

CONCENTRATIONS EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DANS LES SOLS IRRIGUÉS PAR LES EAUX USÉES VERSÉES DANS L'OUED MERZEG (CASABLANCA –MAROC)

F. Matech

F. Zaakour

K. Moustarhfer

Z. Chemsî

Laboratoire de Géologie Appliqué, Géomatique et Environnement,
Faculté des Sciences Ben M'sik,
Université Hassan II Mohammedia –Casablanca, Maroc

I. Benazzouz

Laboratoire de biochimie, Faculté de Médecine –Casablanca, Maroc.

N. Saber

Laboratoire de Géologie Appliqué, Géomatique et Environnement,
Faculté des Sciences Ben M'sik,
Université Hassan II Mohammedia –Casablanca, Maroc

Abstract

The Moroccan Areas semi-arid know for more than twenty years a remarkable water deficit which had a significant impact on yields practiced in rainfed crops.

The farmers in these areas have resorted to use an untreated sewage outfalls sometimes versed in their land. Thus, in Casablanca, domestic and industrial wastewaters rejected from Berrechid province into the Merzeg River are used in irrigation.

In this study two approaches were chosen to evaluate the influence of this wastewater on soil quality: agronomic and environmental.

A sampling campaign conducted in October 2013 allowed us to make samples according to the soil surface horizon at three stations along the Merzeg River from upstream to downstream.

The main agronomic results show that pH is near to neutrality, the organic matter rate increase from upstream to downstream (from 1.86 to 2.69%) and the rate of calcium carbonate detectable in the first stations. The electrical conductivity Values are higher particularly in the station 3 (4.32 ms) as compared with the other stations.

The concentrations of trace metals arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu) are higher compared with non-irrigated field by the Merzeg River waters with Cu concentration exceed the threshold set by WHO.

Keywords: Wastewater, Merzeg river, Soil Quality, Trace metal elements, Casablanca, Berrechid (Morocco)

Résumé

Les zones semi –arides marocaines connaissent depuis plus d’une vingtaine d’années un déficit hydrique remarquable qui a eu des conséquences notables sur les rendements des cultures pratiquées en agriculture pluviale. Les agriculteurs dans ces régions ont recours à l’utilisation des eaux usées non traitées parfois versées dans des exutoires traversant leurs terrains. Ainsi, dans la région du grand Casablanca, les eaux usées domestiques et industrielles provenant de la province de Berrechid et rejetées dans l’Oued Merzeg sont utilisées en irrigation.

Dans le but d’évaluer l’influence de ces eaux usées sur la qualité des sols dans le secteur d’étude deux approches ont été choisies : une approche agronomique et une autre environnementale.

Une campagne d’échantillonnage organisée en octobre 2013, nous a permis de réaliser des prélèvements de sol suivant l’horizon de surface et ce dans trois stations suivant l’oued Merzeg d’amont en aval.

Les principaux résultats agronomiques montrent des pH proches de la neutralité, une augmentation du taux de la matière organique de l’amont vers l’aval (1,86 à 2,69%) des taux de carbonates de calcium détectables dans les premières stations. Des valeurs de la conductivité électriques élevées surtout dans la station 3 (4,32ms) en comparaison avec les autres stations.

Les concentrations en éléments traces métalliques en arsenic (As), cadmium (Cd), cuivre (Cu) sont élevées en comparaison avec les terrains non irrigués par les eaux d’oued merzeg avec des concentrations en Cu qui dépassent le seuil fixé par L’OMS.

Mots clé: Eaux usées, Oued Merzeg , qualité du sol , Eléments trace métalliques , Casablanca , Berrechid (Maroc)

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides du Maroc caractérisées par la rareté et l’irrégularité des précipitations on assiste à un déficit hydrique qui s’accroît d’année en année. Devant cette pénurie en eau, l’irrigation devient nécessaire pour assurer une production agricole satisfaisante et capable de subvenir aux besoins alimentaires d’une population de plus en

plus importante .Ainsi le développement de l'agriculture dans ces régions fait recours à l'irrigation en utilisant les eaux usées versées dans des écosystèmes aquatiques sans aucun traitement préalable (Fawzi et al., 2001, Fouad et al.,2013).

Ces eaux usées utilisées en irrigation d'origine domestique et industrielles sont riches en matière organique, en éléments fertilisants (Chaney 1988) et contiennent cependant des éléments chimiques indésirables, en particulier les éléments traces métalliques (Moriyama *et al.*, 1989, Theissen 1995, TSM 1996) source de danger pour l'agriculteur, le sol, les plantes, le consommateur et l'environnement (Zella, 1991).

Au fait, les éléments traces métalliques (ETM) contenus dans les eaux usées sont des substances toxiques regroupant les métaux lourds et d'autres composés inorganiques non biodégradables qui s'accumulent dans le sol et, selon les conditions biogéochimiques, passent dans la solution du sol (Mench *et al.*, 2000), ce qui conduit le plus souvent à leur dégradation (Mathieu et Ruellan, 1980; Larson et Pierce, 1991; Robert, 1992; 1996;Umali, 1993; Badraoui et Merzouk, 1994; Farhat, 1995; Badraoui et al., 1998) .Ces métaux peuvent alors être absorbés par les plantes (Greffard *et al.*, 1985) où ils peuvent dépasser les concentrations maximales admissibles (CMA) pour l'alimentation humaine (Islam et al., 2007) et s'incorporer dans la chaîne alimentaire ou migrer vers les eaux souterraines (Greffard *et al.*, 1985, Legret *et al.* , 1988 ; Mazlani *et al.*, 1994).

