

Physico-Chimie Et Teneurs Metalliques Des Eaux De L'estuaire De L'oued Sebou Durant Des Annees De Dragage Du Sable/ 2007, 2014, 2015, 2016

Mohammed Izougarhane, (PhD student)

Dalale Mansouri, (PhD student)

Hamid El Ibaoui1, (Professeur)

Laboratoire de Nutrition, Santé et Environnement,
Faculté des Sciences Kenitra, Université Ibn Tofail

Said Chakiri, (Professeur)

Laboratoire de géosciences des ressources naturelles, Faculté des sciences,
Département de géologie, Université Ibn Tofail

Mohamed Fadli, (Professeur)

Laboratoire de Nutrition, Santé et Environnement,
Faculté des Sciences Kenitra, Université Inb Tofail

doi: 10.19044/esj.2016.v12n30p127 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n30p127](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n30p127)

Abstract

This work focuses on the physical, chemical and metal characterization of the estuary waters of Oued Sebou during a long period of sand dredging. To do this, several physicochemical parameters were evaluated during periods 2007 and 2014-2016. The results showed that this estuary has a significant degree of pollution. The source of this pollution is diverse: urban waste, industrial waste, agricultural activities. This pollution is accentuated by the action of repeated dredging that increases the turbidity and the suspended solids content which covers the seabed during immersions that are covering the sediment and disturbs the physicochemical equilibrium of the estuary. So, indirectly this operation of dredging influences the parameters that are related to the amount and quality of materials suspended such as the dissolved oxygen content and orthophosphates and the brightness level in the water and over up the sediment. Indeed, for the majority of the physicochemical parameters assessed, the water of the estuary was belonging to a middle class, poor class or very poor class. Thus, the operation of dredging should consider the ecological balance of the coastal zone. Note also that the contents of assessed heavy metals are not worrisome. However, their risks might be amplified by the dredging operations.

Keywords: Sebou estuary, sand dredging, physico-chemistry of water, Morocco

Résumé

Ce travail s'intéresse à la caractérisation physico-chimique et métallique des eaux de l'estuaire de Oued Sebou durant une longue période dragage du sable du milieu. Pour ce faire, plusieurs paramètres physico-chimiques ont été évalués durant les périodes 2007, et 2014-2016. Les résultats que cet estuaire est d'un degré de pollution non négligeable. L'origine de cette pollution est diverse : rejets urbains, rejets industriels, activités agricoles. Cette pollution est accentuée par l'action des opérations répétées de dragage qui augmentent la turbidité et la teneur des matières en suspension recouvrent les fonds marins lors des immersions au large et perturbe l'équilibre physico-chimique en influençant indirectement d'autres paramètres qui sont liés à la quantité et la qualité des matières mises en suspension tels la teneur de l'oxygène dissoutes et des orthophosphates et le degré de luminosité de l'eau et du sédiment. En effet, pour la majorité des paramètres physico-chimiques évalués, l'eau de l'estuaire est de classe moyenne, mauvaise, voire très mauvaise. Ainsi, l'opération du dragage doit donc prendre en considération l'équilibre écologique de la zone côtière. A noter, en outre que, les teneurs des métaux lourds évaluées ne sont pas inquiétantes. Cependant, leurs risques pourraient s'amplifier les opérations de dragage.

Mot-cléfs : Estuaire de Sebou, dragage de sable, physico-chimie de l'eau, Maroc

Introduction

Les estuaires, zones de transition entre les eaux douces de provenance terrestre et les eaux salées de la mer, possèdent des propriétés physiques, biologiques et sédimentaires très dynamiques qui varient en fonction des paramètres de la marée, du vent, du débit d'eau douce et de la géomorphologie de l'estuaire Olivier (Le Moine et Geairon, 2013). Grâce à cette variation des conditions biotiques, ces écosystèmes sont animés d'une importante biodiversité d'un intérêt multiple : écologique, scientifique et économique (Larouche et al., 2003). Cependant ces types d'hydrosystèmes sont très fragiles (Kadiri, 1976) et pour de nombreux estuaires, cette biodiversité ne cesse de se dégrader sous l'influence anthropique. L'estuaire de l'Oued Sebou, un des plus importants estuaires marocains et le seul estuaire navigable, donne accès de l'Atlantique à un complexe portuaire intérieur (ports de Kenitra et de Mehdia), est un bon exemple. En effet, depuis plusieurs décennies cet estuaire fait l'objet d'une pression

anthropique galopante impactant négativement son équilibre écologique aussi bien terrestre que fluvial et marin (Lkhili et al., 2015). Cette pression concerne une exploitation irrationnelle de ses ressources (eau douce pour la production de l'eau potable et pour l'irrigation, extraction de graviers et sable fluvial et marin, exploitation excessive des ressources halieutiques, etc.), une pollution physico-chimique, métallique et organique et une réduction du débit d'Oued Sebou suite à la construction de barrages sur l'Oued Sebou lui-même et sur ses affluents. En outre, chaque année, des volumes importants de sédiments sont transportés par l'Oued Sebou ou encore remaniés, à proximité des côtes, par les vagues et les courants littoraux (Sogreah, 2011). En s'accumulant dans le chenal de navigation à l'intérieur des infrastructures des ports de Kénitra et Mehdia, ces sédiments entravent la navigation. Ainsi, pour contrer ces effets, on effectue des opérations de dragage d'entretien du chenal de navigation et des ports, et, depuis 2005, des opérations de dragage d'exploitation du sable marin à des fins commerciales. Les effets de cette opération de dragage est donc à évaluer. Ainsi, les résultats d'une première campagne d'évaluation, effectuée pour la période 2005-2007 ont été présentés par Izougaghane et al., 2007. Pour poursuivre cette opération d'évaluation des effets de l'opération de dragage sur l'estuaire, ce travail vise à déterminer l'évolution de la pollution de l'eau de surface de l'estuaire de Oued Sebou à travers des facteurs physicochimiques et métalliques. Cette évolution s'est faite sur deux périodes à savoir l'année 2007 (juste après le début de l'exploitation commerciale du sable marin), et les années 2014, 2015 et les mois de janvier et mars de l'année 2016 (c'est-à-dire après une période suffisante pour faire l'évaluation).

Matériel et méthodes

Site étudié

L'estuaire de Sebou est situé sur la côte atlantique du Maroc (34°,10N, 6°,39W); il se présente sous forme de bras de l'océan qui se prolonge sur une distance de 15 Km orientée grossièrement nord-ouest de l'amont vers l'aval (Oveed et Bahraoui, 1970). Il est caractérisé par une dynamique marégraphique particulière qui conditionne les différents paramètres du milieu, en particulier son hydrologie et engendre des remaniements de sédiments (Lebunetel et al., 2014). La marée est de type semi-diurne avec une période de 12h25 mn. Le marnage, relevé dans l'embouchure varie d'une amplitude de 0,75 m à marée basse à 2,3 m à marée haute lors des mortes eaux. Par contre, elle peut atteindre 3,10 m lors des vives eaux, (Mergaoui et al., 2003). Les houles les plus fréquentes proviennent des secteurs ONO à NW (300°N au 320°N), soit l'orientation de l'embouchure de l'Oued (Lebunetel et al., 2014). Le courant océanique longe

la côte du Nord – Est au Sud – Ouest. Au large, la valeur du courant est normalement de l'ordre de 0.2 à 0.3 m/s. Avec les vents forts de Nord – Et, elle peut atteindre environ 0.5 m/s (Sogreah, 2011).

Par ailleurs, l'oued Sebou présenterait un débit de 200 m³/s en moyenne à l'embouchure. Même s'il est fortement régularisé par un réseau de barrages pour fins d'irrigation qui peut parfois conduire à un débit presque nul, son débit maximum peut tout de même atteindre 5 000 m³/s lors de fortes crues (El Herradi, 1989). Le transit littoral est orienté du Nord vers le Sud et est estimé à environ 40 000 m³/an en moyenne (Sogreah, 2011).

Cet estuaire compte parmi « les zones les plus exposées aux différents types de pollution, entre autres chimique et métallique, qu'il s'agisse d'apports directs dus à l'industrialisation et à l'urbanisation, souvent importantes dans ces zones, ou d'apports indirects par les rivières et par voie atmosphériques » (Bryan, 1984).

Enfin, notons que l'estuaire d'Oued Sebou abrite un complexe portuaire constitué par :

- ✓ un port de commerce à Kenitra (12 Km de l'embouchure);
- ✓ un port minéralier à Mehdia (3, 5 Km de l'embouchure) ;
- ✓ un port de pêche à Mehdia (3 Km de l'embouchure).

