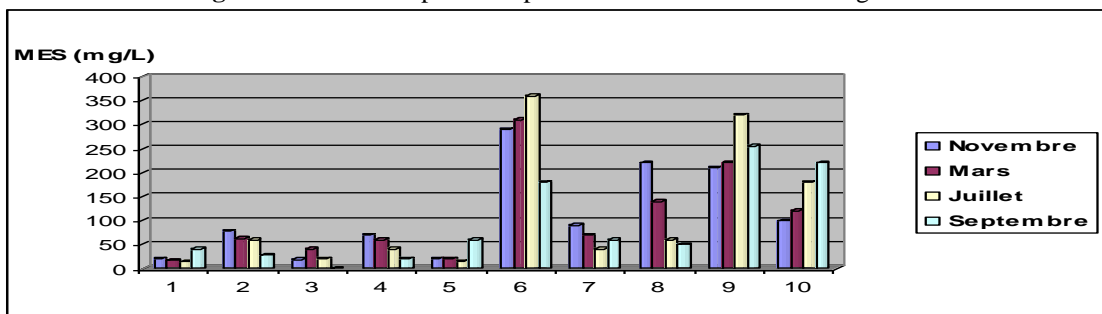


Figure 6: Evolution Spatio-temporelle des valeurs des MES

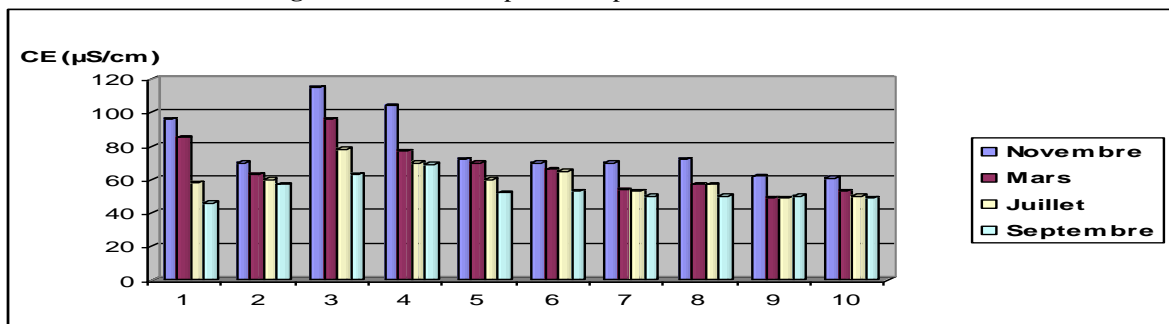


Figure 7: Evolution Spatio-temporelle des valeurs de la conductivité électrique

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ) et de potassium ( $\text{KCl}$ ). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des teneurs variables. On constate que les teneurs maximales et minimales en chlorures enregistrées au cours des mois de prélèvements sont identiques (17,8 mg/L et 35,5 mg/L) (Figure 8). On constate qu'il n'y a pas de variation importante de chlorures en fonction des saisons. Par contre il y'a des fluctuations en fonction des sites.

