

Concentration en métaux lourds des eaux de surface dans le bassin versant de Martil débouchant dans la méditerranée occidentale marocaine

[Heavy metal concentration of surface water of Martil's watershed leading into the Moroccan Western Mediterranean]

MOHAMMED RAISSOUNI¹, ZAKARIYAE DJEBARY TAHIRI¹, ABDELKRIM EL ARRIM¹, and HASSAN ER-RAIOU²

¹Laboratoire d'Océanologie, Environnement et Risques Naturels, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, Morocco

²Equipe de Recherche en Géo-Information et Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Terre, FST de Tanger, Morocco

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Pollution of superficial waters is one of the most answered aspects in the world and especially in the Mediterranean. The Mediterranean countries like Morocco is settled in a serious policy for the conservation of resources in superficial waters or groundwater, reducing the rate of the pollution load reaching the different streams and also, practicing techniques of cleanup especially in the Mediterranean watersheds whose the watershed of Martil which represents the largest one in the north western of Morocco. The results of physicochemical parameters recorded at different stations, show a high pollution load in stations located in the center of urban and industrial areas, translated by high rates of TSS, COD and BOD₅ and consequently low levels of dissolved O₂. The analysis of heavy metals, have led to the remarkable presence, by location, of iron, aluminum and lead, by cons, the results showed low contents of zinc, copper and cadmium.

KEYWORDS: Morocco, pollution, physical-chemical parameters, trace metals, correlations.

RESUME: La pollution des eaux de surface est l'un des aspects les plus réponsus dans le monde et surtout au niveau de la méditerranée. La Maroc comme pays méditerranéen s'est intégré dans une politique sérieuse pour la conservation de ses ressources en eau de surface ou souterraines, en réduisant le taux de la charge polluante arrivant aux différents cours d'eau et en plus, en pratiquant des techniques de dépollution surtout au niveau des bassins versants méditerranéens dont le bassin versant de Martil qui représente le plus important bassin de la région nord occidentale de Maroc. Les résultats des paramètres physicochimiques enregistrés au niveau des différentes stations, montrent une forte charge polluante, dans les stations situées au centre des agglomérations urbaines et industrielles, traduite par des taux élevés en MES, DCO et DBO5 et par conséquence un taux faible en O₂ dissous. Concernant les analyses des métaux lourds, ils ont abouti à la présence remarquable, par endroit, du fer, de l'aluminium et du plomb, par contre, les résultats ont montré des teneurs faibles en zinc, en cuivre et en cadmium.

MOTS-CLEFS: Maroc, pollution, paramètres physicochimiques, éléments traces métalliques, corrélations.

1 INTRODUCTION

La pollution des cours d'eau a été accrue, de manière chronique ou accidentelle, à cause de l'urbanisation, l'essor de l'industrie et de l'agriculture intensive. La moitié des fleuves et rivières de la planète sont polluées. Cette pollution chimique provient entre autres des engrais de synthèse et des pesticides utilisés par l'agriculture, et des rejets toxiques de l'activité industrielle et minière. Le ruissellement des pluies et les infiltrations dans le sol entraînent la pollution vers les cours d'eau et

l'océan. De plus en plus, les nappes phréatiques, théoriquement moins vulnérables que les eaux de surface, sont également contaminées, souvent pour une longue durée du fait du lent renouvellement des eaux souterraines.

Face à ces défis majeurs, de nouvelles modalités d'utilisation, orientées vers le développement durable, apparaissent. Partout dans le monde, y compris au Maroc, des programmes de recherche et des initiatives politiques sont mis en œuvre pour trouver des solutions à ces problèmes. Villes et pays cherchent à améliorer la potabilisation, la distribution et la consommation d'eau tout en luttant contre le gaspillage. La recherche de solutions à la pollution de l'eau douce et de la mer est en plein essor.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone qui fait l'objet de notre étude est le bassin versant de Martil qui représente le plus important bassin de la région Tanger-Tétouan- Al Hoceima. Sa superficie est de 1220 km² avec un débit moyen de 14,7m³/s, le principale cours d'eau dans ce bassin est l'oued Martil qui prend sa source dans des formations marno calcaires à 1000 m d'altitude. Provenant de trois affluents qui sont les oueds Khemis, Mhajrat et Chekour, pour se jeter finalement dans la mer Méditerranée au niveau de la ville de Martil.

De point de vue climatique, le littoral méditerranéen occidental se situe dans l'étage bioclimatique humide à subhumide, avec un été sec et chaud [1].

2.2 ECHANTILLONNAGE

Les prélèvements ont été effectués durant l'année 2013 sur deux périodes (hivernale et estivale) au niveau de neuf stations localisées sur l'oued Martil (3 stations), et ses trois principaux affluents (2 stations sur chaque affluent). (fig. 1)