Choix des stations d'étude et méthodes d'évaluation physico-chimiques de l'eau

Notre étude s'est basée sur des analyses physicochimiques des eaux de surface de l'estuaire prélevées au niveau de cinq stations distribuées le long de l'estuaire (fig. 1). Ces analyses ont été effectuées durant les années 2007, 2014, 2015 et 2016. En outre, nous avons exploité dans nos interprétations des résultats, les données physico-chimiques signalées par Zitane (2002), Ezzaafrani (2004), Tazouti (2004), Biari (2006) et Ed-Darouich (2006). Ainsi, dans le choix des stations à prospector nous avons tenu compte du choix de ces auteurs pour les stations de leurs études.



Figure 1 : Estuaire de Sebou, Photographie LANDSAT 7ETM P202R036 du 10 avril 2001 - extrait (Source : Sogreah, 2011).

- ❖ S1 : située à presque 10 Km en amont du collecteur des rejets industriels de la CMCP ;
- ❖ S2 : située auprès de la centrale thermique de l'ONEE et du collecteur des eaux usées de la société CMCP pour évaluer l'impact des rejets industriels de ces deux unités;
- ❖ S3 : située en aval du port de Kenitra pour estimer l'impact des rejets domestiques de la ville de Kenitra;
- ❖ S4 : située entre le port minéralier et le port de pêche ;
- ❖ S5 : située près de l'embouchure de l'oued Sebou.

Les prélèvements ont été effectués trimestriellement à marée basse à moyenne en 2007, 2014, 2015 et 2016 ;

Par ailleurs, l'échantillonnage de l'eau est effectué par trimestre dans les berges de l'oued à contre-courant à une profondeur de 20 cm. L'eau prélevée est ensuite mise dans des flacons en verre rincés à l'eau distillée puis avec pour plusieurs fois par de l'eau du biotope.

Les échantillons destinés à la détermination des teneurs des éléments métalliques lourds ont été acidifiés par l'acide nitrique à 4% et tous les échantillons ont été conservés à 4°C dans une glacière portable selon le guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons (Norme ISO 5667/3 -1994). L'évaluation des paramètres physico-chimiques a été effectuée soit in situ (Température, pH et conductivité) soit par volumétrie au laboratoire.

Résultats et discussion

Les paramètres physico-chimiques

Température

La figure 2 montre que les valeurs de la température de l'eau varient en fonction des saisons. Pour l'année 2014, au mois de septembre la température en S1 était de 28,2 °C alors qu'en décembre elle est de 18,8 °C. En outre, d'une année à l'autre, la température de l'eau ne varie pas beaucoup. En effet, dans la station S3, en 2014, la température au mois de juin est 25,8 °C alors qu'au mois de juin de 2015 elle est de 25,1 °C.

On constate, en outre, que pour les stations les plus en amont la température augmente légèrement en s'éloignant de l'embouchure. En effet pour le mois de mars de l'année 2015, la température en S1, station la plus loin de l'embouchure, est de 20,7 °C, alors qu'en S5, station la plus proche de la mer, la température est de 19,5°C.

D'après ces résultats, et comme l'ont indiqué Mergaoui et al. (2003) dans des travaux antérieurs, le régime thermique des eaux superficielles de l'estuaire de l'oued Sebou suit celui du climat méditerranéen ; élevé pendant l'été et doux pendant l'hiver. En outre, le long de l'estuaire, l'augmentation de la température des eaux est due à la diminution de l'influence des eaux

marines, généralement plus froides en aval de l'estuaire. A noter également que ce phénomène est accentué sous l'effet de la continentalité et de la température des eaux des rejets industriels de la société de papeterie et carton (CMCP) et la centrale thermique de l'ONEE relativement élevée.

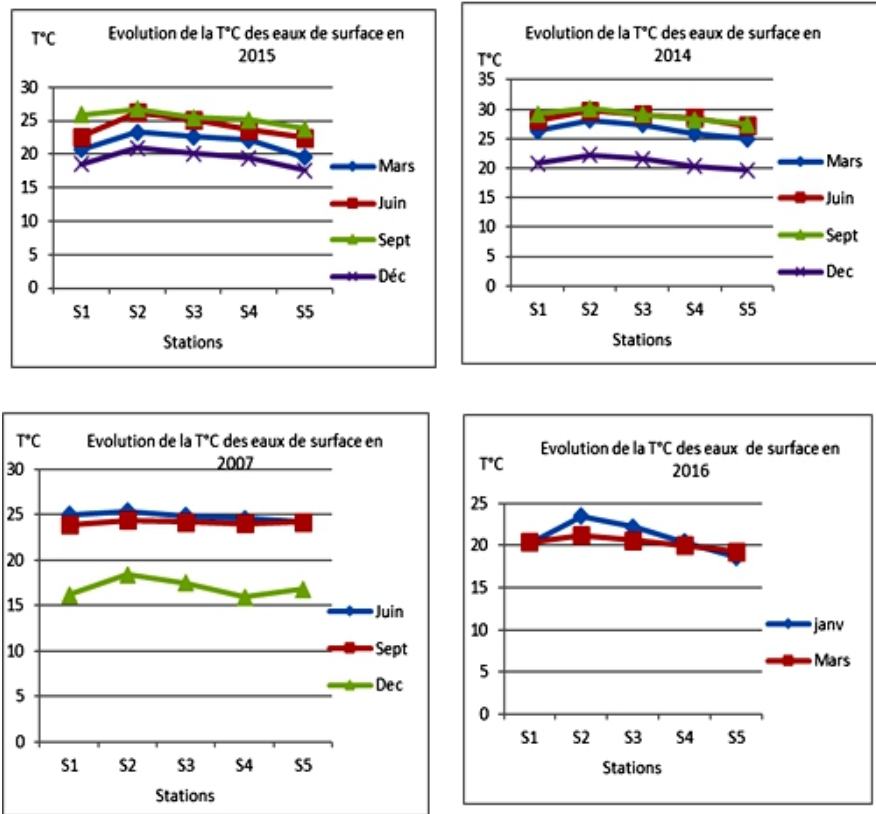


Figure 2: Variation spatio-temporelle de la température des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

pH

La figure 3 montre que les eaux situées en amont de l'estuaire sont légèrement plus basiques que celles situées en aval, proches de l'embouchure, essentiellement à marée basse. Cependant, durant les quatre années de prélèvement, le pH a varié entre 7,4 et 8.15 dans toutes les stations étudiées. Ces valeurs restent dans la fourchette des pH situés entre 6.5 et 8.5 rapportés par plusieurs auteurs dont Tazouti (2004), Ezzafrani (2004) Biari (2006) et Ed-Darouich (2006). Cette stabilité relative du pH est due au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates qui sont importants dans ce milieu (Mergaoui et al, 2003) ; El Blidi et Fekhaoui, 2003). De même, il faut noter que les formations géologiques du bassin versant de oued Sebou sont de nature calcaire et marneuse ce qui favorise la libération des carbonates et bicarbonates. La même observation a été

également faite dans l'estuaire du Bou Regreg par Benmessaoud (2007), Ezzaouaq (1991) et El Blidi et Fekhaoui (2003).

Les résultats montrent en outre qu'à marée basse, les eaux situées en amont de l'estuaire sont relativement plus élevées. Ceci pourrait être expliqué par la charge des eaux douces en matière organique en dégradation ramenée par le Sebou.

Par ailleurs, la comparaison des valeurs du pH mesurées dans les eaux de l'estuaire de Sebou avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) place ces eaux dans la classe bonne à moyenne et sont donc acceptables pour l'irrigation.