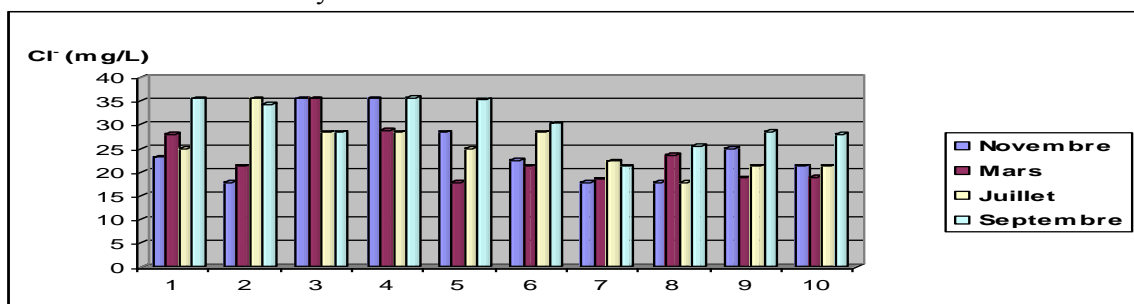


Figure 8: Evolution Spatio-temporelle des valeurs en chlorures

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieure à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains [17]. Les ions ammonium proviennent de la dégradation des protéines animales (cycle de l'azote), des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains [18 ; 19]. Les teneurs en ammonium enregistrées au cours du mois de Novembre varient entre 0,02 mg/L et 1,29 mg/L (Figure 9), de même au cours du mois de Mars elles varient entre 0,02 mg/L et 0,34 mg/L (Figure 9). Au cours du mois de Juillet les concentrations en ammonium enregistrées dans les dix différents sites prélevés oscillent entre 0,03 mg/L et 0,36 mg/L (Figure 9). De la même manière, au cours du mois de Septembre, les concentrations en ammonium oscillent entre 0,03 mg/L et 0,41 mg/L (Figure 9). On remarque Le taux normal de l'ammonium est fixé à 0,5 mg/L [20]. Dans certains sites les teneurs en ammonium sont légèrement proches et parfois supérieures aux normes de l'OMS.

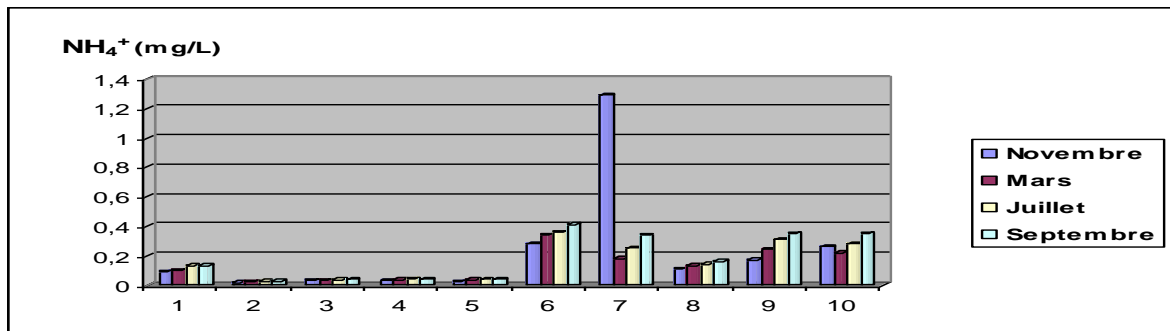


Figure 9 : Evolution Spatio- temporelle des teneurs en ammonium

La présence du fer dans des sources naturelles d'approvisionnement en eau est attribuable à la décomposition de la roche et des minéraux, aux eaux acides de drainage des mines aux eaux de lessivage de décharges contrôlées, aux effluents d'égouts ainsi qu'aux rejets industriels [21]. Nous constatons des teneurs élevées en fer au niveau du site numéro 3 : Novembre (0,496 mg/L) Mars (0,537 mg/L), Juillet (0,433 mg/L) et Septembre (0,468 mg/L) (Figure 10). Ces teneurs en fer sont proches et parfois dépassent légèrement supérieures à la norme de l'OMS en matière de l'eau potable qui exige une concentration inférieure à 0,5 mg/L [20]. En plus, nous constatons qu'au niveau des sites 3, 6, 7 et 8 que les teneurs en fer ne changent pas considérablement au cours de tous les mois de prélèvements. Par contre, on observe de faibles teneurs en fer au niveau des sites 1, 2, 4, 5, 9 et 10.