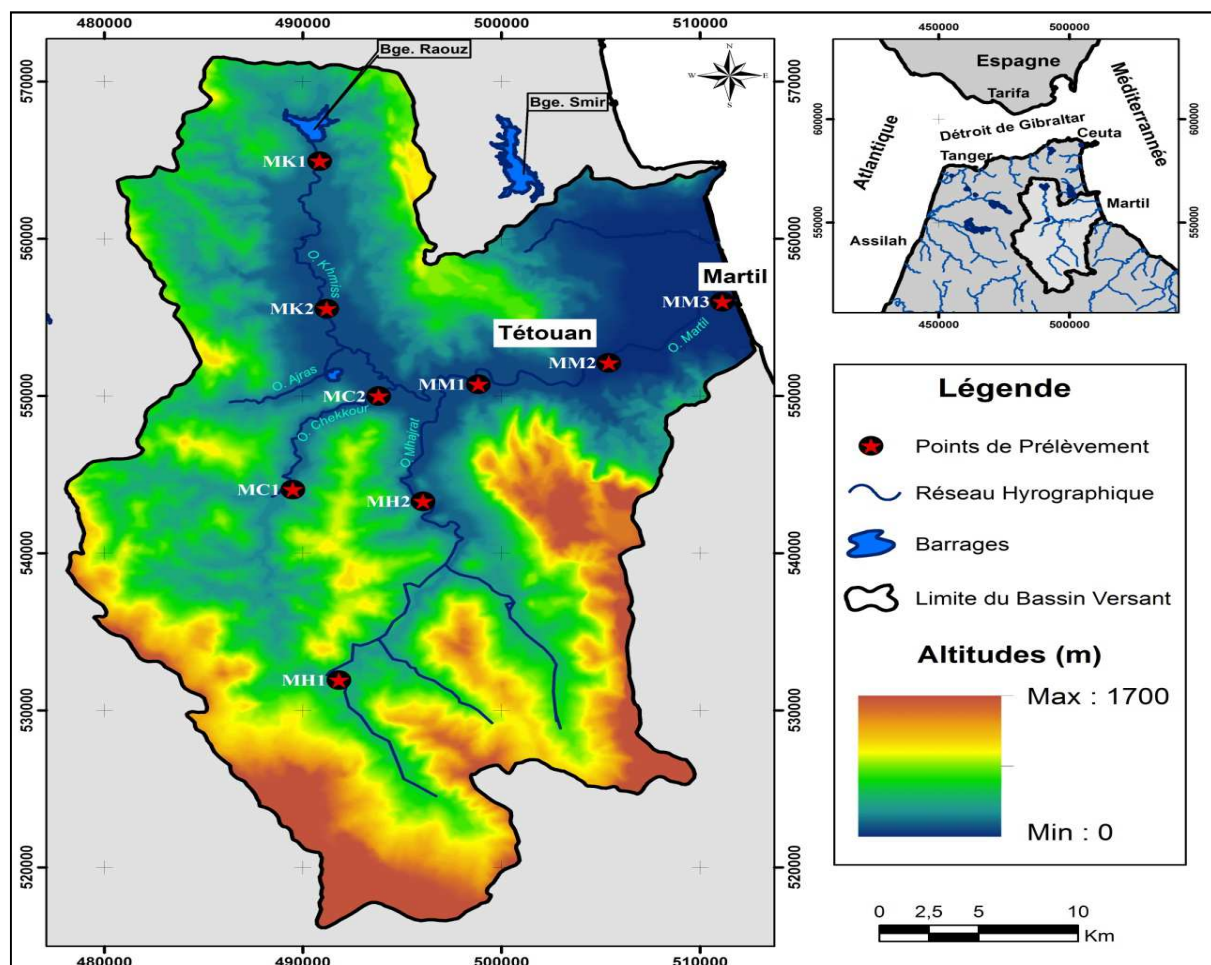


Fig. 1. Carte de situation des points de prélèvement

Les coordonnées des stations d'échantillonnage ont été déterminées à l'aide d'un GPS de type Magellan Mobil Mapper CX (Tableau 1).

Tableau 1. Localisation des stations de prélèvement

STATIONS	ALTITUDE	LONGITUDE	LATITUDE	DESIGNATION
MC1	176,32	W005°34'04.602	N35°30'10.038	AMONT OUED CHEKOR
MC2	7,66	W005°28'05.226	N35°33'13.788	AVAL OUED CHEKOR
MK1	115,9	W005°31'15.198	N35°31'15.198	AMONT OUED KHEMIS
MK2	4,14	W005°27'33.708	N35°33'41.448	AVAL OUED KHEMIS
MH1	182,17	W005°29'24.000	N35°23'27.732	AMONT OUED MHAJRAT
MH2	4,3	W005°25'46.260	N35°32'48.582	AVAL OUED MHAJRAT
MM1	7,32	W005°24'45.636	N35°33'38.190	AMONT OUED MARTIL
MM2	-0,12	W005°20'25.434	N35°34'22.418	MILIEU OUED MARTIL
MM3	-0,57	W005°16'39.366	N35°36'06.972	AVAL OUED MARTIL

Les échantillons d'eau prélevés ont été soumis à des analyses physicochimiques et métalliques :

Les analyses physicochimiques comportent les paramètres in situ qui sont l'oxygène dissout (O₂D), la température(T), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité (COND), et les paramètres mesurés au laboratoire qui sont les matières en suspension(MES), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO5).

Les éléments métalliques étudiés : le fer (Fe), l'aluminium (Al), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le cadmium (Cd) et le cuivre (Cu) ont été dosés par la technique ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy) à l'Unité d'Appui Technique à la Recherche Scientifique (UATRS) du Centre Nationale des Recherches Scientifiques et Techniques (CNRST) à Rabat.

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

Le tableau 2 présente les résultats des analyses physicochimiques enregistrés dans les différentes stations de prélèvement dans le bassin versant de Martil.

Tableau 2. Résultats des analyses physicochimiques des différentes stations

Paramètres Stations	O ₂ D		PH		T		COND		MES		DCO		DBO5	
	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août
Mm1	1,5	4,23	8,42	7,61	10,7	27,6	800	1160	130	95	140	150	85	90
Mm2	1,1	2,2	7,85	7,05	14,4	27	1300	1138	80	90	95	100	65	60
Mm3	3,4	4,56	6,8	7,7	13	26,2	5620	4985	95	85	100	85	40	45
Mh1	5,9	A sec	8,32	A sec	8,5	A sec	800	A sec	45	A sec	45	A sec	25	A sec
Mh2	7,8	3,65	8,62	7,39	9,2	28	335	553	25	20	20	30	30	25
Mc1	7,8	A sec	8,6	A sec	4,5	A sec	445	A sec	22	A sec	30	A sec	22	A sec
Mc2	2,7	A sec	7,9	A sec	11,3	A sec	500	A sec	28	A sec	40	A sec	33	A sec
Mk1	6,9	3,3	8,7	7,24	11,2	32,8	877	1006	25	20	25	30	10	20
Mk2	6,7	A sec	8,6	A sec	10,9	A sec	411	A sec	20	A sec	20	A sec	15	A sec

3.1.1 L'OXYGÈNE DISSOUS

L'oxygène dissout constitue l'un des paramètres les plus importants pour la qualité des eaux. L'oxygène dissout dans les rivières provient principalement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques. Il est inversement proportionnel à la température ce qui entraîne des variations cycliques journalières et saisonnières très marquées. [2] [3].

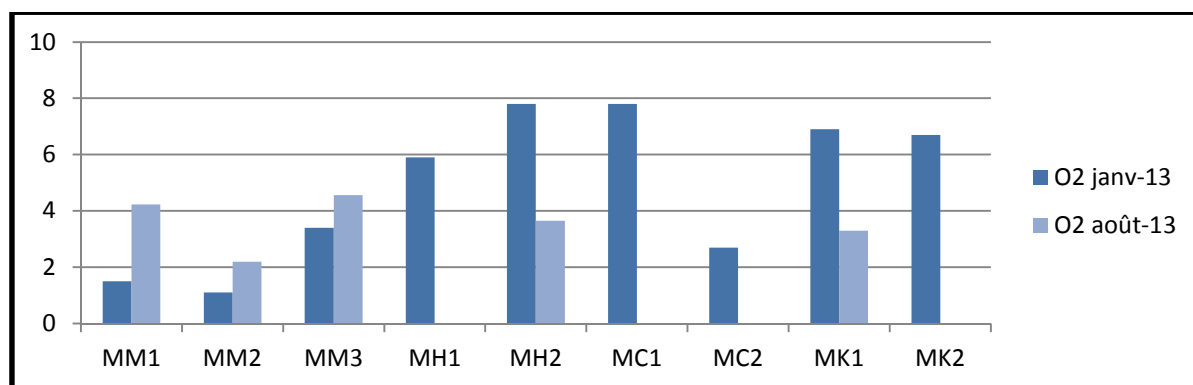


Fig. 2. Valeurs de l'oxygène dissout enregistrées dans les différentes stations

La première remarque à tirer des résultats obtenus des mesures de l'oxygène dissout, c'est qu'en aval les valeurs sont moins inférieures qu'en amont. La teneur minimale a été trouvée au point MM2 au mois de janvier, alors que la teneur maximale a été enregistrée aux points MH2 et MC1 au même mois. On note aussi qu'en aval les valeurs ont augmenté au mois d'août.

3.1.2 LE POTENTIEL D'HYDROGÈNE

Le pH indique l'acidité ou l'alcalinité d'une eau et conditionne de nombreux équilibres physico-chimiques. Dans les eaux naturelles, le pH est compris entre pH 6.5 et pH 8.5 [4]. Il varie selon la nature géologique du bassin de drainage, il est acide dans les eaux des aquifères sableuses ou granitiques et alcalin dans les aquifères calcaires. Il peut être aussi influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels [5].