Les ETM sont présents naturellement dans les sols. Certains ETM sont des oligo-éléments essentiels ou bénéfiques aux êtres vivants comme le Manganèse (Mn), le zinc (Zn), le bore (Br.) et le cuivre (Cu) dont les concentrations dans l'alimentation des animaux ou dans le sol doivent être maintenues à un certain niveau pour permettre un développement et une reproduction normale des organismes. Si les concentrations sont trop élevées, des mécanismes de toxicité peuvent être développés (Walker et al ., 1996),certains oligo-éléments comme le cuivre et le zinc, deviennent toxiques chez les plantes avant qu'ils atteignent des concentrations suffisamment élevées pour être toxiques chez les humains. Les plantes fonctionnent ainsi comme un obstacle qui atténue les risques potentiels pour la santé (Hamilton et coll, 2005 ; Johnson, 2006).

D'autres ETM non essentiels comme le Cadmium (Cd), le Mercure (Hg) et le Plomb (Pb) sont des contaminants stricts et n'ont pas d'utilité connue pour les êtres vivants (Tremel-Schaub et Feix, 2005) et ils sont toxiques même en petites quantités, pour les plantes, les animaux et les humains .Ils s'accumulent dans le sol en raison de leur longue demi-vie biologique (Goethberg et coll, 2002).

Toutefois, qu'il s'agisse d'ETM utiles ou non aux êtres vivants, la présence excessive de certains d'entre eux dans les sols agricoles peut

engendrer des phénomènes de toxicité chez les plantes ainsi que chez les animaux et les humains qui en consomment (MENV, 2004).

Le niveau de contamination du sol en métaux lourds dépend de ses propriétés physico-chimiques (texture, pourcentage d'argile, pH, capacité d'échange cationique (CEC), teneur en matières organiques, etc.), de la concentration et du type de métaux lourds présents dans les eaux d'irrigation et enfin de la durée durant laquelle le sol a été soumis à des irrigations.

D'après Madyiwa et al., (2002), il existe une forte corrélation entre le stockage des métaux lourds dans le sol, la concentration en matières organiques et la CEC. Lorsque ces deux derniers paramètres sont élevés, la distribution verticale des métaux lourds exogènes se limite aux 10-20 premiers centimètres du sol où se trouve l'essentiel de la matière organique.

Luo et al., (2003) rajoutent que si la concentration du cuivre est importante dans le sol, il se présente sous différentes formes physico-chimiques en association avec d'autres éléments tels que les composés organiques ou les oxydes de fer et de manganèse ce qui conditionnent la mobilité (stockage dans le sol ou lessivage) et la biodisponibilité des métaux lourds.

Des études ont montré que les métaux lourds peuvent être absorbés et immobilisés par les minéraux argileux ou également être complexés par la matière organique du sol en formant alors un complexe organométallique (Lamy, 2002). Plus un sol est riche en matières organiques, plus il est en mesure d'immobiliser les métaux lourds et de prévenir leur lessivage vers les nappes phréatiques.

Le pH du sol joue également un rôle important dans la mobilité des métaux lourds et c'est un autre facteur important influençant la solubilité du métal et donc sa toxicité (Babich et Stotzky, 1977) Mireles et al., (2004) admettent que ces substances sont peu lessivées et présentent une biodisponibilité réduite à cause de la richesse en matières organiques des sols et à leur pH basique (compris entre 6.9 et 8.6).

L'accumulation des métaux lourds dans le sol est également liée à leur concentration dans les eaux usées (Al-Nakshabandi et al., 1997; Luo et al., 2003; Madyiwa et al., 2002).

L'irrigation à long terme avec des eaux usées contaminées peut donc occasionner une accumulation progressive dans le sol, ainsi que le transfert d'une fraction de ces substances (fraction biodisponible) vers les cultures irriguées et, par suite, engendrer des phénomènes de toxicité chez l'Homme (Aleem et Malik, 2003; Singh et al., 2004).

De nombreuses recherches confirment une accumulation importante de telles substances dans les sols irrigués pendant une période prolongée avec des eaux usées (Dère et al., 2006; Huerta et al., 2002; Mireles et al., 2004; Wong et al., 2002; Yadav et al., 2002).

L'objectif principal de ce travail est l'évaluation agronomique et environnementale des sols agricoles irrigués par les eaux d'Oued Merzeg. Ce cours d'eau constitue un exutoire des eaux usées ménagères et/ou industrielles provenant de la ville de Berrechid .

Méthodes et matériels

Cadre géographique

La zone d'étude est située à 20Km au Sud-Est de Casablanca, sur la Chaouia côtière. Il est limité au nord par l'Océan Atlantique, au Sud et à l'Ouest par la province de Settat et à l'Est par la province de Médiouna (Fig.1).

Cadre climatologique

Le climat de la Chaouia côtière est du type semi-aride à influence océanique. La pluviométrie moyenne annuelle est de 400 mm, alors que la température moyenne est de 25°C (Zerouali *et al.* , 2001).

Cadre géologique

La région étudiée fait partie de la Meseta occidentale (Meseta côtière). C'est une zone peu métamorphique et moins affectée par la tectonique (Michard, 1976). Elle est caractérisée essentiellement par des dépôts de paléozoïque, mésozoïque, Cénozoïque et Quaternaire.

Paléozoïque

Le Cambrien

La région de Casablanca est caractérisée par un substratum souvent d'âge Cambrien (schistes et quartzites).Le Cambrien moyen est formé par des siltites et des grès verts dits « Schistes à paradoxides » .

On rencontre aussi dans oued Hassar et la vallée de l'oued Arriméne (Khatami,1992)

L'Ordovicien

On distingue :

*Arening : Il est représenté par une bande schisteuse. A Bouskoura, on observe que ces schistes se superposent immédiatement aux quartzites d'El Hank.

