

لج مدهوي ة لجزائري ة لى قراطى شاعبي ة

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزار قىللى ملاءلى ولب حث لى ملى

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامع قباچى فختار .علاءة.

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA



FACULTÉ DES SCIENCES

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

These Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Science

Option : Biologie Végétale

Intitulé:

Caractérisation des eaux et des sols de la haute vallée de la Medjerda

Présentée Par : Ali Abd Elmoutaleb BAROUR

Directeur de thèse : Pr. Mohamed BENSLAMA

Composition du jury :

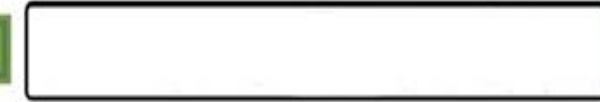
RACHID DJEMAI	PROFESSEUR	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA	PRESIDENT
MOHAMED BENSLAMA	PROFESSEUR	UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA	DIRECTEUR DE THESE
DJAMEL FADEL	PROFESSEUR	UNIVERSITÉ MOHAMED CHERIF MESSAADIA-SOUK AHRAS	EXAMINATEUR
MOHAMED KAHOUL	PROFESSEUR	UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA	EXAMINATEUR
ALI SLIMANI	MCA	UNIVERSITÉ CHADLI BENDJEDID-EL TARF	EXAMINATEUR
LYAMINE MEZEDJRI	MCA	UNIVERSITE 20 AOUT 1955 –SKIKDA	EXAMINATEUR

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2014 - 2015

قال الله تعالى :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ
وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ
أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ
بَعْضَ الَّذِي
عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ

سورة الروم



Remerciements

Ce travail de thèse a été réalisé sur le bassin versant de la haute vallée de la Medjerda, au niveau de la wilaya de Souk Ahras.

Je remercie avant tout le créateur la illaha ila houa, qui ma faciliter la tâche de ce travail, et ma procurer de toute chose dont j'on ai eu besoin tout au long de ma vie, sans lui aucune fleur ne peut s'épanouir, que dieu accepte mes remerciements et m'aide à gratifier l'ensemble de ses bénédictions.

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire n'aurait pu être réalisé sans les conseils, l'aide et le soutien amical dont j'ai pu bénéficier de la part de nombreuses personnes. Je leur exprime ici toute ma gratitude.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Mohamed Benslama de m'avoir dirigé lors de ce travail et prodigué de nombreux conseils lors de ma rédaction.

Je remercie également les personnes qui ont accepté de juger ce travail : Monsieur Rachid Djemai en qualité de président, Messieurs Ali Slimani, Djamel Fadel, Mohamed Kahoul et Lyamine Mezedjri en qualité d'examineurs.

Je remercie tout particulièrement madame Khelifi, Wafa et Chafia pour le temps qu'elles ont consacré aux différentes analyses sans lesquelles ce travail serait incomplet.

Je tiens à remercier spécialement Monsieur Choukri Barour de l'Université de Mohamed Elcherif Messaidia Souk Ahras pour son aide précieuse dans le traitement statistique des nombreuses données amassées.

Je remercie vivement mes étudiants Mohsen, Abd Elkader, Touati, Imen, Dhifi, et les autres pour leurs nombreux coup de main lors de l'échantonnage, la mise en place et le suivi des canaux expérimentaux.

Je remercie profondément l'ensemble des personnels des différents laboratoires d'analyses pour l'aide qu'ils m'ont apporté à la réalisation du travail de terrain.

Je remercie également Monsieur Géhad Jénidi Mohamed de l'université du Caire (Egypte) pour ses conseils avisés et son aide éclairée sur la spéciation des métaux.

Je n'oublie pas toutes les personnes qui n'ont jamais ménagé leurs efforts pour me faciliter la tâche. Il m'est très agréable de les remercier ici, en particulier messieurs Azzedine Cheffrou, Tahar Ali, Maazi Elchérif, Ali Bouaziz, Adel Ayari, Boujemaa Saoudi, Mounji Touarfia.

Je ne peux oublier toutes les personnes avec qui j'ai partagé de merveilleux moments en dehors de la thèse et avec lesquelles j'ai noué une forte amitié. Il m'est impossible de tous les nommer, mais ils se reconnaîtront bien là. Je leur dis un grand merci pour les moments passés ensemble, ainsi que pour leur soutien durant les moments difficiles.

Je remercie mes parents pour tout ce qu'ils ont fait pour moi et l'éducation que j'ai reçu de leur part.

Je tiens à remercier tout spécialement Om fatima, ma femme, pour son soutien et sa compréhension de la vie d'un thésard.

Je dédie cette thèse à ma chère mère, mon cher père, ma chère femme, ma fille Nour, ses frères et sœurs inshallah, mes frères et sœurs, mes amis et à tous les musulmans.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
TABLE DES MATIERES	3
TABLE DES FIGURES	7
TABLE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION GÉNÉRALE	11
CHAPITRE 1 : Matériels et Méthode	21
1. Présentation de la région d'étude	22
1.1. Histoire	22
1.2. Présentation géographique	22
1.3. Les bassins versants de la région.....	23
1.4. Le bassin versant de l'oued Medjerda	24
2. Donnée géomorphologique	25
3. donnée hydrographique	26
4. Donnée hydrologique	27
4.1. Caractéristiques morpho-métriques	27
4.2. Principale source d'eau de la région	28
5. Les données géologiques	29
5.1. Les formations anciennes	30
5.2. Les formations récentes	30
5.3. Les formations actuelles	30
5.4. Terrasse de la Medjerda.....	30
5.4.1. La très haute vallée	30
5.4.2. La haute vallée.....	31
6. Faune et flore	31
7. Ressource en sol	33
7.1. Type de sol	33
7.2. Occupation du sol.....	33
8. Donnée socioéconomique	34
9. Sources de pollutions dans la région	35
9.1. Pollution d'origine agricole.....	36
9.2. Pollution d'origine industrielle	36
9.3. Pollution d'origine urbaine.....	37
10. Sources de dépollution	37
10.1. Station d'épuration	37
10.2. Station de traitement des eaux usées	37
11. Données climatiques	38
11.1. Les précipitations	38
11.1.1. Les précipitations mensuelles et régime saisonnier.....	38
11.2. Les températures et le régime thermique.....	39
11.3. Le rythme climatique	39
11.4. L'humidité	40
11.5. Les vents	41
12. objectifs et échantillonnage	42
12.1. objectif de l'étude	42

12.2. Plan d'échantillonnage et choix des stations	42
12.3. Période de prélèvement	44
12.4. le traitement des échantillons et les besoins analytiques	44
12.5. l'Echantillonnage.....	44
12.5.1. Nettoyage des récipients.....	44
12.5.2. Prélèvement des échantillons	44
12.5.3. Traitement et Conservation des échantillons	45
13. Matériels	46
14. Méthode	46
CHAPITRE 2 : Résultats et discussion	49
I. Etude du sol.....	50
1. Résultats	51
1.1. Résultats des Paramètres chimiques.....	51
1.1.1. l'acidité effective (pH-eau)	51
1.1.2. L'acidité titrable (pH-KCl)	52
1.1.3. La salinité totale.....	53
1.1.4. L'Humidité	54
1.1.5. La matière organique	55
1.1.6. Le Calcaire Totale	57
1.1.7. les bases échangeables	58
1.1.7.1. Le calcium.....	58
1.1.7.2. Le Magnésium.....	59
1.1.7.3. équilibre entre les cations Ca^{2+} et Mg^{2+}	60
1.2. les éléments métalliques lourds	61
1.2.1. le plomb.....	61
1.2.2. le cadmium.....	61
1.2.3. le mercure.....	62
1.2.4. le cuivre	63
1.3. Paramètres physiques	65
1.3.1. La densité apparente	65
1.3.2. La densité réelle	65
1.3.3. La porosité	66
1.3.4. Granulométrie.....	67
1.4. Résultats statistiques	69
1.4.1. Analyse en composantes principales des valeurs du sol	69
1.4.1.1. Plan Factoriel des dimensions 1x2.....	70
1.4.1.1.1. Première dimension	71
1.4.1.1.2. Deuxième dimension	71
1.4.1.2. Plan Factoriel des dimensions 2 et 3	71
1.4.1.2.1. Troisième dimension	73
1.4.2. Test U de Mann Whitney	74
1.4.3. Corrélations de Spearman (non-paramétrique)	75
2. Discussion.....	76
3. Conclusion.....	80
II. Etude de L'eau	82
1. Résultats	83
1.1. Résultats des analyses physico-chimiques.....	83

1.1.1. Température	83
1.1.2. Turbidité	83
1.1.3. pH.....	84
1.1.4. Conductivité électrique.....	85
1.1.5. La dureté.....	86
1.1.6. Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC)	87
1.2. Résultats des paramètres indicateurs de pollution	89
1.2.1. Matières en suspension.....	89
1.2.2. Oxygène dissous.....	90
1.2.3. Demande biochimique en oxygène (DBO5)	91
1.2.4. Demande chimique en oxygène (DCO)	92
1.2.5. Rapport DCO/ DBO	92
1.2.6. Ammonium.....	93
1.2.7. Nitrites.....	94
1.2.8. Nitrates	95
1.2.9. Sulfate.....	96
1.2.10. Chlorure	97
1.2.11. Orthophosphate	98
1.3. Les éléments toxiques (métaux lourds)	100
1.3.1. Plomb.....	100
1.3.2. Cadmium.....	101
1.3.3. Mercure	102
1.3.4. Cuivre	103
1.4. Résultats statistiques.....	105
1.4.1. Analyse en composantes principales des valeurs eaux	105
1.4.1.1. Plan Factoriel des dimensions 1x2.....	106
1.4.1.1.1. Première dimension	107
1.4.1.1.2. Deuxième dimension	107
1.4.1.2. Plan Factoriel des dimensions 2 et 3	107
1.4.1.2.1. Troisième dimension	109
1.4.2. Test U de Mann Whitney.....	110
1.4.3. Corrélations de Spearman (non-paramétrique)	111
2. Discussion	112
3. Conclusion	117
III. Microbiologie de L'eau.....	119
1. Résultats.....	120
1.1. Germes totaux	120
1.2. Germes fécaux.....	120
1.3. Sources probables de contamination	121
1.4. Sulfitoréducteurs	122
1.5. Salmonelles.....	123
1.6. Levures et moisissures	123
2. Discussion.....	124
3. Conclusion	126
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	127
BIBLIOGRAPHIE	131
ANNEXE	149

RESUME 163

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE 1 :

Figure 1 : Situation géographique de la wilaya de Souk Ahras	23
Figure 2 : les principaux bassins et sous bassins de la wilaya de Souk Ahras.....	24
Figure 3 : le bassin versant de la Medjerda	25
Figure 4 : Profil en long de l'oued de Medjerda	27
Figure 5 : Source de pollution pour les cours d'eaux.....	36
Figure 6 : Variation de la précipitation durant la période d'étude.....	38
Figure 7 : Température mensuelle de la région d'étude.....	39
Figure 8 : Diagramme Ombrothermique de la période d'étude	40
Figure 9 : L'humidité relative moyenne mensuelle de l'air durant la période d'étude..	41
Figure 10 : Variation de la vitesse moyenne des vents durant la période d'étude.....	42
Figure 11 : Données cartographiques de la région d'études.....	43

CHAPITRE 2 :

Figure 12 : Variation du pH-eau des échantillons des sols étudiés	51
Figure 13 : Variation spatio-temporelle du pH-kcl.....	53
Figure 14 : Variation de la conductivité électrique en fonction des sites d'étude et du temps.....	54
Figure 15 : Evolution spatio-temporelle de l'humidité	55
Figure 16 : Variation spatio-temporelle de la matière organique	56
Figure 17 : Variation du calcaire totale des échantillons des sols étudiés.....	57
Figure 18 : Variation du calcium des échantillons des sols étudiés	59
Figure 19 : Variation spatio-temporelle du magnésium.....	60
Figure 20 : Variation spatio-temporelle du plomb.....	61
Figure 21 : Variation spatio-temporelle du cadmium	62
Figure 22 : Variation spatio-temporelle du mercure	63
Figure 23 : Variation spatio-temporelle du cuivre.....	64
Figure 24 : Variation de la densité apparente des échantillons des sols étudiés.....	65
Figure 25 : Variation de la densité réelle des échantillons des sols étudiés	66
Figure 26 : Variation de la porosité des échantillons des sols étudiés	66
Figure 27 : Caractérisation granulométrique des sols étudiés.....	67
Figure 28 : Triangle du G.E.P.P.A.[1963] d'après Baize et al., 1995.....	68
Figure 29 : Plan factoriel des paramètres d'eaux selon les dimensions 1x2	70
Figure 30 : Cercle des corrélations des paramètres d'eaux selon les dimensions 1x2...	70
Figure 31 : Plan factoriel des paramètres d'eaux selon les dimensions 2x3	72
Figure 32 : Cercle des corrélations des paramètres d'eaux selon les dimensions 2x3 ...	72

Figure 33 : Variation de la Température de l'eau pendant les deux périodes d'étude...	83
Figure 34 : Variation de la turbidité des échantillons d'eaux étudiés	84
Figure 35 : Variation du pH de l'eau pendant les deux périodes d'étude.....	85
Figure 36 : Variation de la conductivité de l'eau pendant les deux périodes d'étude....	86
Figure 37 : Variation de la dureté des échantillons d'eaux étudiés	87
Figure 38 : Variation de la TAC en fonction des sites d'étude et du temps.....	88
Figure 39 : Variation spatio-temporelle de la matière en suspension	89
Figure 40 : Variation du taux de l'oxygène dissous en fonction des sites d'étude et du temps.....	90
Figure 41 : Evolution spatio-temporelle de la DBO5.....	91
Figure 42 : Evolution spatio-temporelle de La DCO	92
Figure 43 : Variation du rapport DCO/DBO en fonction des sites d'étude et du temps	93
Figure 44 : Variation du taux d'ammonium des échantillons d'eaux étudiés	94
Figure 45 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en nitrite	95
Figure 46 : Variation spatio-temporelle de la teneur en nitrate des échantillons étudiés	96
Figure 47 : Evolution spatio-temporelle du taux des sulfates	97
Figure 48 : Variation de la teneur en chlorure en fonction des sites d'étude et du temps	98
Figure 49 : Variation de la teneur en orthophosphate des échantillons d'eaux étudiés ..	99
Figure 50 : Evolution spatio-temporelle de la concentration en plomb	101
Figure 51 : Variation de la teneur en cadmium en fonction des sites d'étude et du temps.....	102
Figure 52 : Evolution spatio-temporelle de la concentration en mercure.....	103
Figure 53 : Evolution spatio-temporelle de la teneur en cuivre	104
Figure 54 : Plan factoriel des paramètres d'eaux selon les dimensions 1x2	106
Figure 55 : Cercle des corrélations des paramètres d'eaux selon les dimensions 1x2	106
Figure 56 : Plan factoriel des paramètres d'eaux selon les dimensions 2x3	108
Figure 57 : Cercle des corrélations des paramètres d'eaux selon les dimensions 2x3	108

TABLE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1 :

Tableau 1 : Les principales caractéristiques morphométriques de l'oued Medjerda et de ses affluents	28
Tableau 2 : Présentation des différents barrages de la wilaya de Souk Ahras	28
Tableau 3 : Présentation des Petits barrages destinés à l'irrigation.....	29
Tableau 4 : Principales nappes de Souk-Ahras	29
Tableau 5 : Type d'occupation du bassin versant de la Medjerda.....	33
Tableau 6 : Caractéristiques économiques des entreprises su secteur public dans la wilaya de Souk Ahras	34
Tableau 7 : Caractéristiques économiques des entreprises su secteur privée dans la wilaya de Souk Ahras	35
Tableau 8 : Données GPS des sites d'échantillonnages.....	43

CHAPITRE 2 :

Tableau 9 : normes d'interprétation du pH-eau du sol [Mathieu et al., 2003].....	52
Tableau 10 : écart entre le pH-eau et le pH-kcl	53
Tableau 11 : classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25°C	54
Tableau 12 : normes d'interprétation de la matière organique [Soltner, 1981]	56
Tableau 13 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol d'après GEPPA in BAIZE, 1988	58
Tableau 14 : Evolution du rapport d'équilibre entre les cations Ca^{2+} et Mg^{2+}	60
Tableau 15 : Barème d'appréciation de l'équilibre entre les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} [Doucet, 2006]	60
Tableau 16 : Caractérisation granulométrique des sols (horizon 0-25 cm)	67
Tableau 17 : Informations relatives aux corrélations des variables initiales avec les cinq premières composantes principales	69
Tableau 18 : Résultats du test U de Mann Whitney	74
Tableau 19 : classes de turbidité usuelles d'après l'I.A.NOR.,2006.....	84
Tableau 20 : Classes de minéralisation d'après la conductivité [Rodier et al., 2009] ..	85
Tableau 21 : Classes de dureté en fonction du titre hydrotimétrique [Jestin, 2010]	86
Tableau 22 : Concentrations des différents anions en fonction des valeurs respectives du TA et TAC d'après Berné et al., 1991	88
Tableau 23 : Informations relatives aux corrélations des variables initiales avec les cinq premières composantes principales	105
Tableau 24 : Résultats du test U de Mann Whitney	110
Tableau 25 : Résultats de dénombrement des germes totaux (U.F.C/ml)	120
Tableau 26 : Dénombrement des germes fécaux pendant les deux périodes d'étude ..	121
Tableau 27 : Source probable de contamination fécale	122

Tableau 28 : Variation des Clostridium sulfito-réducteurs dans les deux périodes d'étude122

Tableau 29 : Résultats pondérés de dénombrement des levures et moisissures (germe/ml)123

Introduction Générale

Introduction Générale

Parmi les grands défis du XXI^{ème} siècle, celui de l'eau est évidemment au premier plan, au même titre que les sols cultivables et l'énergie. Est-ce à un problème de quantité d'eau disponible auquel l'humanité sera confrontée dans les prochaines décennies ? Est-ce plutôt un problème de qualité d'eau qu'il faudra surmonter ? Certains pays en développement, déjà dépourvus de ressources en eau suffisantes, connaîtront inévitablement un ralentissement de leur développement lié à l'appauvrissement quantitatif de leurs ressources en eau. Certains autres de ces pays, « riches » en eau, verront la pollution (déjà très importante) de leurs ressources s'accroître à un niveau tel qu'il sera difficile d'y remédier. Parallèlement, et quelque part indécemment, les pays économiquement développés seront de plus en plus exigeants sur la qualité de leurs eaux ainsi que sur la sensibilité et le nombre des contrôles à effectuer sur les eaux distribuées et les eaux rejetées dans le milieu récepteur [Rodier *et al.*, 2009].

Le volume d'eau exploitée dans le globe a progressé plus de deux fois plus que le taux de croissance de la population. Un nombre grandissant de régions a atteint la limite au-delà de laquelle il n'est plus possible de fournir des services fiables d'approvisionnement en eau (pour différents usages) [FAO, 2007]. La croissance démographique et le développement économique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau renouvelables, notamment dans les régions arides. Il est estimé qu'à l'horizon 2025, 1,8 milliard de personnes vivront dans des pays ou des régions disposant de moins de 500 m³ d'eau renouvelable par an et par habitant [FAO, 2007]. Dans les pays de la marge sud de la Méditerranée et notamment dans la région arabe, connue pour son climat aride à semi-aride, la pénurie d'eau sera un fait marquant. La totalité des pays de cette région tombent sous le niveau de pénurie de 500 m³ d'eau renouvelable par personne et par an [Hamoda, 2004 ; Belaid, 2010].

Pratiquement toutes les ressources accostables d'eau douce dans la région sont déjà mobilisées. Par conséquent, il est normal de se diriger vers des ressources d'eau inhabituelles pour satisfaire l'accroissement de la demande. Plusieurs pays de la région (comme les Etats du Golfe) ont fait de grands pats en matière de dessalement de l'eau de mer afin de satisfaire la demande de leurs populations urbaines [Qadir *et al.*, 2007]. Malgré cela et en raison du coût élevé associé à ce procédé, son adoption est généralement limitée à des usages domestiques dans les pays riches. D'autres options, comme l'utilisation de l'eau de drainage, les eaux de qualité marginale à salinité élevée et les eaux usées peuvent être aussi valorisées pour l'irrigation afin de préserver les ressources en eau de bonne qualité pour la potabilisation [Qadir *et al.*, 2007 ; FAO, 2007 ; Belaid, 2010].

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé [O.M.S, 2007] 2,6 milliards de personnes dans le globe n'ont pas accès à l'eau potable et 1,8 millions dont 90% d'enfants de moins de cinq ans meurent chaque année surtout dans les pays pauvres

là où les mesures d'hygiène et les infrastructures sanitaires de base sont insuffisantes ou inexistantes [CME, 2006] et 80 % des causes de morbidité dans le monde sont d'origine hydrique [CGEQ, 2000]. Dans les mécanismes vitaux, l'eau joue à la fois le rôle de support et de véhicule de germes indices de pollution qui sont pour la plupart d'origine fécale. La gastro-entérite est la maladie la plus fréquemment associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales et entraîne des conséquences très graves sur la santé [Bourne *et al.*, 2007 ; Yapo *et al.*, 2010]. D'autres maladies plus rares comme les hépatites ou les méningites peuvent aussi être provoquées par l'ingestion d'eau contaminée [Dégbey, 2011].

L'importance de l'eau dans l'économie mondiale ne cesse de croître et sa disponibilité devient de plus en plus difficile tant en raison des aléas climatiques, des conditions géopolitiques, géologiques que de l'accroissement rapide de la population. La qualité de l'eau de boisson est un problème de santé planétaire. L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre des maladies dans tous les pays et dans les divers continents des plus pauvres aux plus riches. Les métaux lourds sont de grands polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, les plus courants sont le cadmium, le mercure, le plomb et l'arsenic. Ils ont des impacts majeurs sur les différents biotopes, les végétaux, les animaux, les produits de consommation courante et sur l'homme.

L'eau, une ressource essentielle, est utilisée à des fins alimentaires, d'hygiène corporelle, ou récréatives, nécessitant un haut niveau de qualité physico-chimique, chimique et microbiologique. Les substances qu'elle transporte sont en effet susceptibles d'être ingérées, inhalées, ou d'entrer en contact avec la peau. L'importance de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène pour la santé et le développement transparaît dans les conclusions de nombreux forums politiques internationaux. Il s'agit des conférences axées sur la santé telle que la Conférence Internationale sur les Soins de Santé Primaires (SSP), tenue en 1978 à Alma-Ata (Kazakhstan en ex-Union soviétique). Il y a également les conférences axées sur l'eau comme la Conférence mondiale de Mar Del Plata (Argentine). Ces rencontres ont ouvert la voie à la Décennie de l'eau de boisson et de l'assainissement [1981-1990] au cours de laquelle l'accent a été mis sur l'approvisionnement en eau potable et sur l'assainissement de base, aux Objectifs du Millénaire pour le Développement [OMD] adoptés par l'Assemblée générale des Nations Unies en 2000 et aux résultats du Sommet mondial de Johannesburg pour le développement durable en 2002. Le but visé par ces rencontres internationales est d'élever le niveau de santé et de production des populations, de faire régresser les maladies infectieuses véhiculées par l'eau [OMS, 2003]. Mais au terme de la décennie, il a été constaté qu'aucune amélioration notable, relative à la fréquence des maladies infectieuses n'a été observée. Il s'agira de mettre à la disposition de la population de l'eau potable et des dispositifs adéquats d'assainissement [OMS, 2003].

Le cycle naturel d'autoépuration de l'eau a des limites aujourd'hui dépassées. Parallèlement, les besoins d'eau augmentent dans tous les pays ; ils sont en France

par exemple d'environ 200 litres par habitant et par jour [CCF, 1997]. Au Bénin, l'objectif fixé est de fournir à 80 % de la population de l'eau potable avec 60 litres par jour à chaque habitant du milieu urbain et 10 à 20 litres par jour à chaque habitant en milieu rural [Amegee, 1992]. A la fin de cette décennie, l'objectif fixé n'a pas été atteint : 58 % seulement de la population a été couverte en eau potable en zone rurale et 24 % en zone urbaine. La fréquence des maladies d'origine hydrique n'a pas connu d'amélioration à l'issue de la décennie internationale [Dégbey, 2011].

La qualité de l'eau dépend de plusieurs facteurs:

- facteurs physiques;
- chimiques;
- biologiques;
- humains.

Plus récemment, l'Assemblée générale des Nations Unies a déclaré la période allant de 2005 à 2015 « Décennie internationale d'action » avec pour thème « L'eau, source de vie » [OMS, 2005]. Dans la nature, l'eau véhicule en particulier nombre de micro-organismes (bactéries, virus, parasites et champignons) de tout genre, qui y vivent et s'y développent. L'accès à une eau de boisson saine et à des moyens d'assainissement de base sont donc essentiels pour assurer une bonne santé. L'amélioration de la qualité de l'eau de boisson permettrait de réduire les risques de maladies infectieuses à transmission hydrique. Les maladies liées à la contamination de l'eau de boisson représentent une charge considérable pour l'humanité. Les interventions visant à améliorer la qualité de l'eau de boisson apportent des bénéfices notables en matière de santé [WHO, 2008].

La qualité des eaux d'un hydrosystème dépend de nombreux facteurs et processus environnementaux. Elle est définie plus particulièrement par les caractéristiques géomorphologiques (altitude, pente ...), pédologiques et géologiques (origine et nature des terrains) et anthropiques (degré d'urbanisation, activités industrielles, agricoles ...) du bassin versant. Celui-ci constitue un espace délimité par une ligne de partage des eaux et possédant son propre réseau hydrographique. Les versants du bassin collectent les eaux d'origine atmosphérique et les concentrent vers les éléments constitutifs du réseau [Amoros et Petts, 1993]. Au cours de leur transfert à la surface du sol et/ou en profondeur (ruissellement, infiltration ...) puis de leur circulation dans l'hydrosystème, les eaux sont soumises à des processus physico-chimiques et biologiques qui conditionnent leur composition. Celle-ci définira ce qui est communément appelé la « qualité de l'eau » [Thurman, 1985 ; Madigou, 2005].

En zone rurale, le mode d'occupation des sols (forêt, culture, élevage ...) joue un rôle prépondérant dans le fonctionnement hydrique du bassin versant, en agissant sélectivement sur les mécanismes de ruissellement et d'érosion. De ces derniers dépendront fortement les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau [Xue *et al.*, 2000; Christensen *et al.*, 2001]. En zone urbaine et pluri-

urbaine, la qualité de l'eau est souvent dépendante d'apports émanant des diverses activités humaines (domestiques, industrielles, de transport ...) [Gove *et al.*, 2001; Davis *et al.*, 2001]. Ces différentes formes d'apports, localisés ou diffus, enrichissent le milieu en éléments organiques et minéraux qui peuvent avoir un effet trophique (fertilisants agricoles, rejets de stations d'épuration ...) ou toxique (micropolluants : phytosanitaires, métaux lourds ...) sur le milieu aquatique récepteur [Schorter, 2001].

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau conditionnent celles des biocénoses aquatiques d'un point de vue structurel et fonctionnel [Voelz et McArthur, 2000]. Ainsi, les rejets liés aux activités humaines, en modifiant les caractéristiques chimiques des eaux, pourront également modifier les communautés vivantes du milieu aquatique récepteur. La pression exercée par la perturbation dépendra de ces caractéristiques (concentration, amplitude, durée, fréquence). La réponse des biocénoses se traduira par des modifications au niveau de leur dynamique de développement [Armengol *et al.*, 1991], de leur biomasse [Sabater et Sabater, 1992], de leur activité métabolique [Romani et Sabater, 1999] et de leur biodiversité [Britain et Saltveit, 1989]. Ces modifications structurelles et fonctionnelles des communautés constituent des témoins de perturbations et sont à l'origine des outils de bioindication utilisés par les gestionnaires des milieux aquatiques [Madigou, 2005].

Toutefois, les perturbations d'origine anthropique peuvent provoquer aussi des modifications des caractéristiques physiologiques des biocénoses (croissance, reproduction, activités métaboliques ...), lesquelles peuvent avoir des répercussions sur le fonctionnement global du cours d'eau. Ce dernier point s'applique plus particulièrement pour les communautés microbiennes, notamment bactériennes. En effet, elles interviennent dans de nombreux cycles de la matière et de l'énergie des systèmes aquatiques en assurant des fonctions essentielles au sein des cycles biogéochimiques [Paerl et Pinckney, 1996], en particulier ceux du carbone, de l'azote et du phosphore [Marxsen et Witzel, 1991 ; Chrost, 1991 ; Wetzel, 2001 ; Teissier *et al.*, 2002]. Certaines de leurs fonctionnalités (respiration aérobie, dénitrification), qui mettent en jeu des processus enzymatiques sous la dépendance de facteurs environnementaux (pH, température, lumière ...) et plus particulièrement des caractéristiques trophiques du milieu (disponibilité en nutriments, composition biochimique de la matière organique), produisent des composés gazeux (CO₂, CH₄, N₂) qui diffusent de la colonne d'eau vers l'atmosphère, diminuant ainsi la charge élémentaire du milieu aquatique. Ces processus biologiques caractérisent la capacité autoépuratrice réelle du système aquatique [Push *et al.*, 1998]. D'autre part, en assimilant la matière organique et les nutriments, les communautés bactériennes permettent un transfert de matière et d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs [Garnier et Lavandier, 1995] et remettent à disposition des producteurs primaires les nutriments sous formes minérales (PO₄⁻³, NH₄⁺ ...) [Bianchi, 1998]. Ainsi, l'étude de ces communautés constitue un bon moyen d'évaluer les dysfonctionnements d'un hydrosystème soumis à une perturbation [Madigou, 2005].

L'eau douce est essentielle pour la vie et a joué un rôle central dans le développement des civilisations humaines. Celles-ci ont été liées aux cours d'eau, lesquels, à leur tour, sont complètement interdépendants avec les paysages dont ils font partie. En effet, les écosystèmes aquatiques et terrestres ne fonctionnent pas indépendamment l'un de l'autre [Omernik & Bailey, 1997]. Cette interface terre-eau est très importante pour de nombreuses activités économiques et pour les fonctions écologiques des rivières. Étant donné que les cours d'eau sont fortement influencés par la géologie, la végétation et la physiographie de la vallée où ils se trouvent, les activités humaines qui modifient la nature des sols et les voies hydrologiques, affectent inévitablement cette interface terre-eau [Schlosser, 1991]. Par conséquent, toutes les modifications climatiques ou géologiques, sur la végétation ou sur l'usage du sol et de l'eau, auront des effets directs sur la biocénose aquatique [Schlosser, 1991; Cooper *et al.*, 1998].

Les cours d'eau, ainsi que leurs corridors, sont parmi les écosystèmes les plus complexes et dynamiques [Dynesius & Nilsson, 1994]. Ils jouent des rôles essentiels dans la conservation de la biodiversité, dans le fonctionnement des organismes et dans les cycles de matière organique. Les réseaux hydrographiques du monde entier ont été plus ou moins modifiés par les humains [Everard & Powell, 2002]. En Europe, la plupart des cours d'eau ont souffert des effets anthropiques depuis le Néolithique [Bravard & Petts, 1993], comme par exemple : la régression d'espèces, la diminution des stocks de poissons, l'épuisement des eaux souterraines, la dégradation de la qualité de l'eau et des crues de plus en plus fréquentes et intenses [Poff *et al.*, 1997]. L'impact humain sur les cours d'eau peut varier selon des échelles spatiales et temporelles selon lesquelles les activités humaines peuvent affecter l'environnement.

En effet, les modifications de la morphologie des rivières, leurs usages et leurs propriétés physico-chimiques auront des conséquences sur la quantité et la qualité de l'eau [Cowx & Collares-Pereira, 2002].

La pollution ponctuelle est le résultat des rejets non traités. Elle est, la plupart du temps, associée aux industries, villes, exploitations agricoles ou élevages, rejetant une grande variété de produits chimiques dont beaucoup sont toxiques pour la faune, voire les humains. En général, les rejets sont identifiables, ce qui facilite leur contrôle. Malgré cela, des accidents peuvent causer des pollutions aiguës qui entraînent une perturbation momentanée du fleuve causée par exemple lors du changement de fabrication dans une usine ou par des rejets toxiques [Arrignon, 1998]. Les accidents peuvent avoir des effets catastrophiques mais d'après Bravard & Petts [1993] les conséquences dramatiques d'événements exceptionnels ne doivent pas occulter les accidents moins sévères mais plus fréquents qui peuvent produire des impacts plus graves à moyen et long terme. De tels accidents sont dus à des défaillances de systèmes de contrôle aux points de rejets, à des fuites, à des débordements ou même à des rejets délibérés des déchets industriels, domestiques ou agricoles.

La pression humaine sur les écosystèmes d'eau douce a été longtemps identifiée [Welcomme, 1983], pourtant, elle a été en grande partie négligée [Dynesius & Nilsson, 1994]. Etant donné qu'une qualité moindre de l'eau est indésirable pour la société, des normes de qualité ont été mises en place pour améliorer la qualité de l'eau potable, ainsi que de l'eau pour l'agriculture, pour l'industrie et pour le loisir [Hart *et al.*, 1999].

L'influence humaine sur les rivières, notamment les cours d'eau, dépend de l'hétérogénéité des régions. Une même activité peut avoir lieu dans plusieurs régions, mais la sévérité, la fréquence, et l'intensité de son influence sur les cours d'eau peuvent varier considérablement d'une région à l'autre. Par exemple, d'après Resh *et al.* [1988], les eaux d'égouts, les effluents industriels, le déboisement et la construction de barrages sont les activités les plus nocives pour les cours d'eau. Dans le piémont, l'urbanisation, la chenalisation, l'agriculture, le déboisement, le pâturage et la construction des routes et des barrages sont les perturbations principales pour les cours d'eau. En revanche, une anthropisation soutenue, telle que l'agriculture intense ou la pollution organique, peut changer durablement les communautés biotiques.

L'intervention humaine sur le débit naturel d'une rivière implique des changements dans la durée, l'amplitude, la fréquence et la forme de l'écoulement [Poff *et al.*, 1997; Puckridge *et al.*, 1998]. L'utilisation d'un débit est contrôlée par un grand nombre d'activités, telles que la production d'électricité, l'irrigation, l'approvisionnement en eau domestique et le contrôle des inondations [Welcomme, 1983; Poff *et al.*, 1997]. Les retenues modifient le plus souvent le type d'écoulement des rivières : 46% de bassins dans le monde ont été fragmentés avec des barrages [Dynesius & Nilsson, 1994]. La construction de canaux pour l'irrigation est un autre facteur qui affecte le débit [Welcomme, 1983].