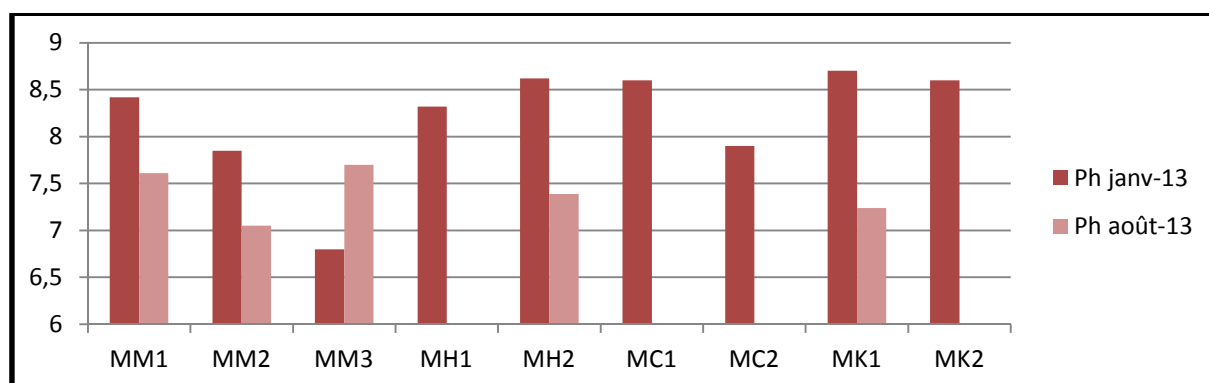


Fig. 3. Valeurs du pH enregistrées dans les différentes stations

En général, les valeurs du pH enregistrées au mois de Janvier sont plus supérieures que celles enregistrées au mois d'août. Les valeurs varient entre 6,8 et 8,7 montrant la présence d'une certaine alcalinité des eaux.

3.1.3 LA TEMPÉRATURE

La température de l'eau dépend des variations journalières ou saisonnières, de la température ambiante mais également des rejets anthropiques (ex. eaux utilisées pour le refroidissement). Ce paramètre joue un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques par son influence sur la solubilité de l'oxygène mais aussi d'autres éléments [6].

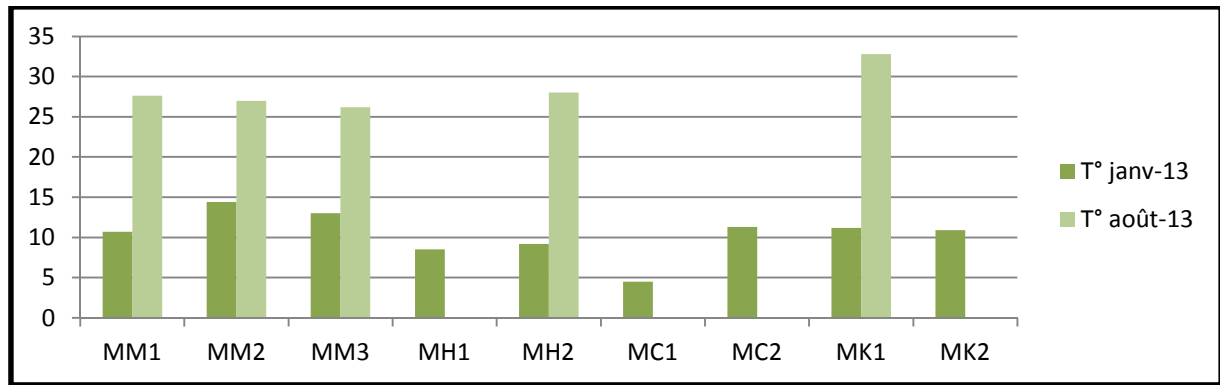


Fig. 4. Valeurs de la température enregistrées dans les différentes stations

Dans notre cas, et chose qui est normale, les températures estivales sont plus supérieures des températures hivernales. Les valeurs sont comprises entre 4,5°C et 32,8°C.

3.1.4 LA CONDUCTIVITÉ

La conductivité représente l'aptitude de l'eau à conduire le courant électrique et dépend de sa concentration en ions présents en solution. La plupart des eaux naturelles sont caractérisées par une conductivité comprise entre 10 et 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ [7], des changements notables des valeurs de la conductivité peuvent traduire des apports importants de sels minéraux issus du bassin versant ou un apport ponctuel important (i.e. rejet industriel).

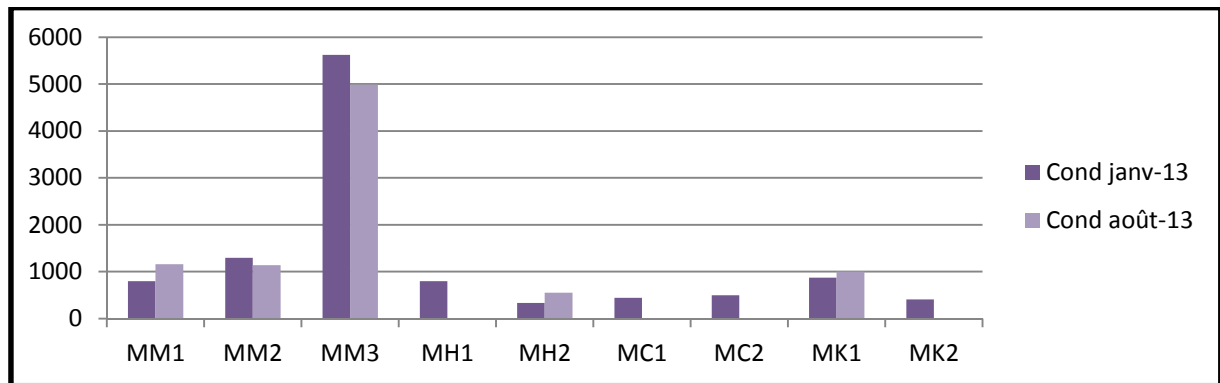


Fig. 5. Valeurs de la conductivité (en $\mu\text{S/cm}$) enregistrées dans les différentes stations

Les valeurs de la conductivité enregistrées dans cette étude sont inférieures à 1300 $\mu\text{S/cm}$ sauf au point MM3 où elles arrivent à 5620 $\mu\text{S/cm}$ en janvier et 4985 $\mu\text{S/cm}$ en août, ce point est situé à l'embouchure de l'oued Martil en contact direct avec les eaux de la mer. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution (tableau 3). D'après les résultats obtenus qui dépassent le seuil de 333 $\mu\text{S/cm}$, on peut dire que les eaux de surface de l'oued Martil connaissent une minéralisation accentuée à élevée.

Tableau 3. Rapport entre la conductivité et la minéralisation [8]

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation très faible
100 – 200 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation faible
200 – 333 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation moyenne
333 – 666 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation accentuée
666 - 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation élevée

3.1.5 LES MATIÈRES EN SUSPENSION

Les matières en suspension (MES) sont des particules minérales et organiques de faibles taille et/ou densité qui se déplacent dans les rivières avec la vitesse de l'écoulement de l'eau, sans contact avec le fond. Leur présence en fortes quantités est à l'origine de la dégradation du milieu aquatique en augmentant la turbidité de l'eau, en perturbant la vie aquatique (ex. colmatage des branchies de poissons) et aussi en véhiculant de nombreux contaminants vers le réseau hydrographique. Les MES proviennent en grande partie de l'érosion hydrique du sol. La compréhension du comportement des MES est très importante car il contrôle celui des polluants introduits dans la colonne d'eau. En effet, les concentrations les plus élevées en matières en suspension (MES) sont généralement observées pendant les événements pluvieux [9] [10] [11].