*Liandeillo : Il est formé par des quartzites et des grès psammitiques, souvent à patine ferrugineuse intercalés avec des schistes gris-noir. Du fer oolithique peut être associé aux grès. (Delarue et al., 1956).

L'Ordovicien affleure également au Sud-ouest de Bouskoura et dans l'Oued Merzeg.

Mésozoïque

Le Crétacé

Le Crétacé comprend le Crétacé inférieur ou Infra- Cénomaniens continental inexistant dans la zone des dunes consolidées par le Crétacé moyen ou Cénomaniens marin (Gigout, 1951 ; Zanniby, 1997). Le Cénomaniens formés par des calcaires et des marnes calcaires. Il n'a été conservé que localement : à Bouskoura, il est formé par un faciès marno-calcaire blanc ou crème magnési

Cénozoïque

Le Miocène

Le Miocène débute par des marno-calcaire crayeux, blancs ou crèmes, il apparaît au Nord-Est de Médiouna, à l'Ouest de Casablanca et à l'Ouest de Bouskoura. Il est constitué par des marnes sableuses jaunes sous forme de plaquage minces (Gigout, 1951).

Le Pliocène

Les faciès de base est lumachelle ou conglomérat, il est surmonté par une épaisse couche de calcaires dunaires ou calcarénites.

Quaternaire

Les dépôts continentaux du Quaternaire constituent en conglomérats et en limons rouges inférieurs (Zerouali et al, 2001).), ils peuvent renfermer des lits des galets et des lits de pisolites. Ces dépôts correspondent à la régression finie Pliocène dont la surface peut être Karstifiée.

Le Quaternaire ancien forme également les dunes et de la plaine de Berrechid qui sont des dépôts littoraux constitués par des calcaires dunaire activement exploités, des lumachelles et des calcaires marins.

Stations de prélèvements

Pour cette étude trois stations agricoles ont été sélectionnées en automne 2013 (Fig.1). Dans chaque station, on a prélevé six échantillons dont cinq dans des parcelles irriguées par les eaux d'Oued Merzeg qui reçoit des quantités importantes des eaux usées de Berrechid et un échantillon est habituellement non irrigué comme témoin.

Les échantillons ont une masse de 300 à 500g prélevés à une profondeur de 0 à 20cm. Ils sont séchés à l'air libre pendant une semaine ensuite écrasés au mortier en porcelaine puis tamisés à 2 mm et ensachés pour les analyses chimiques.

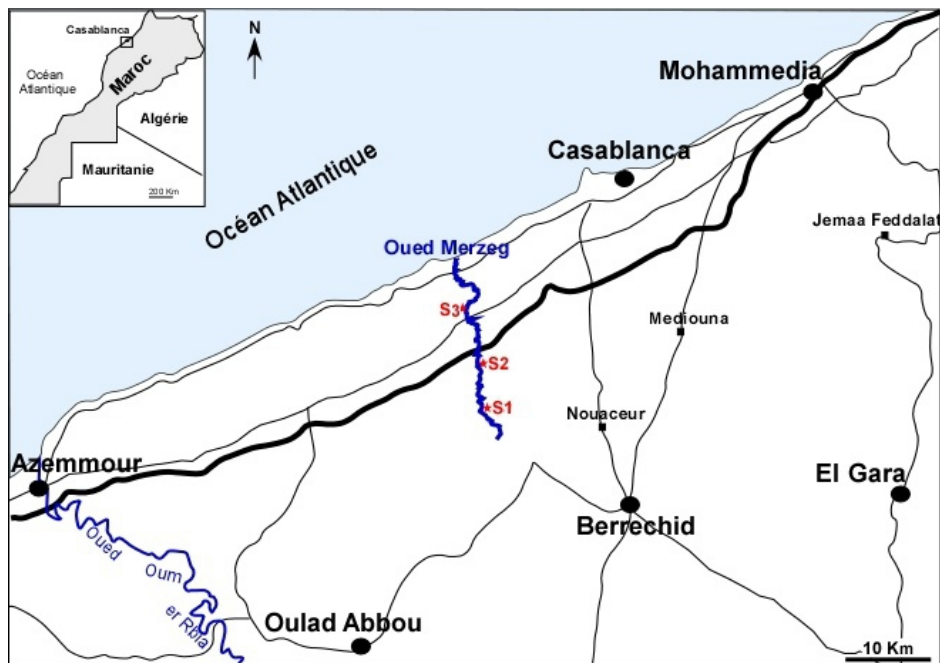


Fig : 1 Situation des stations d'échantillonnage

La détermination de la texture a été réalisée par la méthode de la pipette Robinson (AFNOR, 2003. NFX31-107) à l'Institut Agronomique et Vétérinaire (Rabat), l'analyse de la matière organique totale a été effectuée par la méthode de walkley et Black (1934), le pH a été opéré par la méthode de Mc. Lean (1982), le dosage de carbonate de calcium a été réalisé par la méthode de Bernard décrite par chamley(1966), la détermination de la conductivité électrique dans l'extrait du sol a été effectué à l'aide d'un conductimètre par la méthode de Rhoades (1976) à l'Institut Agronomique et Vétérinaire (Rabat).

Les analyses totales des éléments traces métalliques (As, Ni, Cd, Cu, Pb, Cr et Zn) ont été réalisées au laboratoire de CNRST (Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique) à Rabat par la méthode de l'ICP-AES (spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif).

Résultats et discussion

L'analyse texturale par pipette de robinson montre que les trois parcelles agricoles présentent des teneurs de sable élevées par rapport aux deux autres fractions. Le pourcentage du sable est plus important en amont 88,5% qu'en aval 74,7%, tandis que les argiles présentent une teneur maximale qui ne dépasse pas 15% dans les stations situées en aval et la fraction de limon présente des teneurs qui augmentent légèrement de l'amont 5% vers l'aval 10,2 (Voir Tableau 1).