Le débit d'une rivière est fortement corrélé avec les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, la géomorphologie du canal et la diversité de l'habitat. Il joue le rôle de régulateur de la distribution et de l'abondance des espèces en transportant les sédiments fins et les débris organiques et en créant des nouveaux habitats à l'aval [Poff *et al.*, 1997]. Au moment où la charge de particules est excessive celles-ci sont déposées causant l'envasement des substrats. Au contraire, si la charge des sédiments est peu importante, des particules seront prises, causant l'érosion. Donc, la sédimentation et l'érosion forment un équilibre tout à fait naturel [Welcomme, 1983].

Le débit naturel est sujet aux cycles saisonniers mais les activités humaines peuvent soit les diminuer, soit les accroître [Decamps & Naiman, 1989; Dynesius & Nilsson, 1994].

D'autres travaux menés sur l'influence de la pollution sur la qualité de l'eau douce indique que la pollution ponctuelle est le résultat des rejets non traités. Elle est, la plupart du temps, associée aux industries, villes, exploitations agricoles ou

élevages, rejetant une grande variété de produits chimiques dont beaucoup sont toxiques pour la faune, voire les humains. En général, les rejets sont identifiables, ce qui facilite leur contrôle. Malgré cela, des accidents peuvent causer des pollutions aiguës qui entraînent une perturbation momentanée du fleuve causée par exemple lors du changement de fabrication dans une usine ou par des rejets toxiques [Arrignon, 1998]. Les accidents peuvent avoir des effets catastrophiques mais d'après Bravard & Petts [1993] les conséquences dramatiques peuvent produire des impacts plus graves à moyen et long terme. De tels accidents sont dus à des défaillances de systèmes de contrôle aux points de rejets, à des fuites ou même à des rejets délibérés des déchets industriels, domestiques ou agricoles. A différence de la pollution ponctuelle provenant des installations industrielles et des égouts, la pollution diffuse provient de sources diverses et difficiles à identifier.

L'usage du sol, notamment l'urbanisation, l'agriculture et les élevages, est mis en cause comme une des principales sources de pollution diffuse [Steedman, 1988; Allan *et al.*, 1997; Harding *et al.*, 1998]. En effet, des mauvaises pratiques agricoles, en particulier sur les pentes des bassins versants, mènent rapidement à des excès d'érosion et d'envasement dans les cours d'eau [Welcomme, 1983]. L'intensification des exploitations, particulièrement pour les céréales, demande de plus en plus d'engrais azotés ; selon Semhi *et al.* [2000], approximativement 85% des dépôts d'azote dans un bassin versant est lié aux activités agricoles. D'autres sources importantes de pollution diffuse sont le développement urbain [Peierls *et al.*, 1991] et par l'intermédiaire des rejets domestiques [Wang *et al.*, 2001].

Il est à souligner que la dégradation de la qualité de l'eau a des impacts majeurs sur les services environnementaux et sur leur valeur pour la société [Walmsley, 2002]. Les services environnementaux sont définis comme le potentiel d'un écosystème employé par les humains [Huetting *et al.*, 1998]. Par exemple, les services fournis par les cours d'eau sont : les cycles hydrologiques, le stockage et la conservation de l'eau, l'autoépuration, l'habitat pour la biodiversité, la production de nourriture, les zones de détente et loisir et d'autres utilisations culturelles et non commerciales [Constanza *et al.*, 1997; Wilzbach *et al.*, 1998].

Pourtant, arrêter la dégradation de la qualité physicochimique de l'eau n'assure pas forcément la restauration écologique souhaitée par la société [Karr *et al.*, 1986; Karr, 1998; Power, 1999]. En effet, compte tenu de la complexité des hydrosystèmes et des perturbations d'origine anthropique, les paramètres physiques ou chimiques habituellement utilisés pour évaluer la qualité des eaux ne suffisent pas à fournir des indications précises sur le fonctionnement écologique d'un hydrosystème [Lévêque, 1999].

Autrefois, pour l'analyse de l'eau et du sol, on s'attachait presque uniquement à doser des éléments naturels et à déterminer certaines caractéristiques de pollution organique. Puis, à la suite d'incidents de pollution, on s'est préoccupé des éléments toxiques d'origine minérale ; l'accroissement de l'utilisation des composés organiques de synthèse est venu compliquer le problème. Il est alors devenu

nécessaire de développer des méthodes analytiques de plus en plus sensibles et les limites de détection sont ainsi passées successivement du centigramme au milligramme puis au microgramme par litre. En même temps, s'est élaborée toute une technologie instrumentale dont les performances sont de plus en plus poussées [Rodier, 2005].

Mais pour restaurer n'importe quel écosystème, il faut d'abord le caractériser et l'identifier [Omernik, 1995; Allan & Johnson 1997; Bryce *et al.*, 1999].

Dans les pays du Maghreb, différents travaux scientifiques ont été réalisés sur les eaux et les sols des corridors et qui ont permis de donner plusieurs résultats pertinents. Les résultats obtenus par Bengherbia et collaborateurs en 2014 sur l'oued Beni Aza (Blida, Algérie), montrent que le cours d'eau est exposé à une forte pollution par la matière organique ainsi que par les germes fécaux. Dans une autre étude de l'Oued Hassar (Maroc) par Fouad et collaborateurs en 2014, a montré une pollution importante par la matière organique, le phosphore total et l'azote ammoniacal tandis que les métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Cu, Fe et Zn) sont dans les normes. Alors que, pour l'étude du bassin versant de Guigou (Maroc), Abboudi et ses collaborateurs ont trouvés en 2014 des concentrations faibles en métaux lourds témoignant la bonne qualité de ce cours d'eau.

Par ailleurs, Brahimi & Chafi ont mené en 2014, une étude sur les oueds Za Tizeghrane (Maroc) où ils ont trouvé une augmentation des teneurs en DBO₅, DCO, MES, NTK..., et une diminution des teneurs en oxygènes dissous, particulièrement en période de trituration d'olives. En outre Bouchelaghem et ses collaborateurs ont réalisés en 2014, une étude de la qualité chimique et microbiologique des eaux de l'oued Elkebir (Région d'El Tarf –Algérie-) qui s'est apparu de mauvaise qualité. Par ailleurs Touhtouh et ses collaborateurs ont étudié en 2014, trois types de sols du Sais (Maroc), et ont trouvés des teneurs faibles de la matière organique, une capacité d'échange cationique fortement liées à la fraction minérale, des valeurs moyenne du pH, des teneurs élevées en calcaire total.

En Algérie et plus exactement dans la haute vallée de la Medjerda, plusieurs études ont été réalisées sur le complexe eau-sol, à savoir celle de Guasmi en 2005 qui a permis de déduire une pollution des eaux de l'Oued Medjerda par les nitrites, les nitrates et par l'ammonium, ces mêmes résultats ont été prouvés par Athmani en 2007 où il a trouvés une forte concentrations des ions HCO₃⁻, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. En outre Chaabani & Dairi [2007], signalent une dégradation du milieu, c'est-à-dire des biotopes du barbeau fluviatile, sous l'effet probablement des rejets industriels, des déchets d'urbanisation et l'activité agricole au niveau de l'Oued Medjerda. Dans cette même année, Djelailia a montré une altération de la qualité des eaux de l'oued Medjerda par une forte présence des minéraux, de la matière organique et des germes fécaux, cette dernière observation a été confirmée par les travaux de Ghanem *et al.* [2008], qui ont trouvés une concentration importante en germes totaux et une présence des coliformes totaux, des Streptocoques, des Levures, des Moisissures et des Clostridium sulfito-réducteurs. Cependant l'étude des sols de la haute vallée ont été étudiés par Lias *et al.* [2007] qui ont trouvés une

teneur faible en matière organique, un pH neutre, une teneur élevée en carbonate, une porosité moyenne et une conductivité faible ainsi que par **Bendjide et al. [2010]** qui ont signalé une teneur faible en matière organique, en calcium et en magnésium, un pH légèrement alcalin, une conductivité faible, une humidité variable selon les saisons, une teneur élevée en carbonate.

C'est Dans cette optique que notre étude essaye d'apporter des réponses aux questions suivantes :

- Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques, texturales et granulométriques des sols de la haute vallée de la Medjerda?
- Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux courantes de la Medjerda?
- Existe-t-il une pollution dans l'Oued de Medjerda?
- Si elle existe cette pollution, ou elle se trouve et quels sont ses éléments et ses indicateurs?



***Chapitre 1 :
Matériels et
Méthode***

1. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE :

La région d'étude est située dans la partie Nord de l'Algérie dans le territoire de la wilaya de Souk-Ahras plus exactement dans la Medjerda, également orthographiée Medjerdah ou Majerda (مجردة), qui est un oued dont la source est située en Algérie et dont le lit est principalement sur le territoire de la Tunisie. Il se caractérise par un écoulement permanent sur l'ensemble de son cours, ce qui lui donne le profil d'un fleuve. Ce fleuve était appelé Bagrada dans l'Antiquité [Oueslati *et al.*, 2006].

1.1. HISTOIRE :

Ce rôle stratégique a poussé à la fondation des villes de Chemtou et Utique, mais aussi dans une moindre mesure Carthage et Tunis à proximité de la partie aval de l'oued. En effet, la proximité du fleuve a été recherchée depuis l'Antiquité. Ce dernier est connu des Romains sous le nom de Bagrada. C'est près de son golfe que Régulus, selon Pline l'Ancien [1959] et Aulu-Gelle [1886], aurait tué un serpent de 120 pieds de long.

Le golfe d'Utique, dans lequel l'oued se jetait, est formé durant la période postglaciaire, il y a environ 6 000 ans. Au fil du temps, les dépôts d'alluvions comblent progressivement la partie nord du golfe. La mer s'en retire progressivement à partir du Moyen Âge. La partie sud du golfe est quant à elle comblée plus récemment. Cette succession d'événements a été déduite de documents anciens et de traces archéologiques. De plus, des observations aériennes et satellites ont été utilisées afin d'analyser l'évolution du paysage durant les dernières années. La lagune de Ghar El Melh est le dernier vestige de ce qui était le golfe d'Utique [Antiquités africaines, 1995].

1.2. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE :

La wilaya de Souk-Ahras est située à l'extrémité Est de la zone tellienne. Géographiquement, elle est située à 77 Km de Guelma et à 100 Km d'Annaba. Au Nord, elle est bordée par la wilaya d'Annaba, à l'Est par la Tunisie, à l'Ouest par les wilayas de Guelma et au Sud par la wilaya de Tébessa [Figure 1] [DPAT, 2010].

La basse plaine de la Medjerda se situe au Nord Est de l'Algérie à 680 km à l'est d'Alger et à 100 km au sud d'Annaba et se range parmi les oueds de portée internationale, elle traverse le territoire de deux états : l'Algérie dans la partie haute du courant et la Tunisie dans ses parties moyennes et basses [Guasmi, 2005].

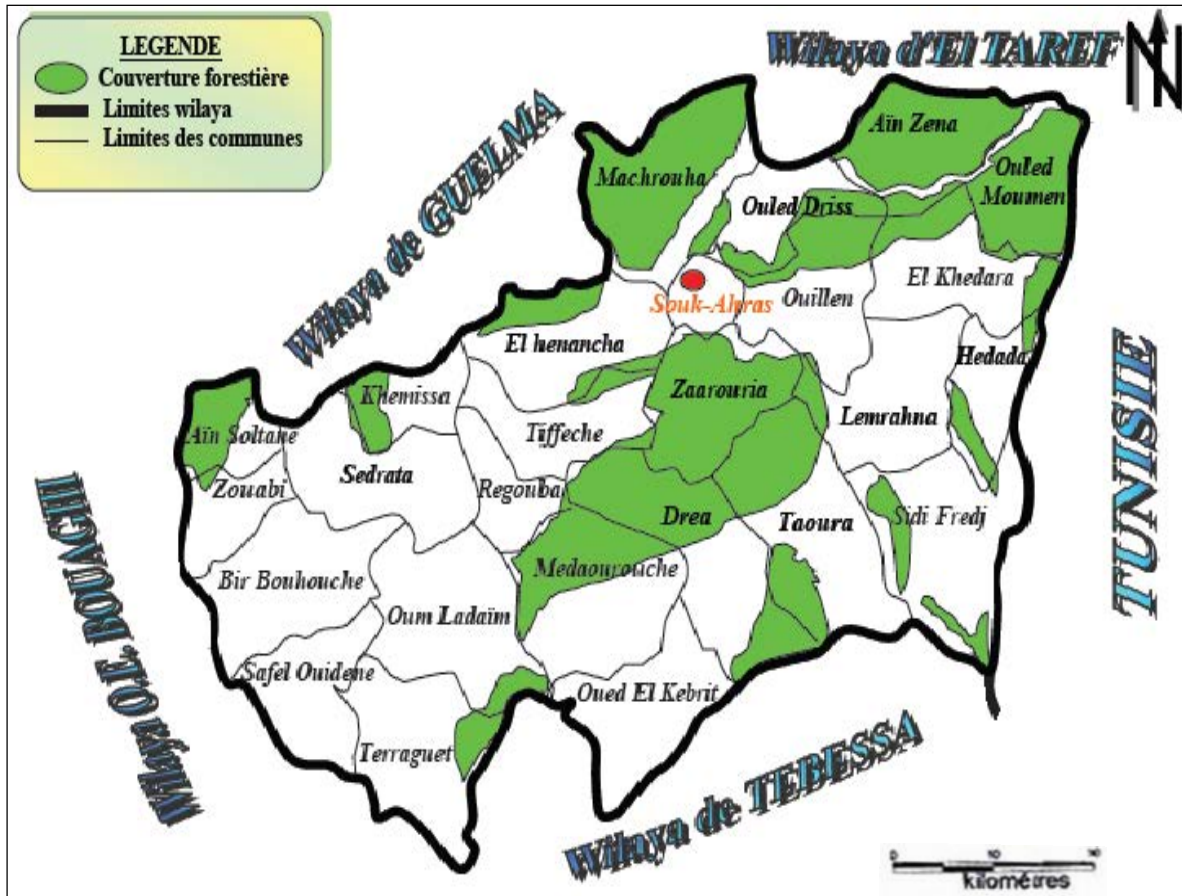


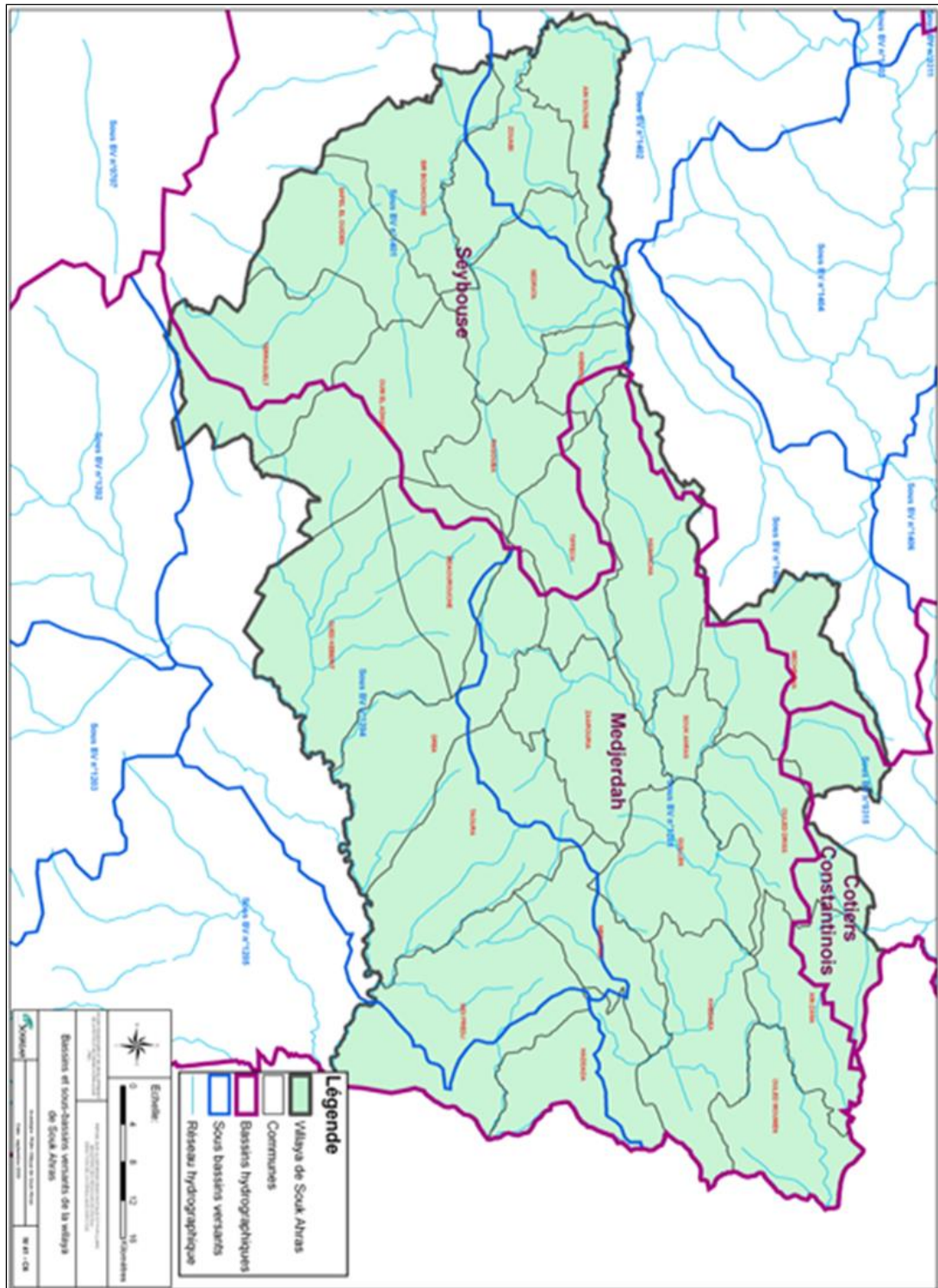
FIGURE 1 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA WILAYA DE SOUK AHRAS [Direction des forêts¹, 2012].

1.3. LES BASSINS VERSANTS DE LA REGION :

Le bassin Medjerda-Mellegue est limité au Nord par le bassin des côtiers Constantinois et au sud par le bassin du Sahara. Le bassin de Medjerda–Mellegue présente un chevelu hydrographique très ramifié, dense et hiérarchisé de plus de 4000 km, représenté par 47 oueds principaux dont la longueur dépasse 10 km [Figure 2] [ABH, 2005].

¹ Direction des forêts de la wilaya de Souk Ahras (Algérie)

FIGURE 2 : LES PRINCIPAUX BASSINS ET SOUS BASSINS DE LA WILAYA DE SOUK AHRAS [M. R. E., 2009]



1.4. LE BASSIN VERSANT DE L’OUED MEDJERDA :

Le sous bassin de l’oued Medjerda [Figure 3], appartenant au grand bassin du Medjerda-Mellegue, alimentant le barrage de Ain Dalia dont l’eau est destinée à l’alimentation en eau potable de la wilaya de Souk-Ahras et d’autres villes limitrophes tel que Guelma, Tébessa et Oum Elbouagui.

L’Oued de Medjerda est caractérisé par une longueur de 416 km, avec un bassin d’alimentation de 23700 km². Il est le plus important cours d’eau de la Berbérie orientale

[Gsell, 1913]. La frontière tunisienne limite les cours supérieurs et inférieurs de la rivière. A partir de son entrée dans la région triasique de Souk-Ahras. L'oued Medjerda s'enfoncé profondément dans les terrains tendres en décrivant un large demi-cercle convexe vers le Sud-Est [BNEDER, 1996].

L'oued de Medjerda passe de 1300 m à 220 m d'altitude sur une distance d'environ 1200 Km (pente de 9%) alors qu'il lui reste encore plus de 300 km à parcourir pour atteindre la mer au-delà de la plaine tunisienne [Figure 4] [BNEDER, 1996].

Medjerda est un oued, il prend sa source de Rass-El-Alia [BNEF, 1988] dans le Nord-Ouest de Souk-Ahras puis s'écoule vers l'Est, avant de se jeter dans la Mer Méditerranéenne " golf de Tunis". S'étendant sur plus de 416 km dont 106.16 km relevant de la wilaya de Souk-Ahras, il est important de souligner que le bassin versant complet de la Medjerda couvre 23700 km² dont 7600 km² en territoire Algérien [Athmani, 2008].



FIGURE 3 : LE BASSIN VERSANT DE LA MEDJERDA [ABH, 2001].

2. DONNEE GEOMORPHOLOGIQUE :

La majeure partie du bassin versant est représenté par une massif montagneux et ses contreforts avec des cotes allant de 450 à 900 m. En amont du bassin suivant les lignes de partage des eaux de certaine cotes vont jusqu'à 1000m et davantage. Citons à titre d'exemple le djebel de Derma haut de 1120 m, celui de Kelaya, 1286 m. et celui de Tebaga, 1227 m [BNEF, 1988].

Le bassin de l'amont du Medjerda et de ses affluents Chouk, Djedra est, pour la plupart, enherbé. On y retrouve des massifs boisés et broussailleux. Des terrains relativement plats du bassin et de terrasse fluviale sont défrichés et utilisés pour des ensemencements

de différentes cultures agricoles. D'importantes superficies de terres défrichées se trouvent dans le bassin du Renem [BNEDER, 1996].

La vallée de L'oued Medjerda est d'une forme géométrique semblable à la trapézoïdale, on y observe la présence basse terrasses. Les lits de l'oued et de ses affluents supérieurs s'inscrivent dans le massif montagnard et pré montagnard, il est abondant en bancs de sable et en affleurements rocheux. En aval de Souk Ahras, le lit du Medjerda a un caractère de sinuosités, de méandres ; il est constitué d'engravements et de dépôts de galets et gravier [BNEF, 1988].

3. DONNEE HYDROGRAPHIQUE :

Le réseau hydrographique de cette partie du bassin est constitué, a part du Medjerda, par ses principaux affluent de première importance, tels que Elchouk, Djedra, Berriche et Renem, ainsi que par plus d'une centaine de très petites rivières et de ruisseaux. Le réseau fluvial de cette partie du bassin est très développé [Figure 2 et 3]. Le coefficient de densité du réseau hydrographique varie suivant le bassin à partir de 1 jusqu'à 3,3 km/km² [ABH, 2001].

Depuis 1985, l'oued Medjerda est remarquable par la retenue Ain Dalia d'une capacité de 82 millions de m³, toujours en service et qui couronne une superficie du bassin versent égale à 193 km² [ABH, 2005].

Selon l'agence des bassins hydrographiques [2001], Medjerda a un débit irrégulier allant de 1 à 1000 m³/s en raison de l'affluence des oueds, qui ont un écoulement saisonnier. Les principaux oueds de ce bassin et dont la longueur dépasse les 10km sont :

- Oued Djedra avec une longueur de 12.64km, coule du Nord vers le Sud ;
- Oued el Bateum avec une longueur de 14.97km, coule du Sud vers le Nord ;
- Oued er Ranem avec une longueur de 12.46km, coule du Sud vers le Nord ;
- Oued er Roul avec une longueur de 11.48km, coule du Sud vers l'Est ;
- Oued Chouk avec une longueur de 12.34km, coule de l'Ouest vers l'Est ;
- Oued el Hammam avec une longueur de 30km, coule du Sud vers le Nord ;
- Oued Medjerda avec une longueur de 106.16km, coule de du Sud-ouest vers le Nord-est ;
- Oued S.Menndil avec une longueur de 11.09km, coule du Sud-est vers le Nord ;
- Oued el Berrich avec une longueur 15km, coule du Sud vers le Nord.

Le sous bassin de l'oued Medjerda couvre une superficie de 1411km². Les potentialités des nappes sont de l'ordre de 79 hm³/an, cependant les ressources superficielles sont de l'ordre de 57.31 hm³/an contrôlées par une pluviométrie moyenne de 812.20mm/an à Souk Ahras [ABH, 2005].

Dans sa partie algérienne, le bassin de la Medjerda compte cinq barrages dont le plus important est celui d'Ain Dalia qui se situe en amont de l'oued Medjerda avec une superficie de 193 km et une capacité de 82 million de m³, il représente la principale source d'alimentation en eau potable de la ville de Souk Ahras et d'autres villes limitrophes [DPAT, 2010].

L'étude du profil en long [Figure 4] de l'Oued Medjerda montre des ruptures de pente que l'on peut expliquer que par des seuils rocheux particulièrement résistants à l'érosion hydrique :

- La première importante rupture est observée à l'altitude de 800m ;

- La deuxième est observée à altitude de 700m, ou la pente est accentuée faisant accélérer l'écoulement et donnant naissance à un régime défavorisant l'infiltration.
- La troisième à l'altitude de 500m, qui se stabilise et donne l'occasion à l'eau de s'infiltrer.
- La quatrième à l'altitude de 300 m, qui est plus importante car elle s'étend sur une distance plus importante [Guasmi, 2005].

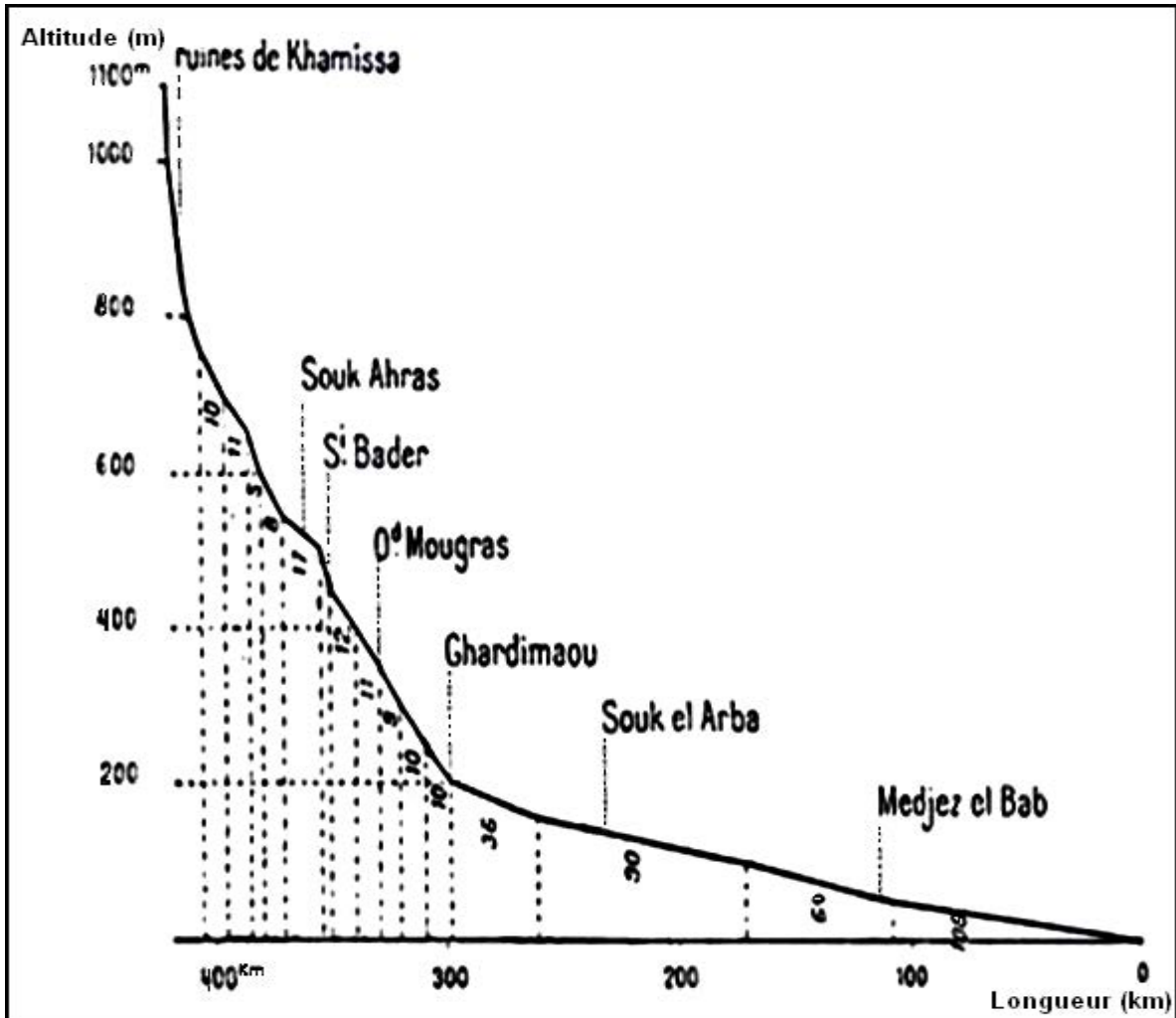


FIGURE 4 : PROFIL EN LONG DE L'OUED DE MEDJERDA [BNEF, 1988]

4. DONNEE HYDROLOGIQUE :

4.1. CARACTERISTIQUES MORPHO-METRIQUES :

Les principales caractéristiques morphométriques de l'oued Medjerda et de ses affluents sont résumés dans le [tableau 1](#).

TABLEAU 1 : LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DE L'OUED MEDJERDA ET DE SES AFFLUENTS

<i>L'oued (site)</i>	<i>Superficies (km²)</i>	<i>Longueur (Km)</i>	<i>Déclivité (%)</i>		<i>Densité (km/km²)</i>
			<i>Oued</i>	<i>Bassin Versant</i>	
Medjerda-Ain Dalia	193	37	-	-	-
Medjerda-souk-ahras	217	42	20	190	3.3
Medjerda-Outhia	563	53.6	-	-	-
Medjerda-la prise d'eau en aval de l'embouchure de l'oued Djedra	745	59.6	-	-	-
Medjerda-frontière avec tunisie.	1377	113.6	-	-	-
Chouk l'embouchure de l'oued kaia	256	30	15	97	-
L'oued Kaia-l'emboucheure	37	15.5	22	120	1.1
Djedra	249	63,3	30	367	1,6
Djedra-l'embochure	130	36.1	-	-	-
Berich-l'emboucheure	134	21.0	17.4	120	1.0
Renem	590	63,2	75,1	-	-
Medjerda- la prise d'eau en aval de l'emboucheure de l'oued Renem	1195				

[Direction de l'hydraulique², 2010].**4.2. PRINCIPALE SOURCE D'EAU DE LA REGION :**

Les caractéristiques hydrologiques des principales sources d'eaux de la région de Souk Ahras sont résumées si dessous :

TABLEAU 2 : PRESENTATION DES DIFFERENTS BARRAGES DE LA WILAYA DE SOUK AHRAS

<i>Barrage</i>	<i>Superficies (km²)</i>	<i>Hauteur (m)</i>	<i>N de la Crête (m)</i>	<i>Longueur de la crête (m)</i>	<i>Volume utile (Hm³)</i>	<i>Volume mort (Hm³)</i>	<i>Volume régularisé (Hm³)³</i>
Ain Dalia	193	40.60	715.050	300	73.4		45
Tiffech	41.55	13.5	875.50	656.00	3.90	0.23	2.60
Sidi fradj	30.1	20	593.0	312.0	1.48	0.40	1.50
Battom	46.25	18.00	611.0		1.17	0.434	1.305

[Direction de l'hydraulique, 2010].

² Direction de l'hydraulique de la wilaya de Souk Ahras (Algérie)

TABLEAU 3 : PRESENTATION DES PETITS BARRAGES DESTINES A L'IRRIGATION :

<i>Petit barrage</i>	<i>Site</i>	<i>Coordonn e</i>	<i>Destination</i>	<i>Hauteur de digne</i>	<i>Volume utile</i>	<i>Bassin versant</i>
Oued el bateun	Commune de Merahna	X : 988.15 Y : 337.55	Irrigation 150 ha	16	0.94	23.5
Koudiet baghbouch e	Commune de M'daourouch e	X : 957.5 Y : 317.55	Irrigation 50 ha	16		0.384
Oued sfa	Commune de Sedrata	X : 988.00 Y : 331.50	Irrigation 117 ha	18		0.928

[Direction de l'hydraulique, 2010].

TABLEAU 4 : PRINCIPALES NAPPES DE SOUK-AHRAS

<i>Nappe</i>	<i>Potentiel hydrique</i>	<i>Nombr e forage</i>	<i>Destination</i>
Taoura	250 l/s	16	À l'alimentation en eau potable des villes de S/A, Taoura, Merahna, Drea, Taarouiad, m'daourouch
Terreguelte	75 l/s	2	Destinés à l'A.E.P des communes de sedrata, zouabi et terrguelt.
Bassin sedrata- tiffech	15 l/s	2	Destinés à l'A.E.P de khemissa, Tiffech et ragouba.
Bassin sidi fradj	52 l/s	6	Destinés à l'A.E.P de Sidi fradj et la localité de Ouled Abbesse.
Bassin hedada khdara	58 l/s	6	Destinés à l'A.E.P de Heddada, Khedara et Ouled moumen.
D'autre source	36 l/s	Forage isole	Ain Zana , Ouled Driss et Bir bouhouche

[Direction de l'hydraulique, 2010].

5. LES DONNEES GEOLOGIQUES :

Louis David [1956], dans son étude géologique des monts de la haute Medjerda a mis en évidence que cette région est essentiellement caractérisée par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le trias jusqu'au quaternaire.

Le quaternaire couvre presque toute la feuille géologique couvrant la wilaya. Il se compose en général de formations continentales telles que les nappes d'épandage, les terrasses fluviales, des éboulis et des limons. Selon leurs caractéristiques, ces dépôts ont été classés en :

5.1. LES FORMATIONS ANCIENNES :

Dans cette catégorie, il est regroupé les nappes d'épandages, qui sont de formation caillouteuse reposant sur les marnes crétacées. Elles apparaissent au sud de M'daourouch jusqu'à la frontière tunisienne. On trouve aussi, la croute calcaire à l'extrémité sud de Taoura et Sud de Souk-Ahras.

5.2. LES FORMATIONS RECENTES :

Ces formations sont les cailloutis (se sont les formations quaternaires anciennes démantelées par l'érosion), les brèches et les alluvions.

Les premiers sont observés sur le versant Sud de djebel Guenguita, Zaarouria et djebel Ladjbel. Les alluvions, par contre sont remarquées dans les vallées des Oueds. Ces formations sont généralement dominées par des calcaires, des grès, des marnes, des cailloutis et des alluvions.

5.3. LES FORMATIONS ACTUELLES :

Ce sont les limons et les cailloutis qui proviennent du lessivage des marnes et transport des calcaires. Elles sont observées à l'extrême Est du périmètre (Ouest de Sakiet Sidi Youssef) et aux environs de Taoura et de M'daourouch.

Les travertins apparaissent, par contre, au Sud de Souk-Ahras et au Nord-ouest de djebel Dekma.