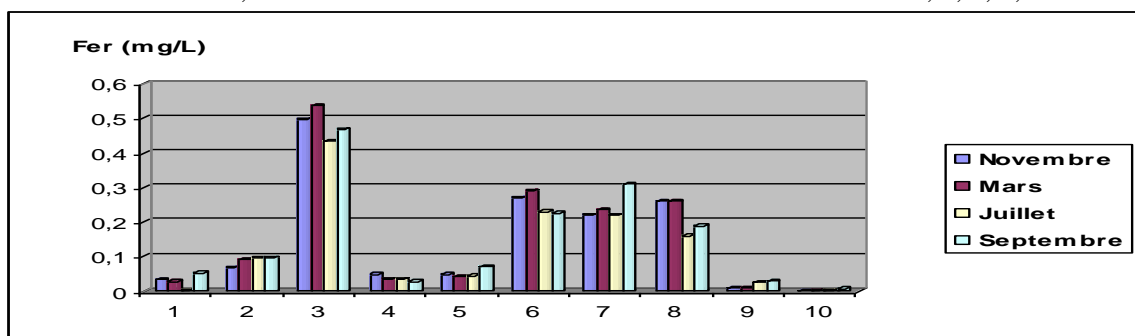


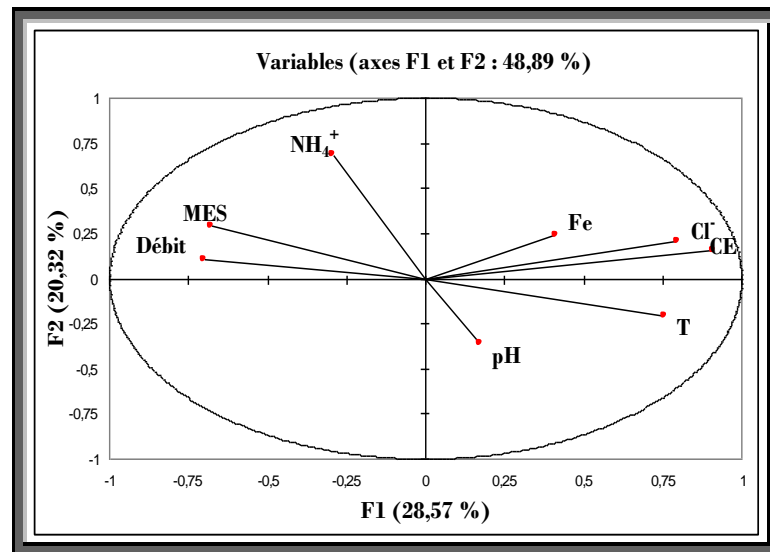
Figure 10: Evolution Spatio- temporelle des valeurs en fer

## 2.2. Traitements statistiques des données

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal, un traitement statistique ACP a été appliqué à l'ensemble des paramètres en saison des pluies et en saison sèche. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques [22 ; 23]. Pour le traitement des données par l'analyse en composante principale, nous avons utilisé 8 variables : la température, le pH, le débit, la conductivité électrique, les chlorures, les matières en suspension, l'ammonium et le fer et comme les 4 prélèvements (4 facteurs) effectués trimestriellement entre Novembre 2009 et Septembre 2010 en fonction des 10 sites choisis au niveau de la rive droite du fleuve Sénégal. Analyse en Composantes Principales : Le Tableau 1 et la Figure 11 donnent respectivement les corrélations entre les variables et les facteurs et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

**Tableau 1:** Corrélation entre les variables et les facteurs

	F1	F2
T	0,756	-0,206
pH	0,170	-0,362
MES	-0,681	0,290
Débit	-0,703	0,109
CE	0,910	0,160
Cl <sup>-</sup>	0,797	0,207
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,295	0,685
Fer	0,410	0,239



**Figure 11 :** Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 48,89 % sont exprimés. L'axe F1 possède une variance de 28,57 % est exprimé par la température, le pH, le débit, la conductivité électrique, les chlorures et le fer (Tableau 1 et Figure 11). L'axe F2 a une variance égale à 20,32 % et est constitué par les matières en suspension, le débit et l'ammonium (Tableau 1 et Figure 11).

L'axe F1 constitué par les paramètres que sont la température, pH, le débit, la Conductivité électrique, les chlorures et le fer présente des corrélations suivantes : CE&Cl<sup>-</sup> (0.758), T& CE (0.693), CE&Fe (0.564), pH &Fe (0.556), T&Fe (0.433), T& Cl<sup>-</sup> (0.421), pH&CE (0.316), T&pH (0.145) et pH&Cl<sup>-</sup> (0.021) (Tableau 2). L'axe F2 constitué par les matières en suspension, l'ammonium et le débit présente des corrélations suivantes: MES & NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0.059) ; MES&débit (0.844) et NH<sub>4</sub><sup>+</sup> &débit (-0.009) (Tableau 2).

*Corrélation entre les variables :* on donne dans le Tableau 6 les coefficients de corrélations entre les variables et les deux premiers axes.

**Tableau 2:** Matrice de corrélations intermédiaires

Variables	T	pH	MES	Débit	CE	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe
T	1							
pH	0,145	1						
MES	-0,467	-0,269	1					
Débit	-0,591	0,101	0,844	1				
CE	0,693	0,316	-0,481	-0,437	1			
Cl <sup>-</sup>	0,424	0,021	-0,253	-0,427	0,758	1		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,342	-0,167	0,059	-0,009	-0,281	-0,310	1	
Fe	0,433	0,556	0,023	0,104	0,564	0,354	0,113	1

L'application des méthodes statistiques sur les données physicochimiques de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal nous révèle la présence de deux types d'eau :



Une variété d'eau caractérisée par une température élevée, basique, de salinité importante exprimée par la conductivité électrique et les chlorures et riche en fer. Pendant la saison sèche, on assiste à une diminution du volume de l'eau du fleuve Sénégal. Cette diminution du volume engendre une légère minéralisation de cette eau. On considère que l'effet de l'Océan Atlantique n'est pas négligeable dans la zone. Surtout qu'il est le plus proche du barrage de Diama comme la zone d'étude (Rosso à 110 Km du Diama et 135 Km de l'Océan Atlantique) [7]. De telle variété eau est caractéristique de l'eau du fleuve Sénégal pendant la saison sèche.

