



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
Fès



UFR : Chimie environnementale

Thèse

Présentée par

**Meriem BELLARBI**

En vue de l'obtention de diplôme de

**DOCTORAT NATIONAL**



**Disponibilité et distribution des éléments traces métalliques  
dans les sols contaminés par irrigation : Cas des sols de Fès  
irrigués par Oued Fès et Oued Sebou**

Soutenue le 14 Septembre 2013

Devant la commission de jury composée de :

<b>L. BENAABIDATE</b>	<b>F.S.T – Fès</b>	<b>Président</b>
<b>A. EL MANDOUR</b>	<b>F. SC – Marrakech</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>A. EL OUALI</b>	<b>F. SC – Meknès</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>A. LAHRACH</b>	<b>F.S.T – Fès</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>F. ELSASS</b>	<b>INRA - Versailles</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. IJJAALI</b>	<b>F.S.T – Fès</b>	<b>Examineur</b>
<b>N. RAIS</b>	<b>F.S.T - Fès</b>	<b>Directeur de Thèse</b>

Année universitaire 2013/2014

## Résumé

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à l'étude de la qualité de sols irrigués par des eaux enrichies en ETM. Pour se faire, on a choisit comme zone d'étude les sols urbains et périurbains de Fès. Une démarche méthodologique a dès lors été établie et mise en œuvre autour de la détermination de la qualité des eaux de l'Oued Fès et celles de l'Oued Sebou utilisées dans l'irrigation des sols agricoles de la région, et l'évaluation de la charge en ETM des échantillons de sols, leur distribution et leur mobilité dans les différents compartiments des sols en utilisant la méthode des extractions séquentielles de Tessier, 1979.

L'analyse des différents paramètres physico-chimiques des eaux de surface de l'Oued Fès et l'Oued Sebou a montré que ces eaux sont de moyenne à forte minéralisation et sont caractérisées par un régime d'oxygène dissous non déficitaire et les place dans la grille moyenne à très mauvaise. Concernant les éléments nutritifs (N et P), les concentrations mesurées sont plus élevées que les normes de qualité environnementales de la directive cadre sur l'eau pour toutes les stations directement influencées par les apports d'eaux usées, mais aussi, dans certains cas, sur les autres sites étudiés. De même, les eaux de l'Oued Fès (St4 et St6) et l'Oued Sebou (St7 et St8) contiennent des teneurs en Cr qui dépassent presque systématiquement la teneur limite recommandée pour l'irrigation à long terme (0,1 mg/L). La qualité de l'eau des sites les plus pollués engendre une dégradation de la qualité du milieu récepteur qui est l'Oued Sebou, ce qui risque de compromettre les eaux de l'Oued Sebou par le déversement direct de l'Oued Fès, et par conséquent l'équilibre de l'écosystème aquatique est dégradé.

L'étude des échantillons solides a permis de conclure que les sols agricoles présentent une grande variété texturale. En effet, le limon est la fraction granulométrique la plus dominante en aval de l'Oued Fès, et le sable est la fraction la plus dominante en amont, tandis que l'argile reste la fraction la moins représentée. L'étude minéralogique a montré que les sols agricoles étudiés se composent principalement de quartz, de carbonates et de minéraux argileux. La smectite et les interstratifiés (chlorite-vermiculite et mica-smectite) sont de loin les minéraux argileux les plus abondants dans tous les sols.

L'étude de la disponibilité ainsi que la distribution des ETM (Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) dans les sols contaminés par irrigation (chimie totale + spéciation), nous a permis d'observer une teneur totale en Cu et Ni à SV2 qui dépasse la norme définie pour les sols agricoles et des

teneurs totales en Pb et en Zn au niveau des sols irrigués par Oued Fès dépassant la valeur limite pour les sols agricoles. Les extractions séquentielles de Tessier ont complété l'étude de la mobilité potentielle des ETM dans les différentes fractions du sol. En effet, ceci nous a permis de montrer que le Cr, Cu, Ni et Pb sont majoritairement liés à la phase résiduelle, ils sont donc théoriquement peu mobile ; tandis que le Zn est pratiquement lié à la phase réductible et à la phase échangeable respectivement dans les sols (FEZ1, FEZ2, SEBup) et (SEBdown, SEBconf), donc le Zn est potentiellement mobile.