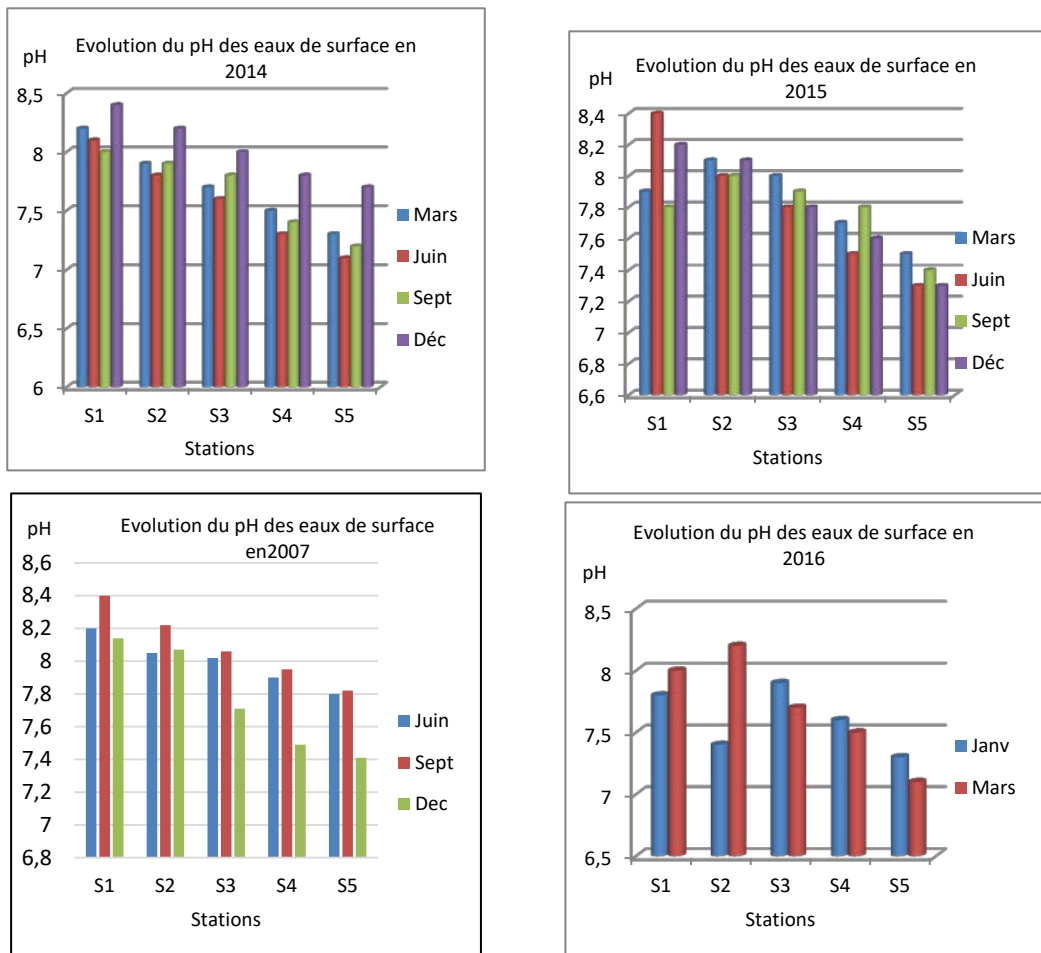


Figure 3: Variation spatio-temporelle du pH des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Conductivité électrique

Les résultats (fig. 4) ont montré que la conductivité électrique augmente de l'amont vers l'aval de l'estuaire de Sebou. Elle est donc liée à

l'augmentation de la salinité au niveau de l'estuaire sous l'influence des eaux marines. Ainsi, durant les quatre campagnes d'étude, la plus faible conductivité (0,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été enregistrée dans la station S1, station la plus loin de l'embouchure, en décembre 2007, alors que la plus importante (7,71 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été notée en septembre 2015 dans la station S5 située à l'embouchure. A noter que des résultats similaires ont été rapportés par Ed-Darouich (2006) et Zerki, (2013).

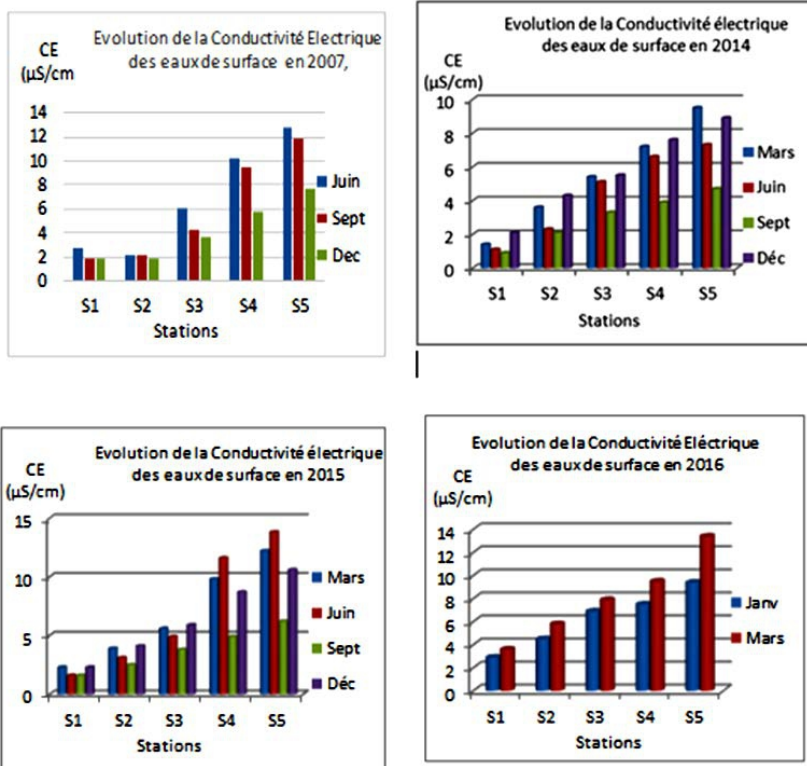


Figure 4: Variation spatio-temporelle de la conductivité électrique des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Par ailleurs, la comparaison des valeurs de la conductivité électrique mesurées avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) permet de déduire que les eaux de l'estuaire de Sebou sont de qualité moyenne pour S1 et S2 et très mauvaise pour S3, S4 et S5 (ports et embouchure).

Matières en suspension (MES)

La teneur en MES est liée généralement aux séquences hydrologiques dans les fleuves (crues et étiages) à la nature de la charge polluante rejetée et dernièrement aux opérations de dragage dont fait l'objet l'embouchure et le

chenal de l'estuaire de l'Oued Sebou. Leurs effets sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la transparence, de la lumière et donc de la photosynthèse, etc.) (Fontvielle, 1987).

L'évolution temporelle de la MES a révélé que la plus faible valeur (190,1 mg/l) a été enregistrée au mois de juin 2007 dans la station S1 qui située en amont des rejets polluants de la ville de Kenitra, et la valeur maximale (812,5 mg/l) a été enregistrée au mois de décembre 2007 dans la station S2 (Fig. 5), station la plus exposée à ces rejets. Par ailleurs, les fortes concentrations en MES ont été enregistrées au mois de décembre 2007, et aux mois de septembre pour les années 2014 et 2015 et au mois de mars pour la période étudiée de 2016. La variation intra et interannuelle des teneurs de MES apports minéraux et organiques de la rivière de Sebou qui semblent, à leur tour, irréguliers dans le temps. Cependant, les résultats montrent que de fortes teneurs sont observées au niveau des stations S2 et S3 et S4 situées aux exutoires des rejets des eaux usées industrielles et domestiques.

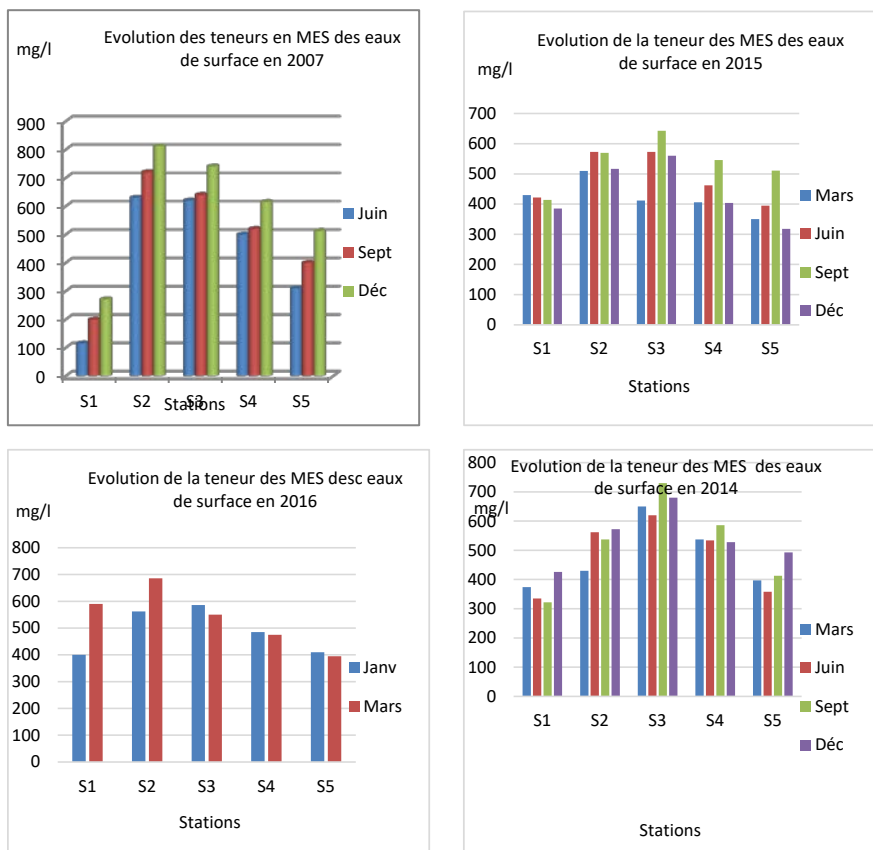


Figure 5: Variation spatio-temporelle de la matière en suspension des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Par ailleurs, la comparaison des valeurs moyennes en MES dans l'estuaire de Sebou avec celles de la grille de qualité des eaux de surface des normes marocaines place ces eaux dans la classe moyenne à mauvaise (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002). Selon ces mêmes normes, les teneurs en MES dans l'estuaire de Sebou ne dépassent pas la valeur limite indicative des eaux destinées à l'irrigation 2 000 mg/l). Toutefois, elles dépassent de loin la valeur fixée par la FAO à 80 mg/l au-dessous de laquelle une production aquacole peut être bonne. A noter que c'est la teneur de l'eau en MES est le premier paramètre physico-chimique qui est touché par l'opération de dragage du sable de l'estuaire.