Tableau 1 : caractérisation des sols étudiés .

STATIONS	Latitude (N)	Longitude (W)	Argile (%)	Sable (%)	Limon(%)
S1	33°22'25	007°46'320	6,4	88,5	5
S2	33°25'25	007°46'57	4,7	85,3	9,9
S3	33°29' 06	007°47'220	15	74,7	10,2

Concernant les paramètres chimiques (pH, la matière organique totale, carbonate de Calcium et conductivité électrique); (Tableau 2, Tableau3, Tableau 4), les résultats montrent :

Les valeurs moyennes de pH sont comparables d'une station à l'autre (7,64 en S₁ ; 7,61 en S₂ et 7,44 en S₃). Le pH est finalement proche de la neutralité.

L'analyse de la matière organique totale dans les différents échantillons permet de distinguer une variation des taux d'une station à une autre et dans la même station. Ainsi dans la station 1, le taux de MO est de 1,64% à 2,35 % ; de 2,03 à 2,24 % dans la station 2 et de 2,21 à 3,12% dans la station 3.

Ces résultats sont comparables à ceux trouvés dans les sols de Hammam Boughrara (Algérie), qui sont irrigués essentiellement par les eaux usées urbaines et qui présentent des taux de matières organiques supérieurs à 3% (Baba, 2012), tandis que les sols d'El Hajab Sfax (Tunisie) qui sont irrigués par les eaux usées traitées présentent des taux inférieurs à 1,6% (Nebil Belaid ,2010).

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique dans les différentes stations sont variables. Ainsi, dans la même station, la conductivité électrique est 2,3 à 8ms/cm dans la station 1, de 1,26 à 3,6ms/cm dans la station 2 et de 1,8 à 6,97ms/cm dans la station 3. Cette conductivité est due probablement à une importante minéralisation naturelle des eaux d'Oued Merzeg comme l'indique les valeurs maximales de la conductivité électrique 5,3ms/cm (Mounjid, 2014).

En fait, les sols irrigués avec les eaux usées ont des niveaux de salinité (CE) supérieurs à ceux des champs irrigués avec de l'eau douce. En outre, l'alcalinité du sol a augmenté légèrement avec l'irrigation par des eaux usées par rapport à l'irrigation par l'eau des canaux (Simmons, 2009).

Les teneurs moyennes en carbonate montrent qu'elles sont indétectables dans la station 1 et la station 2 mais de 0,62 à 2,16% dans la station 3 (Tableau2, tableau 3 et tableau4).

Tableau 2 : paramètres agronomiques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station 1.

STATION 1	MO%	PH	CaCo3	CE (ms)
E1	2,35	7,61	–	2,3
E2	1,724	7,73	–	3,6
E3	1,64	7,26	–	8
E4	1,82	7,82	–	2,61
E5	1,67	7,84	–	2,5
MOY Géo±ET	1,86±0,29	7,64±0,24		3,36±2,45

Tableau 3 : paramètres agronomiques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station2.

STATION 2	MO%	PH	CaCo3	CE (ms)
E1	2,24	7,82	–	2,1
E2	2,17	7,95	–	1,26
E3	2,03	7,33	–	3,6
E4	2,05	7,37	–	2,65
E5	2,22	7,6	–	1,26
MOY Géo±ET	2,14±0,23	7,61±0,27		1,99±1,01

Tableau 4 : paramètres agronomiques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station3.

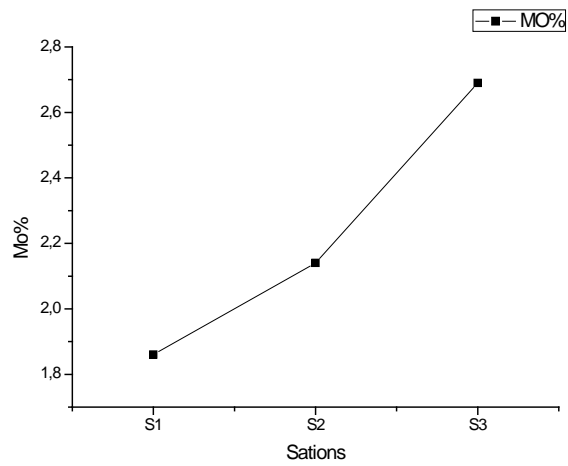
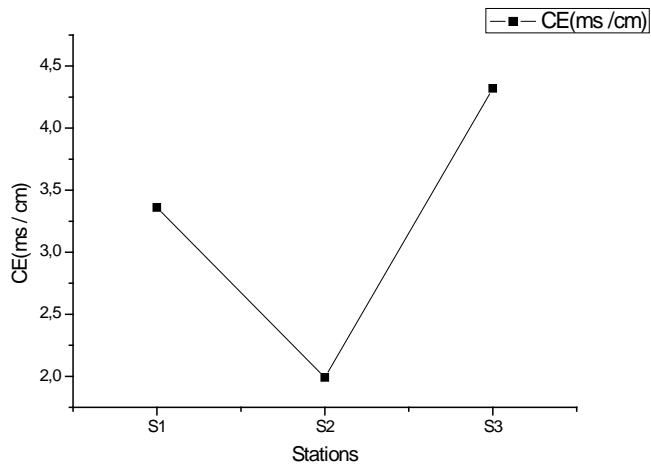
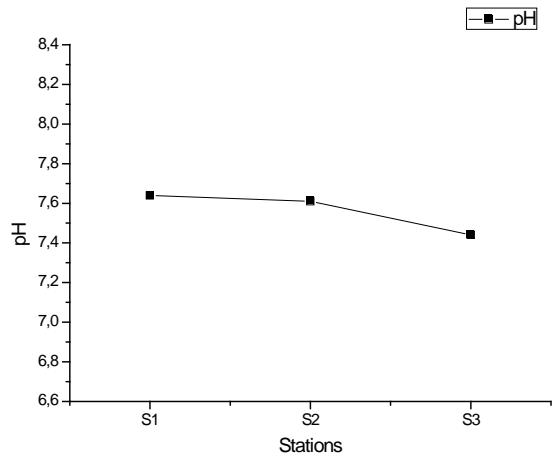
STATION 3	MO%	PH	CaCo3	CE (ms)
E1	2,24	7,55	1,91	6
E2	2,21	7,24	1,41	1,8
E3	2,99	7,75	2,16	5,45
E4	3,12	7,15	0,62	3,7
E5	3,07	7,57	1,24	6,97
MOY Géo±ET	2,69±0,46	7,44±0,24	1,34±0,61	4,32±2,11