**Mots clés** : Plaine de Saïss, Oued Fès, Oued Sebou, Sols agricoles, ETM, Spéciation.

# Sommaire

<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>11</b>
<b>LISTE DES REFERENCES .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>13</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>17</b>
<b>PROBLEMATIQUE .....</b>	<b>20</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>22</b>
<b>I. INTRODUCTION .....</b>	<b>22</b>
<b>II. LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES .....</b>	<b>22</b>
II. 1. Définition .....	22
II. 2. Origines des ETM .....	23
II. 2. 1. Dans les eaux de surface.....	23
II. 2. 2. Dans les sols .....	23
<b>III. PRESENTATION DE QUELQUES ETM.....</b>	<b>24</b>
<b>IV. MOBILITE DES ETM .....</b>	<b>26</b>
<b>V. RISQUES LIES A L'ACCUMULATION DES ETM DANS LES SOLS.....</b>	<b>27</b>
<b>VI. COMPORTEMENT DES METAUX DANS LE SOL : NOTION DE SPECIATION ET DISPONIBILITE.....</b>	<b>27</b>
<b>VII. TECHNIQUES D'ETUDE DU COMPORTEMENT DES METAUX DANS LE SOL.....</b>	<b>28</b>
VII. 1. Les extractions chimiques .....	28
VII. 1. 1. Domaine d'application .....	28
<b>VIII. ETUDES ANTERIEURES CONCERNANT LA POLLUTION METALLIQUE AU MAROC .....</b>	<b>29</b>
<b>IX. CONCLUSION.....</b>	<b>29</b>
<b>CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>30</b>
<b>I. SITUATION GEOGRAPHIQUE .....</b>	<b>30</b>
I. 1. Plaine de Saïss .....	30
I. 2. Bassin versant de l'Oued Fès.....	32
I. 3. Ville de Fès.....	33
<b>II. CADRE CLIMATIQUE .....</b>	<b>33</b>
II. 1. Température.....	33
II. 2. Précipitation.....	34
<b>III. APERÇU HYDROLOGIQUE .....</b>	<b>34</b>
III.1. Les oueds .....	35
<b>IV. APERÇU SOCIOECONOMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>37</b>
<b>V. ETUDE PEDOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>37</b>
V. 1. Classe des sols peu évolués.....	39
V. 2. Classe des vertisols .....	39
V. 3. Classe des sols calcimagnésiques.....	40
V. 4. Classe des sols hydromorphes.....	40
V. 5. Classe des sols isohumiques.....	41
<b>VI. ETAT DES LIEUX DE LA POLLUTION DANS LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>42</b>
<b>CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>44</b>
<b>A. QUALITE DES EAUX DE SURFACE UTILISEES EN IRRIGATION .....</b>	<b>44</b>
<b>I. ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>44</b>

I.1. Site d'étude .....	44
<b>II. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>46</b>
II. 1. Température.....	46
II. 2. pH.....	46
II. 3. Conductivité électrique.....	46
II. 4. Oxygène dissous.....	47
II. 5. Turbidité.....	47
II. 6. Matières en suspension (MES).....	47
<b>III. ANALYSE DES ELEMENTS NUTRITIFS .....</b>	<b>48</b>
III. 1. Filtration.....	48
III. 2. Dosage des éléments nutritifs et du chrome.....	48
<b>B. QUALITE DES SOLS AGRICOLES .....</b>	<b>49</b>
<b>I. ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>49</b>
I.1. Site d'étude .....	49
I. 2. Préparation des échantillons .....	51
<b>II. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>51</b>
II. 1. Humidité résiduelle : NF ISO 11465.....	51
II. 2. Conductivité électrique : NF ISO 11265.....	51
II. 3. pH eau : NF ISO 10390.....	52
II. 4. Dosage des carbonates – Calcimétrie : NF ISO 10693.....	52
II. 5. Dosage de la matière organique par PAF: NF ISO 14235.....	53
II. 6. Capacité d'échange cationique (CEC) : NF X 31-130 .....	53
<b>III. GRANULOMETRIE LASER : NF X 31-107.....</b>	<b>54</b>
III. 1. Préparation des échantillons.....	54
III. 2. Mesure et résultat .....	56
<b>IV. ANALYSE DES MINERAUX ARGILEUX.....</b>	<b>56</b>
IV. 1. Préparation des lames orientées .....	56
IV. 2. Traitement des lames orientées.....	57
IV. 3. Diffraction des rayons X.....	58
<b>V. EXTRACTION ET DOSAGE DES ETM .....</b>	<b>59</b>
V.1. Teneurs totales en ETM : NF ISO 14869-1.....	59
V. 2. Technique d'extractions séquentielles.....	59
<b>VI. TRAITEMENT STATISTIQUE .....</b>	<b>60</b>
VI.1. Régression linéaire.....	60
VI. 2. Analyse en composantes principales.....	61
VI. 2. 1. Principe .....	61
VI. 2. 2. Avantages et inconvénients de l'ACP .....	62
<b>CHAPITRE IV: QUALITE DES EAUX DE SURFACE : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>63</b>
<b>I. MESURE DU DEBIT .....</b>	<b>63</b>
<b>II. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES .....</b>	<b>65</b>
II.1. Température.....	65
II.2. pH.....	66
II.3. Conductivité électrique.....	67
II.4. Oxygène dissous.....	69
II. 5. Turbidité.....	71
<b>III. MATIERES EN SUSPENSION (MES).....</b>	<b>72</b>
<b>IV. ANALYSE DES ELEMENTS NUTRITIFS.....</b>	<b>73</b>
IV. 1. Azote totale .....	73
IV. 2. Nitrites et Nitrates .....	74
IV.3. Azote ammoniacal .....	75
IV. 4. Orthophosphates .....	77
IV. 5. Phosphore total .....	78
IV. 6. Chrome .....	80
<b>V. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES.....</b>	<b>81</b>
V. 1. Calcul des axes.....	84
V. 2. Analyse des graphiques.....	84
<b>VI. CONCLUSION.....</b>	<b>86</b>
<b>CHAPITRE V: QUALITE DES SOLS AGRICOLES IRRIGUES PAR LES EAUX DE SURFACE DE OUEDS FES ET OUED SEBOU: RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>89</b>