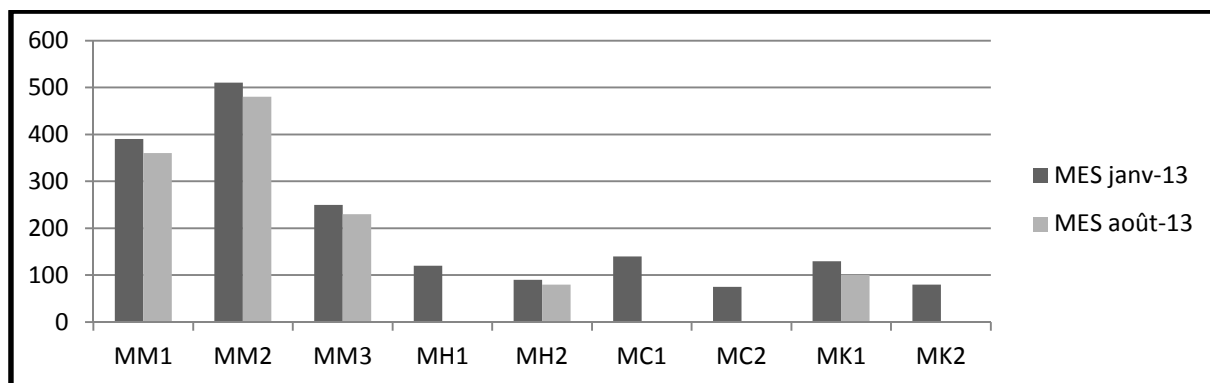


Fig. 6. Valeurs des matières en suspension enregistrées dans les différentes stations

Les teneurs des matières en suspension trouvées dans la partie aval du bassin versant (stations de l'oued Martil) sont plus supérieures que celles enregistrées dans la partie amont. Elles varient entre 75 et 120 mg/l en amont et entre 230 et 510 mg/l en aval.

3.1.6 LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE

La DCO correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques que celles-ci aient un caractère biodégradable ou non. Elle est exprimée par la quantité d'O₂ fournie par le dichromate de potassium et nécessaire à l'oxydation des substances organiques présentes dans les eaux résiduaires.

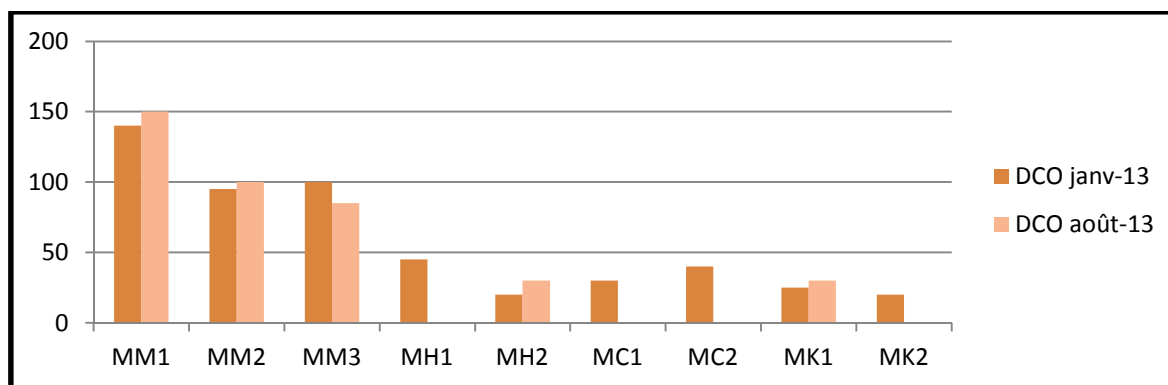


Fig. 7. Valeurs de la demande chimique en oxygène enregistrées dans les différentes stations

En aval, les valeurs de la DCO sont plus importantes, elles arrivent à 150 mg/l au point MM1 ; alors qu'en amont elles varient entre 20 mg/l et 45 mg/l.

3.1.7 LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE

La demande biochimique en oxygène est définie comme la quantité d'oxygène consommée par certaines matières présentes dans l'eau, pour assurer leur dégradation par voie biologique dans des conditions d'essai prédéfinies (après incubation durant 5 jours à 20°C et dans l'obscurité). Elle s'exprime en mg d'oxygène par litre d'eau (mg/l).

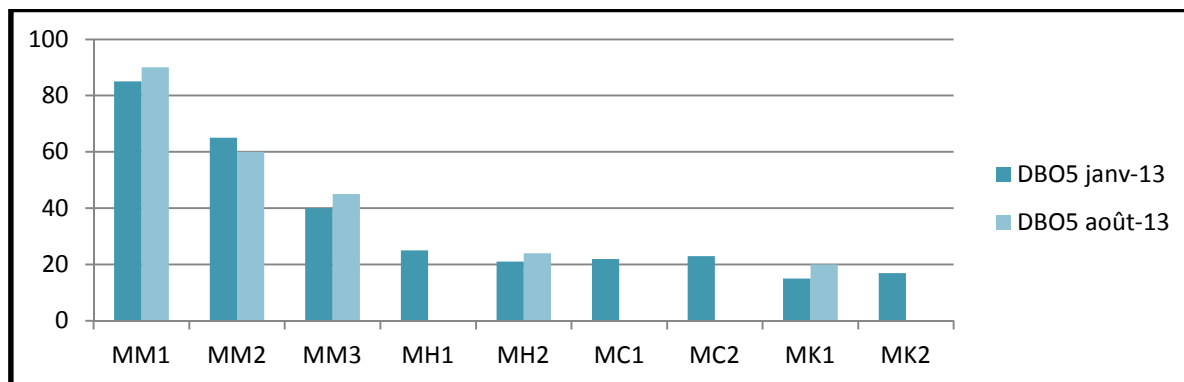


Fig. 8. Valeurs de la demande biochimique en oxygène enregistrées dans les différentes stations

L'évolution des teneurs de la DBO5 suit le même régime que celui de la DCO, les valeurs varient entre 15 mg/l au point MK1 et 90 mg/l au point MM1.