Evolution des paramètres agronomiques dans les terrains irrigués par les eaux d'Oued Merzeg :

Les moyennes géométriques de pH restent comparables dans les trois parcelles agricoles entre 7,44 et 7,64.

L'évolution spatiale des moyennes géométriques de la conductivité électrique a révélé un gradient décroissant de S₁ (3,36ms /cm) vers S₂ (1,99 ms /cm) puis augmente de S₂ à S₃ pour atteindre 4,32ms/cm.

L'évolution spatiale des moyennes géométriques de la matière organique suit un gradient croissant de l'amont 1,86% vers l'aval 2,69 %. Les teneurs moyennes en carbonates montrent qu'elles sont indétectables dans les stations 1 et 2 et enregistrent une valeur de 1,34% dans la station 3 (Fig.2).



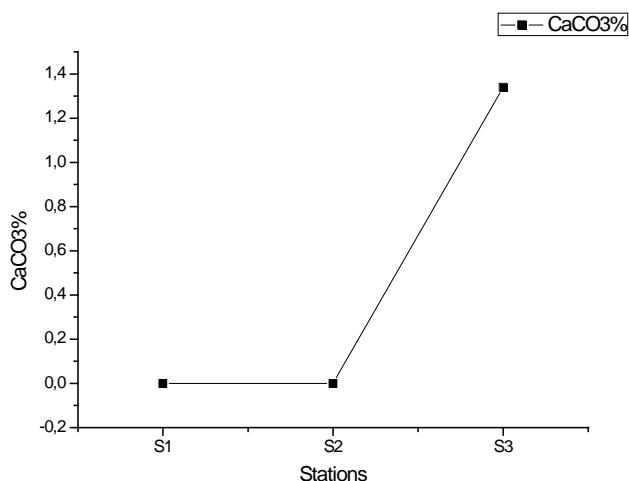


Fig.2 : Courbes des évolutions des paramètres agronomiques.

L'étude environnementale de notre site consiste en l'analyse des éléments de traces métalliques, qui nous a permis d'obtenir les résultats suivants (Tableau 5, tableau 6 et tableau 7) :

Les concentrations de l'arsenic dans les différents échantillons permettent de distinguer une variation des taux d'une station à une autre et dans la même station. Ainsi, dans la station 1 il est de 1, 73à 8,615 ppm, de 3, 385 à7, 698 ppm dans la station 2 et de 11 ,844 à 23, 134 ppm dans la station 3.

Les teneurs en cadmium restent comparables dans les trois parcelles agricoles : de 1 ,378 à 1,759 ppm dans la station 1 ; de 1,283 à 1, 483 ppm dans la station 2 et de 1, 378 à 2, 528 ppm dans la station 3.

Les valeurs du Chrome Cr est de 15,834 à17, 44 ppm dans la station 1 ; de15, 574 à 23, 098 ppm dans station la 2 et de 28,59 à 35,06 ppm dans la station 3.Les valeurs de Nickel Ni de 25 ,335 à 102 ,946 ppm dans la sation1 ; de 11,171 à 75 ,428ppm dans la station 2 et de 21, 327 à 100 ,485 ppm dans la station 3.

Les concentrations de plomb est de 4,574 à 41, 72 ppm dans la station 1 ; de7, 416 à 30,316 ppm dans station 2 et de 28,246 à 86,331 ppm dans la station 3. Les concentrations du Zinc est de 40 ,32 à 50, 593 ppm dans la sation1 ; de 36, 711 à 49 ,082 ppm dans la station 2 et de 46, 502 à 89, 331 ppm dans la station 3.

Les teneurs en cuivre sont très importantes dans les trois parcelles de 1110,884 à 2011, 398 ppm dans la station 1 ; de 797, 67, 416 à 970,818 ppm dans la station 2 et de 542, 317 à 813,4 32 ppm dans la station 3.

Tableau 5 : concentrations des éléments traces métalliques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station 1.

STATION 1	As (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
E1	5.279	1.760	16.718	2011.398	102.946	10.119	50.593
E2	5.982	1.759	15.834	1454.657	25.335	4.574	40.818
E3	1.730	1.384	16.261	1326.799	35.635	10.033	42.554
E4	8.615	1.378	15.852	1424.641	32.738	6.548	40.320
E5	4.172	1.517	17.446	1110.884	78.130	41.720	41.720
Moy Géo±ET	4,55± 3,82	1,55± 0,18	16,41± 0,67	1437,76± 475,87	47,33± 34,91	10,48± 16,04	43,04± 4,22

Tableau 6 : concentrations des éléments traces métalliques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station 2.