5.4. TERRASSE DE LA MEDJERDA :

Les terrasses sont des formations rares en ces régions où le régime d'oueds temporaires ne se prête guère à leur édification, seuls la Medjerda ainsi que son plus grand affluent de rive droite, l'oued El Ranem, présentant un système de terrasses étagées. Les autres oueds pérennes n'ont que des accumulations fluviales mal définies.

La cours supérieure de la rivière est composée de deux parties :

- entre la source et la traversée du massif triasique de Souk Ahras, c'est un véritable torrent à pente très raide (=très haute vallée) ;
- au-delà du massif triasique et jusqu'à la frontière, la pente est un peu plus faible et les terrasses sont nombreuses (=haute vallée).

5.4.1. LA TRES HAUTE VALLEE :

Nous pouvons seulement reconnaître :

- le lit actuel de la rivière
- une très basse terrasse de 3 à 5 m, conservée principalement dans les méandres et correspondant au lit majeur
- de rares lambeaux consolidés d'une haute terrasse située vers 50-60 m au minimum (exemple au sud du djebel Kelaia).

5.4.2. LA HAUTE VALLEE :

Après le massif triasique de Souk Ahras, sur toute la traversée de la feuille d'Oued Mougras, s'étagent plusieurs niveaux :

- a) **lit majeur** : la Medjerda coule dans un manteau d'alluvions qui domine de 1m à 2m le fond de son lit, qu'elle remanie constamment et que les crues recouvrent ;
- b) **basses terrasse** : situé à 8-10 m au dessus du fond du lit actuel, elle est bien représentée tout au long de la rivière ;
- c) **moyenne terrasse** : situé à 30-40m, elle est formée de cailloutis souvent consolidés et rubéfiés ; les sables sont bien lités et présentent un début de consolidation. Nette aux environs de Sidi Bader, elle se poursuit de part et d'autre du lit actuel jusqu'à la frontière ;
- d) **haute terrasse** : situé à 90-100 m au dessus de rivière ; son matériel est très rubéfié et consolidé en poudingues. Elle est localisée au sud du lit actuel et en amont de Khédara.

6. FAUNE ET FLORE :

La flore de la wilaya de Souk Ahras est représentée par deux grandes formations végétales, l'une au Nord de Oued Medjerda comprenant les forêts de chêne liège et de chêne zeen et l'autre au Sud la zone du pin d'Alep, dont la limite septentrionale est celle des terrains calcaires [Boudy, 1955].

Dans la plus part de ses forêts, le pin d'Alep forme l'étage dominant avec comme sous bois du chêne vert buissonnant mélangé à différentes espèces tels que *Rosmarinus officinalis*, *Stipa tenacissima*, *Artemisia herba alba*...etc. En descendant plus au sud apparaissent le Retem (*Retama raetam*) et le Genevrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*)

La faune de la Wilaya n'a pas fait l'objet d'études approfondies mis à part l'étude des Bulgares portant sur les espèces gibier en particulier le gibier à plume (Perdrix, pigeon ramier.....etc.) et à poil (le Lièvre et le Sanglier). Néanmoins nous pouvons citer un certain nombre d'espèces : Le cerf de barbarie, Le sanglier, Le chacal, Le renard, L'hyène, La mangouste, La genette, Le lynx caracal, Le serval, La loutre, Le Porc épic, Le Lièvre, La Belette, Mulet sylvestre, Le goundi.

Les travaux récents sur les oiseaux d'eau ont révélé le recensement de 14 familles représentées par 37 espèces inféodées aux principales zones humides de la Wilaya [Keraimia & Ghim, 2012] :

Allouette lulu *Lullula arborea*
 Cochevis de thékla *Galerida theklae*
 Traquet orreillard *Oenanthe hispanica*
 Traquet tarier *Saxicola rubetra*
 Perdrix gabra *Alectoris barbara*
 Coucou gris *Cuculus canorus*
 Huppe fasciée *Upupa epops*
 Pic de Levillant *Picus vaillantii*
 Torcol fourmilier *Jynx torquilla*

Cochevis huppé *Galerida cristata*
 Rossignol philomèle *Luscinia megarhynchos*
 Rougegorge familier *Erithacus rubecula*
 Rougequeue de Moussier *Phoenicurus moussieri*
 Merle noir *Turdus murela*
 Grive draine *Turdus viscivorus*
 Pigeon ramier *Columba palumbus*
 Hypolaïs plyglotte *Hippolais polyglotta*
 Fauvette grisette *Sylvia communis*
 Fauvette à tête noire *Sylvia atricapilla*
 Fauvette mélanocéphale *Sylvia melanocephala*
 Fauvette orphée *Sylvia hortensis*
 Fauvette passerinette *Sylvia cantillans*
 Tourterelle des bois *Streptopelia turtur*
 Pouillot de Bonelli *Phylloscopus bonelli*
 Pouillot véloce *Phylloscopus collybita*
 Roitelet triple-bandeau *Regulus ignicapilla*
 Gobemouche gris *Muscicapa striata*
 Gobemouche noir de l'Atlas *Ficedula hypoleuca speculigera*
 Mésange charbonnière *Parus major*
 Mésange bleue ultramarine *Cyanistes caeruleus ultramarinus*
 Grimpereau des jardins *Certhia brachydactyla*
 Troglodyte mignon *Troglodytes troglodytes*
 Pie-grièche à tête rousse *Lanius senator*
 Geai des chênes *Garrulus glandarius*
 Lorient d'Europe *Oriolus oriolus*
 Pinson des arbres *Fringilla coelebs*
 Serin cini *Serinus serinus*
 Linotte mélodieuse *Carduelis cannabina*
 Verdier d'Europe *Carduelis chloris*
 Grosbec casse-noyaux *Coccothraustes coccothraustes*
 Bruant proyer *Miliaria calandra*
 Bruant zizi *Emberiza cirrus*
 Pic epeiche *Dendrocopos major*
 Pic epeichette *Dendrocopos minor*
 Pic de levaiillant *Picus vaillantii*
 Grand corbeau *Corvus corax*
 Vautour fauve *Gyps fulvus*
 Buse féroce *Buteo rufinus*
 Buse variable *Buteo buteo*

Les autres peuplements aviens de même que le reste des autres taxons n'ont pas fait l'objet d'études ou de suivi. Mis à part un travail sur les invertébrés (Insectes) réalisé par **Bouacha, [2001]** au niveau de la forêt domaniale de Boumezrane (Commune de Ain Zana) et qui fait état de 124 espèces dont 106 sont identifiées et regroupées en 11 ordres.

7. RESSOURCE EN SOL :

7.1. TYPE DE SOL :

L'action combinée des facteurs lithologique, climatique et hydrologique a produit au fil du temps une diversité de sols sur le territoire de la wilaya de Souk Ahras. Suite à une étude Agro Pédologique réalisée en 1968 par l'ANRH³, une classification des sols au sein de cette wilaya a été établie comme suit :

- Les sols calcimagnésiques de différents sous types: bruns calcaires encroûtés, bruns calcaires xériques. Ils se localisent sur les hautes plaines du Centre et du Sud.
- Les sols isohumiques dans leur variance : marrons modaux, marrons à encroûtement calcaire. On les retrouve sur la bande Nord.
- Les sols peu évolués d'apport alluvial, non salins localisés le long des cours d'eau : Oued Mellègue, Oued Medjerda, Oued Hamimine, Oued Ghedrane, etc.
- Les sols peu évolués d'apport colluvial, non salins, en glacis, au bas de contre forts montagneux et des cuvettes.
- Les sols hydromorphes localisés en zones dépressionnaires de type merdja.
- Les sols minéraux bruts en reliefs.

7.2. OCCUPATION DU SOL :

L'occupation du sol du bassin versant de la Medjerda est représenté dans le tableau suivant :

TABLEAU 5 : TYPE D'OCCUPATION DU BASSIN VERSANT DE LA MEDJERDA

<i>Représentation</i>	<i>Occupation</i>	<i>Taux (%)</i>
Domaine forestier	Reboisement	0.60
	Maquis dense	10.66
	Maquis clair	12.02
	Erme	6.05
	D.R.S. sur maquis dense	1.23
Domaine agricole	Arboriculture fruitière	0.73
	Maraichage	0.90
	Culture annuelles et jachères	59
Terrains non occupés	Terrains nus	1
	Terrains rocheux	4.64
Occupations diverses	Surface inondable	2.36

³ Agence nationale des ressources hydriques.

<i>Représentation</i>	<i>Occupation</i>	<i>Taux (%)</i>
	Agglomération	0.44
	Mare	0.05
	Site romain (ruines)	0.32
Total		100

[BNEF, 1987].

8. DONNEE SOCIOECONOMIQUE :

La population de la wilaya de souk Ahras enregistre aux trois derniers recensements une augmentation de 293 644 en 1987 à 368 406 en 1998 et de 438 127 en 2002.

On constate une forte concentration de la population au niveau du chef-lieu de Wilaya avec une densité de 3 469 Habitants par Km², alors que la wilaya dans son ensemble ne présente que 104 Habitants par Km². En général, la population est concentrée au niveau des anciennes communes et à caractère urbain telles que : Souk-Ahras (3 469 Hab/Km²), Sedrata (155 Hab/Km²) et M'Daourouch (268 Hab/Km²).

Concernant la répartition de la population, elle est composée de:

- Agglomérations chef-lieu des communes : 318 683 Habitants soit 70.26 % de la population totale.
- Agglomération secondaire : 24 440 Habitants soit 5.38 % de la population totale.
- Zone éparsée : 110 911 Habitants soit 24.35 % de la population totale.

La population de la zone d'étude dépasse les 120000 habitants et elle est localisée essentiellement au niveau de la commune de Souk Ahras (chef lieu de wilaya) [Dalichaouch, 2012].

La région d'étude se caractérise par des activités agricoles et industrielles importantes. L'agriculture est pratiquée sur l'ensemble de la plaine. Elle présente une très grande variété de cultures, entre autre céréalière, maraîchère et arboricole. L'irrigation est mixte, tantôt traditionnelle « Gravitaire » et tantôt moderne « aspersion » [Athmani, 2008].

Le tissu industriel qui forme la région hydrographique est concentré autour des grandes agglomérations, il englobe essentiellement le nord du bassin de la Medjerda et occupe une superficie de 49 ha [ABH, 2001].

Ce tissu industriel se répartit de la manière suivante :

- SECTEUR PUBLIC :

TABLEAU 6 : CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DES ENTREPRISES SU SECTEUR PUBLIC DANS LA WILAYA DE SOUK AHRAS.

<i>ENTREPRISE</i>	<i>UNITE</i>	<i>LOCALISATIO</i>	<i>PRODUCTIO</i>
ENAP (Souk Ahras)	Unité de production de souk- ahras	Souk-Ahras	27979 T

<i>ENTREPRISE</i>	<i>UNITE</i>	<i>LOCALISATIO</i>	<i>PRODUCTIO</i>
La lainière de souk Ahras LASA		Souk-Ahras	1 064619 ML

[Dalichaouch, 2012].

- SECTEUR PRIVEE :

TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DES ENTREPRISES SU SECTEUR PRIVEE DANS LA WILAYA DE SOUK AHRAS.

<i>ENTREPRISE</i>	<i>LOCALISAT</i>	<i>CAPACITE</i>	<i>PRODUCTION</i>
SARL Verrerie de l'est	Souk-Ahras	28 055 640 pièces	Verres à thé à eau, cendriers ramequins
SNC Laiterie HAMMADA	Souk-Ahras	5000 L/J	Lait pasteurisé, Leben lait de vache pasteurisé
SARL KALAM	Souk-Ahras	5000000 Pièces/An	Stylo et traçage
EURL minoterie EL-HILAL	Souk-Ahras	117761 Qx	Farine, Semoule
EURL minoterie MROUA SANABEL	Sedrata	91 741 Qx	Farine
SARL les grands moulins BELGHITH	M'Daourouch	131 300 T	Farine, semoule
ESS MANSOURI Complexe Algérien De papeterie	Sedrata	30.000.000 Cahiers/An	Cahiers registre ramettes
SARL Massyl construction	Sedrata	Charpente: 1800T Charpente métallique+ Chaudronnerie	Construction industrielle: hangars, petits matériels agricole.

[Dalichaouch, 2012].

9. SOURCES DE POLLUTIONS DANS LA REGION :

La pollution des eaux et des sols d'oued Medjerda peut avoir de multiples origines [Figure 5]. Qu'il s'agisse des pollutions domestiques et urbaines, industrielles ou agricoles :



FIGURE 5 : SOURCE DE POLLUTION POUR LES COURS D'EAUX

9.1. POLLUTION D'ORIGINE AGRICOLE :

L'activité agricole constitue la première cause de pollution diffuse des ressources en eau dans notre région. L'intensification des cultures et les recours à certaines pratiques culturales, combinés à une utilisation excessive d'engrais et de pesticides, ont engendré une dégradation des sols et ont augmenté le phénomène d'érosion et de transport vers le cours d'eau de divers contaminants [Athmani, 2008].

9.2. POLLUTION D'ORIGINE INDUSTRIELLE :

Les unités industrielles dans notre wilaya sont surtout implantées au niveau des grandes agglomérations, à travers lesquels elles propagent leurs pollutions dans le milieu environnant. Parmi les plus importantes sources industrielles de pollution, on trouve : l'ENAP, l'ELATEX, l'usine de stylo, le complexe avicole à Souk Ahras, la SONITEX à Meskiana, le gisement de fer à el Ouenza et Boukharda.

Ces établissements industriels ont des productions très diverses (peintures, vêtements, pâte à papier, produits chimiques...) rejettent plusieurs types d'eaux usées suivant le mode d'utilisation de l'eau au cours du processus industriel sans oublier les huiles et les graisses des stations de lavage des véhicules et des stations d'essence [Athmani, 2008]. Selon Hebert & Légaré [2000], les eaux polluées peuvent avoir plusieurs source tel que :

- Les eaux de procédés qui sont les plus souvent contaminées puis qu'elles entrent dans le processus de fabrication même ;
- Les eaux de refroidissement peu ou moins contaminées ;

- Les eaux sanitaires et parfois les eaux pluviales ;
- Selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :
 - Des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires...);
 - Des hydrocarbures (station de lavage, station d'essence, industries pétrolières, transports...);
 - Des métaux (traitement de surface, métallurgie...);
 - Des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...);
 - Des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques).

9.3. POLLUTION D'ORIGINE URBAINE :

Les sources de pollution urbaines sont essentiellement les effluents des usines d'épuration, les émissaires pluviaux ou encore les émissaires de débordement des réseaux d'égouts. La pollution diffuse urbaine qui provient du ruissèlement de surface, se trouve en très grande partie canalisée et rejetée au cours d'eau de façon ponctuelle. Le volume total d'eau potable consommée en l'an 2025 serait de l'ordre de 26 hm³/an ce qui engendrera un volume d'eau usées de l'ordre de 21 hm³/an [Remini, 2010].

Quatre types de réseaux de collecte peuvent exister dans le sous sol :

- Le réseau pluvial qui ne transporte que les eaux de ruissellement de surface vers les cours d'eau ;
- Le réseau d'égouts unitaire qui transporte un mélange des eaux usées domestiques et des eaux pluviales ;
- Le réseau pseudo séparatif dans lequel les eaux usées domestiques se mélange aux eaux pluviales en provenance des drains de toiture et des drains de fondation ;
- Le réseau d'égout sanitaire, qui ne transporte que les eaux usées domestiques [Hebert & Légaré, 2000].

10. SOURCES DE DEPOLLUTION :

10.1. STATION D'EPURATION :

Deux importantes agglomérations du bassin sont dotées d'un système d'épuration. Le centre de Souk Ahras est équipé d'une station d'épuration d'une capacité égale à 30000m³/j. Huit agglomérations possèdent des Bassins de décantation (15 au total), qui sont souvent saturés et mal entretenus dont onze bassins de décantation pour six agglomérations dans la Wilaya de Souk Ahras [DPAT, 2010].

10.2. STATION DE TRAITEMENT DES EAUX USEES :

En aval du chef lieu de wilaya, et sur la route de Taoura se trouve une station de traitement des eaux usées d'une capacité de 30000 m³/j [DPAT, 2010].

11. DONNEES CLIMATIQUES⁴ :

La wilaya de Souk-Ahras se caractérise par un climat méditerranéen : subhumide au nord et semi-aride au Sud. Les températures varient selon les saisons (jusqu'à 10 °C en janvier et 45°C en août). Les températures moyennes sont de 7.9°C en janvier et 27.6°C en juillet. Le climat de la wilaya de Souk Ahras est un climat chaud et sec en été et froid en hiver. La partie extrême sud de la wilaya à un climat aride.

11.1. LES PRECIPITATIONS :

La pluie est un facteur climatique très important, conditionnant l'écoulement saisonnier, et influençant directement sur le régime des cours d'eau, ainsi que celui des nappes aquifères. Nous allons nous intéresser aux valeurs des précipitations mensuelles prélevées au niveau de la station météorologique de Souk Ahras :

11.1.1. LES PRECIPITATIONS MENSUELLES ET REGIME SAISONNIER :

Les précipitations maximales sont de l'ordre de 244.4 mm durant le mois d'Avril 2009 par contre les précipitations minimales sont de celle de juin 2009 avec une valeur nul. Durant l'année 2009 on a enregistré une précipitation très importante de l'ordre de 1180,4 mm [Figure 6].

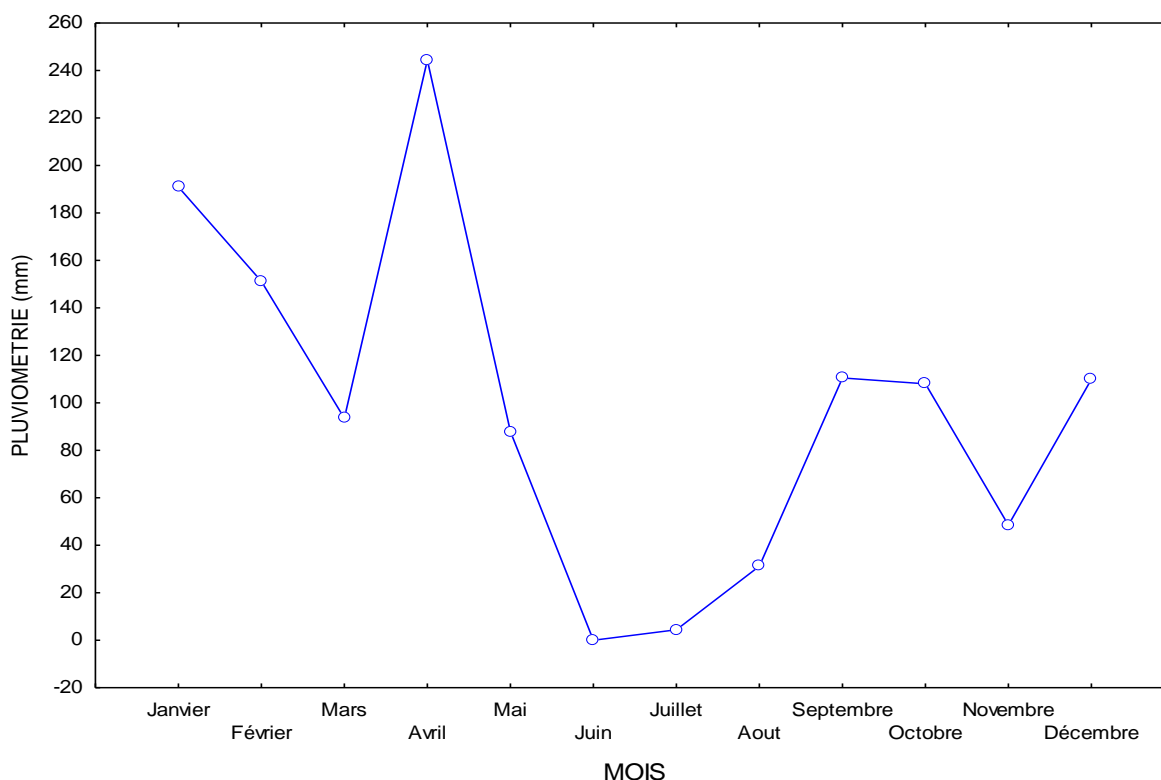


FIGURE 6: VARIATION DE LA PRECIPITATION DURANT LA PERIODE D'ETUDE.

⁴ Toutes les données climatiques ont été relevées de la Station météorologique de Souk Ahras.

11.2. LES TEMPERATURES ET LE REGIME THERMIQUE :

Les températures ont des interactions avec les autres facteurs météorologiques (précipitation, humidité, vent) sur la concentration des différents anions et cations dans les eaux superficielles. Les températures mensuelles extrêmes, moyennes sont exprimées dans la [figure 7](#).

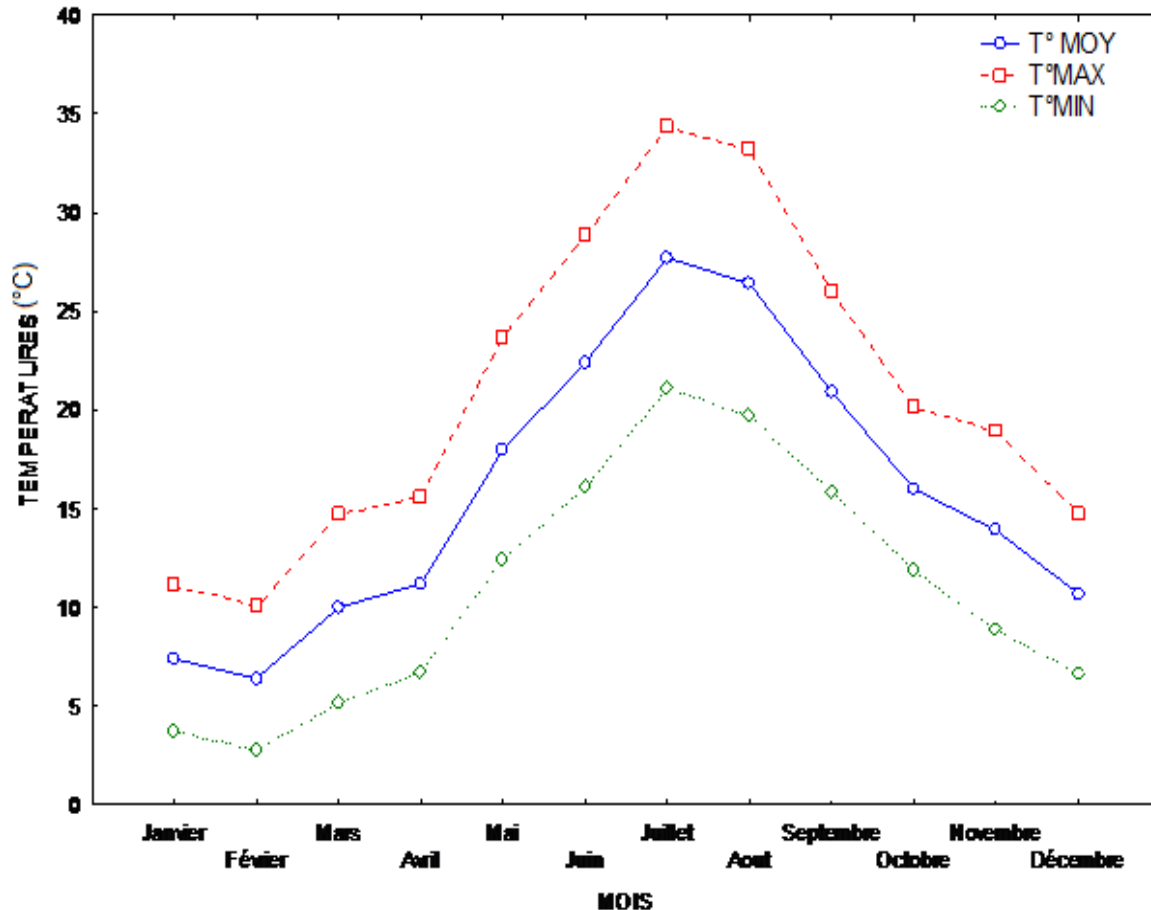


FIGURE 7 : TEMPERATURE MENSUELLE DE LA REGION D'ETUDE.

11.3. LE RYTHME CLIMATIQUE :

Bagnouls et Gausson [In Stewart, 1969] ont établi des diagrammes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule $P. = 2 T ^\circ C$; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Le rythme climatique est résumé graphiquement par la combinaison des deux facteurs : la température et la précipitation tout en établissant un diagrammes pluviométriques ou $p=2T$

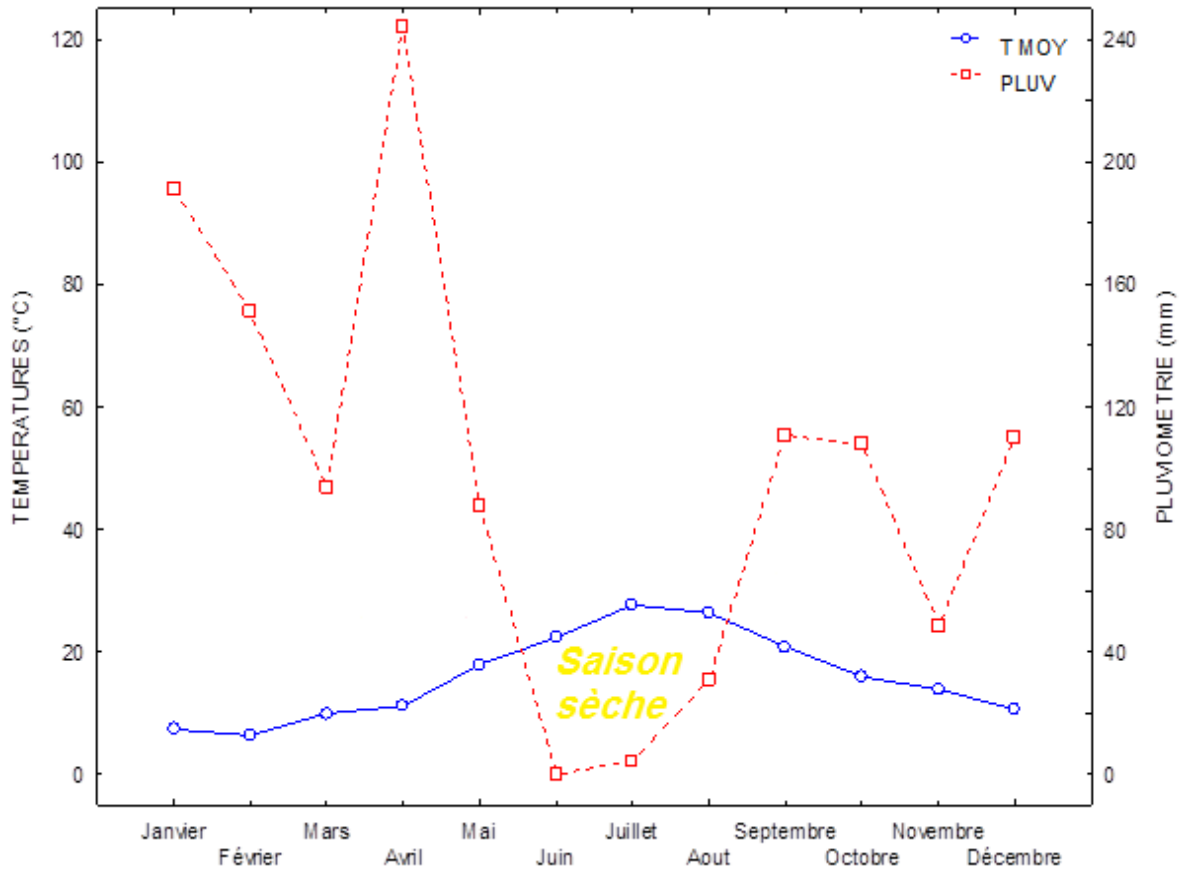


FIGURE 8 : DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA PERIODE D'ETUDE

D'après le graphe la période sèche s'étale de la fin du mois de Mai jusqu'au début du mois d'Aout.

11.4. L'HUMIDITE :

L'humidité est un facteur qui conditionne l'évaporation, la sécheresse, le développement des cultures et l'écoulement de l'eau. L'humidité relative moyenne mensuelle de l'air durant la période d'étude est résumée dans la [figure 9](#).

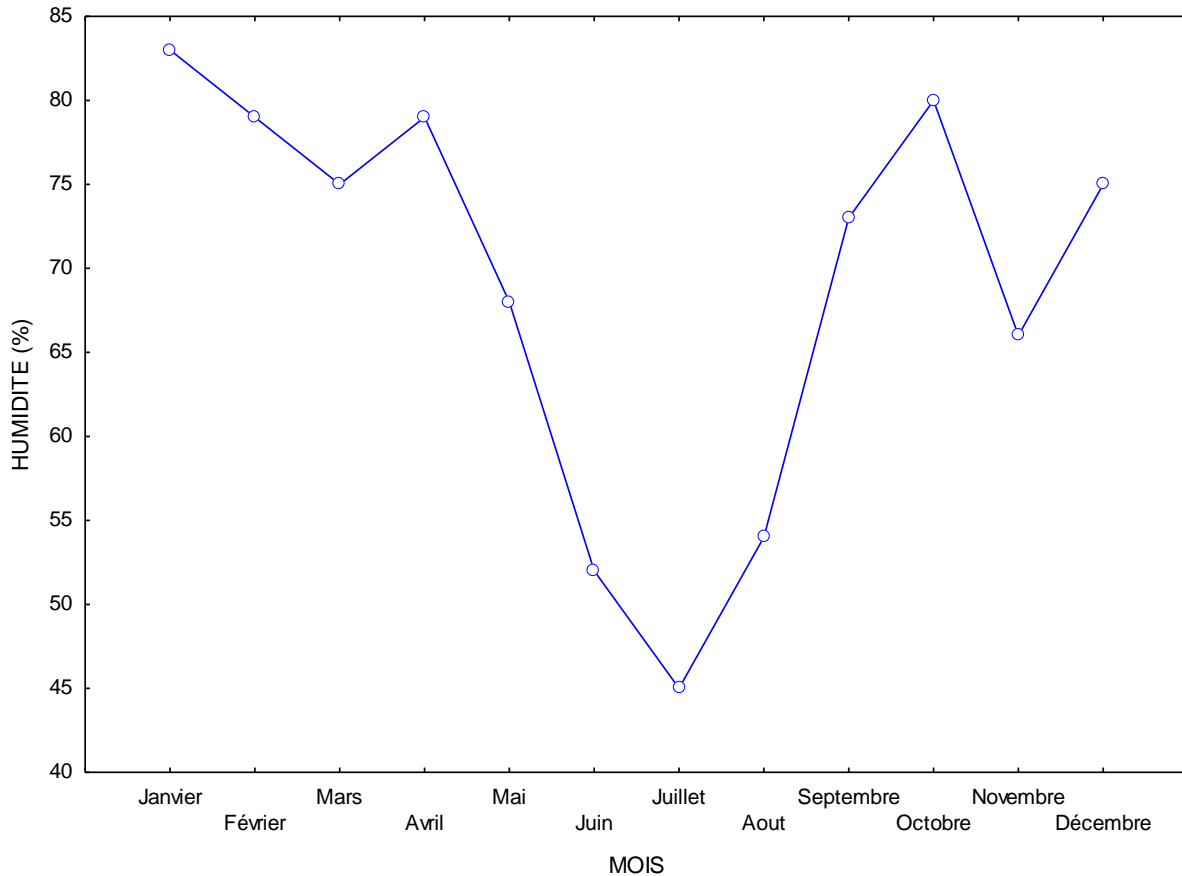


FIGURE 9 : L'HUMIDITE RELATIVE MOYENNE MENSUELLE DE L'AIR DURANT LA PERIODE D'ETUDE.

11.5. LES VENTS :

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants du régime pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'une manière générale, dans notre région d'étude et en période hivernale, se sont les vents du sud et du Sud-est qui domine.

On distingue trois types de vents :

- Les vents dominants : ils sont de direction Nord-ouest, leur activité se manifeste pendant la période pluvieuse.
- les siroccos : ces vent soufflent en été, ils sont secs, chauds et souvent assez forts, favorisent ainsi l'évaporation, ils sont de direction Sud-est.
- Les vents violent : localisé avec nuages et tonnerres.

La vitesse moyenne mensuelle du vent est mentionnée dans la [figure 10](#)

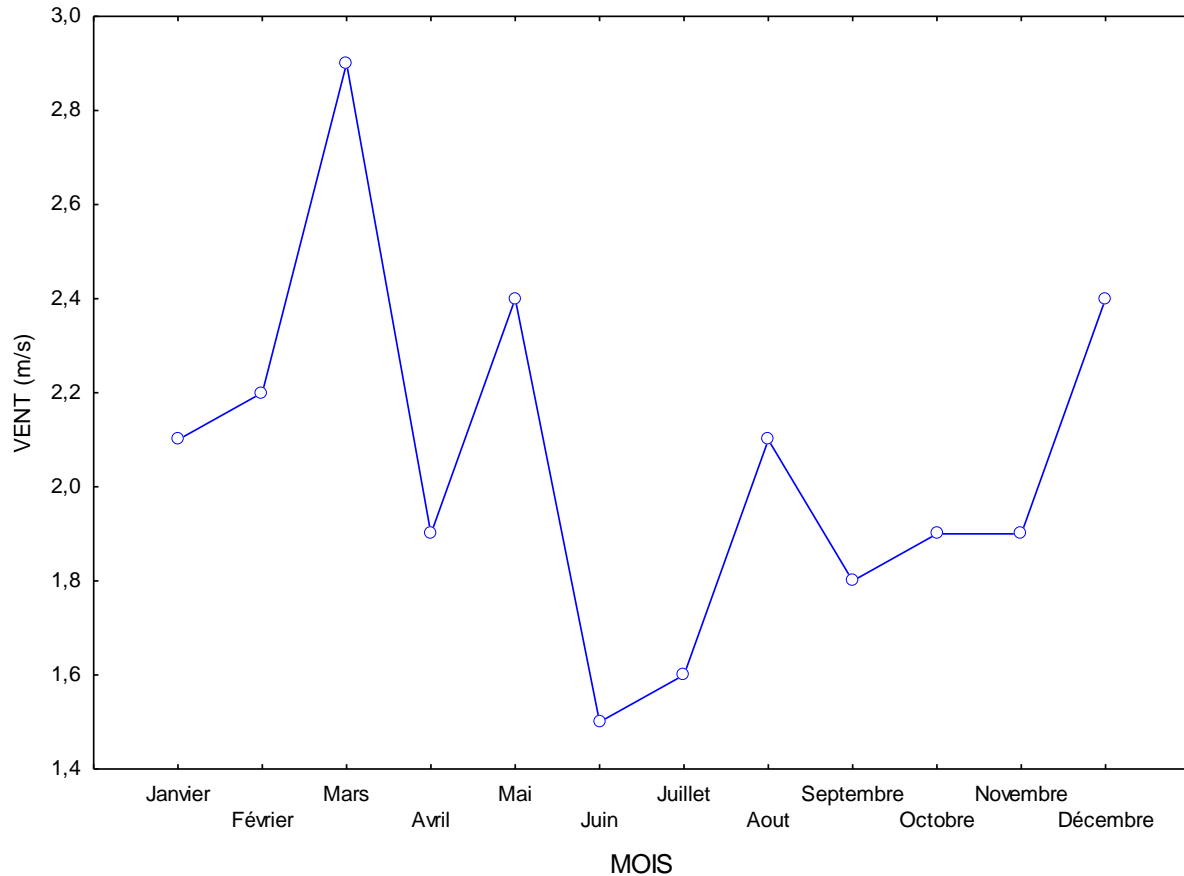


FIGURE 10 : VARIATION DE LA VITESSE MOYENNE DES VENTS DURANT LA PERIODE D'ETUDE.