3.2 ELÉMENTS MÉTALLIQUES

Les éléments traces métalliques analysés dans les eaux de surface des différentes stations sont le fer, l'aluminium, le plomb, le cadmium, le zinc et le cuivre

Tableau 4. Résultats des analyses des éléments métalliques des différentes stations

Eléments Stations	Aluminium (mg/l)		Fer (mg/l)		Plomb (µg/l)		Cadmium (µg/l)		Zinc (mg/l)		Cuivre (mg/l)	
	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier	août	janvier
Mc1	A sec	0,345	A sec	2,08	A sec	10,4	A sec	0,1	A sec	0,038	A sec	0,0032
Mc2	A sec	0,244	A sec	1,9	A sec	8,8	A sec	0,1	A sec	0,016	A sec	0,0012
Mk1	0,134	0,144	0,326	0,435	5,7	4,9	0,1	0,2	0,028	0,028	0,0059	0,0059
Mk2	A sec	0,735	A sec	1,5	A sec	13	A sec	0,3	A sec	0,023	A sec	0,0056
Mh1	A sec	0,85	A sec	1,15	A sec	2	A sec	0,5	A sec	0,054	A sec	0,0067
Mh2	1,55	1,44	1,24	1,2	12	11	0,6	0,4	0,036	0,024	0,0085	0,0045
Mm1	0,638	0,399	1,16	1,03	7,1	6,6	0,6	0,3	0,025	0,019	0,0079	0,0069
Mm2	0,255	0,188	0,563	0,788	2,4	3,3	0,1	0,1	0,018	0,033	0,011	0,02
Mm3	0,962	1,66	2,03	0,95	7,3	8,2	2	2	0,045	0,022	0,0091	0,019

3.2.1 DISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES

3.2.1.1 L'ALUMINIUM

Les teneurs minimales de l'aluminium ont été trouvées au point Mk1 avec une valeur de 0,134 mg/l au mois d'août et de 0,144 mg/l au mois de janvier, alors que les concentrations maximales ont été enregistrées aux points Mh2 (au mois d'août) et Mm3 (au mois de janvier) avec des valeurs 1,55 mg/l et 1,66 mg/l respectivement.

3.2.1.2 LE FER

Au mois de janvier les teneurs les plus élevées en fer ont été trouvées aux points MC1 et MC2, alors qu'au mois d'août la valeur maximale a été enregistrée au point MM3.

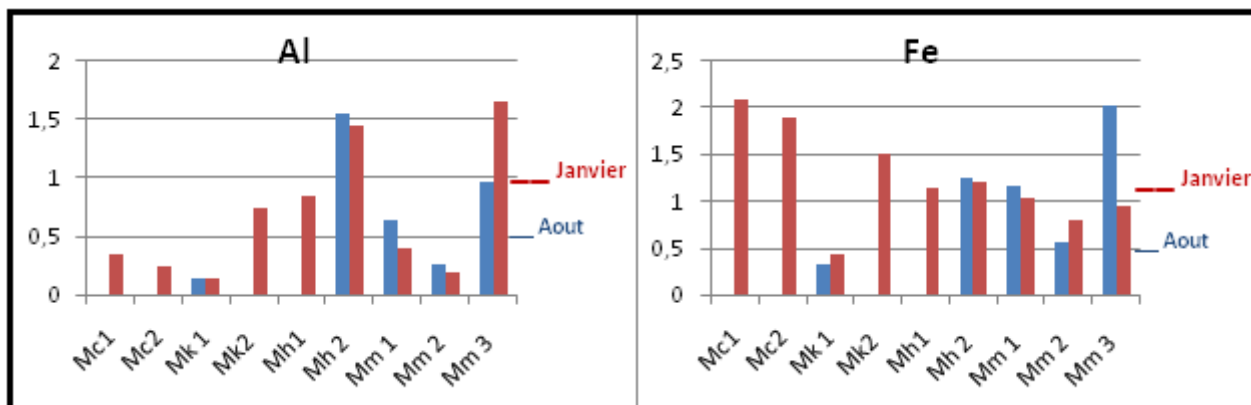


Fig. 9. Concentrations en Al et Fe des différentes stations

3.2.1.3 LE PLOMB

Le plomb est naturellement présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais comme la galène (PbS), qui représente la première source, elle en contient 86.6% en poids, et souvent associée à d'autres minéraux (Zn, Ag et Cu). Dans les plupart des stations le plomb se trouve à des teneurs faibles ne dépassant pas 8,8 µg/l ; alors que dans quelques stations, sa concentration dépasse légèrement 10 µg/l, arrivant à 13 µg/l au point MK2.

3.2.1.4 LE CADMIUM

Le cadmium est un élément très rare. Sa concentration moyenne dans la croûte terrestre est de 0.15 à 0.20 µg g⁻¹ [12]. Il fait partie des contaminants métalliques les plus toxiques provenant en majeure partie des apports anthropiques. Dans les eaux douces et pour des pH < 8, le Cd à l'état dissous se trouve sous forme Cd²⁺ préférentiellement complexé par les substances humiques [13].

En général, les teneurs du cadmium varient entre 0,1 µg/l et 2 µg/l et restent inférieures à la valeur de 3 µg/l qui représente la valeur limite fournie par la norme marocaine.

3.2.1.5 LE ZINC

Le zinc est un métal assez répandu dans la croûte terrestre avec une teneur moyenne allant de 70 à 132 µg g⁻¹ dans les roches magmatiques, les sédiments argileux et les schistes [14]. Les apports anthropiques de zinc résultent principalement des activités minières et industrielles (ex. traitement du minerai, raffinage, galvanisation, pigments, protection anticorrosion, peinture antirouille), de la combustion des énergies fossiles et des épandages agricoles.

Dans les eaux, le zinc se trouve sous forme ionique, complexé par les ligands organiques (acides fulviques et humiques) ou encore associé aux colloïdes inorganiques. Dans les eaux à pH au dessous de 8, les concentrations de zinc sous forme cationique (Zn²⁺) sont plus importantes, tandis que l'espèce neutre ZnCO₃ est majoritaire dans les eaux à pH supérieur à 8 [15]. Le zinc est un oligo-élément essentiel, mais qui devient toxique à des concentrations élevées. Le caractère phytotoxique a été reporté dans le cas de sols contaminés par Zn [16].

Pour le zinc, les concentrations trouvées dans les différentes stations sont toutes inférieures à 0,5 mg/l, ces résultats sont inférieurs aux normes établies.

3.2.1.6 LE CUIVRE

Le cuivre est moyennement abondant dans la croûte terrestre avec une teneur moyenne comprise entre 45 µg g⁻¹ et 70 µg g⁻¹ [17]. Il est fréquemment présent sous forme de sulfures, de sulfo-sel ou encore d'oxyde [18]. En raison de sa ductilité,

sa résistance à la corrosion ainsi que ses vertus bactéricides et antifongiques, le cuivre est utilisé dans plusieurs applications industrielles. Dans les eaux continentales, les niveaux de base de cuivre sont de 3 à 5 $\mu\text{g L}^{-1}$ en moyenne [19]. Il se trouve principalement sous forme divalente Cu(II) . Le cuivre à des faibles doses est indispensable à tous les organismes mais il devient toxique à fortes concentrations [20].

Les teneurs du cuivre, enregistrées dans les deux campagnes, sont inférieures à 0,02 mg/l, montrant l'absence d'une contamination par cet élément.