STATION 2	As(ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
E1	6.857	1.444	23.098	970.818	75.428	30.316	49.082
E2	3.385	1.354	15.910	865.920	11.171	20.988	43.668
E3	4.249	1.416	15.932	868.850	16.641	14.870	47.089
E4	7.698	1.283	16.358	797.670	25.338	8.981	40.413
E5	4.821	1.483	15.574	934.831	13.720	7.416	36.711
Moy Géo±ET	5,16± 1,82	1,39± 0,076	17,16± 3,21	885,57± 67,24	21,75± 27,76	14,45± 9,66	43,15± 4,84

Tableau 7 : concentrations des éléments traces métalliques des sols irrigués par les eaux d'Oued Merzeg dans la station 3 .

STATION 3	As (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
E1	11.844	1.528	28.655	813.432	100.485	55.018	50.816
E2	12.401	1.378	28.590	687.203	59.936	28.246	46.502
E3	18.600	2.457	34.393	634.866	47.027	82.122	51.239
E4	20.666	1.667	31.999	542.317	22.999	86.331	89.331
E5	23.134	2.169	35.062	603.290	21.327	71.571	52.051
Moy Géo±ET	16,71± 5,06	1,79± 0,45	31,62± 3,06	650,09± 102,58	42,51± 31,52	60,16± 24,19	56,24± 17,76

Evolution des paramètres environnementaux dans les terrains irrigués par les eaux d'Oued Merzeg .

L'évolution spatiale des moyennes géométriques de L'arsenic (As) suit un gradient croissant de l'amont 4,55ppm vers l'aval 16,71ppm.

L'évolution spatiale des moyennes géométriques de la concentration de cadmium a révélé un gradient décroissant de S₁ (1,55ppm) vers S₂ (1,39ppm) puis croissant de S₂ vers S₃ (1,79ppm).

La teneur de cadmium augmente de l'amont 16,41 ppm vers l'aval 31,62 ppm.

Les concentrations moyennes de cuivre sont élevées dans les trois parcelles agricoles étudiées suivant un gradient décroissant de l'amont 1437,76ppm vers l'aval 650,09ppm.

L'évolution spatiale des moyennes géométriques de la concentration de nickel a révélé un gradient décroissant de S₁ (47,33 ppm) vers S₂ (21,75 ppm) puis croissant de S₂ vers S₃ (42,51 ppm).

Les concentrations moyennes de plomb augmentent de l'amont 10,48ppm vers l'aval (60,16).

L'évolution spatiale des moyennes géométriques du zinc suit un gradient croissant de l'amont 43,04ppm vers l'aval 56,24 ppm (Tableau5, Tableau6, Tableau7).

L'arsenic, chrome, Zinc, cadmium, nickel peuvent être considérés comme polluants métalliques issus des eaux d'Oueds Merzeg qui est un exutoire des eaux usées de la ville de Berrechid. As, Pb et Zn peuvent être considérés comme polluants métalliques issus des eaux usées de la ville de Settat (Kao 2007).Les résultats reflètent les concentrations élevées de ces métaux lourds dans les eaux de puits de la région (Kholtei 2002).

Dans les terrains irrigués par les eaux d'Oued Merzeg, l'Arsenic, Cadmium, Cuivre présentent des concentrations supérieures à celles des sols ordinaires (Bowen, 1979).Les concentrations moyennes l'Arsenic et du Cadmium ne dépassent pas les valeurs maximales fixées par l'OMS dans le sol, qui sont de 40 ppm pour As, 2 ppm pour Cd. Le cuivre est toutefois le polluant métallique principal et sa concentration d'ordre 712,05ppm est au-dessus de la valeur critique indiquée par l'OMS (100 ppm).

Les terrains témoins présentent des concentrations moyennes en cuivre supérieures à celles des terrains irrigués par les eaux d'Oued Merzeg .Les concentrations de cuivre sont supérieures dans le sol ordinaire donc les concentrations élevées de cuivre ne sont pas liées seulement à l'irrigation par les eaux d'Oued Merzeg(Tableau8)

Les terrains témoins présentent des concentrations moyennes en Zinc supérieures à celles des terrains affectés mais restent toujours inférieures à celles du sol ordinaire (Tableau 8).

Le Cadmium, est après le Mercure, le plus toxique des métaux lourds pour les animaux aquatiques. Alors que le zinc est considéré comme un oligo-élément essentiel à la vie à faible dose (Elmorhit, 2005).

Tableau 8 : Concentrations totales (ppm) de métaux lourds dans les sols étudiés (0 –20 cm) comparées aux valeurs d'un sol normal (Bowen 1979)

ETM	Terrains irrigués par les eaux d'Oued Merzeg (ppm)	Terrain témoin (ppm)	Sol ordinaire (ppm) (Bowen et al., 1979)
Cd	1,51	1,39	0,35
As	10,2	7,32	6
Cr	20,73	20,45	70
Cu	712,05	938,91	30
Ni	35,24	27,05	50
Pb	24,47	20,89	35
Zn	47,1	48,17	90

Indice de pollution (IP).

Plusieurs auteurs ont introduit l'indice IP des sols pour identifier la contamination multiéléments qui résulte d'une augmentation de la toxicité métallique (Lee et al., 2001 ; Chon et al., 1998 ; Jung et al., 1995 ; Nimick et al., 1991 ; El Morhit et al., 2009).

C'est ainsi selon Chon (1998), l'indice de pollution est défini comme la moyenne des rapports des concentrations en métaux dans les échantillons de sol par rapport aux valeurs limites.

L'indice de pollution dans notre cas est alors comme suit: $IP = (Pb/100 + Cd/3 + Zn/300 + Ni/50 + Cr/150 + Cu/100 + As/40) / 7$.

Tableau9 : calcul d'indice de pollution des sols étudiés.