12. OBJECTIFS ET ECHANTILLONNAGE :

12.1. OBJECTIF DE L'ETUDE :

L'objectif principal de notre étude est la caractérisation des eaux et des sols de la haute vallée de la Medjerda. Cet objectif peut être atteint par l'étude des points suivants :

- L'étude de la qualité de l'eau par l'analyse des paramètres physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques des eaux d'oued Medjerda ;
- L'étude de la qualité du sol par l'analyse de la texture et l'étude des différents paramètres physico-chimiques et biochimiques des sols des lits d'oued Medjerda ;
- Recherche d'une probable variation spatiale entre les différents sites étudiés ;
- Recherche d'une probable variation temporaire entre les deux saisons étudiées ;
- Recherche des polluants et l'identification des sources de pollution si c'est possible.

12.2. PLAN D'ECHANTILLONNAGE ET CHOIX DES STATIONS :

Le choix des sites d'échantillonnages a été établi selon un plan fondé sur la recherche des sites les plus pollués et afin que ce choix soit logique, représentatif et justifié, nous avons optés pour l'hypothèse de la diversité des sources de pollution de ce cours d'eau,

c'est pour cette raison que nous avons choisi 02 principaux sites ; l'un en amont du chef lieu de wilaya de Souk Ahras et l'autre en aval qui sont respectivement les sites 1 et 6. Les autres sites ont été choisis en aval de chaque source de pollution probable : Le site 2 est situé en aval d'une région urbaine moyennement dense, par contre les sites 3 (en aval de la cité Zaarouria), 4 (en aval de la cité 108) et 5 (en aval de la cité hospitalière) se trouvent dans des zones urbaines particulièrement denses [Figure 11]. Les données GPS des 6 sites d'échantillonnage sont résumées dans le tableau suivant :

TABLEAU 8 : DONNEES GPS DES SITES D'ECHANTILLONNAGES.

<i>les sites</i>	<i>Position nord</i>	<i>Position est</i>	Altitude
Site 1	36°.16.199	7°.53.682	515m
Site 2	36°.14.853	7°.56.883	495m
Site 3	36°.15.544	7°.58.647	465m
Site 4	36°.16.202	7°.59.827	463m
Site 5	36°.16.224	8°.00.332	460m
Site 6	36°.16.972	8°.00.807	441m



FIGURE 11 : DONNEES CARTOGRAPHIQUES DE LA REGION D'ETUDES.

12.3. PERIODE DE PRELEVEMENT:

Afin de mettre en évidence les principales caractéristiques physico-chimiques, biochimiques et microbiologiques des eaux et des sols de la haute vallée de la Medjerda durant les différentes saisons humide et sèche de l'année 2009 deux prélèvements ont été effectués :

Le premier durant la fin de la période humide c'est-à-dire dans le mois d'avril (02 avril 2009).

Le deuxième durant la fin de la période sèche c'est-à-dire dans le mois de septembre (03 septembre 2009).

12.4. LE TRAITEMENT DES ECHANTILLONS ET LES BESOINS ANALYTIQUES :

La préparation, le traitement et l'analyse des différents paramètres ont été réalisés au niveau des laboratoires de l'Algérienne des eaux "A.D.E", des laboratoires de biologie et de chimie de l'université de Souk Ahras, du laboratoire de biologie végétale de l'université de Annaba et des laboratoires de chimie de l'université de Jijel.

12.5. L'ECHANTILLONNAGE :

L'échantillonnage d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin a été adapté, il conditionne la fiabilité de nos résultats analytiques et l'interprétation qui en sera décelée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc). Il est donc nécessaire de mettre en place tous les moyens nécessaires, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable. Il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire [Rodier *et al*, 2005].

12.5.1. NETTOYAGE DES RECIPIENTS :

Les flacons destinés au prélèvement pour l'analyse des éléments minéraux ont été traités à l'acide nitrique environ 1N, puis rincés abondamment, égouttés, fermés mais non séchés car le maintien d'une atmosphère humide permet, par rinçage du flacon au moment du prélèvement, d'éliminer une contamination éventuelle du flacon.

Pour les flacons destinés à l'analyse physico-chimique, on ajoute 0,1ml d'une solution de thiosulfate de sodium pentahydraté pour chaque 100ml contenu dans le flacon. Ceci neutralisera au minimum 2mg/l et jusqu'à 5mg/l de chlore libre, en fonction des dynamique de neutralisation, ce qui est suffisant pour la majorité des échantillons.

12.5.2. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS :

Les échantillons d'eau superficielle ont été collectés en même temps que les relevés biologiques, aux mêmes emplacements et aux mêmes dates de prélèvements. Les eaux de surface ont été collectées dans des flacons en polyéthylène de 2 litres pour l'analyse

physico-chimique et dans des flacons en verre emballé stérile de 500 ml pour l'analyse microbiologiques selon la procédure standard préconisée [Le Pimpec *et al.* 2002].

Les bouteilles ont été plongées à une certaine distance de la surface (10 cm), assez loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous, en évitant la remise en suspension des dépôts et en tenant compte de la dilution, des débits, et de la vitesse des courants tout en respectant le protocole suivant :

- Se désinfecter les mains.
- les flacons ont été rincés 3 fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord.
- les bouchons ont été placés de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.
- Inscrire sur le flacon et sur la fiche toutes les informations concernant le prélèvement (site, lieu, date, heure, éventuels problèmes rencontrés...).

Ensuite ils ont été conservés dans une glacière à une température approximative de 4°C et retournés au laboratoire pour subir les analyses appropriées 4 heures après les prélèvements selon les normes **AFNOR NF T90-420**.

Les échantillons de sol ont été collectés en même temps que les relevés biologiques, aux mêmes emplacements et aux mêmes dates de prélèvements. Pour chaque site un profil a été réalisé à l'aide d'une tarière puis a fait l'objet d'une description morphologique. Le prélèvement des échantillons de sol a concerné la couche superficielle de 0 à 25cm de profondeur. Sachant que chaque échantillon est composé d'un mélange de trois prélèvements réalisés dans un cercle de 15 m de rayon. Les sols ont été collectés dans des sachets en plastique spéciale, conservés dans une glacière à une température approximative de 4°C et retournés au laboratoire pour subir les analyses appropriées 4 heures après les prélèvements.

12.5.3. TRAITEMENT ET CONSERVATION DES ECHANTILLONS:

A leurs retours au laboratoire, Les échantillons d'eau ont été filtrés par un système de filtration sur membranes de 0.45µm de diamètre des pores.

Les prélèvements destinés à l'analyse de métaux lourds, ont été filtrés puis on a ajouté de l'acide nitrique de très grande pureté (98%) jusqu'à un pH < 2. L'acidification a été utilisée pour la conservation de l'échantillon filtré et pour éviter la précipitation, empêcher la croissance des bactéries et l'adsorption sur les parois, etc. et également pour la stabilisation de certaines espèces chimiques. L'addition de ces agents ne modifie pas la nature chimique ou physique des composants; elle peut solubiliser certains constituants Colloïdaux ou solides [Entente Canada, 1994].

Concernant les échantillons destinés à la détermination des paramètres chimiques et physico-chimiques, nous n'avons rien ajouté.

Les échantillons du sol, dès leur arrivés au laboratoire doivent subir les étapes suivantes selon les protocoles **NF ISO11-464** :

- L'élimination des débris des végétaux.

- L'émiettement des mottes, pour diminuer leur taille et les rendre les plus petites que possible.
- Le séchage à l'air libre de 3 à 8 jours, selon les conditions ambiantes.
- La réduction des agrégats à l'aide d'un broyeur électrique.
- Le tamisage à l'aide d'un tamis à 2 mm de diamètre. Le tamisât obtenu est soumis à une série d'analyses.

13. MATERIELS :

Durant nos analyses, nous avons utilisé le matériel suivant: Bain marie, Agitateur magnétique chauffant, agitateur de bouteille, pH mètre, conductimètre, étuve, four à moufle, centrifugeuse à 25000T/min, Balance de précision et des tamis de différents volumes.

De la verrerie et des outils ont été aussi utilisés tels que : Les capsules, Les fioles, les erlenmeyers, les éprouvette, les spatules cuillères, les béchers, les pipettes graduées et les entonnoirs... etc.

Certains paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité, la salinité et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ par un multiparamètre de terrain de marque Consort C562 et par un oxymètre de terrain de marque SensoDirect Oxi200.

D'autres paramètres tels que le TA, TAC et TH ont été mesuré par titrimétrie c'est-à-dire par l'utilisation de quelque verrerie (pipette, herlen, burette, fiole ...) et réactifs.

D'autres paramètres ont été mesurés par un spectrophotomètre d'absorption moléculaire de marque "HACH ODYSSEY DR/2500", d'une Gamme de longueurs d'onde de 365nm à 880 nm, d'une Gamme d'absorbance de $\pm 0,001$ Abs à 3,2 Abs (Résolution Abs=1 nm). Le Support de cuve peut être rectangulaire ou ronds de diamètres variables. Le pH intégré: pH -2.0 à 19.9 - redox +2000mv. Le mode de lecture : extinction, transmission, concentration. Alimentation électrique : 270v, 50/60 HZ, réglage automatique.

En fin, l'analyse des métaux lourds a été réalisée sur un appareil d'absorption atomique à doubles faisceaux Perkin Elmer, modèle 3100.

14. METHODE :

Au laboratoire, les analyses d'eau ont été effectuées selon les protocoles normalisés AFNOR, EN et ISO [AFNOR, 1999 ; 2005a] à la fin de chaque saison humide et sèche. Les produits mesurés et leurs méthodes d'analyses sont les suivants :

- Le pH, la conductivité, la turbidité et la température sont mesurés in situ à l'aide d'un multiparamètre portatif selon les protocoles respectifs NF T 90.008, NF EN 27888 et NF EN ISO 7027.
- Le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet (TA et TAC) : correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates. Ils ont été mesurés par dosage volumétrique avec du HCl 0,1 N selon la norme NF EN ISO 9963 partie 1.

- La dureté (TH) est dosée par la méthode volumétrique en EDTA selon la norme NF T 90 003.
- Les matières en suspension par filtration à 0.45µm d'un volume d'eau connu selon le protocole NF EN 872.
- L'oxygène dissous in situ par un oxymètre de terrain en respectant la norme NF EN 25814
- Les nitrates (NO₃⁻), les nitrites (NO₂⁻), l'ammonium (NH₃⁺) sont déterminés par dosage colorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre (UV/visible) selon les protocoles respectifs NF EN ISO 13395 (NO₃⁻ et NO₂⁻) et NF T90-015.
- Les chlorures ont été mesurés par titrage au nitrate d'argent avec du chromate comme indicateur (méthode de Mohr) selon la méthode NF ISO 9297 ;
- Les orthophosphates sont déterminés par méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium selon le protocole NF EN ISO 15681 ;
- Les sulfates (SO₄⁻) sont mesurés par méthode néphélométrique selon la norme NF T 90-040 ;
- La DBO5 est déterminée par un DBO-mètre conformément à la norme NF EN 1899,
- La DCO est déterminé par un DCO-mètre conformément à la norme NF T90-101,
- Le dosage des éléments traces plomb (Pb), Cuivre (Cu), Cadmium(Cd), Mercure (Hg), a été effectué à l'aide de la spectrométrie d'absorption atomique selon les protocoles respectifs : FD T 90-112 (Pb et Cu), NF EN ISO 5961 et NF EN ISO 12846.

L'énumération des microorganismes a été réalisée selon les techniques décrites par **Rodier et al. [2009] ; Delarras [2006]**, où nous avons procédé à des dilutions de l'ordre de 10⁰, 10⁻¹ et 10⁻² dans l'étude des germes totaux afin de diminuer la charge bactérienne pour plus de précision selon le protocole ISO 6222.

La méthode d'analyse utilisée pour le dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale est l'ensemencement en milieu liquide (NPP).

Pour les Coliformes Totaux (CT) et les Coliformes Fécaux (CF), le milieu utilisé est le bouillant lactosé bilié au vert brillant, la température d'incubation est à 37°C selon les protocoles ISO 9308.

Pour les Streptocoques Fécaux (SF), le milieu de culture est le milieu d'Eva Litsky, l'incubation à 37°C selon la méthode ISO 7899-1.

La recherche et le dénombrement des *Clostridium* Sulfito-Réducteurs, est réalisée par ensemencement sur milieu Viande-Foie, puis incubation à 37°C pendant 24 à 72h avec une première lecture après 18h d'incubation selon les protocoles ISO 6461-1 [**Guiraud & Galzy, 1995**].

La recherche de *Salmonella*, est réalisée en ensemençant sur milieu SS, puis incubé à 37°C pendant 24 à 72h selon la norme NF EN ISO 19250. Pour les levures et champignons sont effectués sur milieu de Sabouraud, et incubés à 37°C pendant 24h selon la méthode Ch 2.6.12 de la **Pharmacopée Européenne [2002]**.

Concernant l'analyse du sol, l'Acidité effective (pH-eau) a été mesurée par un pH-mètre de paillasse sur le surnageant d'une suspension de sol avec un rapport sol/solution 1/5, dans de l'eau distillée après une agitation pendant 1 heure et décantation selon les protocoles NF X 31-117.

L'acidité titrable (pH-KCl) est mesuré sur la fraction du sol <2 mm non broyée avec un rapport sol/solution 1/2,5 puis dans les mêmes rapports, dans une solution de KCl 1M selon les protocoles NF X 31-117. Le pH est mesuré par un pH-mètre de paillasse dans le surnageant après agitation pendant 1 heure et décantation.

En ce qui concerne la conductivité électrique extrait dilué (CE1/5), elle a été mesurée par un conductimètre sur une suspension de sol avec un rapport sol/solution 1/5, dans de l'eau distillée après une agitation pendant 2 heures selon les protocoles NF ISO11256.

Le calcul de l'humidité se fait par la pesée avant et après dessiccation de 5g de sol dans une étuve à 105°C pendant 24h selon le protocole NF ISO 11465.

Le calcul de la matière organique a été réalisé selon les protocoles NF EN 13039 avec la formule suivante :

$$MO = \frac{P2 - P3}{P2} \times 100$$

Où : p2 : représente le poids résultant de la manipe de l'humidité

p3 : représente le poids de p2 mis dans un four à moufle à 450°C pendant 4h.

La teneur du sol en calcaire totale a été déterminée par titrimétrie, celle du calcium et du magnésium par gravimétrie selon les protocoles NF X31-108.

La densité réelle (**Dr**) par la méthode des pycnomètres de l'AFNOR (X31-503:1992) par le calcul de la densité d'une fraction broyé et pesé du sol. Donc c'est la densité de la fraction solide indépendante des vides et des pores.

La densité apparente (**Da**) déterminée dans l'eau sur mottes consolidées d'agrégats de sol préalablement recouverts de paraffine, par la méthode de la poussée d'Archimède (AFNOR, X31-505:1992) Donc c'est la densité de la fraction solide dépendante des vides et des pores.

A partir des résultats des deux densités on calcule la porosité totale par la formule suivante :

$$P = \frac{Dr - Dapp}{Dr} \times 100$$

L'analyse granulométrique a été effectuée selon le protocole standardisé des fractionnements granulométriques en utilisant la technique de la pipette de Robinson [Norme AFNOR X31-107, 2003] pour récolter les différentes fractions par sédimentations à des temps précis (loi de Stokes).

Pour ce qui est de l'analyse des métaux lourds, elle a été réalisée par spectrophotométrie à absorption atomique après la minéralisation de 0,5 g de sol par l'eau régale selon les protocoles NF-ISO 11466.

Nos analyses statistiques ont été réalisées par le logiciel R⁵ selon le protocole cité par **Ross et Gentleman, 1996** avec le package FactoMineR⁶. Les traitements de données effectués sont l'ACP (analyse en composantes principales Normée), le test U de Mann Whitney et Le coefficient de corrélation de rang (appelé coefficient de Spearman).

⁵ R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

⁶ Francois Husson, Julie Josse, Sebastien Le and Jeremy Mazet (2014). FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version 1.27. <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR> (on line)

Chapitre 2 : Résultats et discussion

I. Étude du sol

1. RESULTATS :

1.1. RESULTATS DES PARAMETRES CHIMIQUES :

1.1.1. L'ACIDITE EFFECTIVE (pH-EAU) :

L'activité du sol, tout comme la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs dépend du pH [Bertschinger *et al.*, 2003]. Elle correspond à la concentration en ions H^+ libres, existant dans la solution du sol [Mathieu *et al.*, 2003].

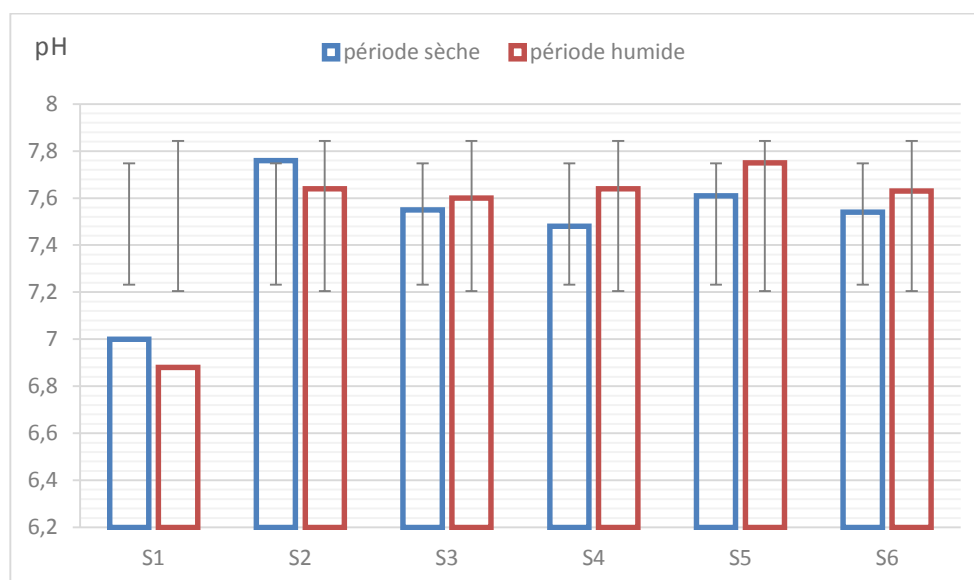
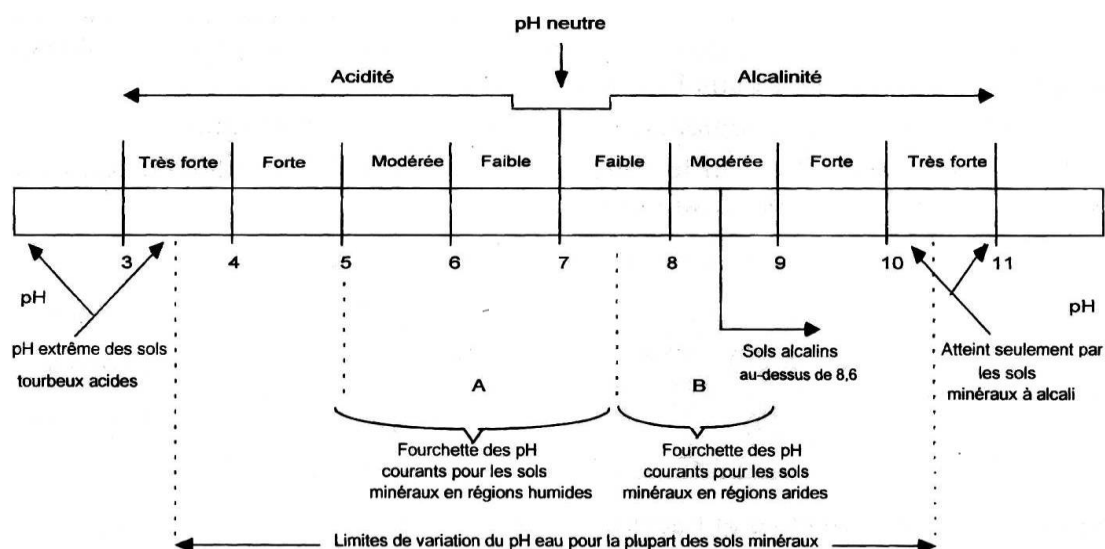


FIGURE 12 : VARIATION DU pH-EAU DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

Durant la période sèche [Figure 12], le pH-eau varie de 7 [site 1] à 7.76 [site 2] avec une moyenne de 7,49, alors que lors de la période humide varie de 6.88 [site 1] à 7.75 [site 5] avec une moyenne de 7,52. C'est le site 1 qui a montré le pH le plus faible. L'évolution temporelle ne montre pas de différence significative des teneurs de la saison humide par rapport à la saison sèche.

TABLEAU 9 : NORMES D'INTERPRETATION DU pH-EAU DU SOL [Mathieu *et al.*, 2003].

Selon l'échelle d'interprétation du pH-eau signalé par [Mathieu *et al.*, 2003] [Tableau 9], le sol étudié a une réaction neutre [site 1] à légèrement alcaline [les autres sites] avec un intervalle de 6.88 à 7.76. Cet intervalle rentre dans la fourchette des pH-eau courants des sols minéraux en région semi-arides.

1.1.2. L'ACIDITE TITRABLE (pH-KCl) :

D'après Mathieu *et al.*, 2003, le pH-KCl est représenté par les ions H^+ échangeables fixés par les colloïdes, existant dans la solution du sol. Il est toujours inférieur au pH eau (excepté dans certains sols ferrallitiques et sols sodiques où ils sont égaux), l'écart entre les 2 varie de 0,2 à 1,5 :

- Ecart < 0,5 acidité de réserve faible
- $0.6 < \text{Ecart} < 1$ acidité de réserve moyenne
- Ecart > 1 acidité de réserve élevée

Dans notre cas, le pH-KCl varie entre 6,3 [Site 1] et 7,09 [Site 2] durant la saison sèche avec une moyenne de 6,85 et entre 6.58 [Site 1] et 7.41 [site 5] avec une moyenne de 7,18 durant la saison humide [Figure 13]. C'est le premier site qui présente les valeurs les plus faibles.

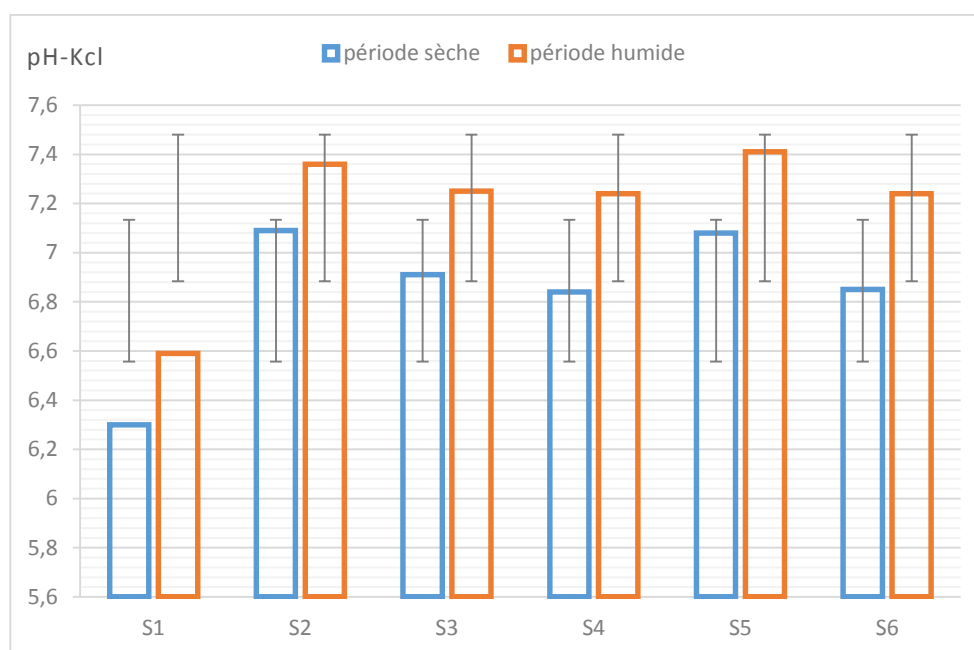


FIGURE 13 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU pH-KCL

L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement du pH-KCl de la saison sèche par rapport à la saison humide. Cette variation temporelle est due au phénomène de dilution par les précipitations de la période hivernale.

Le calcul de l'écart entre les valeurs du pH-KCl et le pH-eau montre qu'il est compris entre 0.53 [site 5] à 0.7 [Site 1] avec une moyenne de 0.65 durant la saison sèche témoignant d'une acidité de réserve moyenne et entre 0.28 [Site 2] à 0.4 [site 4] avec une moyenne de 0.34 durant la saison humide témoignant d'une faible acidité de réserve [Tableau 10].

TABLEAU 10 : ECART ENTRE LE pH-EAU ET LE pH-KCL

$pH - pH_{KCl}$	S1	S2	S3	S4	S5	S6
période sèche	0,7	0,67	0,64	0,64	0,53	0,69
période humide	0,29	0,28	0,35	0,4	0,34	0,39

1.1.3. LA SALINITE TOTALE :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la quantité des sels minéraux dissous dans l'eau.

Les valeurs de la salinité se rapproche les unes par rapport aux autres et varie entre 0.14 mmhos/cm [site 6] et 0.32 mmhos/cm [site 5] avec une moyenne de 0,20 mmhos/cm durant la période sèche entre 0.11 mmhos/cm [site 6] et 0.21 mmhos/cm [Site 1] avec une moyenne de 0,16 mmhos/cm durant la période humide [Figure 14].

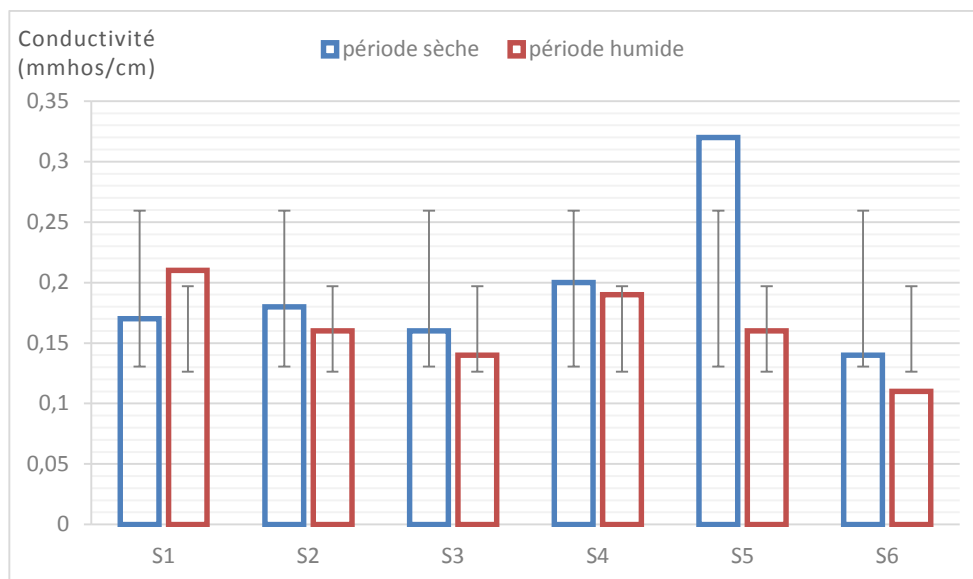


FIGURE 14 : VARIATION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE EN FONCTION DES SITES D'ETUDE ET DU TEMPS.

La comparaison des concentrations saisonnières se révèle un peu plus fortes en été qu'en hiver, cette différence est due à la dilution par les eaux pluviales.

Ces valeurs obtenues expriment une très faible teneur en sel situé entre 0.11 et 0.32 pour les deux périodes d'étude ce qui signifie que ces sols ne sont pas salés [Tableau 11].

TABLEAU 11 : CLASSE DE SALINITE EN FONCTION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DE L'EXTRAIT AQUEUX A 25°C [Mathieu et al., 2003]

mmhos.cm ⁻¹ dS.m ⁻¹	0,6		1	2	3	4
CE _{1/5}	non salé		légère- ment salé	salé	très salé	
CE _{1/10}	non salé	légè- rem ^t salé	salé	très salé	extrêmement salé	

1.1.4. L'HUMIDITE :

La grandeur qui caractérise la teneur du sol en eau à un moment donné est appelé humidité du sol [Kaouritchev, 1983]. Chaque sol contient de l'eau. La capacité de rétention de l'eau d'un sol varie beaucoup en fonction de la porosité. L'eau se retrouve généralement dans les pores. Elle y est retenue par des forces physiques qui sont d'autant plus grandes que les pores sont plus petits. L'humidité hygroscopique provient de l'humidité atmosphérique et forme une mince couche autour des particules du sol. Elle est très énergétiquement retenue et ne peut être utilisée ni par la faune ni par la flore du sol. [Mbakwiravyo, 2009].

L'humidité du sol varie considérablement entre les deux périodes avec des valeurs plus importantes en hiver qu'en été par contre à l'intérieur de la même période, ses valeurs se rapprochent les unes des autres à l'exception du site 1 qui présente toujours les teneurs les plus élevées. L'humidité hygroscopique mesurée exprime des faibles valeurs qui sont à notre avis en relation étroite avec la composition du sol et sa nature granulométrique. Ces teneurs oscillent entre 2.55 % [Site 2] et 8.10 % [Site 1] avec une moyenne de 3,94 %

durant la saison chaude et entre 8.80 % [site 6] et 15.40 % [Site 1] avec une moyenne de 11,35 % durant la période froide [Figure 15].

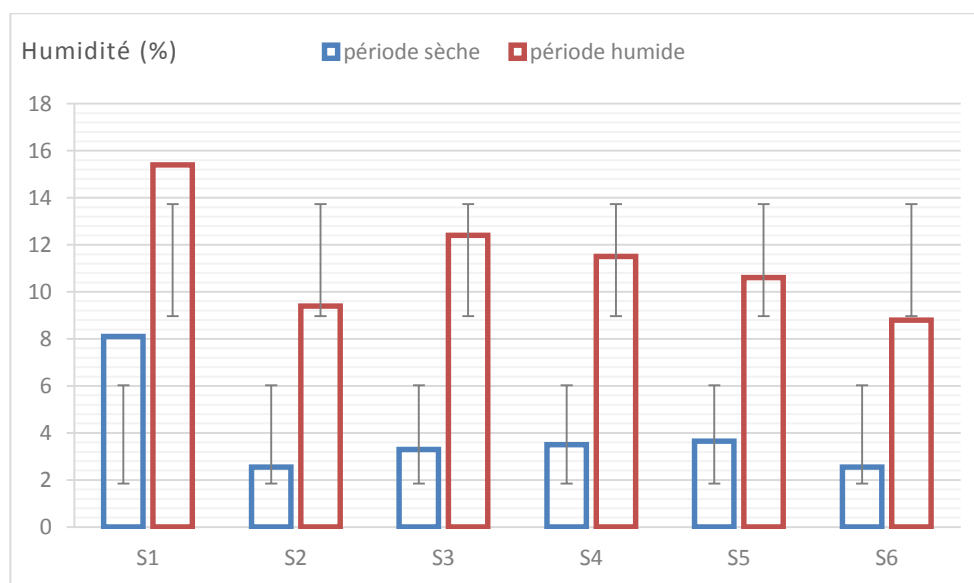


FIGURE 15 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE L'HUMIDITE

1.1.5. LA MATIERE ORGANIQUE :

La matière organique joue un rôle très important au niveau du sol. Son rôle intervient dans la structure du sol (cimentation des particules et aération) et la réserve des éléments nutritifs [Becharef, 1983]. Elle provient de l'activité de tout organisme présent à la surface ou à l'intérieur du sol. Une partie de cette M.O est produite par les organismes vivants: déjections animales, exsudats racinaires, litière végétale et polysaccharides microbiens. Le reste est constitué par les débris des végétaux morts, les cadavres d'animaux et les cellules microbiennes lysées [Davet, 1996].

Dans nos échantillons, ce taux est compris entre 0.24% [Site 2] et 0.40% avec une moyenne de 0,34 % pour la période sèche, et entre 0.19 [site 5] et 0.47 [Site 1] avec une moyenne de 0.29 pour la période humide [Figure 16]. En effet c'est le site 1 qui a enregistré les plus fortes concentrations.

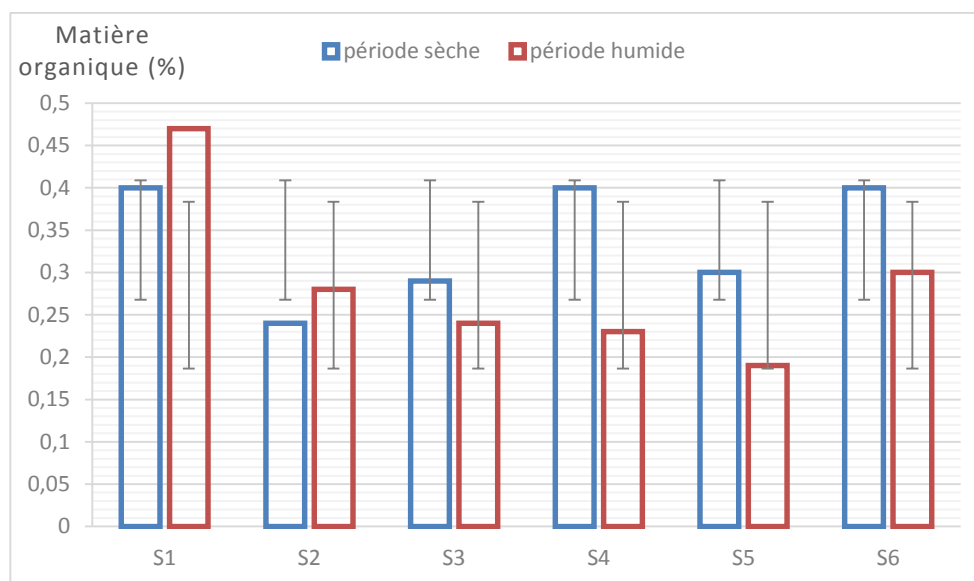


FIGURE 16 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA MATIERE ORGANIQUE

Apparemment il y a une légère supériorité des teneurs de la période estivale par rapport à la saison hivernale à l'exception des deux premiers sites, cette différence est due aux pratiques culturales des alentours agricoles.