Une variété d'eau de débit très élevé, riche en matières et particules en suspension et dissoutes et en azote ammoniacal. Pendant la saison des pluies, le fleuve Sénégal devient turbide, trouble, on observe des débris de végétaux, des boues apportées par le phénomène de lessivage du sol, de ruissellements, etc. De telle variété eau est caractéristique de l'eau du fleuve Sénégal pendant la saison des pluies.

En plus, l'ACP nous montre la présence d'un axe de pollution qui est constitué par une eau turbide, riche en matières et particules en suspension et dissoutes et azote ammoniacal. Nous pouvons dire que la pollution la plus importante est observée, en général, pendant la saison des pluies. Cependant les déchets continuent à être rejetés dans la nature sans aucun traitement. Pour mieux comprendre les dangers, on prend la ville de Rosso comme exemple de constat. Les déchets sont disposés de part et d'autre de la ville et en période de crue du fleuve ou de pluie une grande partie se trouve immergés dans l'eau qui coule vers le fleuve (Figure 12). Les vêtements sont directement lavés dans le fleuve ou même s'ils n'y sont pas lavés, les eaux de lavage le rejoignent par les canaux de la ville. Il est important de remarquer ici que les Mauritanien ont l'habitude de porter les habits de couleur et la teinture est faite localement en grande partie le plus souvent de base de produits asiatiques méconnue de tous [7].



**Figure 12:** Représentent respectivement des ordures et la lessive au bord du fleuve Sénégal

Pendant la saison des pluies nous assistons à un phénomène de lessivage, dont la conséquence est le transport des déchets et autre vers le fleuve. La corrélation entre les variables nous montre la présence d'une corrélation positive et significative entre le débit et les Matières en suspension (0.844) (Tableau 2).

Cependant, les pluies peuvent être un vecteur important pour le transport des déchets domestiques, urines, excréments d'animaux vers le fleuve par le phénomène de lessivage. Les rejets urbains par temps de pluie sont susceptibles de modifier considérablement les conditions hydro biologiques du milieu récepteur selon deux mécanismes: impact volumique dû aux apports importants en milieu urbain et à la rapidité de ces apports et impact qualitatif par pollution massive et subite du milieu récepteur : apport d'une charge importante, dégradation bactériologique du milieu et introduction de micro polluants (fraction pluviale) [24]. Par contre la saison sèche on assiste à une diminution du volume du fleuve dont la conséquence est la minéralisation de cette eau.

L'ACP nous montre la présence de deux axes de pollution : l'axe F1 présente un paramètre indicateur de pollution (Fer) et l'axe F2 présente deux paramètres indicateurs de pollution (Matières en Suspension et Ammonium). L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des milieux aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en compte. Nous avons montré au cours de cette étude qu'il est possible, dans la perspective de création d'un outil de gestion, de simplifier le modèle

initialement construit à partir de 8 variables pour le ramener à la mesure de 3 variables relativement simple et moins onéreux (Fe, MES et  $\text{NH}_4^+$ ).

## Conclusion

Les résultats de l'analyse physico-chimique présentés dans ce travail, ont montré que le pH est proche de la neutralité, la conductivité oscillant entre 49  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 115  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ainsi, tous les paramètres physicochimiques étudiés compatibles avec les normes des eaux d'alimentation sauf la turbidité qui est extrêmement élevée. Les nitrates et nitrites sont très faibles par contre on constate la présence des teneurs en ammonium qui dépassent légèrement les normes de potabilité dans certains sites et dans certains temps. Les matières en suspension sont très élevées raison pour laquelle la mesure de la turbidité est nécessaire. La turbidité est très importante, comme la littérature l'indique cette forte turbidité pourrait être un vecteur de tous les microbes, parasites, et autres. La fiabilisation et l'optimisation du fonctionnement des systèmes d'assainissement urbain nécessitent le développement de méthodes d'évaluation de la pollution en continu : l'emploi de la turbidimétrie pour l'évaluation de la pollution des eaux se révèle positif et intéressant de par son caractère permanent et instantané.