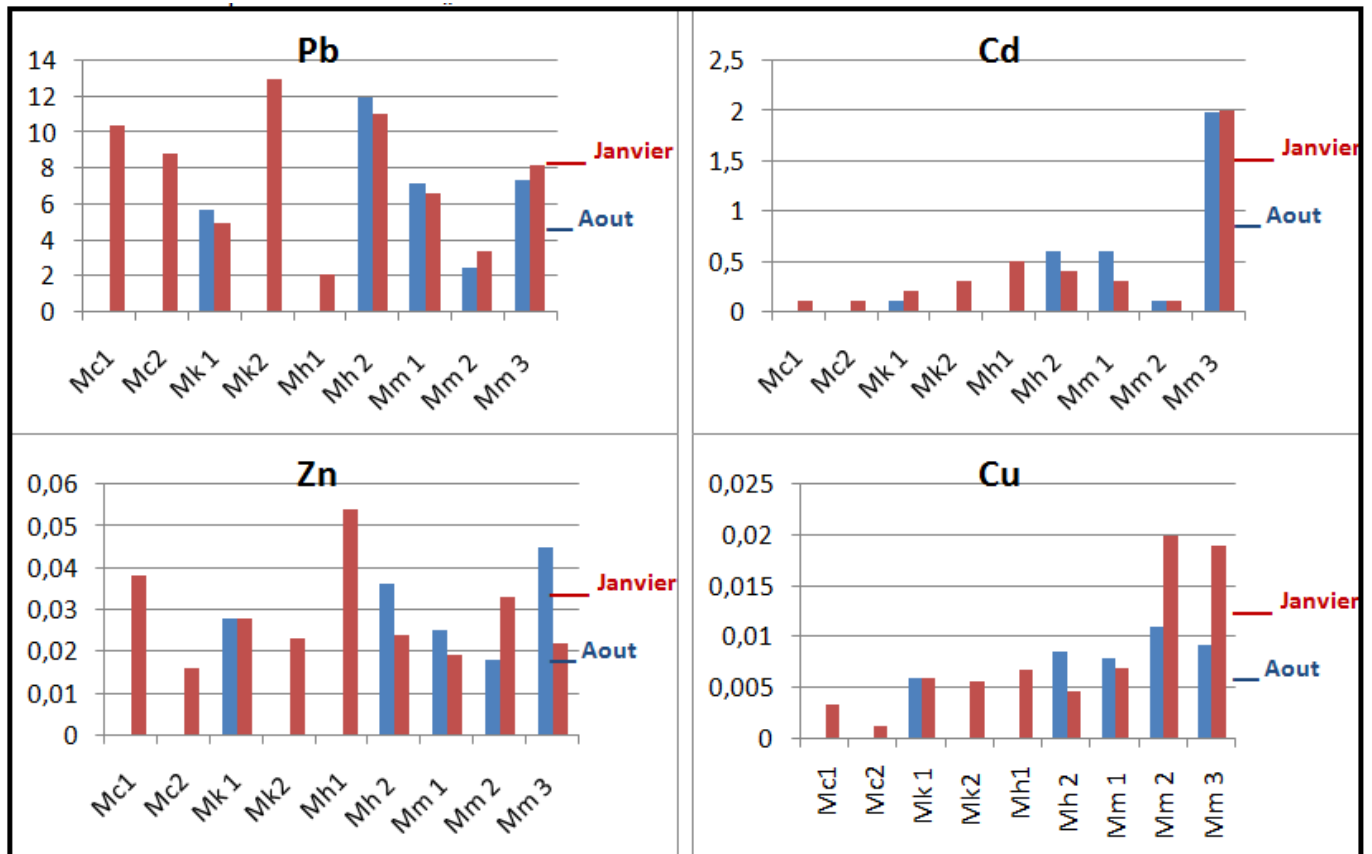


Fig. 10. Concentrations en Pb, Cd, Zn et Cu des différentes stations

3.3 ÉTUDE COMPARATIVE

La comparaison des teneurs des quelques éléments métalliques dans les eaux de surfaces de l'oued Martil (Cd, Cu, Pb et Zn) (tableau 7) permet de remarquer qu'elles sont plus faibles que celles trouvées dans:

- des études antérieures (RAISSOUNI 2011).
- d'autres zones (i.e. bassin de Sebou) [31]
- d'autres secteurs périméditerranéens similaires (i.e. baie de Tanger), [32].

Cette comparaison montre qu'il y a une amélioration dans le temps de la qualité des eaux de l'oued Martil, grâce aux projets d'aménagement implantés dans la région.

Tableau 5. Teneurs en (ppb) des métaux lourds dans les eaux de surface enregistrées dans des travaux antérieurs

Secteurs	Métaux	Pb	Zn	Cu	Cd	Auteurs
Effluents du bassin de Sebou		61,2	99,41	36,4	0,34	AZZAOUI 2000
Eaux superficielles de Tanger		100,9	117,8	10,4	75,23	EL HATIMI 2002
Moyennes des rejets des Oueds : Lihoud, Mghogha et Souani (baie de Tanger)		19,68	134,37	39,46	1,04	DAHOU 1999
Oued. Martil		1-53	8-140	8-20	10	RAISSOUNI 2011
Oued Martil		2,4-12	18-45	4,5-20	0,1-2	RAISSOUNI 2013 (Cette étude)

4 DISCUSSION

L'évolution dans le temps, montre que les taux de l'oxygène dissous enregistrés au mois de janvier sont supérieurs à ceux enregistrés au mois d'août grâce aux eaux des pluies qui apportent une certaine dilution aux eaux superficielles. Dans l'espace, les valeurs trouvés dans les stations situées au niveau des trois affluents (partie amont), sont supérieures que celles trouvées dans les stations situées au niveau de l'oued Martil (partie aval), sauf au point MC2, même si on remarque qu'il y a une légère augmentation à l'embouchure de l'oued au point MM3, ceci est dû à l'échange avec les eaux de la mer qui sont plus oxygénées et qui font augmenter les concentrations en oxygène dissous à ce niveau, on peut parler dans ce cas d'une autoépuration.

Dans certains endroits sur l'oued Martil qui traverse les deux villes de Tétouan et Martil pour arriver enfin en mer, les teneurs en oxygène dissous tendent vers des valeurs faibles, proches de 1 mg/l, traduisant ainsi, une mauvaise qualité des eaux. Ceci est dû essentiellement aux rejets urbaines et industriels déversés directement et qui sont très chargés de matière organique, de métaux, d'hydrocarbures, de matières en suspension... et qui proviennent des industries chimiques et parachimiques, agroalimentaires, métalliques, de textile et cuir... les eaux en question sont plus ou moins dégradés par les microorganismes aérobies présents dans l'eau qui utilisent l'oxygène dissous pour leur respiration, au fur et à mesure, et à cause de surcharge, l'oxygène dissous s'exploite totalement jusqu'à ce que l'eau devienne parfois anaérobie.

Les valeurs du pH enregistrées tendent en général vers la neutralité et expriment une légère alcalinité. Les facteurs faisant augmenter le pH des eaux de surface sont d'abord le substrat quand il est riche en carbonate et bicarbonates, et l'échange avec les eaux de mer au niveau des embouchures des oueds, ce qui constitue un système tampon favorable à la vie de la faune et la flore.

Les valeurs moyennes en MES sont comprises entre 75 et 510 mg/l, et donc on peut dire que les eaux sont de bonne à moyenne qualité. Au mois de janvier qui connaît des précipitations importantes sous forme des crues et des averses, la vitesse de l'écoulement augmente ce qui favorise le transport des particules en suspension présentes dans l'eau, qui sont issues de l'érosion mécanique due à la force du courant, surtout dans les zones de grande altitude et/où le degré de la pente est élevé, chose qui n'est pas remarquable au mois d'août.