En comparant les teneurs de nos sols avec les normes d'interprétation de la matière organique résumées dans le [tableau 12](#), on déduit que nos sols sont pauvres en matière organique.

TABLEAU 12 : NORMES D'INTERPRETATION DE LA MATIERE ORGANIQUE [Soltner, 1981]

Taux de matière organique	Appréciation
1<	Extrêmement faible
1,5 – 1	Très faible
2,5 – 1,5	Faible
3,5 – 2,5	Moyenne
4,5 – 3,5	Moyennement élevée
5 – 4,5	Elevée
5>	Très élevée

La pauvreté en composants organiques entrave la sulfato-réduction [Prade *et al.*, 1990] et favorise la formation de complexes non solubles et potentiellement toxiques [Hamdaoui, 1996], composés toxiques qui empêchent la prolifération des espèces pathogènes elles-mêmes en concurrence avec d'autres microorganismes saprophytes.

1.1.6. LE CALCAIRE TOTALE :

Le constituant essentiel du calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique [Deo shorta, 1979 ; Djili et Daoud,1999 ; Djili,2000]. Le calcaire est une roche sédimentaire principalement organogène qui peut être détritique (contenant au moins 50% de CaCO₃ exemple : un calcaire marnaux) [Baize & Girard , 1995], ou chimique [Vatan, 1967 ; Loz & Mathieu, 1990].

Le taux de calcaire total montre une légère variabilité entre les différents points de prélèvement [Figure 17]. Les teneurs varient entre 8.95% [site 1] et 10.23% [site 5] avec une moyenne de 9.49 % durant la période sèche et entre 8.11 % [Site 1] et 8.75 % [site 5] avec une moyenne de 8.49 % lors de la période humide. En effet c'est le site 5 et a qui ont présentés respectivement les teneurs maximales et minimales durant les deux périodes d'études.

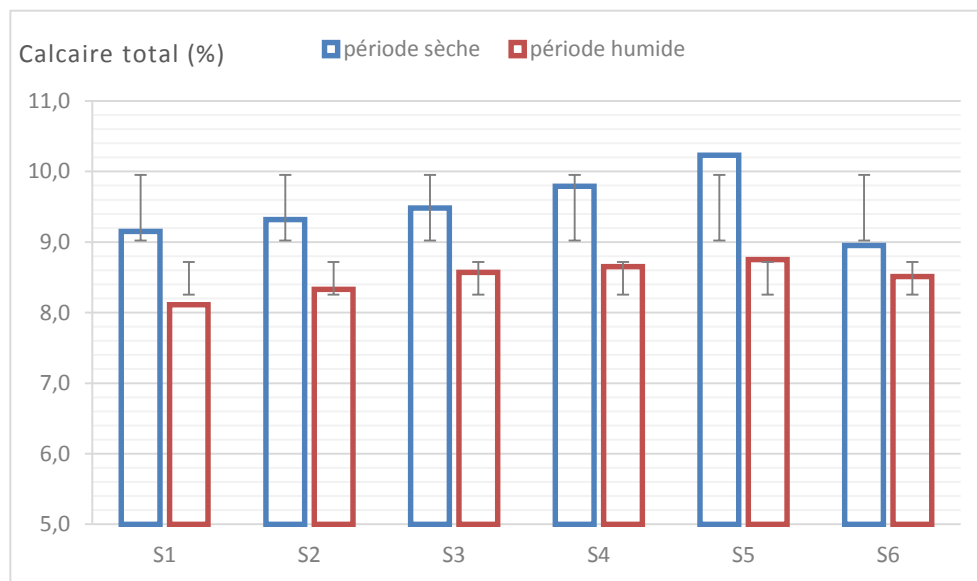


FIGURE 17 : VARIATION DU CALCAIRE TOTALE DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

La comparaison des concentrations saisonnières du calcaire se révèle plus fortes en été qu'en hiver, cette différence est due à un phénomène de dilution par les eaux pluviales. En comparant les valeurs obtenues aux normes signalées par Baize, [1988] [Tableau 13], nous constatons que les sols étudiés sont modérément calcaire.

TABLEAU 13 : NORMES D'INTERPRETATION DU TAUX DU CALCAIRE DU SOL D'APRES GEPPA¹ in **Baize, [1988]**.

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
Appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

1.1.7. LES BASES ECHANGEABLES :

Les bases échangeables sont dominées par les cations bivalents (Ca^{2+} et Mg^{2+}) [Brown et al, 1984]. Prospecteurs et pédologues ont trop souvent l'habitude de considérer que la somme des bases échangeables d'un sol et la saturation du complexe absorbant, dues pour 70 à 95 % au calcium et au magnésium, dépendent étroitement de la nature de la roche-mère, malgré les pertes énormes en éléments minéraux enregistrées lors de la décomposition de cette roche-mère [Boyer, 1978].

1.1.7.1. LE CALCIUM :

Delas [2000], signale que tous les sels de calcium présents dans le sol (carbonates, chlorures, nitrates, phosphates, sulfates, humâtes) peuvent contribuer à la nutrition des plantes en calcium. Le calcium est un métal alcalino terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures, etc. L'oxyde de calcium est très largement utilisé dans le bâtiment, les papeteries, le traitement des eaux, etc. Les opérations de neutralisation, en particulier dans les eaux résiduaires industrielles contribuent à des rejets significatifs dans le milieu.

La variation de la concentration en calcium entre les différents sites n'est pas importante, cette concentration est comprises entre 0.4 meq/100g [Site 2] et 1.12 meq/100g [Site 1] durant la chaude saison avec une moyenne de 0.77 meq/100g et entre 0.4 meq/100g [Site 1] et 0.88 meq/100g [site 3] à la saison froide avec une moyenne de 0.64 meq/100g [Figure 18].

¹ GEPPA : Groupe d'études pour les problèmes de pédologie appliquée

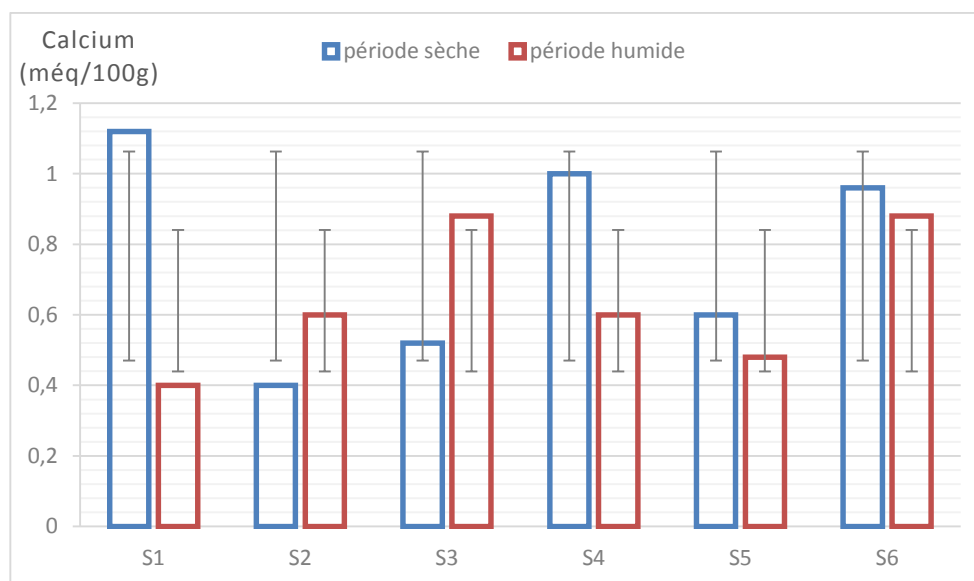


FIGURE 18 : VARIATION DU CALCIUM DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

En effet, il existe une légère supériorité des teneurs du calcium lors de la période estivale par rapport à la saison hivernale à l'exception des sites 2 et 3 probablement sous l'effet de l'irrigation estivale des terres qui entourent ces sites.

1.1.7.2. LE MAGNESIUM :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300mg / L, à 20 °C. Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle (chimie de la potasse, alliages, pyrotechnie, batteries sèches, réducteur chimique, etc.) font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes, La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen). Le magnésium est l'élément clé de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique, et c'est le seul élément minéral présent dans la chlorophylle, et de lui dépend la formation des sucres, des protéines, des graisses et des vitamines [Ryser & Heller, 1997 ; Soltner, 1999].

Les valeurs du magnésium sont comprises entre 0.08 meq/100g [Site 1] et 0.8 meq/100g [Site 2] lors de la période sèche avec une moyenne de 0.44 meq/100g et entre 0.04 meq/100g [site 4] et 0.72 meq/100g [site 6] durant la période humide avec une moyenne de 0.39 meq/100g [Figure 19].

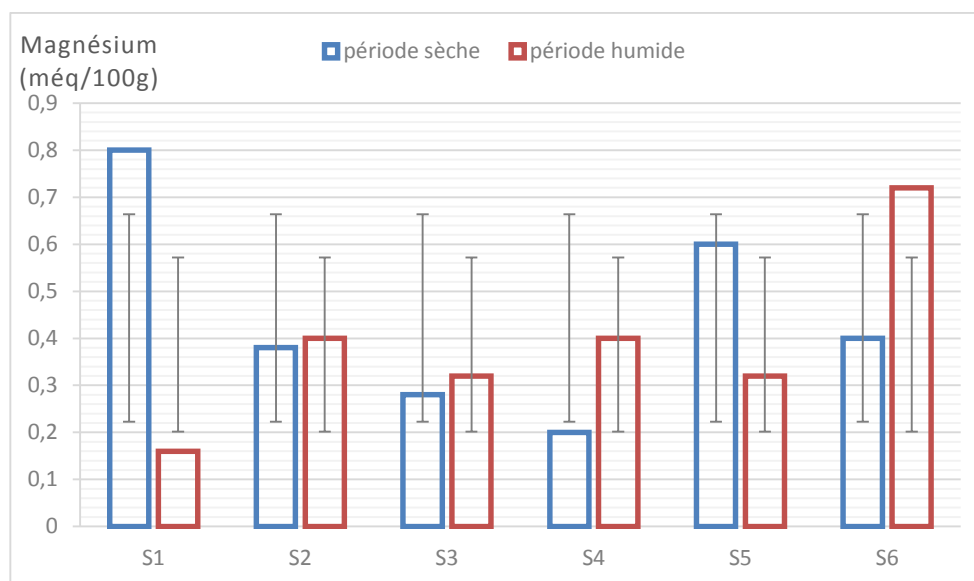


FIGURE 19 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU MAGNÉSIUM

L'évolution temporelle est marquée par une alternance de supériorité des teneurs d'un site à l'autre.

1.1.7.3. EQUILIBRE ENTRE LES CATIONS Ca^{2+} ET Mg^{2+}

La hiérarchisation habituellement admise $Ca^{2+} > Mg^{2+}$ [Brown *et al.*, 1984] est respectée pour l'ensemble de nos sols.

Le rapport Ca/Mg oscillent entre 1 [site 5] et 5 [site 4] avec une moyenne de 2.12 en été et entre 1.50 et 2.75 [site 3] avec une moyenne de 1.83.

En comparant les résultats du rapport d'équilibre entre les cations calcium et magnésium [Tableau 14] avec le barème d'appréciation de l'équilibre entre les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} cité par Doucet [2006] dans le tableau 15, on remarque l'existence d'un équilibre acceptable à optimal pour l'ensemble des sites et pendant les deux périodes d'études.

TABLEAU 14 : EVOLUTION DU RAPPORT D'EQUILIBRE ENTRE LES CATIONS Ca^{2+} ET Mg^{2+}

<i>Ca/Mg</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S5</i>	<i>S6</i>
période sèche	1,40	1,05	1,86	5,00	1,00	2,40
période humide	2,50	1,50	2,75	1,50	1,50	1,22

TABLEAU 15 : BAREME D'APPRECIATION DE L'EQUILIBRE ENTRE LES CATIONS Ca^{2+} ET Mg^{2+} [Doucet, 2006].

<i>Rapports</i>	<i>Équilibre entre les éléments (meq/100 g sol)</i>				
	<i>Insuffisant</i>	<i>Acceptable</i>	<i>Optimal</i>	<i>Fort</i>	<i>Trop fort</i>
Ca/Mg	< 1	1 – 2	2 – 9	10 – 30	> 30

1.2. LES ELEMENTS METALLIQUES LOURDS :

1.2.1. LE PLOMB :

La concentration en Pb dans la croûte terrestre est d'environ 17 mg/kg [Taylor & McLennan, 1985], mais dans les zones urbaines et industrielles, elle se situe à des teneurs comprises entre 100 et 500 mg/kg [MEEEO, 1995]. Le Pb est généralement considéré comme étant fortement retenu dans les sols et donc peu mobile, en particulier en conditions réductrices [Coynel *et al.*, 2004]. Cet élément peut être associé aux sulfates et aux carbonates mais aussi aux argiles et à la matière organique suivant le pH. Cet élément a beaucoup d'affinités avec le cadmium Cd et le zinc Zn. Lors de l'altération de minéraux primaires, le Pb peut être fixé par des argiles comme la kaolinite [Mosser, 1980].

Les résultats de ce métal varient de 110 ppm [site 3] à 155 ppm [Site 2] durant la période estivale avec une moyenne de 128 ppm et de 113 ppm [site 6] à 146 ppm [site 3] durant la période hivernale avec une moyenne de 128.33 ppm [Figure 20].

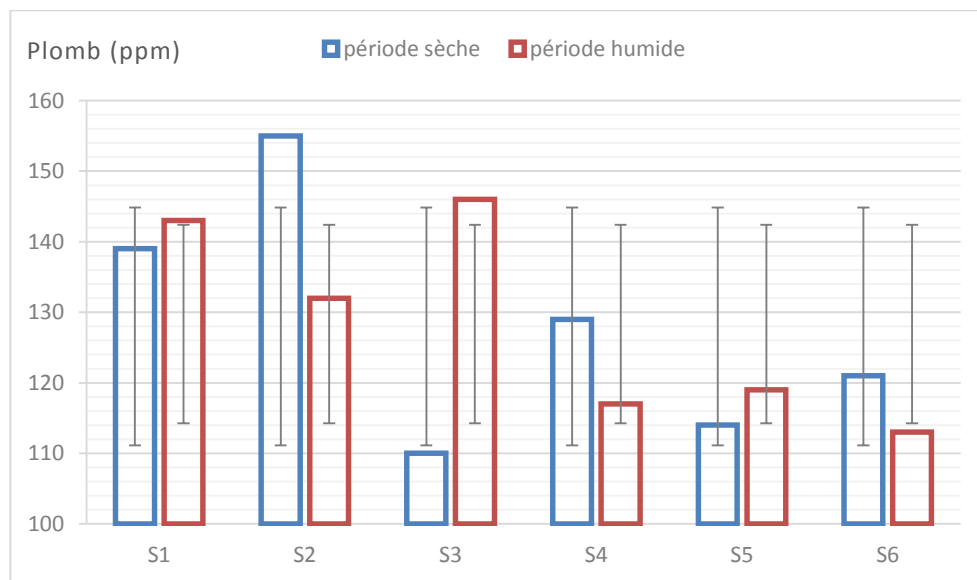


FIGURE 20 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU PLOMB

La variation temporelle est caractérisée par une alternance de la supériorité des teneurs d'un site à l'autre.

Ces valeurs dépassent de loin les valeurs limites de 100 ppm définies par la réglementation (Arrêté du 8 Janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n°97-1133 du 8 Décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées) probablement due à l'accumulation de ce métal rejeté à l'échappement des véhicules puisque l'ensemble de ces sites sont situés près des routes.

1.2.2. LE CADMIUM :

Le cadmium est un élément chalcophile, ce qui favorise son association avec Zn et Hg et dans une moindre mesure avec Pb et Cu [Deneux-Mustin *et al.*, 2003].

L'abondance naturelle de Cd dans l'écorce terrestre est de 0.11 mg/kg [Taylor & McLennan, 1985 ; Deneux-Mustin *et al.*, 2003]. Le cadmium peut être transporté sur de longues distances lorsqu'il est absorbé par les boues. Ces boues riches en cadmium peuvent polluer aussi bien les eaux de surface que les sols [WTS, 2014].

Les concentrations en cadmium sont très importantes et dépassent de loin les normes de 2 ppm, ces concentrations varient considérablement entre les différents sites et oscillent de 7 ppm [Site 2] à 16 ppm [site 4] avec une moyenne de 11.33 ppm durant la saison sèche et de 5 ppm [site 3] à 14 ppm [Site 2] avec une moyenne de 10.50 ppm durant la saison humide [Figure 21].

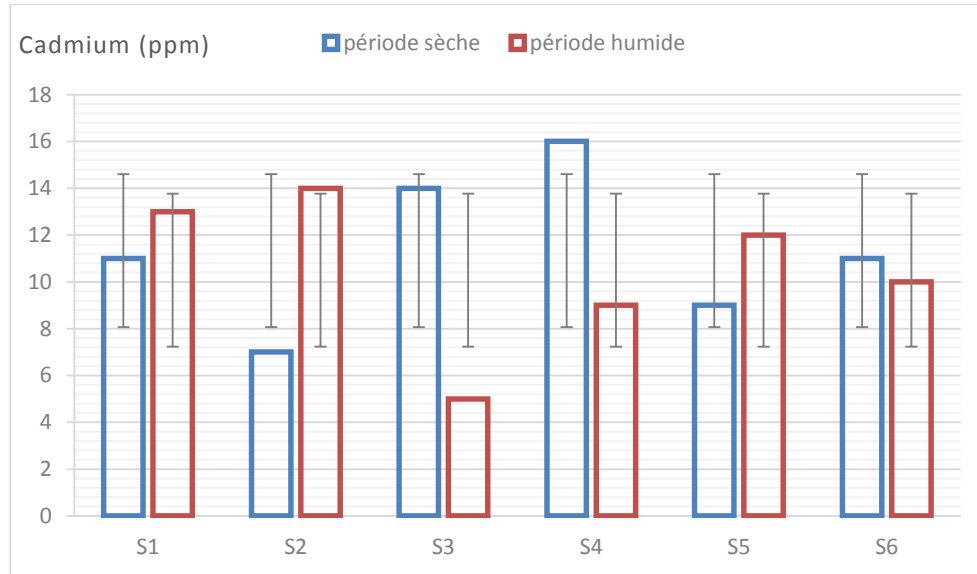


FIGURE 21 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU CADMIUM

L'évolution temporelle est marquée par une alternance de la supériorité des teneurs d'un site à l'autre.

1.2.3. LE MERCURE :

Bien qu'étant un élément peu répandu sur l'écorce terrestre, le mercure peut se retrouver dans les sols à des teneurs variant de 0,01 à 20 mg / kg. Il se trouve dans les minéraux sulfureux, le cinabre (HgS rouge), le métacinabre (HgS noir) et dans le livingstone. Il se dégage naturellement par évaporation, érosion, éruptions volcaniques ... environ 10^5 t/an. Par ailleurs, la contamination géologique de nombreux minerais par le mercure explique sa présence dans les rejets de certaines activités industrielles: extractions minières, raffineries, cimenteries, sidérurgie, traitement des phosphates, raffinage du mercure, combustion des hydrocarbures fossiles et du charbon, industries de la pâte à papier, etc. La production annuelle mondiale serait d'environ 10^4 tonnes. Seulement 20 % de cette quantité seraient recyclés, le reste se retrouvant en grande partie dans l'environnement [Rodier *et al.*, 2009].

En ce qui concerne le mercure, les valeurs enregistrées dépassent la valeur limite de 1 ppm dans l'ensemble des sites à l'exception des sites 1 et 6 durant la période humide, la concentration du mercure ne présente pas de grande variabilité et oscille de 1.2 ppm [site 4] à 2.1 ppm [site 1] avec une moyenne 1.55 ppm durant la période sèche et de 0.7 ppm

[site 6] à 1.6 ppm [site 3] avec une moyenne de 1.07 ppm durant la période humide [Figure 22].

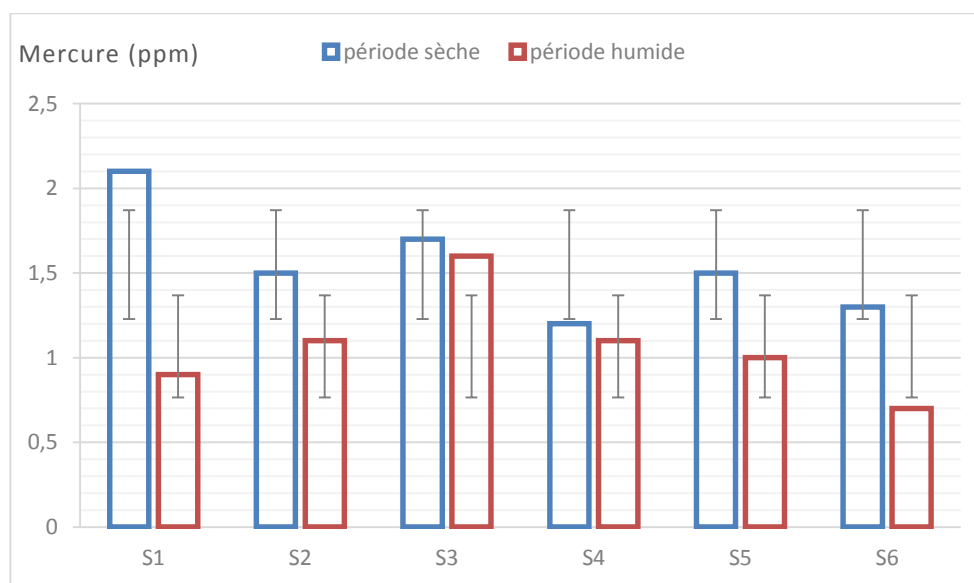


FIGURE 22 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU MERCURE

La comparaison des concentrations saisonnières se révèle plus fortes en été qu'en hiver.

1.2.4. LE CUIVRE :

La présence du cuivre dans le sol fait suite à l'érosion du sol ou des rochers, de la dislocation du sol, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées [ATSDR, 2004; Cal EPA, 2008].

Les sels de cuivre (sulfate, acétate, dérivés organiques) sont utilisés comme fongicides ou algicides en agriculture, pour les traitements chimiques de surface, pour le tannage des peaux, la fabrication de céramiques et de peintures [Rodier *et al.*, 2009]. Le Cu, provenant notamment de l'utilisation de la bouillie bordelaise [CuSO₄] en tant que produit phytosanitaire, est fortement fixé par les constituants du sol et il est donc relativement peu mobile [Gharbi, 2008].

La concentration en cuivre ne présente pas de grande variabilité et ne dépasse pas la valeur limite de 100 ppm, elle varie de 3 ppm [Site 1] à 9 ppm [site 6] avec une moyenne de 5.67 ppm en période chaude et de 4 ppm [Site 2] à 9 ppm [site 5] avec une moyenne de 6.67 ppm en période froide [Figure 23].

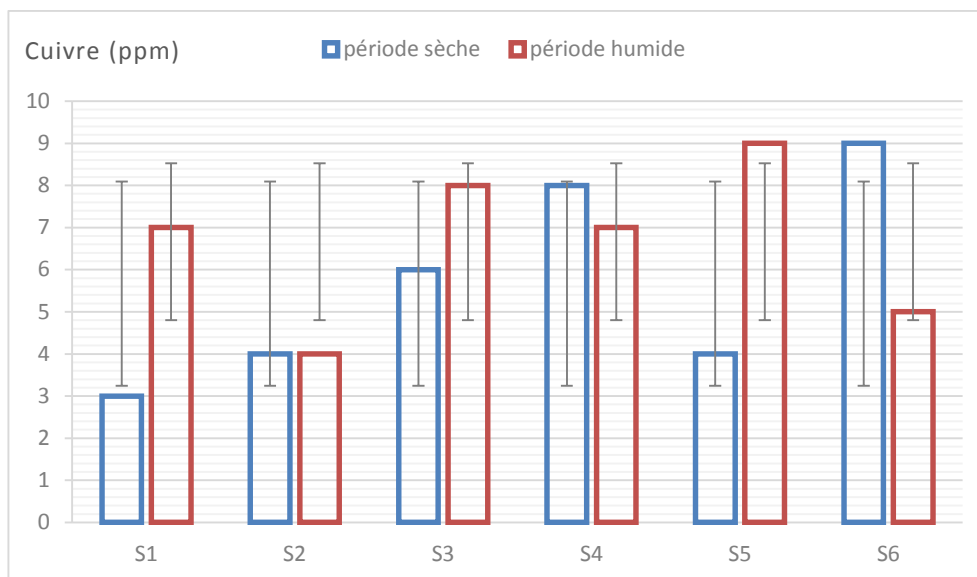


FIGURE 23 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DU CUIVRE

La variation temporelle est caractérisée par une alternance de la supériorité des teneurs d'un site à l'autre.

1.3. PARAMETRES PHYSIQUES :

1.3.1. LA DENSITE APPARENTE :

Les valeurs de la densité apparente sont proches les unes des autres et sont comprise entre 1.68 g/cm^3 [Site 2] et 1.88 g/cm^3 [site 3] avec une moyenne de 1.79 g/cm^3 [Figure 24]. La densité apparente semble diminuer avec le teneur du sol en humus d'après [Duthil, 1970].

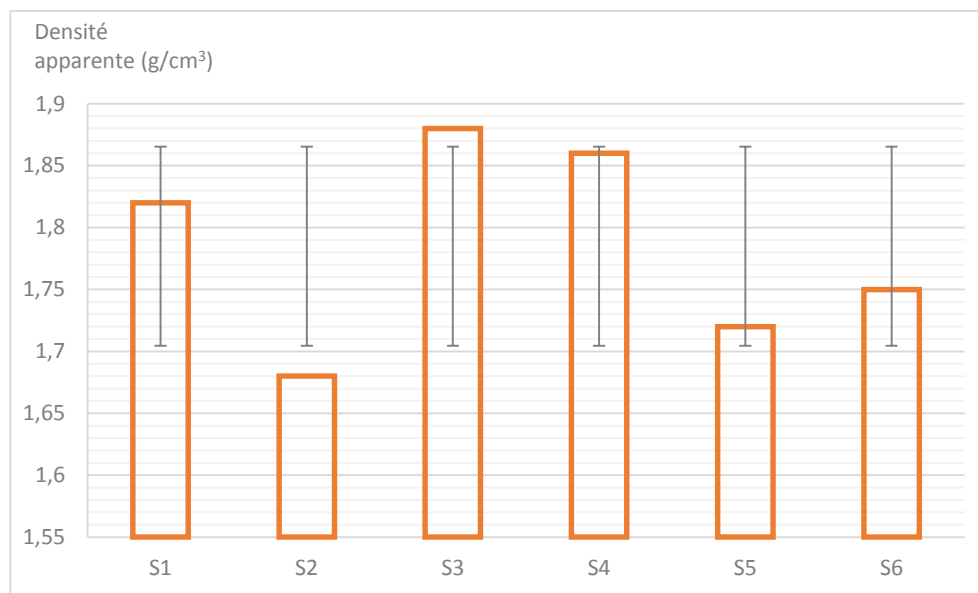


FIGURE 24 : VARIATION DE LA DENSITE APPARENTE DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

1.3.2. LA DENSITE REELLE :

La densité réelle est fonction de la richesse en matière organique et de la nature des minéraux [Belkhiri *et al.*, 1989]. Dans notre cas, les valeurs sont proche les unes des autres et ne varie que de 2.01 g/cm^3 [Site 1] à 2.16 g/cm^3 [site 5] avec une moyenne de 2.09 [Figure 25].

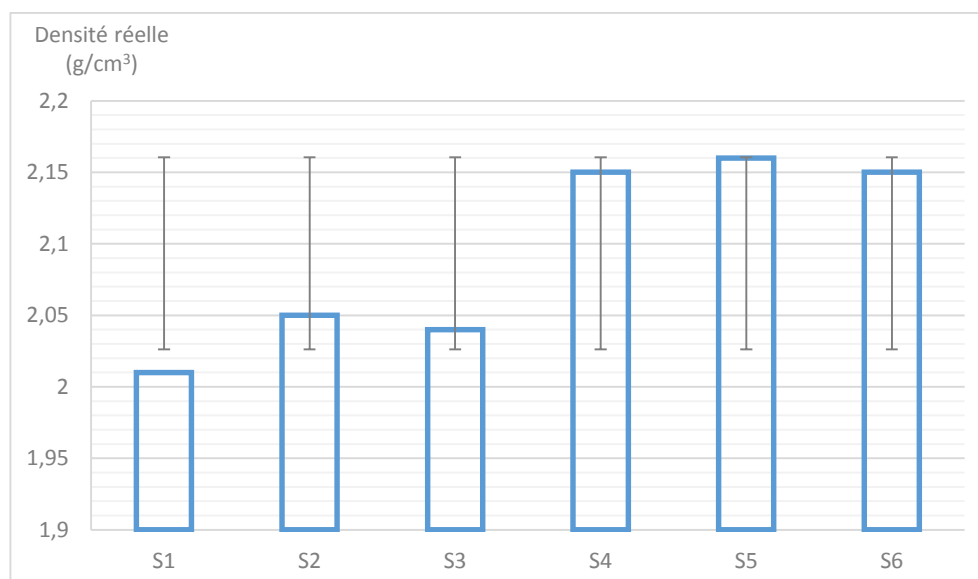


FIGURE 25 : VARIATION DE LA DENSITE REELLE DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

1.3.3. LA POROSITE :

La porosité varie considérablement entre les différents sites de 9.23% [Site 1] à 20.19% [site 5] avec une moyenne de 15.54% [Figure 26]. Ces faibles porosité résulte des caractéristiques de la matrice du sol (texture, densité apparente), de l'activité biologique (présence de galeries dues soit aux vers de terre soit aux racines) et des pratiques culturales [Braud *et al.*, 2005 & Haverkamp *et al.*, 1996].

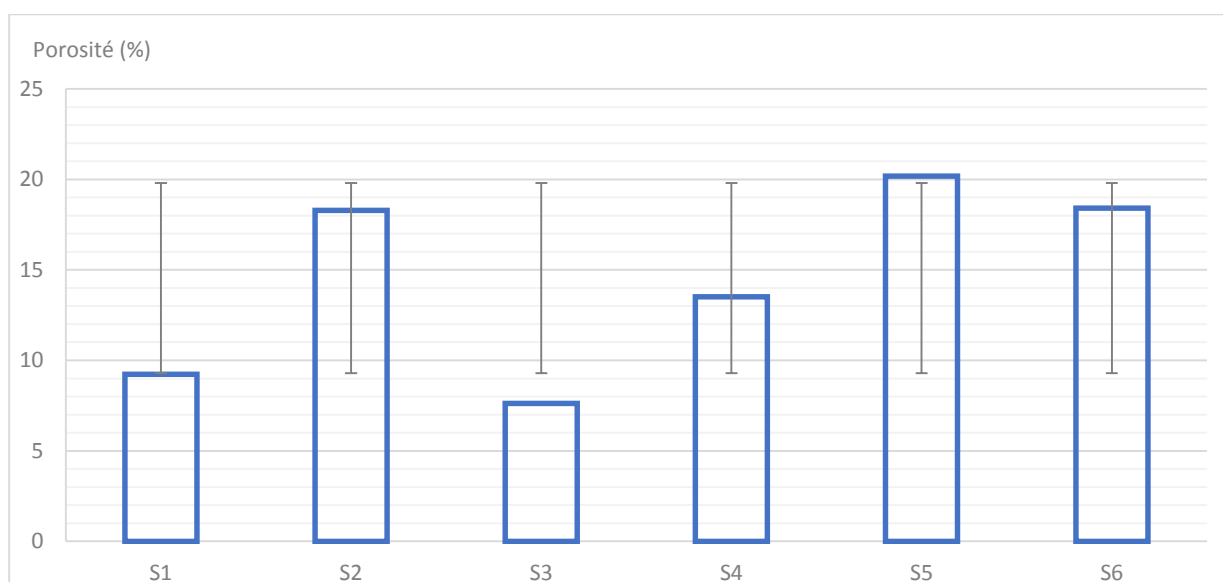


FIGURE 26 : VARIATION DE LA POROSITE DES ECHANTILLONS DES SOLS ETUDIES.

1.3.4. GRANULOMETRIE :

La proportion de particules fines est une information importante, car elle gouverne certaines propriétés physiques du sol comme la perméabilité ou la sensibilité à des entraînements mécaniques [Conil & Clozel, 1999].

La répartition granulométrique en fonction des classes texturales présentée dans le Tableau 16 [Figure 26], souligne le caractère équilibré de nos sols.

TABLEAU 16 : CARACTERISATION GRANULOMETRIQUE DES SOLS (HORIZON 0-25 CM)

Site	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	texture
Site 1	24,11	33,93	41,96	limons-argilo-sableux
Site 2	25,15	42,91	31,94	limons-argilo-sableux
Site 3	27,54	25,94	46,52	limons-argilo-sableux
Site 4	29,04	39,79	31,17	limons-argilo-sableux
Site 5	29,91	23,51	46,58	limons-argilo-sableux
Site 6	28,45	40,23	31,32	limons-argilo-sableux

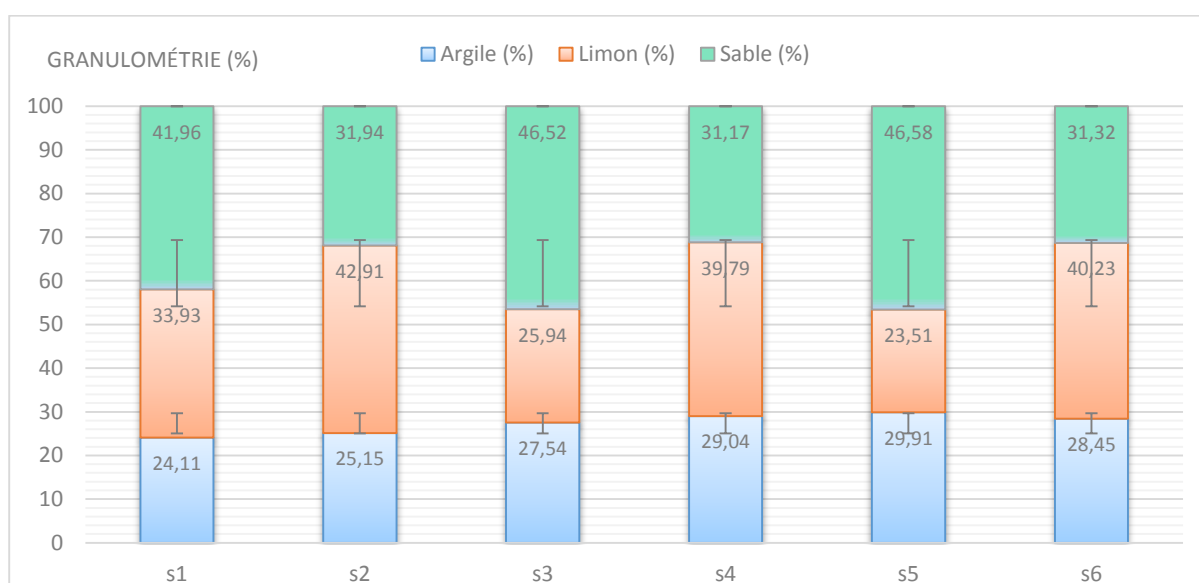


FIGURE 27 : CARACTERISATION GRANULOMETRIQUE DES SOLS ETUDIES

En reportant les pourcentages de sables, limons et argiles dans le triangle de texture proposé par le Groupe d'études pour les problèmes de pédologie appliquée [GEPPA] [Baize *et al.*, 1995] [Figure 28], nos sols ont une texture d'un limons-argilo-sableux.