Demande biochimique en oxygène (DBO5)

L'évolution de la DBO5 de l'eau de l'estuaire (Fig. 6) montre des variations spatiotemporelles. Les valeurs de la période estivale sont plus élevées que celles de la période hivernale. Pendant la période estivale, l'augmentation de la température des eaux de surface, favorise une multiplication des microorganismes qui assurent l'épuration naturelle du milieu et favorisent l'activité photosynthétique. Ceci pourrait être la cause principale de cette différence saisonnière des valeurs notées de la DBO5. En outre, des valeurs élevées ont été notées en S3, S4 et S2. L'exposition de S3 et S4 aux rejets urbains riches en matières organiques (S3, S4) et de l'exposition de S2 aux rejets industriels de la CMCP et de la station de l'ONEE en (S2) sont les causes principales.

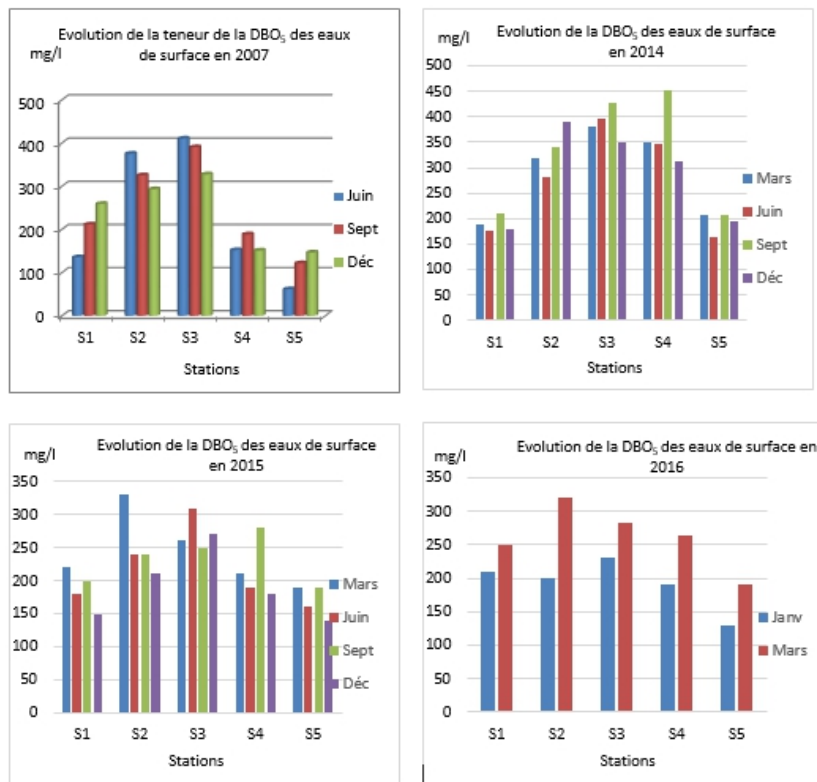


Figure 6: Variation spatio-temporelle de la DBO5 des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Au niveau de la station S5 (fig. 6), la forte salinité des eaux, provoquée par les eaux de la marée au niveau de l'embouchure, en inhibant l'activité bactérienne (Martin et al. 1976), cause une diminution de la DBO5 de l'eau.

Par ailleurs, la comparaison des valeurs élevées de la DBO5 dans les eaux de l'estuaire de Sebou avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) permet de placer les eaux des stations S1, S4 et S5 dans la classe moyenne et à très mauvaise pour S2 et S3.

Demande chimique en oxygène (DCO)

L'analyse des teneurs de la DCO (fig. 7) montre qu'il y a des variations intra et interstations. Les fortes teneurs sont observées au niveau des stations S2 et S3, et à moindre degré en S4, situées aux exutoires des rejets des eaux usées industrielles et domestiques, ceci peut s'expliquer par la richesse des eaux usées de la CMCP en matières organiques et minérales facilement oxydables et de celles du collecteur des eaux domestiques de la ville de Kenitra.

Les résultats montrent en outre une diminution importante de la DCO en hiver. Les importants apports en eau de pluie pendant cette saison constituent la cause principale.

Par comparaison avec la classification de la qualité des eaux de surface élaborée par la norme marocaine (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002), les eaux de l'estuaire sont de très mauvaise qualité.

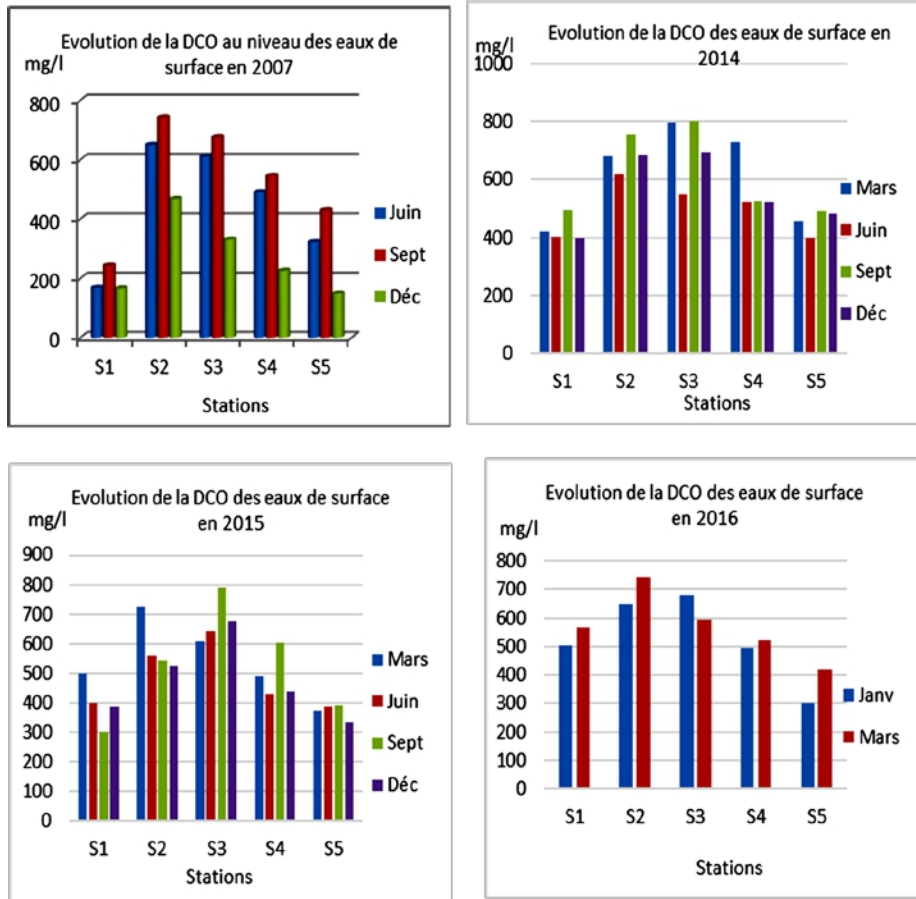


Figure 7: Variation spatio-temporelle de la DCO des eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Evaluation de la pollution organique des eaux usées

Pour une meilleure appréciation de la qualité des eaux de l'estuaire de Sebou, le calcul des ratios DCO/DBO5, DBO5/DCO, MES/DBO5 constitue un bon moyen pour donner une image du degré de pollution des eaux de l'estuaire de Sebou et présente des intérêts très importants.

Rapport DCO/DBO5

Le rapport DCO/DBO5 permet d'estimer l'origine, domestique ou industrielle, des eaux usées rejetées directement dans le milieu récepteur (ONEP. 1998 ; Belghyti et al., 2009).

Tableau.2 : Rapport DCO/DBO₅ noté dans diverses années à l'estuaire de Sebou

Années	DCO/DBO ₅		
	Moy	Min	Max
2007	3,98	1,01	6,95
2014	1,82	1,17	2,47
2015	2,33	1,5	3,15
2016	2,6	1,97	3,23

Les résultats de ces rapports constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables. Ces résultats (tableau. 2) montrent que les eaux usées de l'estuaire de Sebou présentent un ratio DCO/DBO5 moyen variant de 1,01mg/l à 3,98 mg/l enregistrés en 2007. A l'exception des résultats de 2007, qui sont relativement élevés par rapport au seuil de 3 (caractérisant les effluents à dominance domestique) ces eaux usées peuvent être imputés aux rejets industriels de la station thermique de l'ONEE et la société de papier et de carton (CMCP). A partir de 2014, les valeurs enregistrées sont dans la majorité des cas, inférieurs au seuil de 3. Cette réduction de ce rapport à partir de 2014 peut être imputée à la mise en service par la CMCP à partir de 2013 d'une station d'épuration des eaux usées rejetées dans l'estuaire d'Oued Sebou. Donc à partir de 2014, ce ratio est dans la majorité des stations conforme avec celui des eaux usées urbaines à dominance domestique présentant un rapport DCO/DBO5 inférieur à 3.