En aval, et en s'approchant de la mer, la vitesse de l'écoulement diminue fortement, à ce niveau là, se produit la sédimentation et donc il faut y avoir des teneurs faibles en MES, ce n'est pas le cas dans l'oued Martil où les MES sont relativement élevées. Cela se produit à cause des sources anthropiques par l'ajout des rejets des zones industrielles chargés en matière en suspension qui proviennent des usines de textile, d'agroalimentaire, métallurgie, chimie et parachimie...ce qui se traduit par un taux d'oxygène dissous très faible (le cas du point MM2 : 1,1 mg/l), et empêchent la pénétration de la lumière ce qui bloque les réactions de photosynthèse et par conséquent réduisent la quantité d'oxygène libéré dans l'eau par les végétaux.

La charge organique traduite par les valeurs de DCO et de DBO₅ qui atteignent 150 mg/l et 90 mg/l respectivement, dans la partie aval du bassin, montre son importance suscitant une demande élevée en oxygène. La dégradation de la matière polluante nécessite des apports continus en oxygène, qui en cas de surcharge, restent insuffisants pour réduire le degré de pollution et rendre l'eau à son état naturel.

La conductivité au niveau de toutes les stations reste faible ne dépassant pas 1300 µS/cm, mais à l'aval de l'oued Martil elle arrive à 5620 µS/cm en mois de janvier, traduisant ainsi une mauvaise qualité des eaux. Ceci peut être expliqué, en partie, par l'influence des eaux marines salines, et en autre partie, par le degré élevé de minéralisation des eaux, cette

minéralisation est traduite par la présence de certains métaux dont les concentrations dépassent par endroit, les normes établies.

En effet, le plomb présente, par endroit, des concentrations dépassant les normes (10 µg/l). Bien que les émissions de plomb issues du carburant ont diminué depuis l'usage obligatoire du carburant sans plomb, il est encore utilisé dans plusieurs activités industrielles comme la production de batteries pour l'automobile, l'enrobage des câbles, les alliages, les pigments, etc. Malheureusement, les rejets industriels déversés directement sans traitement efficace dans les eaux naturelles, rendent ces dernières contaminées par ce métal, ce qui provoque un effet néfaste sur l'écosystème en question et ses différentes composantes.

Dans les systèmes aquatiques, le plomb présente une forte affinité pour les particules sédimentaires dont les argiles, les oxy-hydroxydes de fer et de manganèse, les sulfures et la matière organique [21]. Sa concentration dans les eaux non contaminées est très faible ne dépassant pas quelques µg/l et l'OMS fixe pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire un niveau guide de 10 µg/l [22].

Le cadmium présente des concentrations faibles au niveau de tous les points analysés. Les valeurs sont de 0,1 µg/l à 2 µg/l ne dépassant pas la norme établie qui est de 3 µg/l.

Dans la nature, le Cd est l'un des rares éléments de la biosphère. Sa concentration moyenne dans la croûte terrestre est de l'ordre de 0,15 µg/g [23]. Les gisements miniers, les effluents industriels, les dépôts d'ordures ménagères et les eaux usées domestiques et mixtes contiennent de hautes proportions en cadmium par rapport aux autres métaux lourds [24] [25]. Le cadmium est considéré comme un produit d'extraction et de raffinage de minerais de zinc, cuivre et de plomb. Il provient aussi des industries traitant le Zn, Cu et Pb et les aciéries. Ainsi, les sources potentielles de cadmium sont les industries des alliages métalliques, batteries, pigments et le drainage minier [24] [26] [27] [28].

L'absence de toutes ces activités minières et industrielles dans la région, explique l'absence de contamination par cet élément au niveau du bassin versant de Martil.

La distribution du zinc montre qu'il est présent dans tous les points de prélèvements, mais avec des concentrations faibles ne dépassant pas 0,054 mg/l qui restent moins inférieures que la norme (0,5 mg/l). Dans les eaux naturelles de surface et les eaux souterraines le zinc n'est présent qu'à l'état de traces à des concentrations inférieures à 50 µg/l. Les eaux naturelles de surface acides et celles provenant des régions minières peuvent toutefois en contenir jusqu'à 50 µg/l. Les eaux salées en contiennent habituellement 10 µg/l [29].

Les concentrations élevées en cuivre se trouvent aux points MM2 et MM3 situées en aval de l'oued Martil avec 0,019 et 0,02 mg/l respectivement, même si ces teneurs sont importantes par rapport à celles trouvées dans les autres stations, elles restent faibles et ne dépassent pas 0,02 mg/l qui est la valeur limite de rejet pour avoir une eau d'excellente qualité. Le cuivre n'est présent qu'à l'état de traces jusqu'à des concentrations de 50 µg/l [30]. Les concentrations élevées en cet élément dans les différents types d'eaux proviennent généralement de sources anthropiques (rejets industriels). Les rejets liquides chargés en cuivre proviennent des industries de traitement de surface, des industries électriques, électroniques etc., [25].

Quant à l'aluminium, il est présent à état de traces au niveau de tous les points étudiés, sauf au niveau des points MH2 et MM3 où des valeurs élevées ont été trouvées, avec 1,55 mg/l et 1,66 mg/l respectivement, ces valeurs dépassent la valeur de 1 mg/l établie par la norme pour une qualité bonne des eaux. Ce sont les déchets d'utilisation d'aluminium et les activités industrielles présentes dans la zone comme la fabrication des fils électriques, la construction (fenêtres, portes, gouttières, etc.), l'emballage (boîtes de conserve, papier aluminium, canettes, barquettes, aérosols, etc.) et notamment les emballages alimentaires, les biens de consommation (appareils, ustensiles de cuisine etc.), qui augmentent la concentration de l'aluminium dans l'eau.

Enfin pour le fer, on note qu'il est présent dans la majorité des points avec des valeurs entre 1,03 et 2,08 mg/l (sauf aux points MK1 et MM2), traduisant une qualité moyenne des eaux. L'absence d'unités industrielles ou de grandes agglomérations urbaines en amont du bassin versant, nous permet de supposer que les teneurs élevées du fer sont d'origine essentiellement naturelle à savoir que les terrains traversés par les cours d'eau sont en partie ferromagnésiens, sans négliger les apports des rejets industriels de la zone industrielle de la ville de Martil en particulier.

BILAN :

Si on peut faire un bilan général des résultats, on peut dire que le bassin versant de Martil est divisée en deux parties :

- Une partie amont en milieu rurale loin des activités industrielles et des agglomérations urbaines de Tétouan et Martil où les résultats des analyses montrent une faible charge polluante et l'absence d'une contamination par les éléments traces métalliques étudiés. Cette partie est peut être considérée comme référence pour comparer les résultats.

- Une partie aval représentée par l'oued Martil qui traverse les centres urbains et industriels de Tétouan et Martil, qui connaît des taux élevés en DCO, DBO5 et MES contrairement à la concentration de l'oxygène dissous. Mais heureusement des concentrations faibles en éléments métalliques étudiés.

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'oued Martil, qui débouche dans la méditerranée et qui draine les eaux usées urbaines et industrielles des deux villes de Tétouan et Martil, reçoit des taux excessifs des matières en suspension et de quelques éléments traces métalliques. La volonté des autorités est présente et bien marquée par l'implantation de la station d'épuration à l'exutoire de l'oued Martil, et par la réalisation du projet d'aménagement de l'oued Martil, mais les techniques utilisées pour la dépollution des eaux de l'oued sont « primitifs ».

En somme, la zone d'étude est une zone de double influence naturelle (continentale et marine) et anthropique (déchets liquides et / ou solides industriels et domestiques). Sur le plan économique et social, ces données permettront une meilleure gestion de la protection de l'environnement marin côtier, au bénéfice du développement de diverses activités riveraines, notamment la pêche, le tourisme, la baignade...