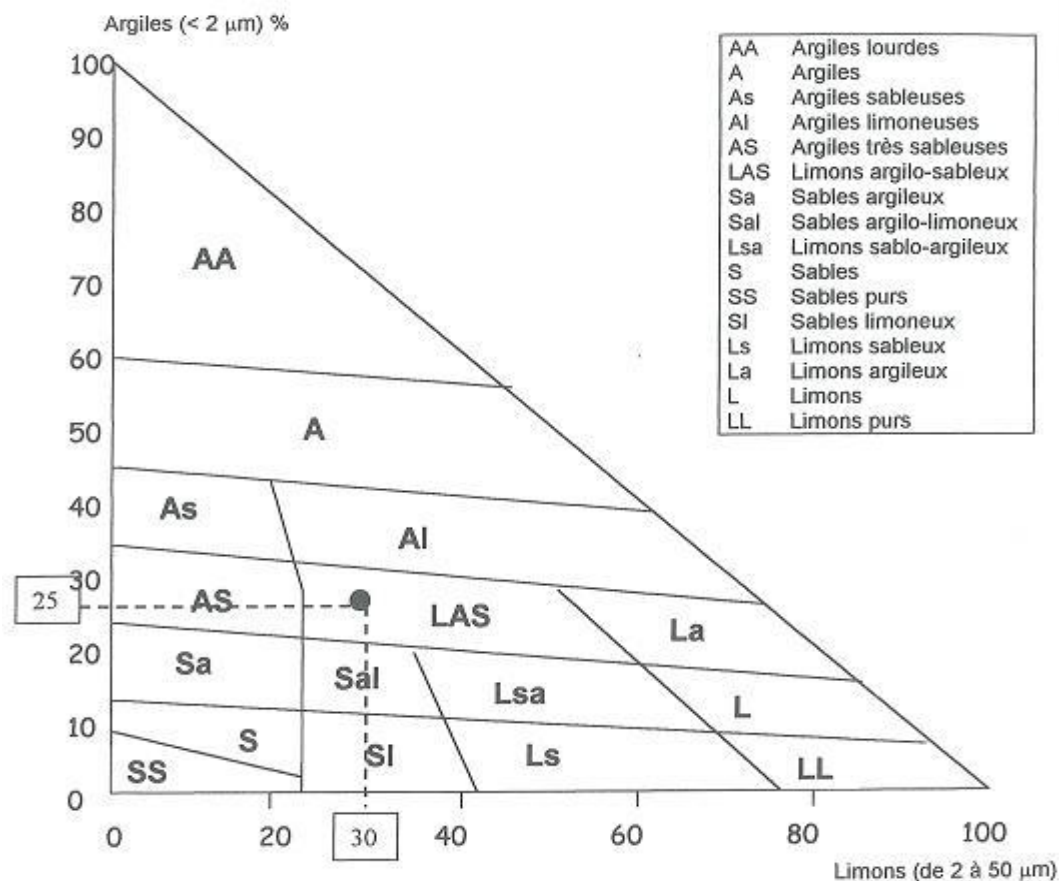


FIGURE 28 : TRIANGLE DU GEPPA² [1963] D'APRES Baize *et al.*, [1995].

² GEPPA : Groupe d'études pour les problèmes de pédologie appliquée

1.4. RÉSULTATS STATISTIQUES :

1.4.1. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES VALEURS DU SOL :

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres étudiés et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des sols de la haute vallée de la Medjerda, un traitement statistique ACPN (analyse en composantes principales Normée) a été appliqué à l'ensemble des paramètres en période humide et en période sèche.

Cette méthode statistique largement utilisée pour interpréter les données [Makhoukh *et al.*, 2011] permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélés entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales [Davis, 1984].

Notre ACP a été effectuée sur une matrice de données constituée de 6 prélèvements (6 stations x 1 campagne humide) et 6 prélèvements (6 stations x 1 campagne sèche) au cours desquels les 12 variables (pH, pH-Kcl, conductivité, humidité, matière organique, calcaire total, calcium, magnésium, plomb, mercure, cuivre et cadmium) ont été analysées.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs propres de la matrice de corrélation, les proportions et les proportions cumulées de la variance expliquées par les composantes.

TABLEAU 17: INFORMATIONS RELATIVES AUX CORRELATIONS DES VARIABLES INITIALES AVEC LES CINQ PREMIERES COMPOSANTES PRINCIPALES.

	<i>Dim.1</i>	<i>Dim.2</i>	<i>Dim.3</i>	<i>Dim.4</i>	<i>Dim.5</i>
Variance	5.552	2.762	1.513	1.368	0.806
% of var.	46.265	23.015	12.605	11.396	8
Cumulative % of var.	46.265	69.281	81.886	93.282	100.000

La première composante principale [Dim.1] prend en compte (46.26%) de la variabilité. Elle est, de loin, la plus importante, puisque les quatre composantes suivantes n'expliquent respectivement que (23.01%), (12.60%), (11.40%), (6.72%).

A partir de la 3^{ème}, les composantes sont nettement moins utiles et correspondent à des valeurs propres inférieure à l'unité (>1.51).

Nous limiterons notre analyse aux trois premières composantes qui, ensemble, expliquent 81.89% de la variabilité [Tableau 16].

Le but de cette analyse multivariée est de fournir des classes de sites d'échantillonnage à la base des analyses effectuées sur l'eau, Ceci signifie que les valeurs d'un même site doivent se ressembler tandis que ceux de deux sites différents doivent être les plus différents possibles, mais réaliser une classification peut être :

- Celui d'obtenir une répartition des valeurs en groupes ou classes homogènes et bien séparés.
- Une analyse complémentaire avant ou après d'autres analyses.

Une bonne classification doit satisfaire deux conditions [Bouroche & Saporata, 1980]:

- Cohésion (ou homogénéité à l'intérieur des classes).
- Isolement (ou hétérogénéité entre les classes).

La hiérarchie est représentée graphiquement par un diagramme des scores [Fig. 29].

1.4.1.1. PLAN FACTORIEL DES DIMENSIONS 1x2 :

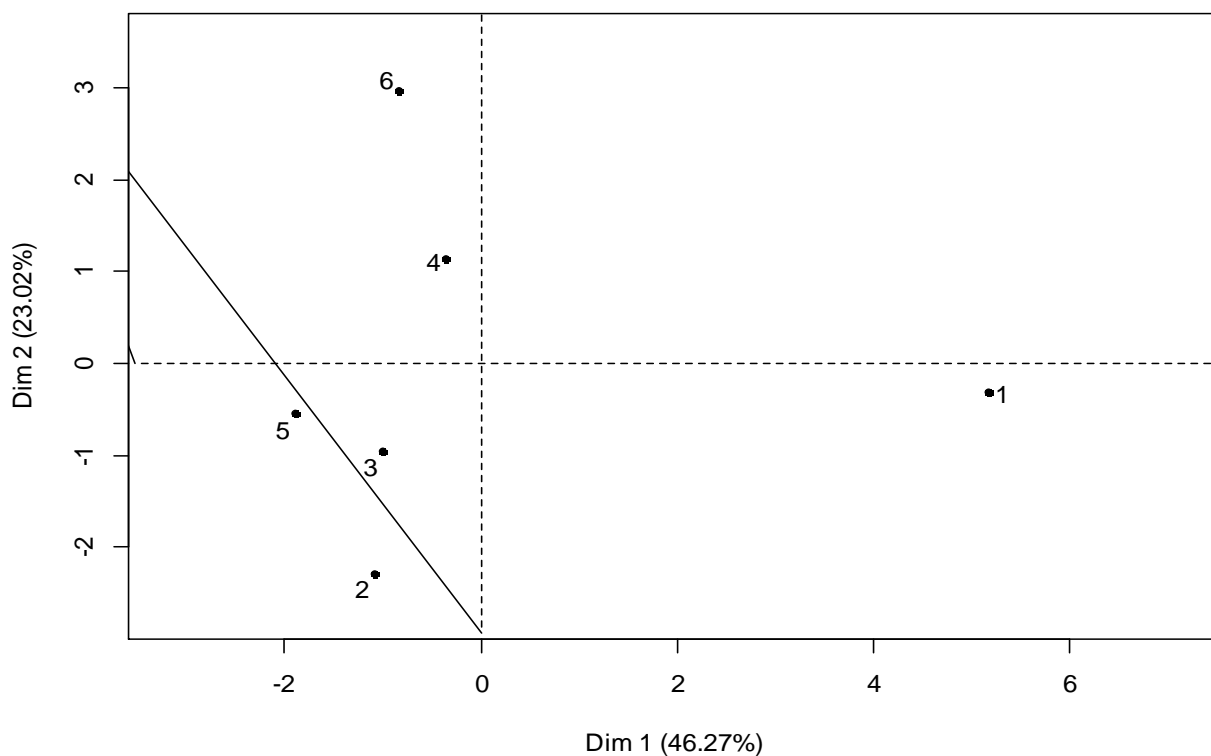


FIGURE 29 : PLAN FACTORIEL DES PARAMETRES DU SOL SELON LES DIMENSIONS 1x2

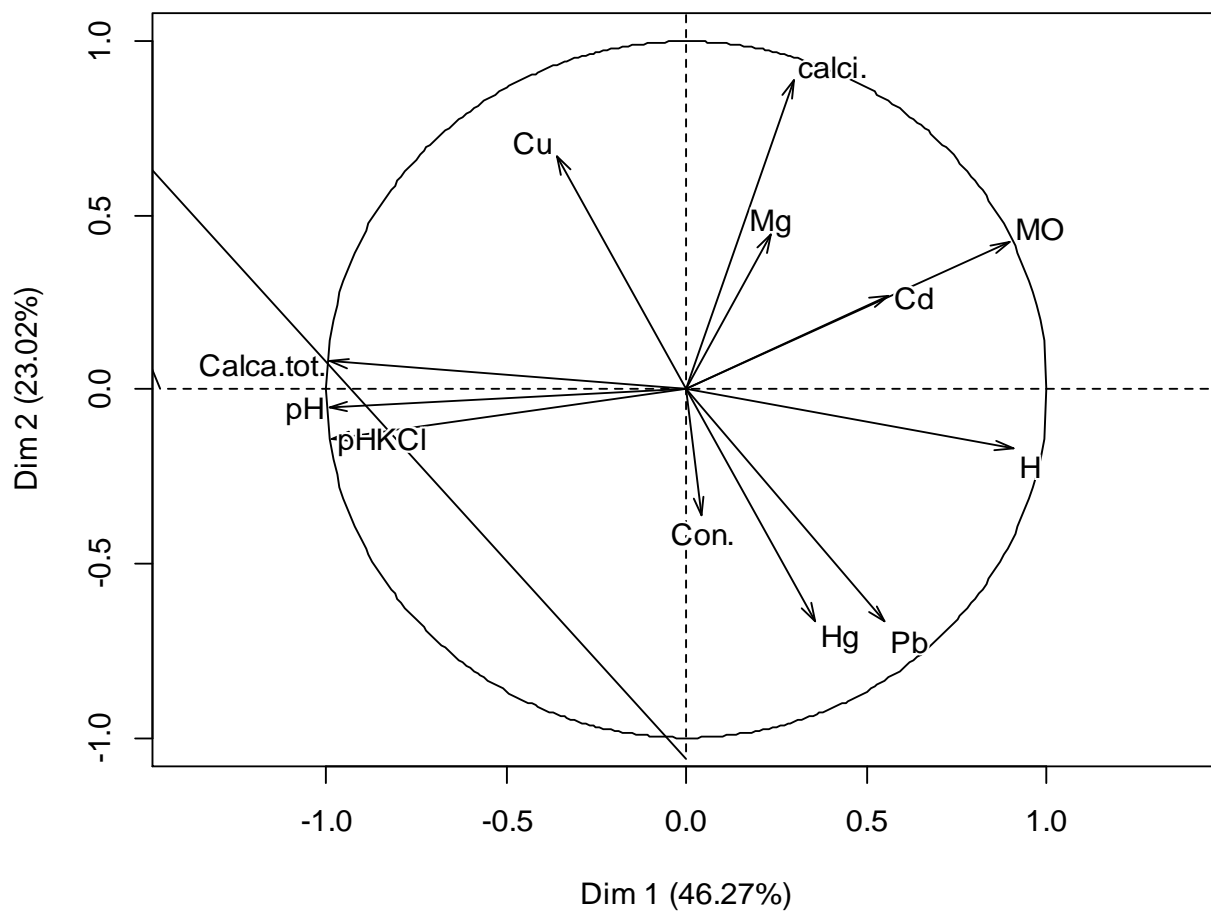


FIGURE 30 : CERCLE DES CORRELATIONS DES PARAMETRES DU SOL SELON LES DIMENSIONS 1x2

Le cercle de corrélation formé par les dimensions 1 et 2 [Figure 29 & 30, Tableau 17] donnant 69.28 % de l'information totale montre :

1.4.1.1.1. PREMIÈRE DIMENSION :

C'est la 1^{ère} dimension qui donne le maximum d'information avec un pourcentage de 46.27 %,

Cet axe indique donc l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé du site 1, le second est composé des sites 2, 3, 4 et 6 et le 3^{ème} est formé par le site 5 [Figure 29]. Les paramètres qui ont créés cette hétérogénéité sont l'humidité et la matière organique dans la partie positive de l'axe et le pH, le calcaire total et le pH-Kcl dans la partie négative de l'axe [Figure 30]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les valeurs les plus élevées en humidité et matière organique et les teneurs les moins élevées en pH, calcaire total et pH-Kcl au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des valeurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsable de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation (voir annexe).

1.4.1.1.2. DEUXIÈME DIMENSION :

La 2^{ème} dimension donne un pourcentage d'information de l'ordre de 23.02 % et témoigne l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé du site 6, le second est composé des sites 1, 3, 4, 5 et et le 3^{ème} est formé par le site 2 [Figure 29]. Les paramètres responsables de cette variabilité sont le calcium et le cuivre dans la partie positive de l'axe et le plomb et le mercure dans la partie négative de l'axe [Figure 30]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les concentrations les plus importantes en calcium et en cuivre et les teneurs les moins élevées en plomb et en mercure au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des teneurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsables de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation (voir annexe).

1.4.1.2. PLAN FACTORIEL DES DIMENSIONS 2 ET 3 :

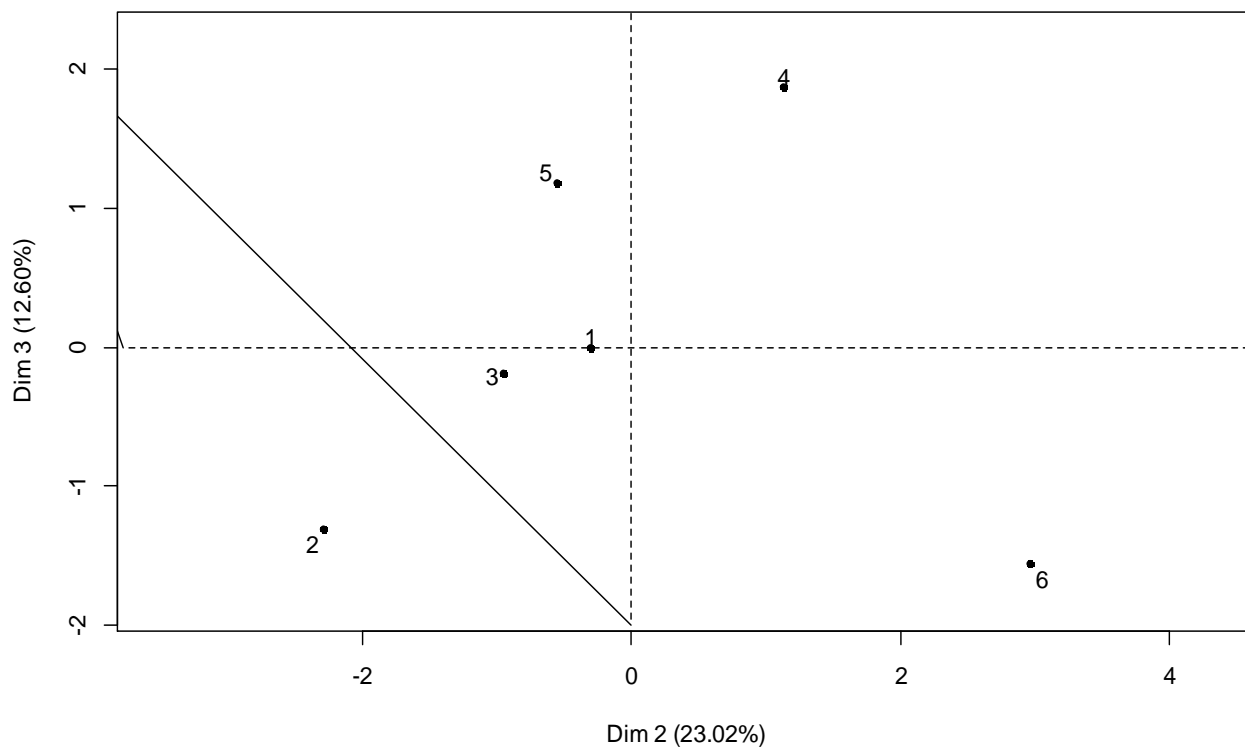


FIGURE 31 : PLAN FACTORIEL DES PARAMETRES DU SOL SELON LES DIMENSIONS 2X3

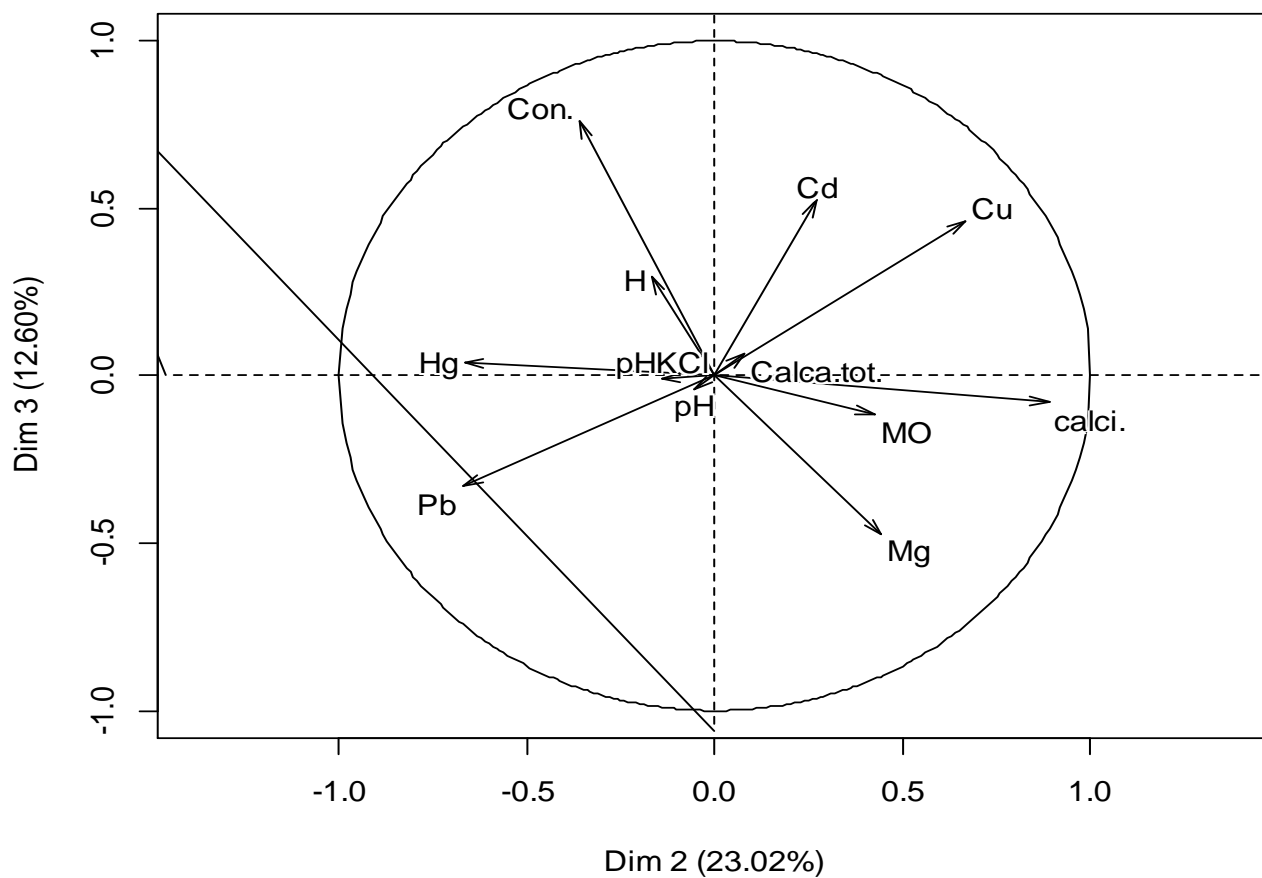


FIGURE 32 : CERCLE DES CORRELATIONS DES PARAMETRES DU SOL SELON LES DIMENSIONS 2X3

Le plan factoriel formé par les dimensions 2 et 3 [Figure 31 & 32, Tableau 17], explique 43.17 % de l'information totale :

1.4.1.2.1. TROISIÈME DIMENSION :

La 3^{ème} dimension donne un pourcentage d'information de l'ordre de 12.60 % et indique l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé des sites 4 et 5, le second est composé par les sites 1 et 3 et le 3^{ème} est formé par les sites 2 et 6 [Figure 31]. Les paramètres responsables de cette variabilité sont la conductivité, le cuivre et le cadmium dans la partie positive de l'axe et le magnésium dans la partie négative de l'axe [Figure 32]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les concentrations les plus importantes en conductivité, cuivre et cadmium et les teneurs les moins élevées en magnésium au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des teneurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsables de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation [voir annexe].

A partir de cette analyse en composante principale dans les diverses dimensions, on résume les caractéristiques de chaque site dans le tableau suivant :

⇒ 1 ^{ER} SITE :	Caractérisé par les valeurs les plus élevées en humidité et matière organique et les teneurs les moins élevées en pH, pH-Kcl et calcaire total et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 2 ^{EME} SITE :	Caractérisé par les concentrations les plus importantes en plomb, magnésium et mercure et les teneurs les moins élevées en calcium, cuivre, conductivité et cadmium et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 3 ^{EME} SITE :	Caractérisé par des concentrations médianes dans l'ensemble des paramètres
⇒ 4 ^{EME} SITE	Caractérisé par les concentrations les plus importantes en conductivité, cuivre et cadmium et les teneurs les moins élevées en magnésium et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 5 ^{EME} SITE	Caractérisé par les concentrations les plus importantes en pH, pH-Kcl, calcaire total, conductivité, cuivre et cadmium et les teneurs les moins élevées en magnésium, humidité et matière organique et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 6 ^{EME} SITE	Caractérisé par les concentrations les plus importantes en calcium, magnésium et cuivre et les teneurs les moins élevées en plomb, mercure, conductivité, cuivre et cadmium et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.

Ainsi à partir des résultats de l'ACP et du tableau ci-dessus, on obtient une partition en 3 classes basée sur le degré de similarité entre les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

Les classes obtenues sont les suivantes :

1^{ERE} CLASSE : « <i>la plus polluée</i> »	Correspond au site 2, 4 et 5, le premier est situé en aval du chef lieu de wilaya côté sud (route de Zaarouria) et en amont de l'ex usine SONIC, le second est situé en amont de la station d'épuration des eaux usées, le dernier est situé en aval du chef lieu de wilaya côté Est (route de Taoura) et en aval de la station d'épuration.
2^{EME} CLASSE : « <i>Moyennement polluée</i> »	Représentée par le site 3 situé en aval de l'ex usine SONIC.
3^{EME} CLASSE : « <i>la moins polluée</i> »	Correspond aux sites 1 et 6, le premier est situé en amont du chef lieu de wilaya, le second est situé en aval du chef lieu de wilaya côté nord et en aval de l'oued Djedra.

Ces résultats statistiques se concordent avec les résultats physico-chimiques et de pollution et sont justifiable du point de vue scientifique.

1.4.2. TEST U DE MANN WHITNEY :

Le tableau ci-dessous résume les résultats du test U de Mann Whitney qui prouve l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche avec un $p < 0.05$ seulement pour trois paramètres à savoir le pH-KCl, l'humidité et le mercure :

TABLEAU 18 : RESULTATS DU TEST U DE MANN WHITNEY

<i>variable</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>P-level</i>	<i>Z ajusté</i>	<i>P-level</i>	<i>P exacte</i>
pH	12	0,880705	0,378478	0,882249	0,377643	0,393939
pH-KCl	5	2,001602	0,045328	2,00511	0,044952	0,041126
Conductivité	12,5	-0,800641	0,42334	-0,807732	0,419245	0,393939
Humidité	0	2,802243	0,005075	2,807155	0,004998	0,002165
Matière organique calcaire	10	-1,20096	0,229767	-1,21376	0,22484	0,24026
calcium	17,5	0	1	0	1	0,937229
magnésium	12,5	-0,800641	0,42334	-0,809174	0,418416	0,393939
Plomb	16	-0,240192	0,810181	-0,24232	0,808533	0,818182
Cadmium	17	0,080064	0,936186	0,080064	0,936186	0,937229
Cuivre	16	-0,240192	0,810181	-0,241462	0,809197	0,818182
Mercure	13	0,720577	0,471171	0,72956	0,46566	0,484848
	4	-2,16173	0,03064	-2,16933	0,030058	0,025974

1.4.3. CORRELATIONS DE SPEARMAN (NON-PARAMETRIQUE) :

Le coefficient de corrélation de rang (appelé coefficient de Spearman) examine s'il existe une relation entre le rang des observations pour deux caractères X et Y, ce qui permet de détecter l'existence de relations monotones (croissante ou décroissante), quelle que soit leur forme précise (linéaire, exponentiel, puissance, ...). Ce coefficient est donc très utile lorsque l'analyse du nuage de point révèle une forme curviligne dans une relation qui semble mal s'ajuster à une droite. Le calcul d'un coefficient de corrélation ne constitue qu'une première étape dans l'analyse de la relation entre deux caractères. Une corrélation n'implique pas nécessairement une causalité [Grasland, 2000].

Notre matrice des corrélations entre les différents paramètres du sol est mentionnée en annexe, en effet les paramètres qui ont présentés des corrélations sont les suivants :

Pour les corrélations positives, on trouve :

- Le pH et le pHKCl avec un coefficient de 0.89 ;
- L'humidité et le mercure avec un coefficient de 0.71 ;
- La Matière organique et le calcium avec un coefficient de 0.77.

Pour les corrélations négatives, on trouve :

- L'humidité et le pH avec un coefficient de -0.77 ;
- La Matière organique et Le pH avec un coefficient de -0.77 ;
- La Matière organique et le pHKCl avec un coefficient de -0.94 ;
- Le Calcium et le pH-KCl avec un coefficient de -0.71 ;
- Le Plomb et le calcaire total avec un coefficient de -0.71.

2. DISCUSSION

L'Oued de Medjerda constitue Le fleuve le plus important de la Berbérie orientale et de l'Afrique septentrionale [Gsell, 1913].c'est la source hydrographique la plus importante dans la région de la wilaya de Souk-Ahras, largement utilisée pour l'approvisionnement en eau douce (eau potable), l'abreuvement des cheptels et l'irrigation des terres agricoles.

La caractérisation des sols de la haute vallée de la Medjerda nous a permis de déduire plusieurs points :

⇒ Les paramètres chimiques :

L'acidité effective est neutre à légèrement alcaline, ce qui correspond à une concentration moyenne en ions H^+ libres, existant dans la solution du sol [Mathieu *et al.*, 2003]. Elle varie de 6.88 à 7.76. Cet intervalle rentre dans la fourchette des pH-eau courants des sols minéraux en région semi-arides.

L'acidité de réserve est faible durant la saison humide à moyenne durant la saison sèche témoignant d'une concentration moyenne en ions H^+ échangeables fixés par les colloïdes, existant dans la solution du sol [Mathieu *et al.*, 2003].

La salinité de nos sols est faible dans tous les sites d'études et pendant les deux périodes, ce qui signifie une faible concentration en solutés ionisables ;

L'humidité de nos sols est faible, elle est justifiée par la spécificité du climat de la région d'étude, ainsi que par la faible capacité de rétention de l'eau des sols qui est en relation étroite avec la composition physico-chimiques du sol et sa nature granulométrique. L'évolution du taux d'humidité en fonction des saisons est sous l'influence des conditions météorologiques.

A l'instar des sols méditerranéens, les sols d'Algérie sont généralement caractérisés par leur faible taux de la M.O, conséquence du type de climat qui règne dans nos régions et des systèmes culturaux pratiqués qui ne sont pas favorables à la constitution d'une réserve organique dans le sol [Koull, 2007]. Dans notre cas, la faible teneur en matière organique peut être due :

- A un faible apport de matière organique fraîche (sol nu...).
- Une mauvaise incorporation de la matière organique fraîche (résidus agricole).
- A une activité biologique forte, notamment en période sèche, capable de minéraliser une grande partie des résidus organique que reçoit le sol à la fin de la saison de végétation.
- A une forte concentration carbonates de calcium qui interviennent rapidement en inhibant la biodégradation (minéralisation secondaire) de la matière organique humifiée. Son intervention se manifeste par une action mécanique

en formant un enrobage cristallin de CaCO_3 autour des matières organiques [Muller, 1972].

Le pourcentage du calcaire dans nos sols est modéré et peut avoir comme origine l'altération des débris résiduels de la roche mère, les précipitations, les débris biologiques (coquilles de gastéropodes..etc), le colluvionnement et le ruissellement hypodermique et par l'apport éolien [Mathieu *et al.*, 2003].

En ce qui concerne le magnésium et le calcium, depuis longtemps il est bien connu que la plupart des sols des régions humides et subhumides sont faiblement pourvus en ces deux éléments, sous quelque forme que ce soit [Boyer, 1978]. Dans notre cas, La hiérarchisation habituellement admise $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ [Brown *et al.*, 1984] est respectée pour l'ensemble de nos sols avec de faibles concentrations pendant les deux périodes d'études. La pauvreté du complexe en ces bases échangeables est due en grande partie à la faible minéralisation de la matière organique, à un faible apport pluviométrique et atmosphérique.

⇒ Les métaux lourds :

En effet, le Plomb est utilisé comme antidétonant dans les carburants [Durand, 2003], il s'accumule dans les horizons de surface [Fernandez-Cornudet, 2000]. Dans notre cas, les retombées de plomb dépassent de loin les valeurs limites de 100 ppm définies par la réglementation (Arrêté du 8 Janvier 1998], On estime que plus de 95 % du plomb susceptible de contaminer l'environnement par retombées atmosphériques aurait pour origine le trafic automobile. Il peut avoir aussi comme source ; les usines traitant le minerai ou réalisant la récupération des batteries ou encore pratiquant l'affinage du plomb ; les déblais de mines et les poussières de crassiers ; les boues de stations d'épuration et certains traitements [Baize, 1997].

Les valeurs du cuivre ne présente pas de grande variabilité et ne dépasse jamais la valeur limite de 100 ppm, ces concentrations proviennent soit du Fond pédogéochimique naturel soit des Apports naturels (poussières, précipitations et aérosols) [SOeS, 2010].

La concentration de nos sols en mercure dépasse la valeur limite de 1 ppm, ces fortes teneurs en Hg sont souvent issus de roches mères riches en Hg, comme c'est Le cas des ceintures mercurifères [Jonasson *et al.*, 1972 ; Andersson, 1979]. A l'échelle européenne, la source d'émission dominante du mercure (56 %) serait la combustion du fuel et du charbon. En outre, 40 % des émissions du mercure résulteraient de la volatilisation spontanée, non liée directement à une activité humaine (dégagement à partir de sols pollués, de végétaux, d'eaux continentales et océaniques) [Collectif, 1998].

Le cadmium existe dans les sols à de très faibles doses (on compte en effet en centièmes de ppm) et pourtant cet ETM est le plus redouté car très toxique. En outre, c'est l'ETM qui montrerait la plus grande variabilité spatiale [Wopereis *et al.*, 1988], cette variabilité est prouvée par nos résultats. Les teneurs de nos sols en cadmium sont très importantes et dépassent de loin les normes de 2 ppm. Le cadmium serait présent dans toutes les roches mais plus abondant dans les roches sédimentaires que dans les roches magmatiques et les

apports anthropiques sont souvent égaux voire très supérieurs au fond pédo-géochimique initial [Baize, 1997].

Les apports anthropogènes résultent des engrais phosphatés, des déchets d'élevage, du chaulage, du raffinage du zinc, des industries métallurgiques du fer et de l'acier, de l'affinage du plomb, de nombreuses activités urbaines, du trafic routier et de l'incinération des déchets [Baize, 1997].

La comparaison des concentrations saisonnières de la salinité, le calcaire total, le calcium et le mercure se révèle plus fortes en été qu'en hiver, cette différence est due à un phénomène de dilution par les eaux pluviales.

⇒ Les paramètres physiques :

La porosité du sol exprime le volume des vides qui peuvent être occupé par l'eau ou l'air afin de constituer un habitat favorable pour la faune du sol. Dans notre cas, elle ne dépasse jamais les 20.19%. Ces faibles porosité résulte des caractéristiques de la matrice du sol [texture, densité apparente), de l'activité biologique (présence de galeries dues soit aux vers de terre soit aux racines) et des pratiques culturales [Braud *et al.*, 2005 ; Haverkamp *et al.*, 1996].