Ainsi, on peut conclure que même si les eaux usées rejetés dans l'estuaire présentent une charge organique élevée, elles sont facilement biodégradables. Ces résultats concordent avec celles reportés par Zerhouni (2003).

Rapport DBO5/DCO

Pour caractériser une pollution industrielle, on considère souvent le rapport DBO5/DCO qui donne des indications très intéressantes sur l'origine d'une pollution des eaux usées et ses possibilités de traitement (Belghyti et al. 2009).

Pour notre étude, le rapport moyen de la DBO5/DCO est relativement élevé, la valeur moyenne minimale est de l'ordre de 0,41 et la valeur moyenne maximale est 0,635. (Tableau. 3). C'est le cas général pour les rejets chargés en matière organique. Cette charge organique rend ces eaux usées assez instables, c'est à dire qu'elles évolueront vite vers des formes

"digérées" avec le risque de dégagement d'odeurs (Kayeye, 2014). En effet, les résultats des teneurs de la DBO5 montrent que les eaux de surface de de l'estuaire de Sebou sont à dominante organique. A noter qu'un ratio DBO5/DCO moyen plus élevé (0,83) a été trouvé par Kayeye, (2014) au niveau des eaux usées de l'abattoir à Bukavu.

Tableau 3: Rapport DCO/DBO₅

Années	DBO ₅ /DCO		
	Moy	Min	Max
2007	0,57	0,14	0,99
2014	0,635	0,41	0,86
2015	0,495	0,32	0,67
2016	0,41	0,31	0,51

Rapport MES/DBO5

Le rapport DBO5/DCO (Tableau 4) est élevé et varie entre 0.41 à 0,635, ce qui confirme que les eaux de surface de l'estuaire de Sebou sont chargées en matières organiques.

La charge organique des eaux est marquée par des valeurs très fortes de la DBO5, de la DCO et de la MES. La pollution par les matières organiques, dégradables ou non, est essentiellement due aux rejets des collecteurs des eaux usées de la ville de Kenitra au niveau de S2, S3 et S4.

Tableau. 4: Rapport MES/DBO₅

Année	MES/DBO ₅		
	Moy	Min	Max
2007	6,23	1,51	10,95
2014	1,915	1,3	2,53
2015	2,27	1,85	2,69
2016	2,31	1,8	2,81

Nitrates

Les résultats obtenus pour les nitrates (fig. 8) montrent un gradient de concentration décroissant de l'amont vers l'aval de l'estuaire. L'augmentation des teneurs en nitrates en amont de l'estuaire est probablement liée aux apports par lessivage des terrains agricoles très chargés en cet élément et l'entraînement des déchets d'origine animale ou végétale riche en composés organiques azotés dans l'oued de Sebou. En effet, Les valeurs maximales, 44,52 mg/l enregistrée en 2007 et 39,7 mg/l enregistrée en 2015, l'ont été au niveau de la station S1. Par contre, les valeurs minimales (5,7 mg/l ; 7,8 mg/l ; 11,3 mg/l et 7,69 mg/l) ont été toutes enregistrées en S5, ce qui reflète les faibles apports en nitrate d'origine marine. En outre, les teneurs de nitrate dans les eaux de surface sont relativement élevées aux mois de mars et juin des quatre années d'étude et

connaissent une diminution au mois de décembre de ces années, ceci est dû probablement à l'augmentation du débit de l'oued Sebou par l'apport d'eau continentale.

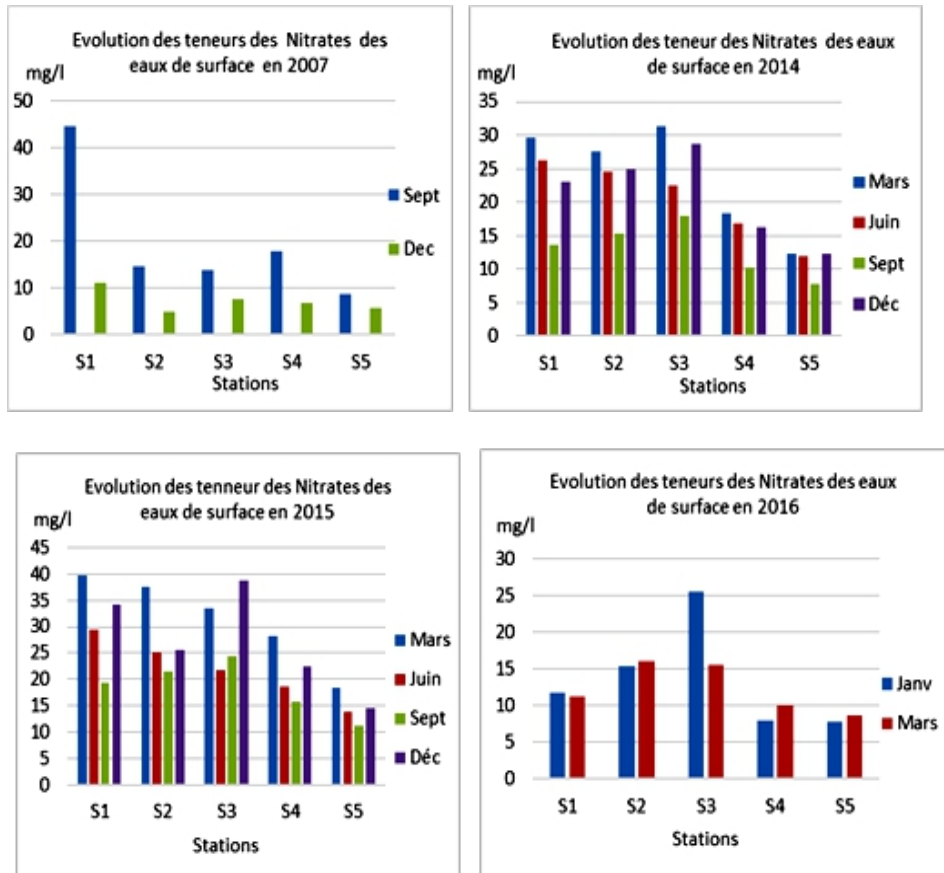


Figure 8: Variation spatio-temporelle des Nitrates dans les eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Le profil des fluctuations par stations (fig. 8) montre que souvent les valeurs des nitrates sont élevées en hiver et au printemps. Ceci peut être expliqué par les apports des lessivages des terrains avoisinant l'estuaire pendant les saisons pluvieuses et les apports de la minéralisation de la matière organique qui devient plus accentuée pendant cette période. En outre, les faibles valeurs peuvent être expliquées par l'action de la microflore aquatique qui les utilise pour la synthèse de molécules organiques (Benmessaoud, 2007). La même évolution a été rapportée par Ed-Darouich (2006), toutefois, ses résultats sont supérieurs aux nôtres.

Par ailleurs, la comparaison des concentrations en Nitrates obtenues avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) attribue la classe très mauvaise aux eaux de l'estuaire de Sebou.

Ammoniums

L'évolution spatio-temporelle de la teneur en ammonium des eaux de surface (fig. 9) montre des fluctuations de ces teneurs selon les saisons et diminuent de l'amont où elles sont élevées à l'aval de l'estuaire

En outre, les valeurs minimales ont été enregistrées comme suit : (0.94 mg/l) en S4 en décembre 2007 ; (5.7 mg/l) en septembre 2014 au niveau de S5 ; (7.1 mg/l) en décembre 2015 au niveau de S5 et (1.3 mg/l) en mars 2015 au niveau de S1. Les valeurs maximales connaissent les mêmes fluctuations et sont enregistrées comme suit : 7.99 mg/l au niveau de S4 en décembre 2007 ; 16.7 mg/l au niveau de S2 en décembre 014 ; 18.3 au niveau de S3 en mars 2015 et 2.74 au niveau de S3 en mars 2016 (Fig. 9).

L'augmentation de la teneur de l'ammonium dans les sédiments semble être due essentiellement au lessivage d'origine agricole et des rejets des eaux usées de la ville de Kenitra qui sont riches en matières organique.