Site	Cd	As	Cr	Ni	Cu	Pb	Zn	IP
S1	1,44	4,86	16,78	39,55	1364,5	10,47	44,23	2,19
S2	1,37	5,95	17,18	24,11	847,98	15,54	41,06	1,42
S3	1,81	16,03	30,67	40,21	623,62	60,6	58,17	1,29

L'indice de pollution est supérieur à 1 donc les trois parcelles agricoles étudiées, par conséquent, ces sols considérés comme étant contaminés par plusieurs éléments et doivent être traités.

Le degré de pollution est plus important dans la station S1 située en amont d'Oued Merzeg puis diminue vers l'aval (Tableau 9)

Conclusion

Notre étude s'inscrit particulièrement dans une perspective d'évaluation agronomique et environnementale des sols agricoles irrigués par les eaux d'Oued Merzeg. Les résultats agronomiques des moyennes géométriques obtenus, nous ont permis de montrer que :

Le pH reste semblable dans les différentes stations d'amont en aval.

Le taux de la matière organique augmente de l'amont 1,82% vers l'aval 2,69%.

Le carbonate de calcium est indétectable dans les deux stations S1 et S2.

La conductivité électrique varie de 1,65ms/cm à 4,32ms/cm.

De point vue environnemental, les moyennes géométriques des concentrations de l'arsenic, cuivre et cadmium dépassent les teneurs naturelles (Bowen, 1979), seule la concentration du Cuivre qui dépasse le seuil fixé par l'OMS (100 ppm). Les concentrations de As et Cd ne dépassent pas les valeurs fixé par l'OMS qui sont 40 ppm pour As, 2ppm pour Cd, tandis que les concentrations du nickel, Chrome, Plomb et Zinc sont inférieures aux concentrations du sol ordinaire (Bowen, 1979).

References:

- AFNOR. NF X31-107 : Qualité du sol – Détermination de la distribution granulométrique des particules du sol - Méthode à la pipette. Thème: Propriétés physiques des sols, 2003.
- Aleem, A, et Malik, A. : Genotoxic hazards of long-term application of wastewater on agricultural soil. Mutation Research, 2003.
- Al-Nakshabandi, G.A., Saqqar, M.M., Shatanawi, M.R., Fayyad, M. et Al-Horani, H: Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agricultural Water Management, 1997.
- Babich H, Stotzky G Effect of cadmium on fungi and on interactions between fungi and bacteria in soil: influence of clay minerals and pH , Appl Environ Microbiol,1977.
- Badraoui . M, Merzouk A.. Advanced course on fam water management techniques. Rabat, Morocco, 1994
- Badraoui M ,Soudi B ,MerzoukA,Farhat Achanges of soil qualities under pivot irrigation in Bahira region of MOROCCO salinization -,Advances in Geocology ,1998.
- Bernard décrite par H .Chamley -Guide des techniques du laboratoire de Géologie Marine de Luminy, 1966.
- Bowen, H. J. M.: Environmental Chemistry of the Elements, Academic Press, New York, 1997.
- Chaney R.L.. Effective utilization of sewage sludge on cropland in United States and toxicological considerations for land application. Land Application of Sewage Sludge. Association for the Utilization of Sewage Sludge, Tokyo, 1988.
- Chon. A H.T., Ahn J.S., Jung .M.C. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. Environ. Geochem. Health .20, 77– 86pppliedGeochem,1991.
- Delarue J., Destombe J. et Jeannette A. - Étude géotechnique de la région de Casablanca. Notes et Mem. Du Serv. Géol. du Maroc. 1956

- Dère, C., Lamy, I., van Oort, F., Baize, D. et Cornu, S. : Reconstitution des apports en éléments traces métalliques et bilan de leur migration dans un Luvisol sableux soumis à 100 ans d'irrigation massive par des eaux usées brutes , Comptes Rendus Geosciences,2006 .
- El Morhit M : Évaluation de la pollution métallique de la côte atlantique marocaine(port laâyoune, foug l'oued et laâsilia). Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies Université Ibn Tofail. Faculté sciences Kenitra, Maroc, 2005 .
- El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A., Jbilou M.:Heavy metals in sediment, water and the European glass eel, *Anguilla Anguilla*(Osteichthyes : Anguillidae) from Loukkos river estuary (Morocco eastern Atlantic)2009.
- E.O.Mc Lead. Methods of Soil Analysis, Part 2, second ed., Agronomy, vol. 9 Soil Society of America, Madison, WI, 1982.
- Farhat A.. Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira: situation actuelle et perspectives de développement : Thèse de 3ème cycle,IAV Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc, 1995 .
- Fawzi .B., Chlaida. M., Oubraïms., Loudiki . M., Sabour B.,Bouzidi A. : Application de certains indices diatomiques à un cours d'eau marocain : Oued Hassar, Rev. Sci. Eau, 2001 .
- Fouad.S, N Cohen.N, K Hajjami .K et Chlaida.M Qualité physico-chimique et contamination de l'oued Hassar : impacts des eaux usées de la localité de Médiouna (périurbain de Casablanca, Maroc): Science Lib., 2013.
- Gigout M. - Etude géologique de la Meseta marocaine occidentale (arrière-pays de Casablanca, Mazagan et Safi). Notes et Mém du Serv. Géol. Maroc, 1951.
- Goethberg, A., Greger, M. and Bengtsson, B. E. 'Accumulation of heavy metals in water spinach (*Ipomea aquatica*) cultivated 2002 ,in the Bangkok region, Thailand',Environmental Toxicology and Chemistry, 1994.
- Greffard . J., Cér. Sarcia, A.Bourga.A :Étude de la contamination des sols sous les champs d'épandage d'Achére. Hydrogéologie, 1985
- Hamilton, A. J., Boland, A. M., Stevens, D., Kelly, J., Radcliffe, J., Ziehl, A., Dillon, P. J. and Paulin, R. 'Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water, Agricultural Water Management, 2005.
- Huerta, L., Contreras-Valadez, R., Palacios-Mayorga, S., Miranda, J. et Calva-Vasquez, G.,Total elemental composition of soils contaminated with wastewater irrigation by combiningIBA techniques. Beam Interactions with Materials and Atom - NIMB , 2002.
- Islam, E., Yang, X.E., He, Z.L. and Mahmood, Q.. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. Journal of Zhejiang University Sci. 2007