Par ailleurs, et afin d'améliorer la qualité des eaux fluviales, d'une part et de contribuer à l'amélioration de l'état de l'environnement marin côtier d'autre part, il est nécessaire que :

- Les rejets industriels, requièrent un prétraitement préalable avant d'être évacués ailleurs ;
- Les entreprises industrielles et artisanales doivent réaliser des investissements de dépollution ou d'économie de ressources et introduire la dimension environnementale dans leurs activités ;
- Renforcement des capacités des concernés pour la mise en place des lois, des stations d'épuration et d'assurer leur gestion durable ;
- Renforcer le réseau national de surveillance continue de la mer Méditerranée marocaine dans le cadre du programme (MED POL);
- Participer aux programmes de l'initiative «Horizon 2020» de la Commission Européenne, qui constitue un élément central de la stratégie de lutte contre les sources principales de pollution en Méditerranée d'ici à 2020.
- Les provinces côtières doivent être dotées de stratégies basées sur des plans d'actions spécifiques (Plans d'aménagements) qui traitent des schémas antipollution : réhabilitation des réseaux d'assainissement, mise en place de stations d'épuration...
- Donner plus d'importance et de soutien à la recherche scientifique
- Développer les savoirs être chez les citoyens les petits avant les grands

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les co-auteurs qui ont participé à la finition de cet article, par leurs remarques et modifications. J'adresse aussi mes vifs remerciements à toute personne qui m'a aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

RÉFÉRENCES

- [1] Combe M., Ferre M., Thauvin J.P., *Notes Mémoires et Services. 2 Ed.* 231. 2 p 144-171, 1975
- [2] Edwards, R.W., Owens, M. *The oxygen balance of streams and the industrial society.* Oxford, UK: Blackwell, 1965.
- [3] O'Connor, D.J., Di Toro, D.M. *Photosynthesis and oxygen balance in streams. Journal of the Sanitary Engineering Division* 92, 547-71, 1970.
- [4] Sigg, L., Behra, P., Stumm, W. *Chimie des Milieux Aquatiques. Chimie des Eaux Naturelles et des Interfaces dans l'Environnement.* 4th Ed Dunod : Paris, 564p, 2006.
- [5] Rice, K.C., Herman, J.S. "Acidification of Earth: An assessment across mechanisms and scales". *Applied Geochemistry* 27, 1-14, 2012.
- [6] Wilby, R.L., Johnson, M.F., Toone, J.A. "Nocturnal river water temperatures: Spatial and temporal variations". *Science of the Total Environment* 482-483, 157-173, 2014.
- [7] Chapman, D. *Water Quality Assessment: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* 2nd Ed, F and FN Spon, London, 1996.

- [8] Detay, M. *Forage d'eau: réalisation, entretien, minéralisation*. Paris, Ed. Masson, 380 p, 1993.
- [9] Tessier, L. *Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine : identification de signatures naturelles et anthropiques*. Thèse soutenue le 23 juin 2003, Ecole nationale des Ponts et chaussées, 2003.
- [10] Radakovitch, O., Roussiez, V., Ollivier, P., Ludwig, W., Grenz, C., Probst, J.L. "Particulate heavy metals input from rivers and associated sedimentary deposits on the Gulf of Lion continental shelf". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, 285–295, 2008.
- [11] Nicolau, R., Lucas, Y., Merdy, P., Raynaud, M. "Base flow and stormwater net fluxes of carbon and trace metals to the Mediterranean sea by an urbanized small river". *Water Research* 46, 6625-6637, 2012.
- [12] Adriano, D.C. *Trace Elements in terrestrial environment : biochemistry, bioavailability and risks of metals*. 2nd Ed. Springer Verlag, New-York, USA, 2001.
- [13] Karlsson, T., Persson, P., Skyllberg, U. "Extended X-ray absorption fine structure spectroscopy evidence for complexation of cadmium by reduced sulfur groups in natural organic matter". *Environmental Science and Technology* 39, 3048-3055, 2005.
- [14] Baize, D. *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols* (France), INRA Editions. 409 p, 1997.
- [15] Stumm, W., Morgan, J.J. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd Ed. John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [16] Chaney, R. Zinc phytotoxicity. "Zinc in soils and Plants". *Developments in Plant and Soil Sciences* 55, 135-150, 1993.
- [17] Alloway, B. J. *Heavy metals in soils*. 2nd edition. London: Blackie academic and professional, 1995.
- [18] Chaumeton, H., Asselborn E., Chiappero P.J., Galvier J. "Les minéraux", *Guide Vert*, Solar, ISBN 2 263 01164 1, p. 384, 1987
- [19] Flemming C., Trevors T. "Copper toxicity and chemistry in the environment: A review". *Water Air and Soil Pollution* 44,143-158, 1989.
- [20] Sunda, W.G., Tester, P.A., Huntsman, S.A. "Effects of cupric and zinc ion activities on the survival and reproduction of marine copepods". *Marine Biology* 94, 203–210, 1987.
- [21] Shafer, M.M., Overdier, J.T., Hurley, J.P., Armstrong, D., Webb, D. "The influence of dissolved organic carbon, suspended particulates, and hydrology on the concentration, partitioning and variability of trace metals in two contrasting Wisconsin watersheds" (USA). *Chemical Geology* 136, 71-97, 1997.
- [22] WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4th Ed. World Health Organization, Geneva, ISBN: 92 4 154696 4 (Annex 4), 2006.
- [23] Levesque, L. *Les rejets d'eaux chaudes des centrales thermiques. I : Etudes sur sites des effets sur la vie aquatique*. Paris, Association Française pour l'Etude des Eaux, 177 p, 1980.
- [24] W.H.O / U.N.E.P. *Health risks from marine pollution in the Mediterranean. Implication for policy markers*. EUR/HFA-TARGET 20, PART I, 255 p, 1995.
- [25] UNEP. *UNEP/FAO Joint Programme for the Operation of PIC. Decision Guidance Documents*, Rome/Genève 1991 & 1996
- [26] Mance, G. *Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments*, Elsevier Applied Science, London, 1985.
- [27] Rand, G.M. and Petrocelli, S.R. (Editors). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods And Applications*. Hemisphere Publishing Corporation, N.Y. Textbook, 1985.
- [28] Ramade, F. *Précis d'écotoxicologie*. Paris, Masson, X-300 p, 1992.
- [29] Mcneely, R.N. Neimanis, V.P. et Dwyer, L. *Référence sur la qualité des eaux – Guide des paramètres de la qualité des eaux*. Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa, Canada, 1980.
- [30] McKee, J.E, and Wolf, H.W. *Water quality criteria*. 2nd Ed. State Water Quality Control Board, Sacramento, California. Pub. No. 3-A, 1963.
- [31] AZZAQUI S. *Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou : géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface*. Thèse de Doctorat, Univ. Ibn Tofail, Fac. Sci. Kénitra, Maroc, 126 p. + annexes, 2000.
- [32] El Arrim, A. Maatouk, M. EL Moumni, B. El hatimi, I & Afailal, T. "Les sédiments superficiels de la baie de Tanger. Maroc : nature et origine". *Africa Geoscience Review*. Vol.9, N° 3/4 pp.245-253, 2002.