L'ACP nous montre l'existence de deux types d'eau : une eau minéralisée correspondant à celle de la saison sèche et une eau très turbide boueuse et caractérisée par un débit très élevé correspondant à celle de la saison des pluies. L'ACP nous a permis de ressortir également l'influence primordiale des variations saisonnières et des activités anthropiques. Donc il y'a deux facteurs essentiels dans cette étude : le facteur saison et facteur humain Il reste d'autres volets essentiels : tels que les métaux lourds, les pesticides, ... qui doivent être élucidés. Un diagnostic plus complet de la situation actuelle de la pollution et un suivi rigoureux de son évolution, s'avère d'une grande nécessité pour la sauvegarde de cet écosystème.

**Remerciements-***Nos vifs remerciements au Professeur Alain CARAYON Conseiller au Ministère de la Santé, au Docteur Isselmou OULD ELGHADY Conseiller scientifique à l'INRSP et à tous les ingénieurs du Service de Toxicologie et de Contrôle Qualité des Eaux de l'INRSP.*

## Références

1. Kowaliski T., Zbytniewsky R., Szpeina J., Buszewski B., *Water Res.*, 40 (2006) 744-752
2. Eélope-Sotelo M., Andrade J.M., Carlosena A., Tauler, R., *Analytica Chimica Acta*, 583 (2007) 128-137
3. Simenov V., Stratis J.A., Samara C., Zahariadis G., Vousta D., Anthemedis A., Sofoniou M., Koumtzis T., *Water Research*, 37 (2003) 4119-4124
4. Ouyang Y., *Water Research*, 39 (2005) 2621-2635
5. Shrestha S., Kazama, F., *Environmental Modelling & Software*, 22 (2007) 464-475.
6. Mencia A., Mas-Pla, J., *Journal of Hydrology*, 352 (2008) 355-366
7. Kankou M.O.S.O., Thèse de Doctorat, l'université de limoges, Option Chimie et Microbiologie de l'Eau, France, 2004
8. Mint Mohamed Salem K., N'diaye AD, Kankou, M.O.S.A.O., *Science Lib*, 3, 111002, (2011), 12
9. Mint Mohamed Salem K., N'diaye A.D., Kankou M.O.S.A.O., Tine, A., *Science Lib*, 3, 110706, (2011) 12
10. Ould Mohamedou E., Mémoire DESA Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail Maroc, (2006)
11. Rodier J., 8<sup>èmes</sup> éd. Denod, Paris, (1996), 1383
12. Leynaud G., B.T.I. Ministère de l'agriculture, (1968), 224-881.
13. Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bouchic H., EL Maroufy M., Benazzout T., Hasnaoui M., *Universitadegli studi di Perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia laboratorio Di Idrobiologia "G.B. Grassi*, (2003) 110-111.
14. Hebert S., Légre S., Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, (2000), 5 p.
15. Azzaoui S., Thèse de Doctorat national, université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc, (1999), 130p.
16. Makhoukh M., Sbaïi M., Berrahou A., Van Clooster M., *Larhyss Journal*, 9 (2011) 149-169
17. Chapman D., Kimstach, V., Chapman edition, 2nd ed. E and FN Spon, London, (1996) 59-126.
18. Udert K.M., Larsen T.A, Biébow, M., Gujer, W., *Water Res.*, 37, (2003), 2571" 258
19. Bonté S.L., Pons, M., Potier O., Rocklin P., *Journal of Water Science*, 21 (2008) 429- 438
20. OMS (1996). <http://www.oms.ch/whr/1998/exum98f.htm>,
21. James S.C., *Am. J. Public Health*, 67, (1977), 429
22. Bennaser L., Thèse de doctorat d'état Es Science. Univ. Ibn Tofail; Kenitra, Maroc, (1997), 157p.
23. EL Mohrit M., Fekhaoui M., Serghini A., EL Blidi S., EL Abidi A., Bennakam R., Yahyaoui A., Jbilou M., *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 30 (2008) 39-47.
24. Baudu M., Recueil des interventions, Université d'été- ENSIL- Limoges, 20 (1995) 1-20

(2014); <http://www.jmaterenvirosci.com>