- Johnson, S. Are we at risk from metal contamination in rice, *Rice Today* , 2006.
- Jung M.C.. Environnemental contamination of heavy metals in soils, plants, waters and sediments in the vicinity of metalliferous mine in Korea , Unpubl. PhD thesis, Univ,London, 1995.
- Kao .T, K El Mejahed Bouzidi,A section Sciences de la Vie, 2007
- Khatami A :Thèse Hydrogéologie du sahel de mohammedia-ben-slimane : etude hydrochimique, incidences des irrigations et des apports atmosphériques sur l'évolution des eaux et des sols (nord-ouest du Maroc 1992 .
- Kholtei .S. Plaine de Berrechid. Thèse Univ. Casablanca, 2002.
- Larson W.E. and Pierce F.J.. Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world .Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand, Inter. Board for Soil Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings No 1991.
- Legret .M . Divet .L, Juste . C.,.Wat. Res,1988.
- Lamy .I. Réactivité des matières organiques des sols vis-à-vis des métaux., Journées nationales de l'étude des sols, 2002 .
- Lee, C.G., Chon H.T. & Jung M.C.. Heavy metal contamination in the vicinity of the daduk Au-Ag-Pb-Zn mine in Korea , *Applied Geochemistry*, 2001.
- Y. Luo, X. Jiang, Wu, L., Song, J., Wu, S., Lu, R., Accumulation and chemical fractionation of Cu in a paddy soil irrigated with Curich waste water , *Geoderma*,2003.
- Madyiwa, S., Chimbari, M., Nyamangara, J. et Bangira, C.,. Cumulative effects of sewage sludge and effluent mixture application on soil properties of sandy soil under a mixture of starand kikuyu grasses in Zim-babwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2002.
- Mathieu .C, Ruellan A.,.Cahier ORSTOM, Série pédo., 1980.
- Mazlani .S, Maârouf .A,M. Rada J.C. El Meray, Pihan :Etude de la contamination par les métaux lourds du champs d'épandage des eaux usées.1994.
- Mench M.J., Manceau A., Vangronsveld J., Clijsters H. &Mocquot B: Capacity of soil amendments in lowering the phytoavailability of sludge-borne Zinc, *Agronomics*, 2000.
- Michard A. - *Eléments de Géologie Marocaine. Notes et mémoires du service Géologique du Maroc*, Raba, 1976.
- Mireles, A., C. Solís, E. Andrade, M. Lagunas-Solar, R. G. Flocchini, Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* ,2004.
- Moriyama K., Mori T., Arayashiki H., Saito H. & Chino M..The amount of heavy metals derived from domestic waste water ,. *Wat. Sci. Tech.*, 1989.

- Nimick D.A.& . Moor J.M.:Prediction of water-soluble metal concentrations in fluviially deposited tailing sediments, Upper ClarckFotk Valley, Montana, USA. Applied Geochem, 1991.
- Robert M : Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement,1992. Cahier Agriculture, 1: 20-34.
- Rhoades J.D, -Methods of Soil Analysis. Madison (USA): Page A. L 1982.
- Robert : Le sol : une interface dans l'environnement, ressources pour le Masson paris. 1996 .
- Singh, K.P., Mohan, D., Sinha, S. et Dalwani, R: Impact assessment of treated/untreated waste water toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agriculture, and environmental quality in wastewater disposal area., Chemosphere, 2004.
- Simmons ,R.W.et coll :effet of long -term un-treated domestic wastewater reuse on soil quality wheat grain and straw yields and attributes of fodder quality)Irrigation and drainage systems ,2009.
- Theissen G. Eaux usées et maraîchage. Attention aux métaux lourds et aux exigences sanitaires. Nouvelles économiques, Afrique Agriculture, 1995.
- T.S.M : La réutilisation des eaux usées après épuration, 1996.
- Umali D.L:Irrigation-induced salinity. A growing problem for development and the environment, World Bank technical paper, 1993.
- Walker,C.; Hopkin, S; Sibly, R; Peakall,D.; principles of ecotoxicology. Comparison of speciation and bioavailability of rare earth elements between wet rhizosphere soil and air-dried bulk soil, Analytica Chimica Acta, 1996.
- Walkley.A, Black. IA. Soil An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents, Sci. 1934.
- Wong, S.C., Li, X.D., Zhang, G., Qi, S.H. et Min, Y.S: Heavy metals in agricultural soils of the Peal River Delta, South China. Environmental pollution, 2002.
- Yadav, R.K., Goyal, B., Sharma, R.K., Dubey, S.K. et Minhas, P.S:Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water - A case study, Environment International, 2002.
- Zanniby F. Les formations littorales quaternaires de la région de Casablanca: étude sédimentologique et géotechnique. Intérêt de la sédimentologie des dépôts côtiers actuels dans l'aménagement de la façade atlantique casablancaise. Thèse D.E.S., Univ. Hassan II, Faculté des Sciences Ben M'Sik-Casablanca. 1997.
- Zella L : La réutilisation des eaux usées épurées en micro-irrigation : Thèse de magister, 1991 .