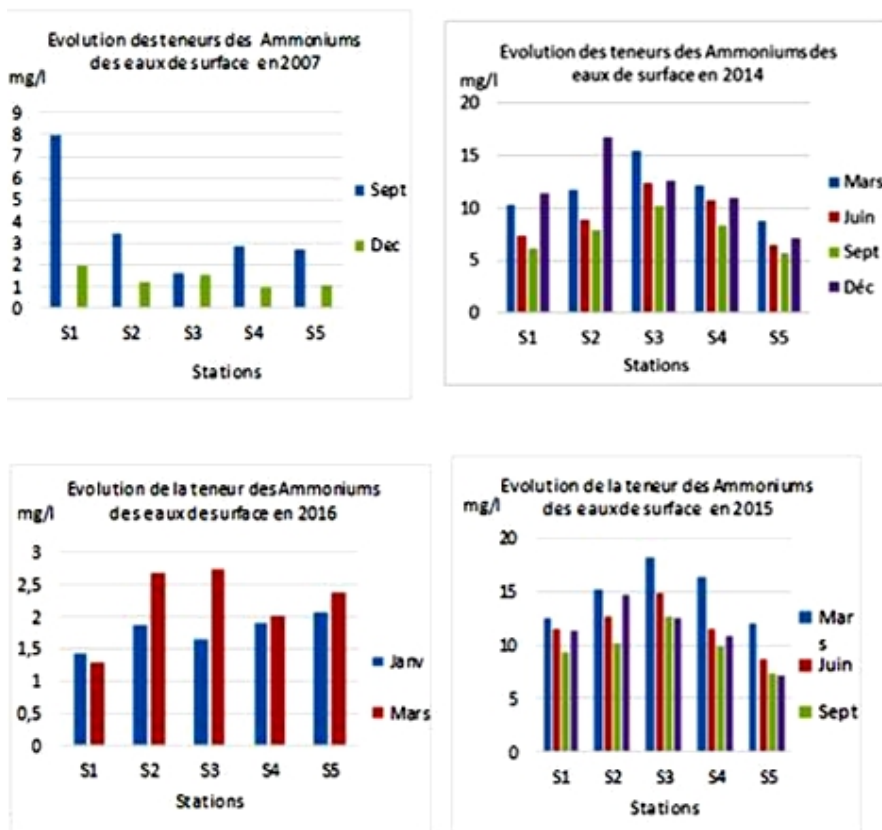


Figure 9: Variation spatio-temporelle des Ammoniums dans les eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Par ailleurs, la comparaison des concentrations de l'ammonium obtenues avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n°

1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) attribue la classe très mauvaise aux eaux de l'estuaire de Sebou.

Orthophosphates

La concentration des Orthophosphates présente une variation spatio-temporelle et les teneurs en orthophosphates diminuent de l'amont de l'estuaire où elles sont élevées à l'aval (fig. 10). En outre, les teneurs en varient en fonction des années et des saisons. On constate que les teneurs en Orthophosphates des eaux de l'estuaire prélevées en décembre sont généralement faibles par rapport à celles prélevées dans d'autres saisons. Ceci peut être expliqué par l'apport d'eau douce continentale du mois de décembre qui dilue de manière importante les eaux de l'estuaire. En effet, les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau de S5 (10.8 mg/l en décembre 2014) et (4.2 mg/l en juin 2015). Par contre, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en S2 (109.77 mg/l en 2016) et en S1 (33.6 mg/l en septembre 2014 et 18.4 mg/l en décembre 2015) (Fig. 10).

Une constatation importante, les teneurs en Orthophosphates lors des prélèvements de 2007 étaient inférieures à la limite de quantification de l'appareil (3 µg/l).

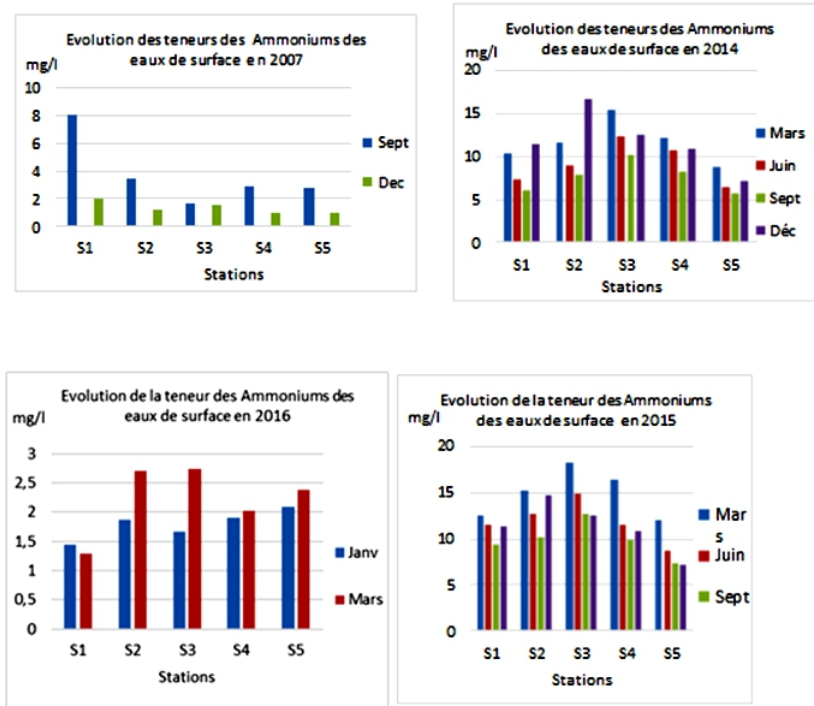


Figure 10: Variation spatio-temporelle des Orthophosphates dans les eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Par ailleurs, la comparaison des concentrations des Orthophosphates obtenues avec celles de la grille de qualité des eaux de surface (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002) attribue la classe très mauvaise aux eaux de l'estuaire de Sebou.

Concentrations des métaux lourds dans l'eau Plomb

Les teneurs de plomb des prélèvements d'eau réalisés au mois de septembre et décembre 2007 et de janvier et mars 2016 sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil (3 µg/l).

Les résultats de l'évolution des teneurs en Plomb des eaux de surface de l'estuaire des années 2014 et 2015, groupés dans les graphes de la figure n° 11 montrent que ces teneurs varient considérablement en fonction des années et des saisons. En effet, ces teneurs varient de valeurs indétectables par l'appareil de mesure en 2007 et 2016 à 0.034 mg/l et 0.041 mg/l respectivement notées en mars et en septembre 2014 au niveau de S3. Cette importante répartition du Plomb au niveau des eaux de l'estuaire peut trouver son explication au niveau des sources d'apport du Plomb. En effet, les apports atmosphériques diffus sont une source très importante d'introduction du plomb dans le milieu marin. La présence du Plomb dans les eaux de ruissellement riches en résidus de la combustion des carburants (Zimmermann et al. 2004). De même, Généralement la faiblesse des concentrations en plomb dans les stations de prélèvement prospectées est souvent liée à la teneur élevée en sulfates et carbonates qui permettent la précipitation de plomb sur les sédiments de l'estuaire (Rodier, 1996).

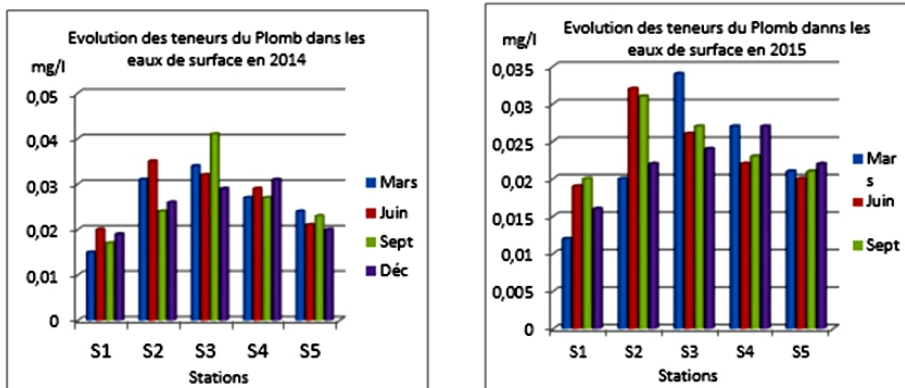


Figure 11: Variation spatio-temporelle des teneurs de Plomb dans les eaux de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

A noter que des valeurs faibles, de l'ordre de 0.03 µg/l, ont été également rapportées par les auteurs Ezzafrani (2004) ; Ed-Darouich (2006)

et Biari (2006). Ces valeurs faibles permettent d'éloigner tout risque de perturbation de l'équilibre écologique par ce métal toxique (Ezzafrani, 2004).

Par ailleurs, la comparaison des concentrations en Plomb dans l'eau de l'estuaire avec celles de la grille de qualité des eaux de surface des normes marocaines permet de placer ces eaux dans la classe bonne à excellente (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002).

Chrome

La contamination par le Chrome peut être une contamination ancienne et chronique, elle est liée aux activités industrielles. Sa teneur varie généralement en fonction de sa concentration dans le milieu et de sa biodisponibilité. A pH acide, le Chrome s'avère très toxique. Son origine dans ces stations est attribuée essentiellement aux industries textiles et traitement de surface (chromage).

Les résultats (fig.12) montrent que dans les prélèvements de septembre et décembre 2007, les teneurs en Plomb sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil ($6\mu\text{g/l}$) à part deux échantillons dont les valeurs sont de 0,0006 et 0,0011 mg/l. La teneur du chrome est donc faible dans les eaux de l'estuaire. Pour les prélèvements de 2016, toutes les teneurs en Chrome sont inférieures à la limite de quantification de l'appareil.