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols de cette partie de la haute vallée de la Medjerda soulignent le caractère équilibré de nos sols et la texture limons-argilo-sableux.

Et en fin, Les résultats de l'analyse statistique confirment ceux obtenus au laboratoire et révèlent, d'une part une variabilité entre stations intra période (inter site), et d'autre part, une éventuelle variabilité entre les deux périodes (variabilité inter périodes). Ces variabilités sont dues bien sûr aux caractéristiques propres à chaque site ainsi qu'à l'effet saison.

Les résultats de l'ACP nous a permis de joindre les différentes caractéristiques pour chaque site, et de répartir ces dernier en 3 classes basée sur le degré de similarité entres les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

La classe la plus polluée correspond au site 2, 4 et 5, le premier est situé en aval du chef lieu de wilaya de Souk Ahras côté sud (route de Zaarouria), le second est situé en amant de la station d'épuration des eaux usées, le dernier est situé en aval du chef lieu de wilaya coté Est (route de Taoura). Donc à cet effet, on peut conclure que les principales sources de pollution pour ces sols sont les rejets urbains et industriels.

La classe de moyenne pollution est représentée par le site 3 situé en aval de l'ex usine SONIC tandis que la classe la moins polluée correspond aux sites 1 et 6, le premier est situé en amant du chef lieu de wilaya, le second est situé en aval du chef lieu de wilaya côté nord et en aval de l'oued Djedra. Ces sites se situent respectivement en amant et en aval du chef lieu de la wilaya de Souk Ahras ce qui confirme l'importante pollution urbaine et industrielle causé par la concentration urbaine et industrielle de cette commune.

Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche seulement pour trois paramètres à savoir le pH-Kcl, l'humidité et le mercure.

3. CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus au niveau des différents paramètres étudiés au niveau des sols de la haute vallée de la Medjerda, on a pu déduire ce qui suit :

La caractérisation chimique a montré que nos sols ont une acidité effective neutre à légèrement alcaline, une acidité de réserve faible durant la saison humide et moyenne durant la saison sèche ainsi qu'une salinité, une humidité et une teneur en matière organique faibles.

L'importante présence de carbonate de calcium explique, en partie, le pH élevé du sol et les faibles valeurs de la conductivité électrique et de la matière organique. Donc, à notre avis, le carbonate de calcium a joué le rôle de régulateur du sol particulièrement les liens entre la solution du sol et le complexe absorbant en inhibant la biodégradation de la matière organique [Muller, 1972].

La hiérarchisation habituellement admise $Ca^{2+} > Mg^{2+}$ [Brown *et al.*, 1984] est respectée pour l'ensemble de nos sols avec de faibles concentrations pendant les deux périodes d'études.

Nos sols sont contaminés par les métaux lourds tels que le plomb, le mercure et surtout le cadmium qui présente des valeurs très toxiques à l'exception du cuivre qui présente des concentrations acceptables. Cette pollution peut avoir comme origine le fond pédogéochimique naturel, les apports naturels (poussières, précipitations et aérosols) et les apports anthropogènes (agricoles, industriels et urbains) [SOeS, 2010].

La description morphologique, nous a permis de constater le caractère équilibré de nos sols malgré la faible porosité et la texture d'un limons-argilo-sableux.

Les résultats de l'analyse statistique confirment ceux obtenus au laboratoire et révèlent, d'une part une variabilité entre stations intra-période (inter-site), et d'autre part, une éventuelle variabilité entre les deux périodes (variabilité inter-périodes). Ces variabilités sont dues bien sûr aux caractéristiques propres à chaque site, à la pollution humaine ainsi qu'à l'effet saison.

Les résultats de l'ACP nous a permis de rassembler les différentes caractéristiques pour chaque site, et de répartir ces dernier en 3 classes basée sur le degré de similarité entres les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

La classe la plus polluée correspond aux sites 2, 4 et 5, la classe de moyenne pollution est représentée par le site 3 tandis que la classe la moins polluée correspond aux sites 1 et 6. Donc à cet effet, on peut conclure que les principales sources de pollution pour ces sols sont les rejets urbains et industriels de la commune de Souk Ahras.

Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche seulement pour trois paramètres à savoir le pH-Kcl, l'humidité et le mercure.

Avec cette faible teneur en matière organique, humidité, sels minéraux et bases échangeables, faible porosité et pollution par le plomb, cadmium et mercure, on peut juger que les sols de la haute vallée de la Medjerda sont très fragiles et pollués. De ce fait, la prudence et la surveillance de l'état chimique, l'enrichissement et la protection de ces sols doivent être maintenue même renforcer vue la fragilité et la vulnérabilité de ces terres.

II. Etude de L'eau

1. RESULTATS :

1.1. RESULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :

Les résultats des analyses physico-chimiques sont résumés comme suit :

1.1.1. TEMPERATURE :

Selon **Chapman & Kimstach [1996]**, La température de l'eau est facteur écologique très important qui régit pratiquement la totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Cette température agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes [**W.H.O, 1987**].

L'évolution temporelle de la température de l'eau montre des valeurs maximales en été et minimales en hiver [**El Addouli et al., 2011**]. La **Figure 33** montre que la température varie de 17,1 °C [site 4] à 18,3 °C [site 1] avec une moyenne de 17.80 °C lors de la fin de la période humide, par contre durant la fin de la période sèche, elle varie de 18,7°C [site 1] à 22,2°C [site 6] avec une moyenne de 21.50 °C.

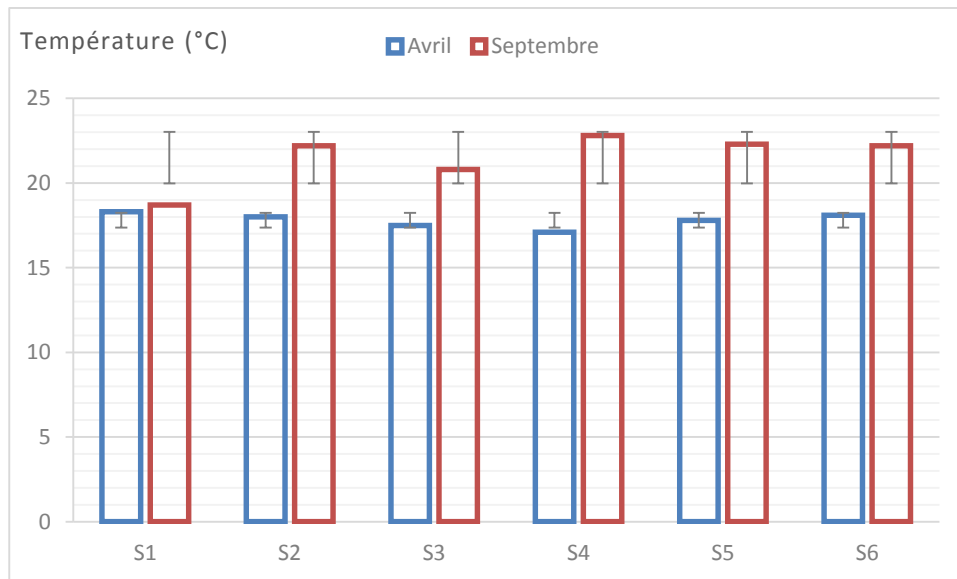


FIGURE 33 : VARIATION DE LA TEMPERATURE DE L'EAU PENDANT LES DEUX PERIODES D'ETUDE.

1.1.2. TURBIDITE :

La turbidité est définie comme « la diminution de la transparence d'un liquide due aux matières non dissoutes » c'est-à-dire colloïdales et ou en suspension [**NF EN ISO 7027, 2000**]. Elle dépend donc de la concentration en MES de l'échantillon mais également des caractéristiques optiques et géométriques des **particules** [**Bertrand-Krajewski et al., 2010; Ruban, 1995**]. Elle est causée par une multitude de matières particulières ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi

que du plancton et d'autres micro-organismes. La source de ces matières peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) [US EPA, 1999].

L'évolution de la turbidité de l'oued Medjerda ne montre pas de variation importante entre les différents sites et les différentes périodes. Les valeurs oscillent de 10.55 ntu [site 1] à 46.95 ntu [site 4] avec une moyenne de 25.98 ntu en hiver et de 12.55 ntu [site 1] à 40.75 ntu [site 2] avec une moyenne de 23.32 ntu en été.

L'aspect de cette eau est légèrement trouble, à l'exception du site 4 lors de la période humide et du site 2 lors de la période sèche qui ont affiché une apparence trouble de l'eau avec des valeurs respectives de 46.95 ntu et de 40.75 ntu [Tableau 19]. Ces pics sont des accidents qui peuvent avoir comme origine un déversement aléatoire de déchets urbains. Le site 1 semble le plus clair avec les plus faibles turbidités durant les deux périodes d'études [Figure 34].

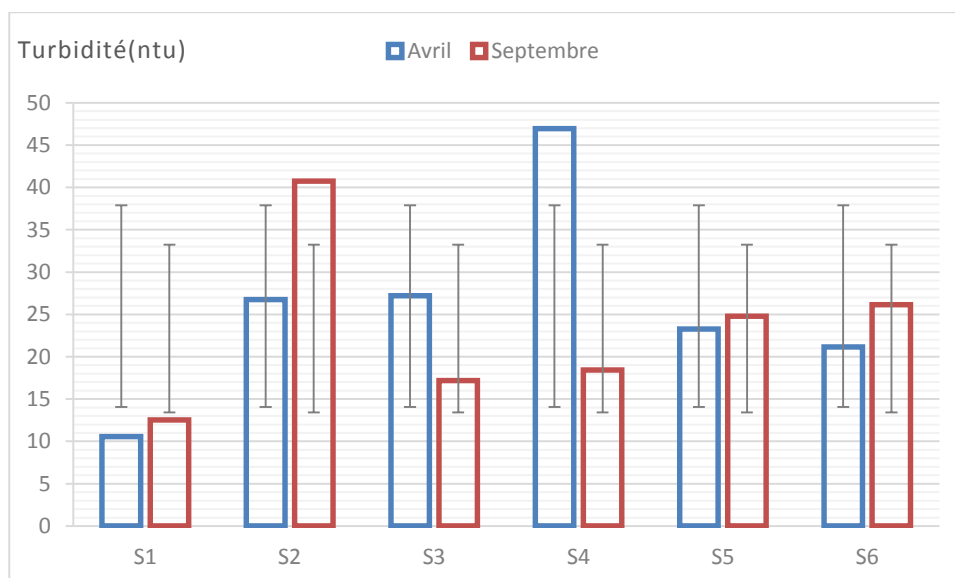


FIGURE 34 : VARIATION DE LA TURBIDITE DES ECHANTILLONS D'EAUX ETUDIÉS.

TABLEAU 19 : CLASSES DE TURBIDITE USUELLES D'APRES L'IANOR, [2006]

$NTU < 5$	<i>Eau Claire</i>
$5 < NTU < 30$	<i>Eau légèrement trouble</i>
$NTU > 30$	<i>Eau trouble</i>

1.1.3. pH :

Généralement, les valeurs du pH oscillent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles [Chapman & Kimstach, 1996]. Le pH des eaux superficielles naturelles dépend surtout des composés chimiques existants, de la photosynthèse et de la respiration des organismes [RCPE, 2007]. Cependant la présence de dioxyde de carbone libre ou d'humus abaisse le pH.

La **Figure 31** montre un équilibre du pH dans tous les sites sélectionnés et durant les deux périodes d'études. Ces valeurs sont comprises entre 6.3 [site 1] et 7.2 [site 3] avec une moyenne de 6.62 en avril et entre 6.0 [site 1] et 7.0 [site3] avec une moyenne de 6.77 en septembre, ce qui donne un aspect neutre à cette eau.

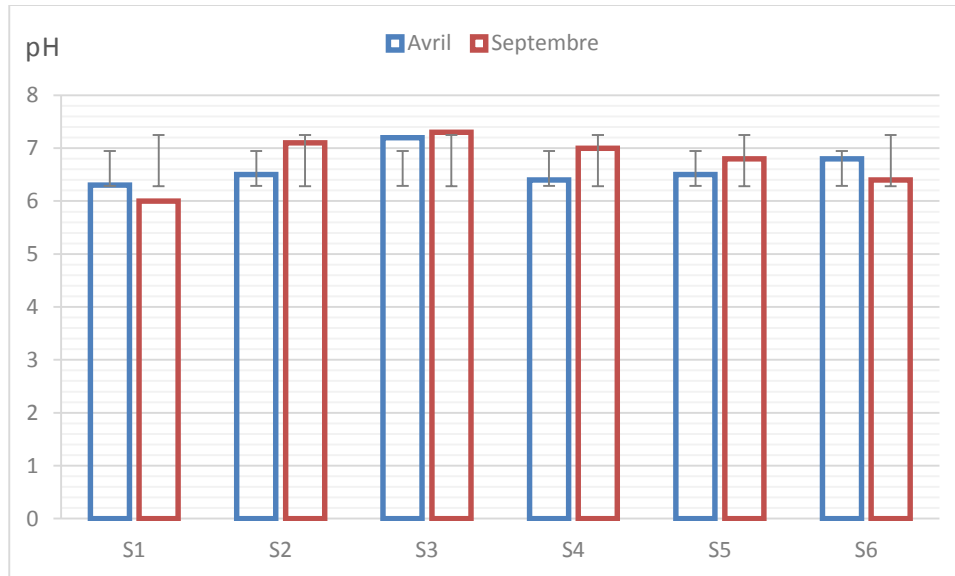


FIGURE 35 : VARIATION DU PH DE L'EAU PENDANT LES DEUX PERIODES D'ETUDE.

1.1.4. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE :

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau [Derwich *et al.*, 2010].

Le **tableau** ci-dessous donne quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité.

TABLEAU 20 : CLASSES DE MINERALISATION D'APRES LA CONDUCTIVITE [Rodier *et al.*, 2009].

<i>Conductivité</i>	<i>Minéralisation</i>
conductivité < 100 $\mu\text{S/cm}$:	très faible;
100 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S/cm}$:	faible;
200 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S/cm}$:	moyenne;
333 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S/cm}$:	moyenne accentuée;
666 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 1000 $\mu\text{S/cm}$:	importante;
conductivité > 1000 $\mu\text{S/cm}$:	élevée.

D'après le **tableau 20**, les eaux d'oued Medjerda sont fortement minéralisées [Figure 36], avec des valeurs situées entre 720 $\mu\text{S/cm}$ [site 1] et 1540 $\mu\text{S/cm}$ [site 5] avec une moyenne

de 1266.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en période humide et entre 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [site 1] et 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [site 4] avec une moyenne de 1161.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dépassons de loin les normes¹ de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans tous les sites et pendant les deux périodes d'études. Les concentrations les plus faibles ont été enregistrées dans le site 1 pendant les deux périodes d'études.

Les valeurs saisonnières des eaux de l'oued ne présentent pas de fluctuations très importantes à l'exception du printemps qui enregistre les valeurs les plus élevées, par contre elles dévoilent un léger gradient croissant de l'amont vers l'aval.

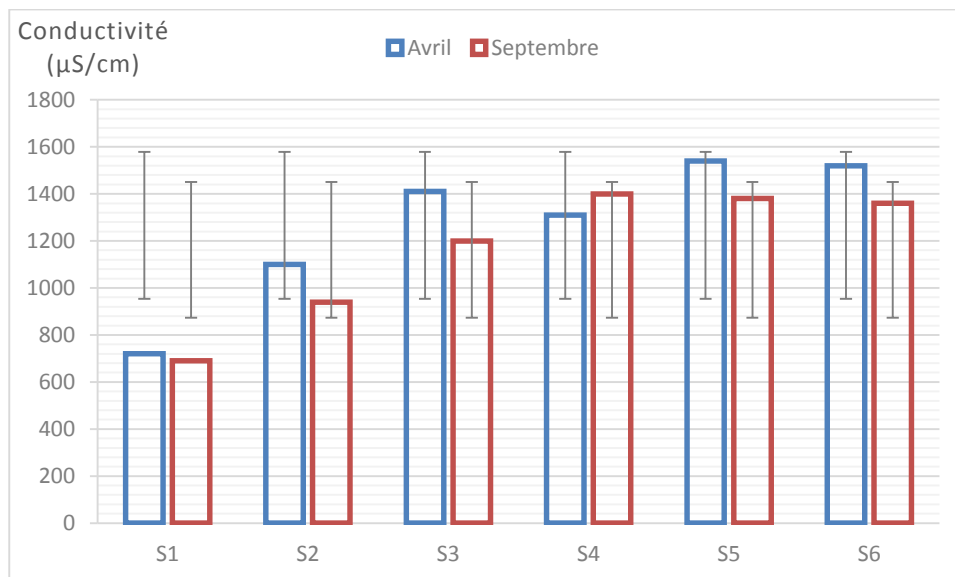


FIGURE 36 : VARIATION DE LA CONDUCTIVITE DE L'EAU PENDANT LES DEUX PERIODES D'ETUDE

1.1.5. LA DURETE :

La dureté d'une eau ou (TH) désigne la totalité des cations alcalino-terreux présents dans une eau [Boeglin, 1997]. Etant donné que le strontium et le baryum sont souvent présents dans l'eau sous forme de traces, la dureté totale se réduit à sa concentration en ions calcium et magnésium [Derwich et al., 2010].

Le **tableau 21** exprime la dureté de l'eau en fonction du titre hydrométrique.

TABLEAU 21 : CLASSES DE DURETE EN FONCTION DU TITRE HYDROTOMETRIQUE [Jestin, 2010].

<i>Titre hydrotimétrique</i>	<i>Dureté</i>
Entre 0 et 10°F	eau très douce.
Entre 10 et 20°F	eau douce.

¹Norme décrite par la directive du conseil des communautés européennes N° 80-778-J.O.C.E. n°L229/11 du 30 aout 1980

<i>Titre hydrotimétrique</i>	<i>Dureté</i>
Entre 20 et 30°F	eau moyennement dure.
Entre 30 et 40°F	eau dure.
Supérieure à 40°F	très dure.

L'évolution spatiale de la dureté totale moyenne révèle un changement des teneurs entre 12.75 °F [site 1] et 28°F [site 5] avec une moyenne de 23.65°F durant la fin de la période humide et entre 14.25°F [site 1] et 37.5°F [site 3] avec une moyenne de 28.28°F durant la période sèche [Figure 37] tandis que l'évolution temporelle montre des concentrations plus importantes en ions calcium et magnésium en été qu'en hiver. Les teneurs les moins élevées ont été enregistrées dans le site 1 pendant les deux périodes.

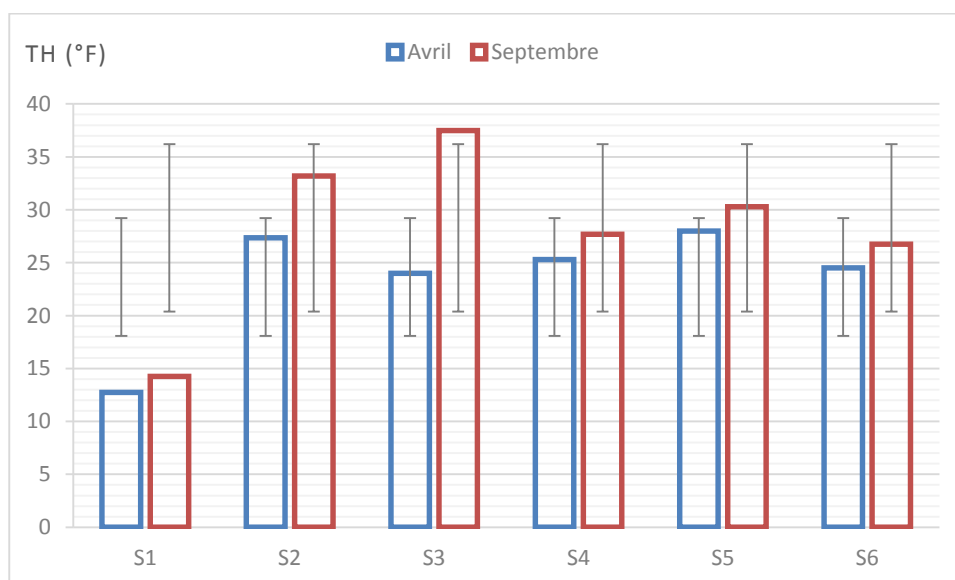


FIGURE 37 : VARIATION DE LA DURETE DES ECHANTILLONS D'EAUX ETUDIES.

D'après les résultats montrés dans la figure 33, l'eau d'oued Medjerda est moyennement dure à dure dans tous les sites à l'exception du site 1 qui est douce

1.1.6. TITRE ALCALIMETRIQUE (TA) ET TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC) :

Les valeurs relatives du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalinoterreux présents dans l'eau [Rodier *et al.*, 2009]. Le TA permet donc de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate.

Le TAC assure donc la détermination de la teneur en hydrogencarbonates.

Le titre alcalimétrique est nul dans tous les sites et pendant les deux périodes d'études tandis que les valeurs du titre alcalimétrique complet sont plus importantes en été qu'en hiver. Elles sont proches les unes des autres pendant la période sèche et ne varient que de

5.1 °F [site 1] à 5.7°F [site 4] avec une moyenne de 5,43 °F, alors que lors de la période humide elles varient de 2,7 °F [site 3] à 5.4 °F [site 4] avec une moyenne de 4.48°F [Figure 38].

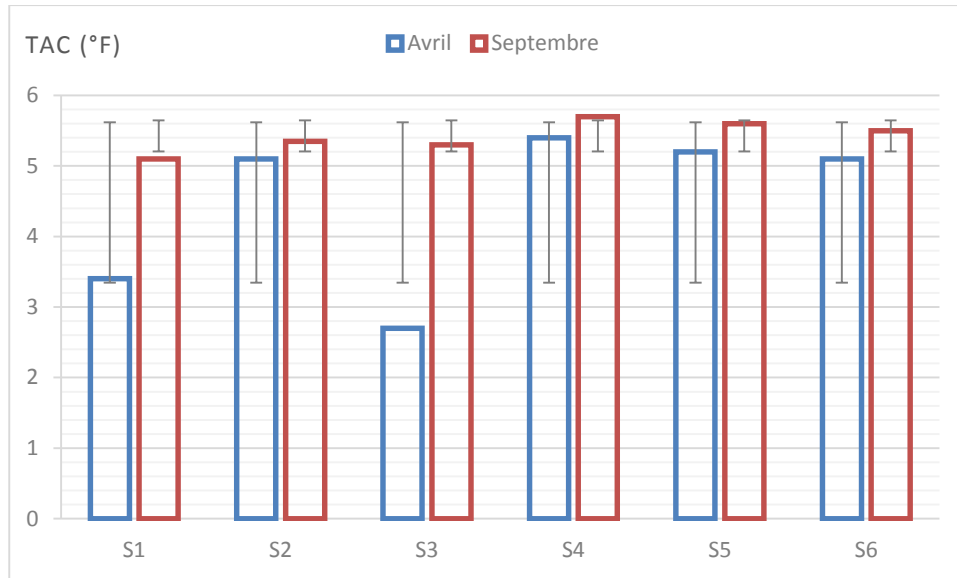


FIGURE 38 : VARIATION DE LA TAC EN FONCTION DES SITES D’ETUDE ET DU TEMPS.

TABLEAU 22 : CONCENTRATIONS DES DIFFERENTS ANIONS EN FONCTION DES VALEURS RESPECTIVES DU TA ET TAC D’APRES Berné *et al.*, 1991

	<i>Hydroxyde</i>	<i>Carbonate</i>	<i>Bicarbonate</i>
TA = 0	0	0	TAC
TA < TAC/2	0	2TA	TAC - 2TA
TA = TAC/2	0	2TA	0
TA > TAC/2	2TA - TAC	2 (TAC - TA)	0
TA = TAC	TA	0	0

Puisque notre titre alcalimétrique est nul, donc toute l'alcalinité de l'oued Medjerda est due aux bicarbonates [Tableau 22].

1.2. RESULTATS DES PARAMETRES INDICATEURS DE POLLUTION :

1.2.1. MATIERES EN SUSPENSION :

La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc.); elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.. [Rodier *et al.*, 2009]. De forte concentration en matières en suspension peut entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide [Hébert et Légaré, 2000].

Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) [IBGE, 2005].

Pour les deux saisons humide et sèche, les valeurs des MES enregistrées oscillent entre 46 mg/l [Site 1] et 287 mg/l [Site 5] [Figure 39].

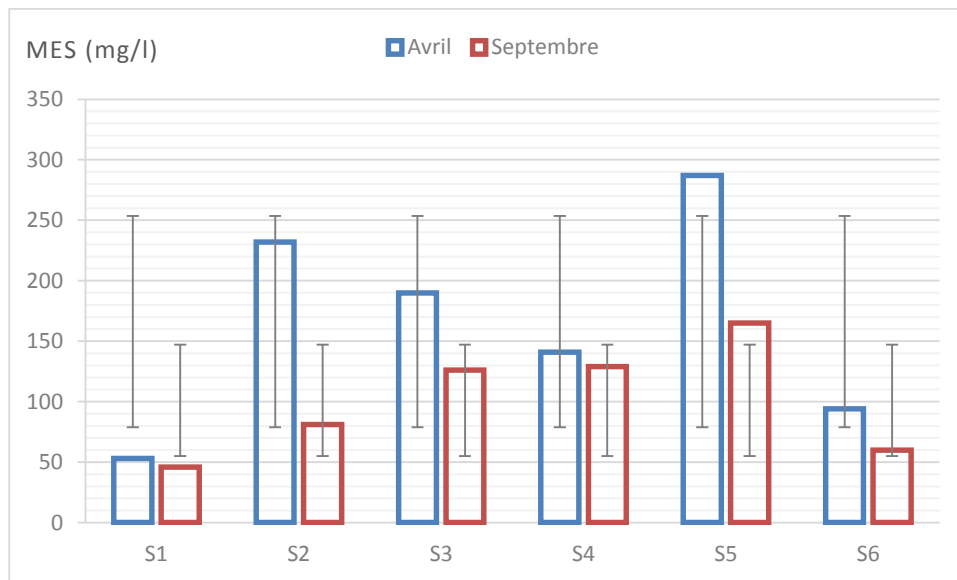


FIGURE 39 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA MATIERE EN SUSPENSION

L'évolution spatio-temporelle des teneurs en matières en suspension (MES) dans l'oued Medjerda suit une courbe de gauss avec deux valeurs minimales situées en amont [site 1] et en aval [site 6] du chef lieu de wilaya de Souk Ahras et un pic situé dans le site 5, ce qui met en évidence l'importante pollution urbaine.

Deux périodes peuvent être distinguées :

- Une période hivernale avec des fortes charges variant de 53 mg/l [site 1] à 287 mg/l [site 5] avec une moyenne de 166.17 mg/l. Ces teneurs élevées peuvent être le résultat d'une manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES peut être attribuée à une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies orageuses brutales qui occasionnent une augmentation des matières en suspension.

- Une période estivale, où la variation des concentrations de la MES garde la même allure avec des valeurs moins élevées dans toutes les stations variant de 46 mg/l [site 1] à 165 mg/l [site 5] avec une moyenne de 101.17 mg/l.

En général, les valeurs obtenues en période hivernale (crue) sont supérieures à celles mesurées en période estivale. Cette remarque est en accord avec plusieurs travaux effectués au niveau des oueds [Rohatgi *et al.*, 1975; Azzaoui, 1999, Makhoukh *et al.*, 2011].

Par ailleurs, la comparaison des teneurs en matières en suspension dans l'oued Medjerda avec la Norme de 25mg/l [Caux *et al.*, 1997] place ces eaux dans la très mauvaise grille.

1.2.2. OXYGENE DISSOUS :

Etant l'un des plus importants indicateurs sur le degré de la pollution des eaux, l'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau et il est exprimé en mg/l ou en pourcentage de saturation. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique [Derwich *et al.*, 2010]. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/ L. Elle est fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation [Rodier *et al.*, 2009]. Si les teneurs en oxygène gardent des valeurs proches de 2,5 à 3 mg/l, cela d'ordinaire aura pour conséquence la mort des poissons [Meinck *et al.*, 1977]. Une teneur de 4 à 6 mg/l d'O₂ caractérise une eau de bonne qualité [IBGE, 2005].

Dans notre étude, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche. En effet, les teneurs enregistrées varient entre 6.12 mg/l [Site 3] et 7.8 mg/l [Site 1] avec une moyenne de 6.92 mg/l et entre 4.37 mg/l [Site 5] et 5.89 mg/l [Site 1] avec une moyenne de 5.39 mg/l respectivement en période humide et en période sèche [Figure 40]. En fait c'est le site 1 qui présente la concentration la plus élevée.

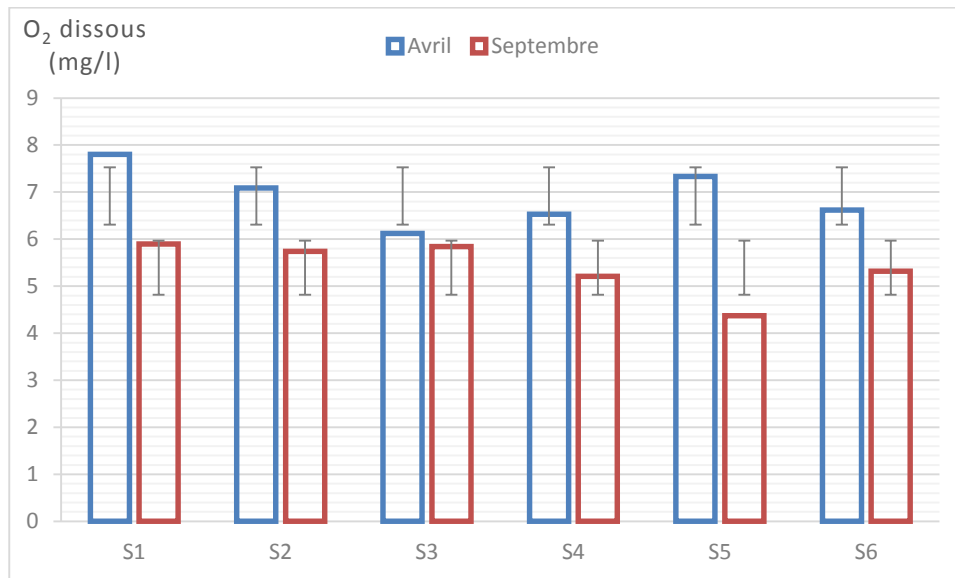


FIGURE 40 : VARIATION DU TAUX DE L'OXYGENE DISSOUS EN FONCTION DES SITES D'ETUDE ET DU TEMPS.

Globalement, le régime de l'oxygène dissous dans le secteur étudié est non déficitaire; Ces résultats montrent que les eaux de l'oued Medjerda sont bien oxygénées [IBGE, 2005 ; OMOE, 1984a ; OMOEE, 1994].

1.2.3. DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO₅) :

La DBO₅ qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/ l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO₅ est élevée, plus la quantité de matières organiques présentes dans l'échantillon est élevée [IBGE, 2005]. Il est admis qu'une DBO₅ inférieure à 1 mg/ L d'O₂ peut être considérée comme normale, entre 1 et 3 comme acceptable et au-delà de 3, comme douteuse ou anormale [Rodier *et al.*, 2009], Les eaux soumises aux rejets domestiques présentent généralement des concentrations supérieures à 10 mg/l [Chapman & Kimstach, 1996].

Les eaux d'oued Medjerda présentent des valeurs relativement élevées en DBO₅ [Figure 41], ces valeurs sont plus importantes en été. En effet, la DBO₅ varie entre 8.27 mg/l [Site 3] et 23.67 mg/l [Site 5] avec une moyenne de 11.48 mg/l en période hivernale et entre 10.67 mg/l [Site 3] et 65 mg/l [Site 2] avec une moyenne de 32.78 mg/l en période sèche. L'évolution spatiale montre que les valeurs sont proches les unes des autres dans chaque période à l'exception de quelques variations brutales tel que le site 5 (23.67 mg/l) en hiver et les sites 2 (65 mg/l), 4 (47.67 mg/l) et 5 (43 mg/l) en été, ces variations peuvent être attribuées à des rejets d'abattoirs, eaux usées urbaines et ruissellement des fumiers des terres agricoles.

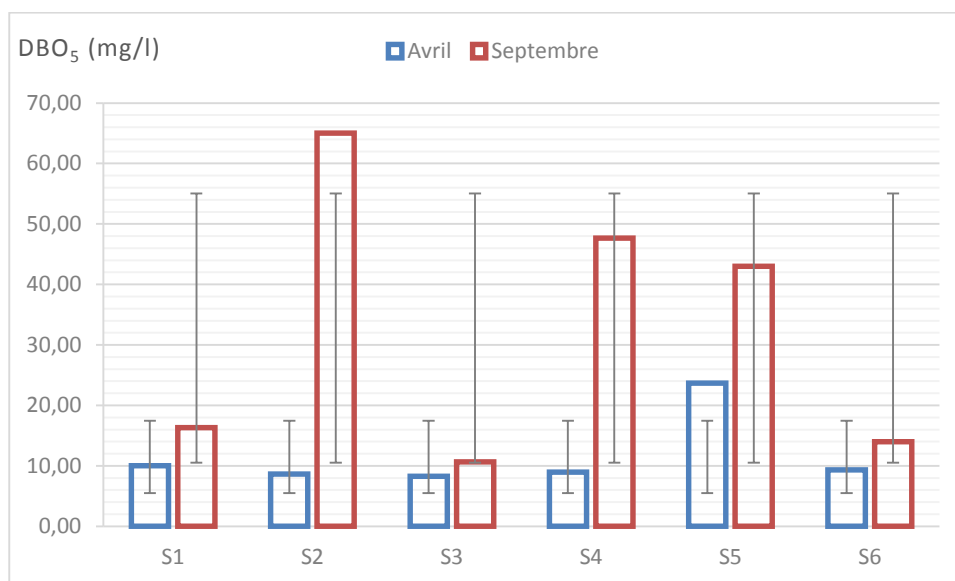


FIGURE 41 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA DBO₅

En fait c'est le site 3 qui a montré les concentrations les plus faibles cependant l'ensemble des sites ont présentés des teneurs hors norme [3 mg/l d'après **Rodier et al., 2009 & Inhaber, 1975**] c'est-à-dire des quantités importante de matière organique biodégradable.

1.2.4. DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO) :

La demande chimique en oxygène correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques, que celles-ci aient un caractère biodégradable ou non [**Rodier et al., 2009**]. Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau [**Makhoukh et al., 2011**]. Les directives du Conseil des communautés européennes prévoient, pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire, une valeur guide de 30 mg/l d'O₂.