<b>I. CLASSIFICATION, CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS ETUDIES .....</b>	<b>89</b>
<b>II. ANALYSES CHIMIQUES.....</b>	<b>90</b>
(+) : Analyse effectuée (-) : Analyse non effectuée.....	90
II. 1. Humidité.....	90
II.2. pH eau .....	91
II. 3. Dosage de la matière organique.....	92
II. 4. Dosage des carbonates.....	93
<b>III. ANALYSES PHYSIQUES .....</b>	<b>95</b>
III. 1. Texture .....	95
III. 2. Identification minéralogique .....	97
III. 2. 1. Les minéraux du squelette.....	103
III. 2. 2. Les minéraux argileux.....	103
<b>IV. CAPACITE D'ECHANGE CATIONIQUE (C.E.C).....</b>	<b>105</b>
<b>V. PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL.....</b>	<b>106</b>
V. 1. Chimie totale.....	106
V. 2. Facteur d'enrichissement pour les teneurs totales .....	111
V. 3. Spéciation.....	112
<b>VI. TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES .....</b>	<b>120</b>
VI. 1. Régression linéaire.....	120
VI. 2. Analyse en composantes principales ACP.....	123
VI. 3. Calcul des axes.....	124
VI. 4. Analyse des graphiques.....	125
<b>VII. CONCLUSION .....</b>	<b>127</b>
L'ANALYSE DES SOLS AGRICOLES DE LA REGION DE FES IRRIGUES PAR LES EAUX DES OUEDS FES ET SEBOU A ETE MENEES AFIN D'EVALUER LE DEGRE DE CONTAMINATION DE CES SOLS ET PAR CONSEQUENT LES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX. LES DIFFERENTS RESULTATS OBTENUS POUR CET AXE DU TRAVAIL SONT RASSEMBLES DANS LE TABLEAU 26. ....	127
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>130</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>134</b>
<b>ANNEXE 1: DEFINITIONS RELATIVES AUX SOLS, AUX RESSOURCES EN EAU ET A L'EVALUATION DE RISQUE.....</b>	<b>139</b>
<b>ANNEXE 2: CONCENTRATIONS MOYENNES ET GAMMES DE VARIATIONS DE METAUX DANS DIFFERENTS MILIEUX .....</b>	<b>148</b>
<b>ANNEXE 3: LISTE DES NORMES RELATIVES AU DOSAGE DES ETM.....</b>	<b>149</b>
<b>ANNEXE 4: PROPRIETES DU SOL ET DU SOUS-SOL.....</b>	<b>150</b>
<b>ANNEXE 5: LA SPECTROMETRIE D'EMISSION ATOMIQUE COUPLEE A UNE SOURCE DE PLASMA (ICP-AES) .....</b>	<b>156</b>