Pour les années 2014 et 2015, l'évolution des teneurs en Chrome des eaux de surface de l'estuaire sont présentés dans la figure 12.

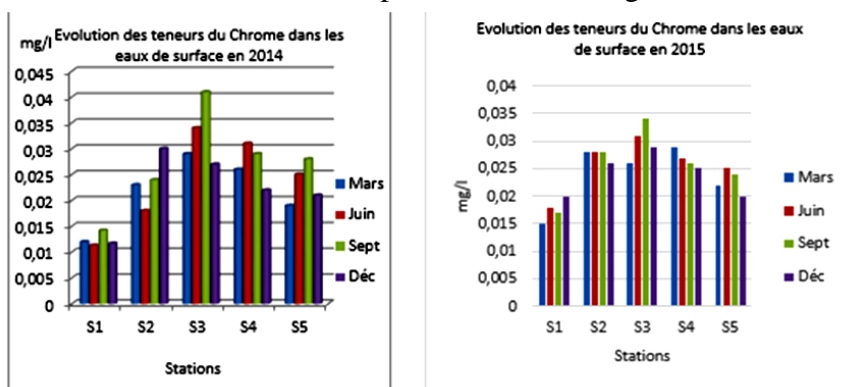


Figure 12: Variation spatio-temporelle du Chrome dans les eaux de surface de l'estuaire de Oued Sebou prélevées au niveau des stations étudiées.

Les résultats montrent, en outre, que les teneurs en Chrome dans les eaux de surface de l'estuaire connaissent une variation spatio-temporelle. Des teneurs indétectables par l'appareil de mesure en 2007 et 2016 à 0.041 mg/l en septembre 2014 au niveau de S3. Des valeurs faibles de l'ordre de

quelques μg ont été rapportées également par Tazouti (2004) et Ezzaafrani (2004).

Par ailleurs, la comparaison des concentrations en Chrome dans l'eau de l'estuaire avec celles de la grille de qualité des eaux de surface des normes marocaines permet de placer ces eaux dans la classe bonne à excellente (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002).

Cuivre

Pour les quatre campagnes d'étude les teneurs du cuivre (fig. 13) dans l'eau ne montrent pas de grandes différences en fonction des stations. Les valeurs enregistrées sont très faibles et sont comprises entre 0,015 mg / l, enregistrée en juin 2007 au niveau de S4 et S5 et 0,201 mg/l, concentration maximale enregistrée dans la station S3 en mars 2016 (fig. 13). Des valeurs similaires ont été rapportées par Ezzaafrani (2004) ; Tazouti (2004); Biari (2006) et Ed-Darouich (2006). On peut expliquer ces faibles concentrations par le fait que, le cuivre à l'état ionique libre est peu abondant puisque les conditions de pH dans l'estuaire ($6.5 < \text{pH} < 9$) favorisent la complexation de ce métal avec divers agents complexants à savoir : les carbonates, les oxydes et les silicates (Merican et Astruc, 1979). Par ailleurs, les légères variations du cuivre notée d'une station à l'autre, à l'instar d'autres métaux (As, Cr, Pb, Hg et Cd) sont une conséquence du passage de l'eau douce à l'eau salée (Drapor, 1996), et l'augmentation significative des teneurs en cuivre dans les stations situées en aval de l'estuaire peut avoir une origine marine (Benmessouad et al., 2005) ou d'une accumulation des résidus des eaux usées déversés dans l'estuaire.

A noter également que, d'après Cheggour, et al. (2005), les concentrations en cuivre dans les sédiments de quatre estuaires marocains (Sebou, Bouregreg, Oum Rbia et Loukos) relèvent une contamination plus importante dans les estuaires de Sebou et Bouregreg que dans les deux autres.

Par ailleurs, la comparaison des concentrations en Cuivre dans les eaux de l'estuaire obtenues avec celles de la grille de qualité des eaux de surface des normes attribue la classe moyenne à bonne aux eaux de l'estuaire de Sebou. Selon ces normes, ces eaux peuvent être destinées à l'irrigation (Arrêtés n° 1276-01 et n° 1277-01 du 17 octobre 2002).

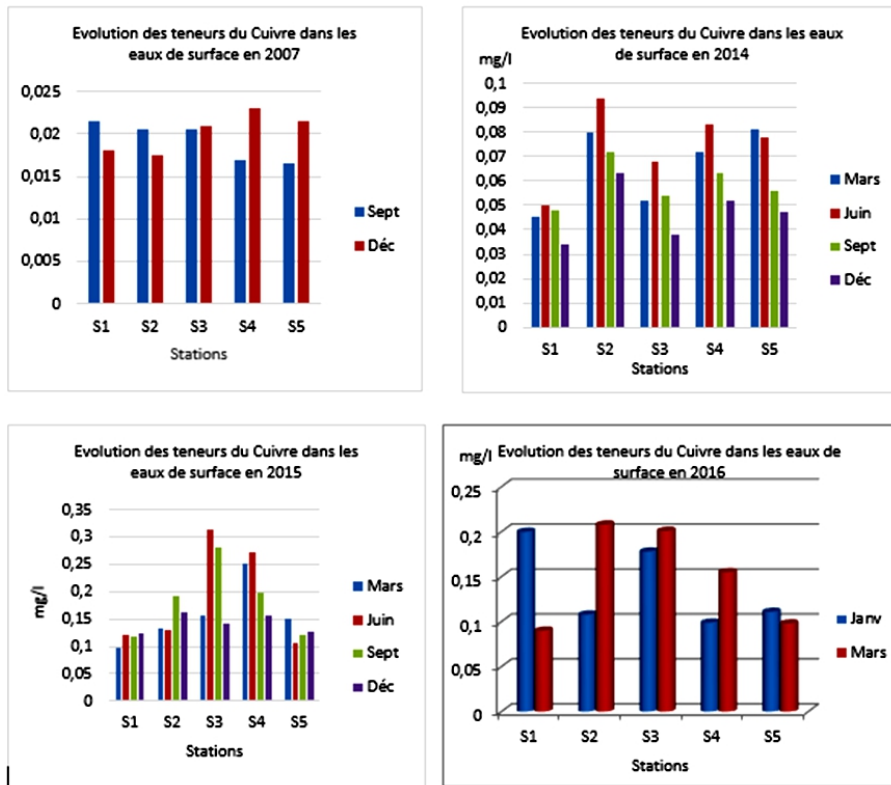


Figure 13 : Evolution des teneurs du Teneur en Cuivre au niveau des eaux de surface de l'estuaire d'Oued Sebou prélevées au niveau des différentes stations étudiées.

Conclusion

D'après nos résultats, l'estuaire de l'oued Sebou est d'un degré de pollution non négligeable. Pour l'origine de cette pollution, outre les rejets urbains intenses, les rejets industriels, les activités agricoles riveraines et les fluctuations saisonnières des apports en eau douce constituent des sources non négligeables de polluants, l'activité de dragage du sable de l'estuaire semble un des facteurs déterminants de cette pollution. L'insalubrité de cet estuaire est visible à son embouchure. La pollution est accentuée par des opérations répétées de dragage qui augmentent la turbidité et les MES au niveau des eaux de l'estuaire et recouvrent les fonds marins lors des immersions au large. Ce dragage entraîne aussi des changements chimiques du milieu marin notamment une diminution de la concentration des eaux en oxygène, et perturbe l'équilibre du phénomène le relargage qui détermine les concentrations de nombreux éléments dans l'eau et dans le sédiment de l'estuaire. Ainsi, l'opération du dragage doit donc prendre en considération l'équilibre écologique de la zone côtière.

De même, à la lumière de l'évaluation de la qualité physico-chimique et la caractérisation de la pollution métallique des eaux de surface et des sédiments superficiels de l'estuaire de oued Sebou, il apparaît que ces eaux présentent un degré de pollution avancé. Cette pollution se manifeste, par une augmentation des indicateurs de la pollution (DCO, DBO5, MES, conductivité électrique, ammonium, nitrates et ortho phosphates) au cours des années d'étude et qui dépassent souvent les valeurs seuils préconisées par les normes marocaines de qualité des eaux superficielles. Ainsi, il convient de prendre des dispositions qui permettent de limiter les impacts du dragage sur les écosystèmes, marins et estuariens, notamment, en ce qui concerne la perturbation physico-chimique et le comportement de certains éléments chimiques et métalliques pendant la période de dragage.

A noter également que, sans un contrôle des rejets des charges polluantes et des métaux lourds déversés dans l'Oued Sebou l'estuaire pourrait atteindre des niveaux de pollution qui menacerait l'environnement fluvial et marin car la capacité auto-épuratrice de la rivière s'avère insuffisante.

Concernant les métaux lourds, et particulièrement le chrome, le cuivre et le plomb, il importe de signaler que leurs concentrations dans les eaux de surface sont faibles par rapports aux seuils préconisés par la réglementation en vigueur et ne constituent pas de ce fait un risque apparent de contamination. Mais ce risque pourrait s'amplifier suite au relargage des métaux lourds lors des opérations de dragage.

References :

1. **Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, (2011)**. Note de Synthèse, Etude d'actualisation du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sebou. Report of Agnecy.
2. **Alezieu C., (2005)**. Le dragage des ports et l'environnement marin. IFREMER. France.
3. **Arrêté n° 1276-01 du 17 octobre 2002**, (Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation).
4. **Arrêté n° 1277-01 du 17 octobre 2002**, (Normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable).
5. **Belghyti D., El Guamri Y., Ztit G., Ouahidi M. L., Joti M B. ; Harchrass A., Amghar H., Bouchouata O., El Kharrim K., Bounouira H., (2009)**. Caractérisation physicochimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : Cas de Kénitra au Maroc . *Afrique Science*, 05 (2) :199-216.
6. **Benmessaoud F., Kourradi R., Benazzou T, Menioui M. (2005)**. Quleques caractéristiques physico-chimiques de l'estuaire de Bou-

- Regreg. Société Marocaine de nutrition . Journée d'étude sur „Eau: vecteur de developpement humain“, 21p.
7. **Benmessaoud F. (2007)**. Qualité physico-chimique, métallique et bactériologique des eaux de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie et la démographie de *Venerupis decussata* (LINNE 1758) et *Cardium edule* (LINNE, 1767). Thesis, Fac. des Sci., Univ. Mohammed V, Rabat, Morocco.
 8. **Berrady K. (1997)**. Recherches bioécologiques sur le peuplement entomologique des rizières de la plaine du Gharb (Maroc) : Coléoptères, Hétéroptères, Odonates et Diptères Culicidae. Thesis in ecology, Fac. Sci., Univ. Ibn Tofail, Kenitra, Morocco.
 9. **Biari O. (2006)**. Contribution à l'évaluation de la pollution de l'estuaire de Sebou et élimination de quelques métaux lourds (Pb, Cd, Zn, Cu, As, Me, par hydroxyapatite. Master report, Faculty of Sciences, University Ibn Tofail, Kénitra.
 10. **Bryan G.W. (1984)**. Pollution due to heavy metals and their compounds. In O. Kinne éd. Marine Ecology. John Wiley and Sons Ltd, London, pp. 1289-1431.
 11. **Combe M. (1969)**. Carte hydrologique de la plaine du Gharb, Notes et mémoires du service géologique du Maroc. Report N°22 Bis.
 12. **Drapor (1996)**. Séminaires sur les techniques de dragage, les conditions de dragage et la gestion des produits de dragage ». DRAPOR, Casablanca.
 13. **Ed-Darouich A. (2006)**. Contribution à l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux et des sédiments d l'estuaire de l'Oued Sebou, UFR Environnement. Master report in pllution et Traitement des Eaux. Thesis in ecology, Fac. Sci., Univ. Ibn Tofail, Kenitra, Morocco.
 14. **El Blidi S., Fekhaoui M., (2003)**. Hydrologie et dynamique marégraphique de l'estuaire du Sebou (Gharb, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat*. 25, 57-67.
 15. **El Herradi E. (1989)**. Contribution à l'étude du comportement des éléments chimiques dans l'estuaire de Sebou (côte Atlantique). Thesis D.E.S., E.N.S. Takadoum Rabat, 191p.
 16. **Ezzaafrani M. (2004)**. Etude de l'impact des rejets sur la qualité des eaux de l'estuaire de l'oued Sebou, UFR Environnement. Master report DESA : Pollution et Traitement des Eaux. Fac. Sci., Univ. Ibn Tofail, Kenitra, Morocco.
 17. **Ezzaouaq M. (1991)**. Caractérisation hydrodynamique physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bou-Regreg (Maroc) soumis aux rejets des villes Rabat-

- Salé. Thesis, Fac. des Sci., Univ. Mohammed V, Rabat, Morocco, 140 p.
18. **Fontvielle D. (1987)**, la circulation du carbone organique dans les écosystèmes lotiques : cas des phénomènes d'autoépuration. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Lyon1, 135p;
 19. **Cheggour M., Chafik, A., Fisher NS., Benbrahim, S., (2005)**. Metal concentrations in sediments and clams in four Moroccan estuaries. *Mar Environ Res*, 59 (2): 119-137.
 20. **Izougarhane M., El Harrak L., Hourri K., El Ibaoui H., Chakiri S., Essamri A., Fadli M., (2014)**. Impact of dredging on the physicochemical parameters of water in the estuary of Sebou River (Morocco). *Natural Products: An Indian Journal*, (6) : 200-207.
 21. **Kadiri H., (1976)**. Les estuaires et les marais maritimes dans l'environnement littoral. Les côtes atlantiques d'Europe, évolution, aménagement, protection-Brest. Publications du CNEXO, France: Actes de Colloques no 9, pp: 201 à 210.
 22. **Kayeye D. B. (2014)**. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de « elakat » bukavu RD Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 12 (2), pp. 491-498.
 23. **Lakhili F., Benabdelhadi M., Bouderkha N., (2015)**. Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de beht (Maroc). *European Scientific Journal*. 11 (11) : 1857 – 7881.
 24. **Larouche P., El-Mouttakil M., Djouaib A., (2003)**. Spectroradiométrie de la matière particulaire dans l'Oued Sebou (Maroc) : application aux données de télédétection. *J. Télédétection*. 3 (1) : 85-96.
 25. **Lebunetel J. ; Farnole P. ; Lazrak K. (2014)**. Propagation de crue et aléa de submersion. Etude de cas : L'Oued Sebou – Kénitra (Maroc), XIII^{ème} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Dunkerque, 2 – 4 juillet 2014.
 26. **Martin J.M., Meybeck M., Salvadari F., Thomas A.J., (1976)**. Pollution chimique des estuaires CNEXO, Scientific and technic report, N° 22, 250 p.
 27. **Mergaoui L., Ferkhaoui M., Bouya D., Gheit A., Stambouli A., (2003)**. Qualité des eaux et macrofaune benthique d'un milieu estuarien du Maroc; Cas de l'estuaire de Sebou, *Bulletin de l'Institut Scientifique*, 25: 67-75.
 28. **Mericam, P., Astruc M., (1979)**. Mise au point sur l'état chimique des métaux lourds dans les eaux douces naturelles et l'eau de mer,

- lère partie : Espèces minérales dissoutes communément impliquées. *T.S.M., l'eau*. 74: 340p.
29. **Olivier L. M & Geairon P. (2013)**. Estimation et caractérisation de la dynamique des flux dans l'estuaire de la Charente. Rapport de Projet « Durable Pêche et Conchyliculture dans les Pertuis Charentais. R.INT ODE / LER / LERPC, 31 p.
 30. **ONEP, (1998)**. Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc. ONEP et GTZ, Rabat.
 31. **ORMVAG, (2010)**. Impact des inondations enregistrées en 2009/2010 sur le secteur agricole au niveau de la Région Gharb Chrarda Beni Hssen (Premières estimations. Report of the office.
 32. **Oveed G., Bahraoui A., (1970)**. Atlas du bassin de Sebou.
 33. **Rodier J. (1996)**. L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8ème éd. Tome1. Dunod. Paris. 1383p.
 34. **Sogreah, (2011)**. Etude d'expertise sédimentologique de la plage de Mehdia. Final version of report N° 1712781.
 35. **Tazouti A. (2004)**. Contribution à l'analyse des paramètres physicochimiques et de la pollution métallique et organique des eaux de l'estuaire de l'oued Sebou, UFR Environnement. Master report DESA : Pollution et Traitement des Eaux. Fac. Sci., Univ. Ibn Tofail, Kenitra, Morocco.
 36. **Zerhouni. R. A., (2003)**. Flore algale des eaux usées de la ville de Fès et étude de la capacité de certaines espèces à éliminer la charge azotée, phosphatée et quelques métaux lourds (Chrome et Cadmium) . Thesis. Fac. Sci. Dhar El Mahraz. Fès. Maroc. 146p.
 37. **Zerki N. (2013)**. Apport de la chimométrie pour l'analyse et l'interprétation de quelques paramètres physico-chimiques influençant la répartition des métaux lourds, des éléments nutritifs et des anions dans les eaux de l'oued de Bou Regreg, Thesis, Fac. des Sci., Univ. Mohammed V, Rabat, Morocco.
 38. **Zimmermann S., Baumann U., Taraschewski H. et Sures B. (2004)**. Accumulation and distribution of platinum and rhodium in the European eel *Anguilla anguilla* following aqueous exposure to metal salts. *Environmental Pollution*, 127,195–202.
 39. **Zitane M. (2002)**, Diagnostic de la pollution organique et métallique des eaux et des sédiments dans l'estuaire de l'oued Sebou. UFR Environnement. Report of DESA : Pollution et Traitement des Eaux. Fac. Sci., Univ. Ibn Tofail, Kenitra, Morocco.