Les résultats de la DCO des différents sites étudiés oscillent de 15,40 mg/l [Site 2] à 39,97 mg/l [Site 5] avec une moyenne de 21,97 mg/l en période humide et de 27,70 mg/l [Site 3] à 97 mg/l [Site 4] avec une moyenne de 56,63 mg/l en période sèche [Figure 42].

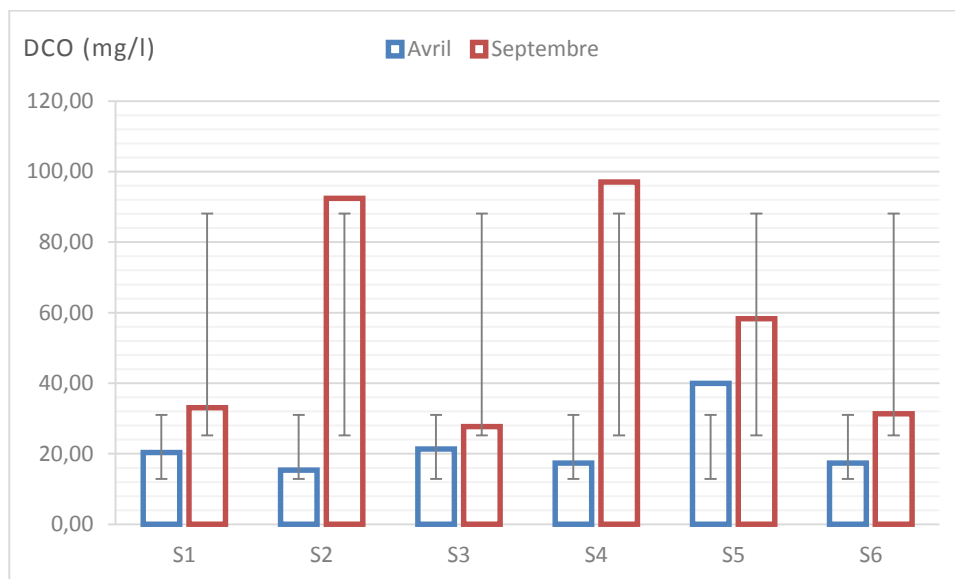


FIGURE 42 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA DCO

En période humide, à l'exception du site 5 qui présente une concentration maximale de 39.97 mg/l, les valeurs des autres sites sont proche les unes des autres et oscillent autour d'une moyenne de l'ordre de 17.37 mg/l. En période sèche, on a un groupe de sites (1, 3 et 6) dont les valeurs oscillent autour d'une moyenne de l'ordre de 31.37 mg/l et un autre groupe de sites (2,4 et 5) dont les valeurs oscillent autour d'une moyenne de 92.40 mg/l. En effet, l'ensemble des sites présentent des valeurs dans les normes [Rodier *et al.*, 2009] à l'exception des sites 2 et 4 en période estivale sous l'effet de pollutions accidentelles et le site 5 pendant les deux périodes sous l'effet d'une pollution diffuse de matière organique (totale).

Il est important de noter que l'évolution temporelle de la DCO montre des concentrations plus importantes en été qu'en hiver.

1.2.5. RAPPORT DCO/ DBO :

La différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DBO et la DCO constitue une mesure indicative de la « Dégradabilité » biochimique des composés présents dans l'eau. Le rapport DCO/ DBO évolue d'environ 2,5 (eau résiduaire récemment déversée) à 10-20 après décomposition totale [Lisec, 2004].

Le rapport DCO/ DBO varie de 1.69 [site 5] à 2.04 [site 1] avec une moyenne de 1.98 en période hivernale et de 1.36 [site 5] à 2.60 [site 3] avec une moyenne de 1.95 en période estivale [Figure 43].

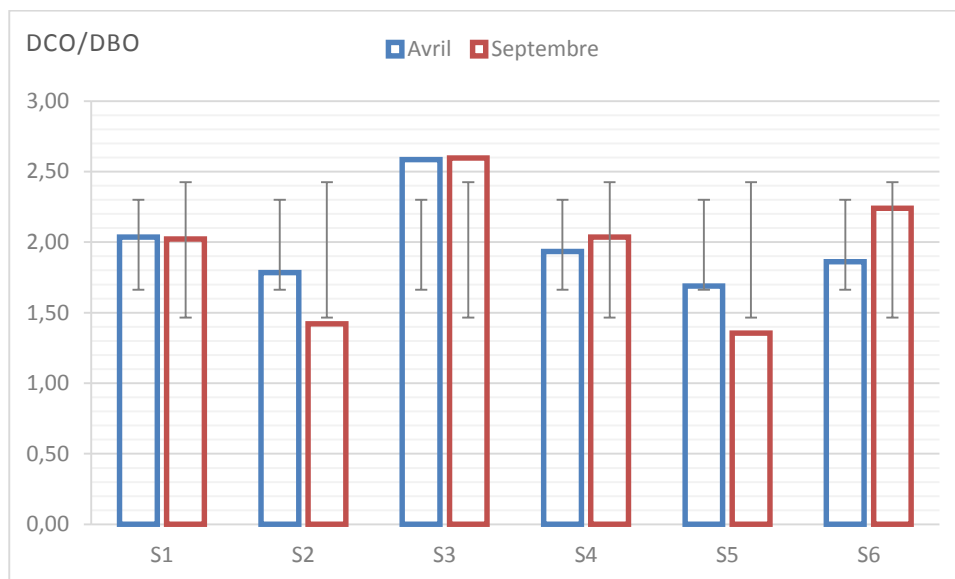


FIGURE 43 : VARIATION DU RAPPORT DCO/DBO EN FONCTION DES SITES D'ETUDE ET DU TEMPS

En fait, c'est les sites 2 et 5 qui affichent les plus faibles rapports DCO/ DBO ce qui montre l'importance de la pollution organique biodégradable sur ces sites au contraire du site 3 qui affiche le plus important rapport c'est-à-dire une importante pollution organique non biodégradable.

Dans l'ensemble, on peut dire que la matière organique biodégradable représente à peu près la moitié de la matière organique totale c'est-à-dire une équitabilité entre la matière organique biodégradable et chimiquement dégradable.

1.2.6. AMMONIUM :

L'ammonium dérive des déjections des organismes vivants, de la matière organique azotée, des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans oublier les apports d'origine domestique, agricole et industrielle [Chapman & Kimstach , 1996]. Il constitue ainsi un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains [Derwich *et al.*, 2010].

L'OMS recommande comme valeur limite pour l'ammonium 1,5 mg/ L. Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent une concentration maximale admissible de 0,5 mg/ L et un niveau guide de 0,05 mg/L. La réglementation française retient comme teneur limite 0,5 mg/L.

Le seuil de sensibilité à long terme quelle que soit la vie piscicole serait de 0,3 mg / L de NH₃, La toxicité s'élève rapidement et devient aiguë selon les espèces entre 0,6 et 1,5 mg/ L, les salmonidés étant les plus sensibles [Rodier *et al.*, 2009].

Les sites les plus pollués par l'ammonium sont les sites 3 et 5 tandis que le moins pollué est le site 1. Les valeurs de l'ammonium varient de 3 mg/l [site 1] à 5.40 mg/l [site 3] avec une moyenne de 4.02 mg/l pendant la période humide et de 2.80 mg/l [site 1] à 4.15 [site 3] avec une moyenne de 3.43 mg/l lors de la période sèche [Figure 44].

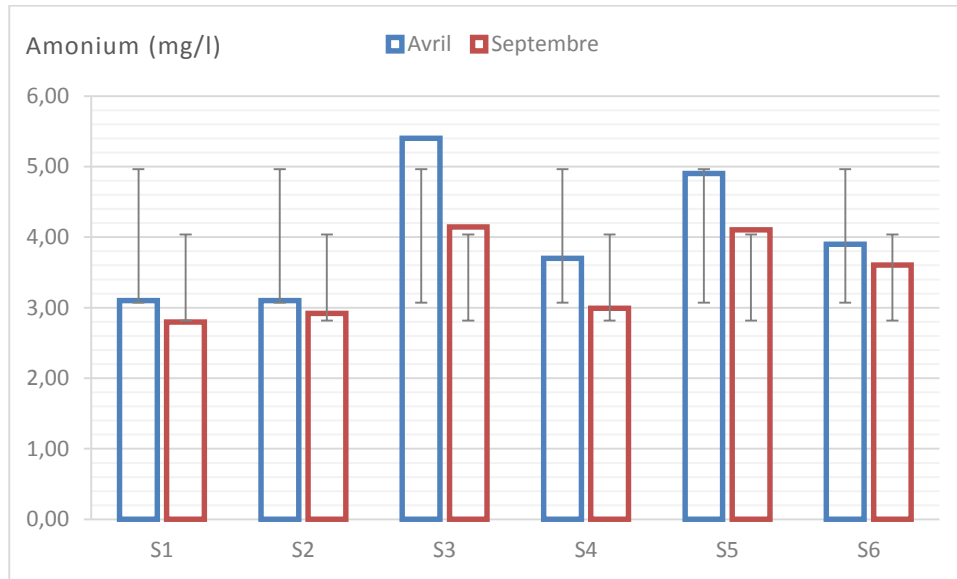


FIGURE 44 : VARIATION DU TAUX D'AMMONIUM DES ECHANTILLONS D'EAUX ETUDIES

L'ensemble de ces valeurs dépassent de loin la norme de 0.5 mg/l [DCCE, 1998] et souscrivent ces eaux dans la mauvaise classe.

Il est important de noter que l'évolution temporelle de cet élément montre des concentrations plus importantes en hiver qu'en été.

1.2.7. NITRITES :

Les nitrites constituent un poison dangereux pour les organismes aquatiques, même à de très faibles concentrations. Sa toxicité augmente avec la température. Ils provoquent une dégradation de l'hémoglobine du sang des poissons qui ne peut plus véhiculer l'oxygène. Il en résulte la mort par asphyxie [Sevrin *et al.*, 1995]. Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique [Rodier *et al.*, 2009].

Les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française indiquent une valeur limite de 0,1 mg / L.

L'évolution des nitrites au niveau des eaux de l'oued Medjerda montre des teneurs élevées qui varient de 0.18 mg/l [site 4] à 1.53 mg/l [site 2] avec une moyenne de 0.60 mg/l en hiver et de 0.04 mg/l [site 2] à 0.19 mg/l [site 1 et 6] avec une moyenne de 0.12 mg/l en été [Figure 45]. C'est la période hivernale qui a présenté les valeurs les plus importantes par rapport à la période estivale. En effet la concentration en nitrite la plus importante a été enregistrée dans le site 2 (1.53 mg/l) en hiver, cette valeur sort de la plage des autres valeurs ce qui s'explique par une pollution accidentelle ponctuelle.

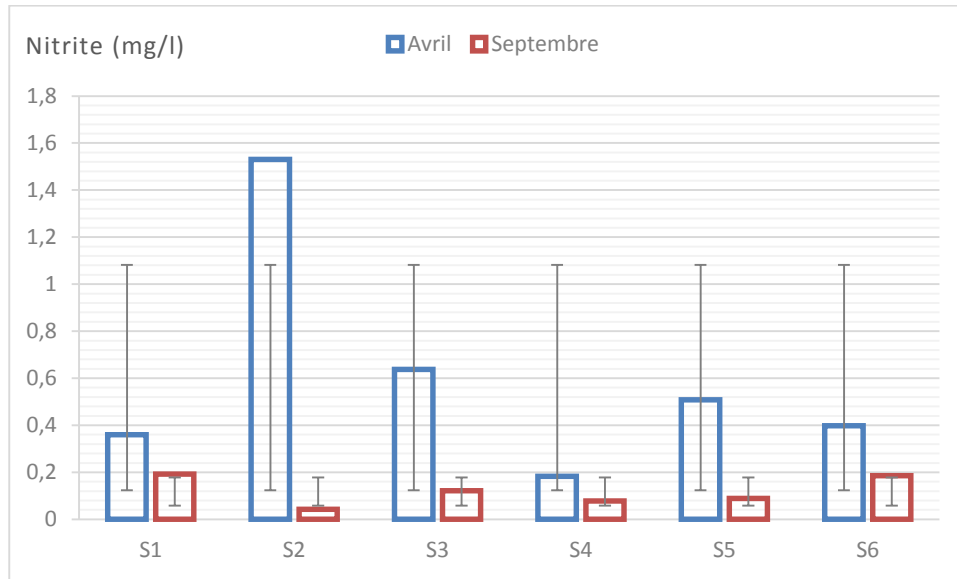


FIGURE 45 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA TENEUR EN NITRITE

Globalement, les concentrations en nitrite dépassent de loin la norme de 0.1 mg/l [DCCE, 1998] à l'exception des sites 2, 4 et 5 en été.

1.2.8. NITRATES :

Les nitrates ont des origines agricoles (épandage d'engrais ou élevage du bétail) après lessivage des terres agricoles. Ils proviennent aussi de la minéralisation de l'azote organique et l'oxydation de l'ammonium [El Ouali *et al.*, 2011]. En milieu naturel, sa concentration surpasse rarement 0,45 mg/l. Des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture [Chapman & Kimstach, 1996]. L'analyse des concentrations des nitrates dans les eaux de l'oued Medjerda montre que les quantités les plus élevées sont enregistrées au niveau du site 3 (4.2 mg/l) lors de la période humide et au niveau du site 5 (3.6 mg/l) lors de la période sèche alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au niveau du site 6. Les moyennes varient entre 0.60 mg/l en hiver et 0.12 mg/l en été.

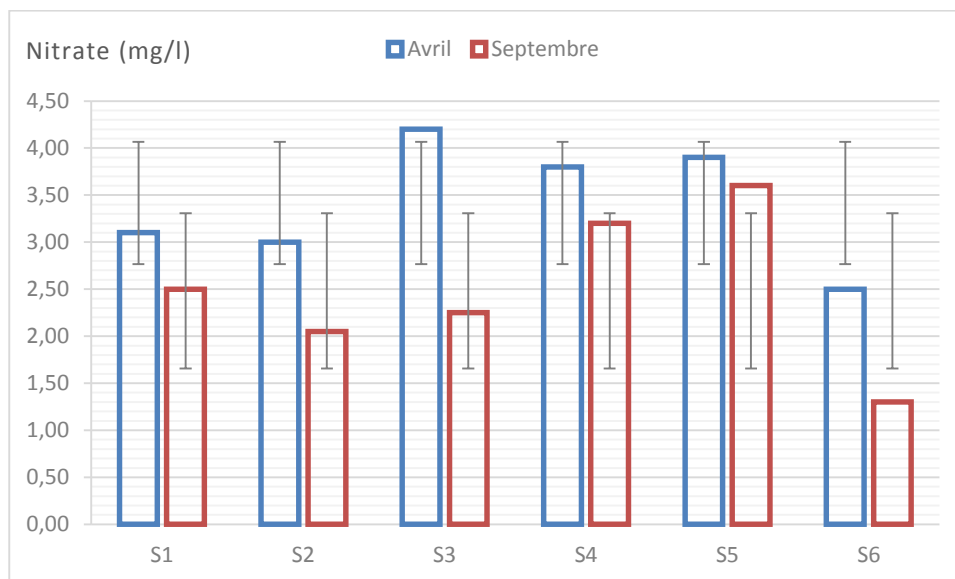


FIGURE 46 : VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA TENEUR EN NITRATE DES ECHANTILLONS ETUDIES

L'histogramme des teneurs en nitrates [Figure 46] met en évidence la variation de ces teneurs entre les différentes périodes et qui apparaît plus importantes en hiver qu'en été, mais qui restent inférieures à la valeur admissible par les normes (50 mg/l). De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas assujetties à une pollution ponctuelle par les nitrates.

1.2.9. SULFATE :

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé [Rodier *et al.*, 2009].

Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent un niveau guide de 25 mg/l (S_0_4) et une concentration maximale admissible de 250 mg/l (S_0_4). La réglementation française retient cette dernière valeur de 250 mg/l (S_0_4).

D'une façon générale, les eaux très chargées en sulfates ne sont pas favorables à la vie piscicole, en agriculture, des concentrations élevées (plusieurs centaines de milligrammes par litre) peuvent poser des problèmes, pour l'irrigation et l'abreuvement. Une teneur supérieure à 480 mg/l rend l'eau impropre à l'agriculture. C'est pour cette raison que les ministères de l'environnement et de la santé canadiennes ont retenu une valeur limite de 500 mg/l [CCME, 1995c ; CCME, 2002 et SC, 2008].

Les concentrations en sulfate oscillent entre 201,06 mg/l [site 1] et 386,71 [site 3] mg/l avec une moyenne de 308,90 mg/l lors de la saison hivernale et entre 324,45 mg/l [site 1] et 538,99 mg/l [site 3] avec une moyenne de 427,11 mg/l lors de la saison estivale [Figure 47].

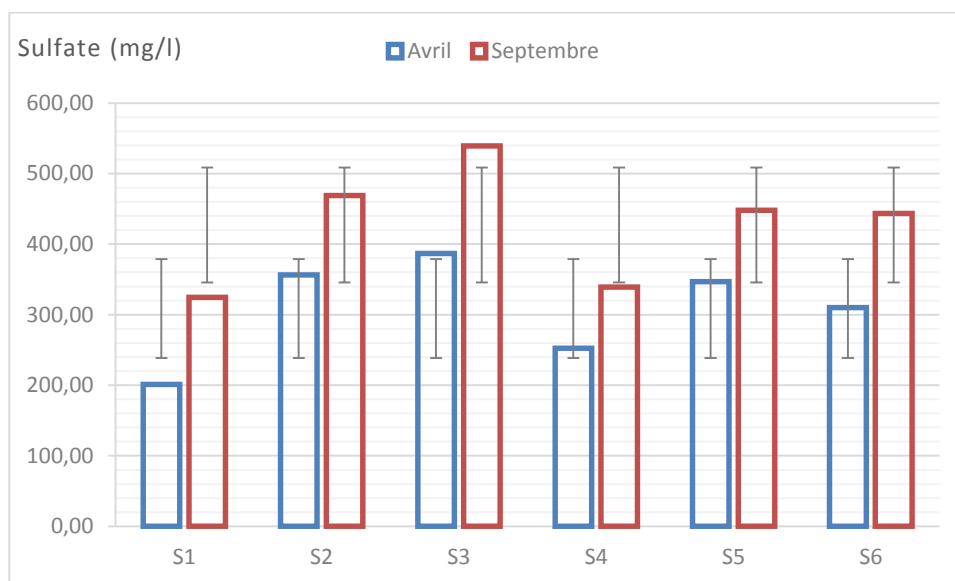


FIGURE 47 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU TAUX DES SULFATES

L'amont de l'oued [site 1] présente la teneur la plus faible au contraire du site 3 qui présente les teneurs les plus élevées. La variation temporelle des sulfates montrent des teneurs maximales en été et des teneurs moindres pendant la période pluviale.

Les valeurs des sulfates au niveau de l'oued Medjerda dépassent de loin la valeur limite de 250 mg/l [DCCE, 1998] à l'exception du site 1 lors de la première période.

1.2.10. CHLORURE :

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [Makhoukh *et al.*, 2011].

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés [Tardat-Henry & Beudry, 1992]. L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/l pour des considérations gustatives et des risques de corrosion. Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent un niveau guide de 25 mg/l et précisent que 200 mg/l est la concentration approximative au-delà de laquelle des effets risquent de se produire. La réglementation française fixe comme valeur limite 200 mg/l. Les concentrations en chlorures varient de 38,23 mg/l [Site 6] à 72,36 mg/l [Site 2] avec une moyenne de 54,35 mg/l en période humide et entre 57,42 mg/l [Site 5] à 189,57 mg/l [Site 2] avec une moyenne de 95,88 mg/l en période sèche [Figure 48]. Les valeurs maximales sont observées au niveau du site 2. L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement des teneurs en chlorures pendant la saison humide par rapport à la saison sèche.

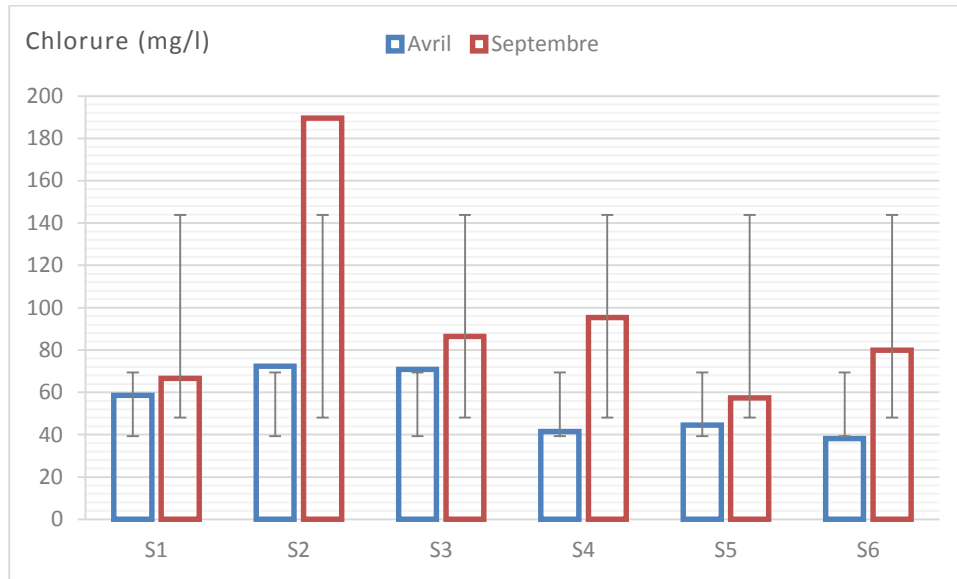


FIGURE 48 : VARIATION DE LA TENEUR EN CHLORURE EN FONCTION DES SITES D'ETUDE ET DU TEMPS

Il est important de noter que les eaux d'oued Medjerda présentent des teneurs en chlorures dans les normes [SB SC, 1987; OMS, 1994 ; CCME, 1995c; CCME, 2002; SC, 2008].

1.2.11. ORTHOPHOSPHATE :

Le rôle capital du phosphore dans les processus d'eutrophisation, affectant les écosystèmes aquatiques, a été mis en évidence depuis les années soixante [Vollenweider 1968 ; Schindler & Fee 1974]. Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol; leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5 mg /l doivent constituer un indice de pollution [Rodier *et al.*, 2006].

Les eaux de surface ou de nappes peuvent être contaminées par des rejets industriels (industries agro-alimentaires, ateliers de traitement de surface, laveries) et domestiques ou par le lessivage des terres cultivées renfermant des engrais phosphatés ou traités par certains pesticides.

Les eaux d'oued Medjerda contiennent des teneurs qui s'échelonnent de 4.83 mg/l [site 1] à 7.57 mg/l [site 5] avec une moyenne de 5.84 mg/l en hiver et de 1.13 mg/l [site 2] à 3.22 mg/l [site 5] avec une moyenne de 1.71 mg/l en été. C'est le site 5 qui a présenté les valeurs maximales [Figure 49].

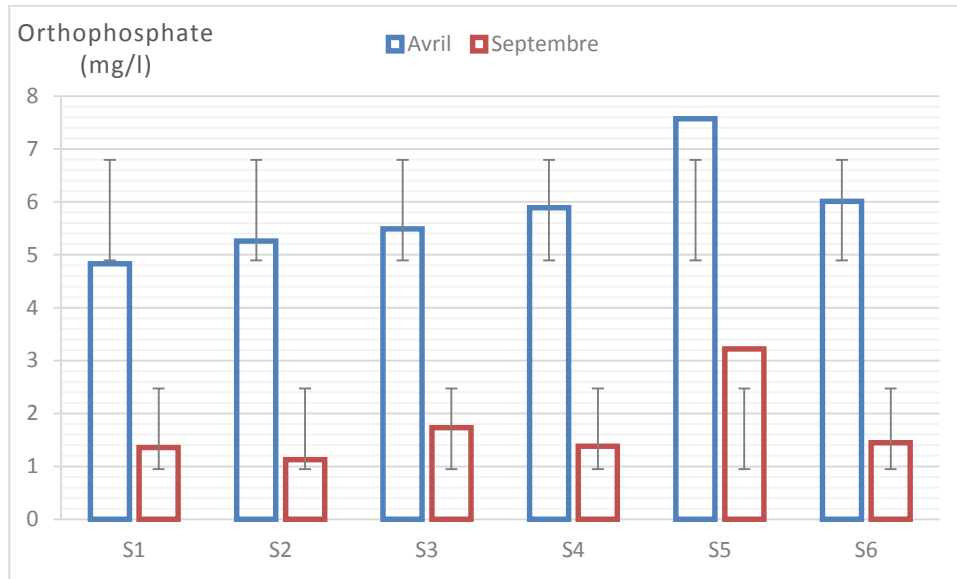


FIGURE 49 : VARIATION DE LA TENEUR EN ORTHOPHOSPHATE DES ÉCHANTILLONS D'EAUX ÉTUDIÉS.

La comparaison des concentrations saisonnières se révèle plus fortes en hiver qu'en été, cependant l'ensemble des concentrations en orthophosphates sont hors la norme de 0.5 mg/l.

1.3. LES ELEMENT TOXIQUES (METAUX LOURDS) :

Le choix de ces métaux a été dicté par le fait qu'ils sont communément utilisés dans l'environnement du bassin versant de l'oued Medjerda, et aussi du fait qu'ils sont caractérisés par une forte nocivité vis-à-vis de l'homme et des organismes aquatiques [Moshe *et al.*, 1972 ; Hutton, 1980 ; Bruce & Turnep, 1980 ; Haguenoer & Furon, 1981, 1982].

1.3.1. PLOMB :

L'action toxique du plomb était déjà bien connue des Romains [Vitrinus]. Il faut noter que depuis l'Antiquité, le plomb étant largement utilisé dans les poteries vernissées et pour la fabrication des tuyauteries de distribution d'eau, il en est résulté de nombreuses intoxications d'origine hydrique. Plusieurs organes et systèmes sont susceptibles d'être affectés à la suite d'une exposition prolongée à des concentrations significatives de plomb. Parmi ceux-ci, on retrouve le système nerveux, les reins de même que les systèmes gastro-intestinal et reproducteur [CEPA, 1997]. Les séquelles du plomb sur la santé qui ont été observés aux niveaux de plombémie les plus bas (environ 10 µg/dl ou 0,48 µmol/l) sont de nature neurocomportementale chez l'enfant [ATSDR, 1999; Schwartz, 1994] et cardiovasculaire chez l'adulte [ATSDR, 1999; Schwartz, 1995].

Les directives du Conseil des communautés européennes fixent pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire un niveau guide de 0,05 mg /l, et pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale admissible de 0,05 mg/l. La réglementation française retient cette même valeur de 0,05 mg /l. La Commission chargée de la révision de la directive du Conseil des communautés européennes s'oriente actuellement vers une diminution de 50 µg à 10 µg/l.

L'Environnement Protection Agency [U.S.EPA, 1998 & 1985] ainsi que l'American Water Work Association [AWWA, 2000] ont proposé de réduire la limite acceptable à 0,02 mg /l de plomb dans les échantillons d'eau prélevés au robinet du consommateur. La valeur de 0,005 mg/l avait même été suggérée. L'OMS, dans ses dernières recommandations, indique comme valeur guide 0,01 mg /l.

La vie aquatique peut être perturbée à partir de 0,1 mg/l ; des effets toxiques peuvent se manifester sur le poisson à partir de 1 mg/l [Rodier *et al.*, 2009].

Les eaux d'oued Medjerda présentent des concentrations relativement élevées en plomb [Figure50], ces valeurs sont plus importantes en été qu'en hiver et varient de 0,0552 ppm [Site 2] à 0,0932 ppm [Site 1] avec une moyenne de 0.082 ppm en période hivernale et entre 0.103 ppm [Site 1] et 0.126 ppm [Site 3] avec une moyenne de 0.116 ppm en période sèche. L'évolution spatiale montre que les valeurs sont proche les unes des autres.

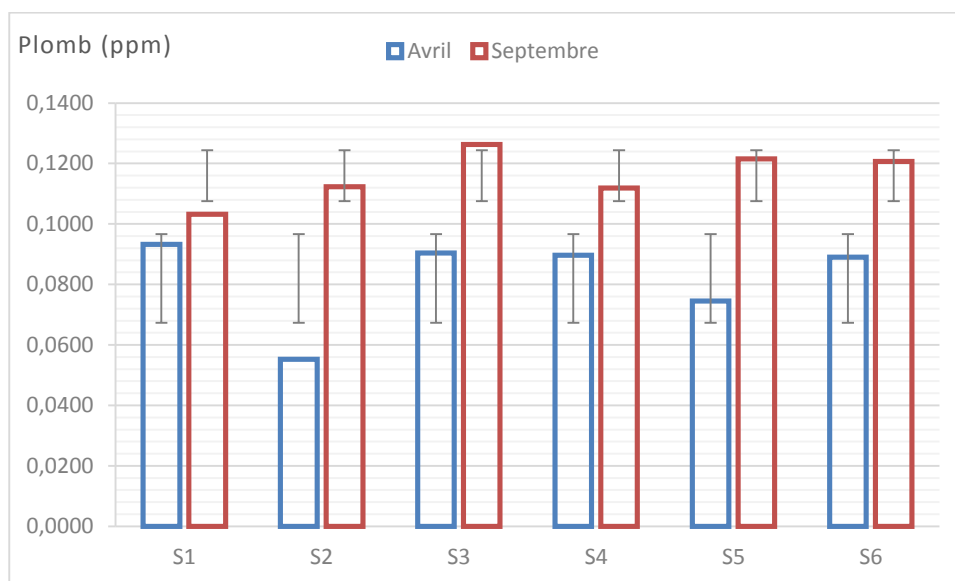


FIGURE 50 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA CONCENTRATION EN PLOMB

En effet, l'ensemble des sites dépassent de loin la norme de 0.01 mg/l [SBSC, 1991; OMS, 2004 ; CCME, 1995c; CCME, 2002; SC, 2008].

1.3.2. CADMIUM :

Dans la nature (minerais, sols) le cadmium est généralement associé au zinc; il est utilisé pour le revêtement électrolytique des métaux, dans certains alliages, pour la fabrication d'accumulateurs, de peintures et de matières plastiques.

Près de 95 % du Cadmium transporté par les rivières serait sous forme particulaire et associé à des molécules d'hydratation et des carbonates [Gonzalez *et al.*, 2001a et 2001b]. Le cadmium naturel est présent à l'état de traces, il provient aussi des résidus de placage électronique et des engrais chimiques [Fawell et Hunt, 1988].

Les directives du Conseil des communautés européennes fixent pour les eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire un niveau guide de 0,001 mg/l ; suivant le traitement susceptible d'être appliqué, il peut être acceptable d'utiliser une eau contenant jusqu'à 0,005 mg/l de cadmium. Pour les eaux destinées à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur limite de 0,003 mg/l ; les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française fixent une valeur limite de 0,005 mg/l.

Les teneurs en cadmium relevées dans les eaux de l'oued Medjerda [Figure 51] s'échelonnent entre 0,00504 ppm [Site 4 et 6] et 0,00944 ppm [Site 1] avec une moyenne de 0,0064 ppm en période humide et entre 0,00808 ppm [Site 2] et 0,01304 ppm [Site 4] avec une moyenne de 0,01 ppm en période sèche.

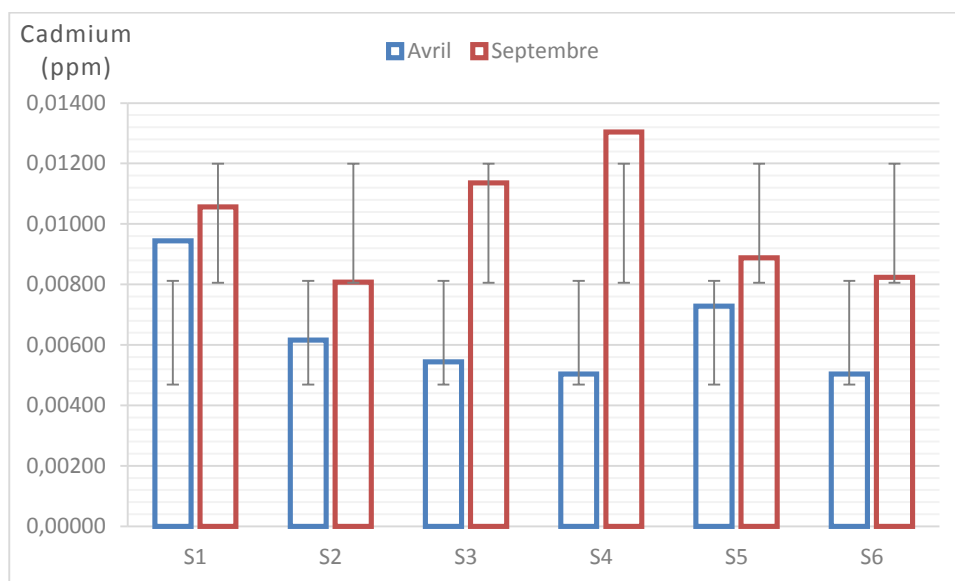


FIGURE 51 : VARIATION DE LA TENEUR EN CADMIUM EN FONCTION DES SITES D'ETUDE ET DU TEMPS

L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement des teneurs pendant la saison humide par rapport à la saison sèche.

Pour les deux périodes d'étude, le cadmium enregistre des teneurs qui dépassent largement les normes de 0,005 mg/l [SBSC, 1987; U.S.EPA, 1991a ; CCME, 1995c; CCME, 2002; SC, 2008].

1.3.3. MERCURE :

Le mercure est utilisé principalement comme cathode dans l'industrie du chlore et de la soude, et comme catalyseur dans la production de l'acétaldéhyde. Il entre aussi dans la fabrication d'appareillages électriques (lampes, batteries), d'instruments de contrôle (thermomètres, baromètres, interrupteurs), de peintures marines et de certains fongicides employés dans l'agriculture et dans les papeteries.

En ce qui concerne les eaux douces superficielles, sauf cas de pollution caractérisée, la teneur en mercure peut varier entre 0,1 et 2 $\mu\text{g} / \text{L}$. Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS, les directives du Conseil des communautés européennes et la réglementation française indiquent comme valeur limite 1 $\mu\text{g} / \text{L}$.

La figure 52 montre des concentrations en mercure qui oscillent entre 0,0009 ppm [site 2] et 0,003 ppm [site 1] avec une moyenne de 0,0017 ppm lors de la saison hivernale et entre 0,0013 ppm [site 6] et 0,0054 ppm [site 4] avec une moyenne de 0,0031 ppm lors de la saison hivernale.

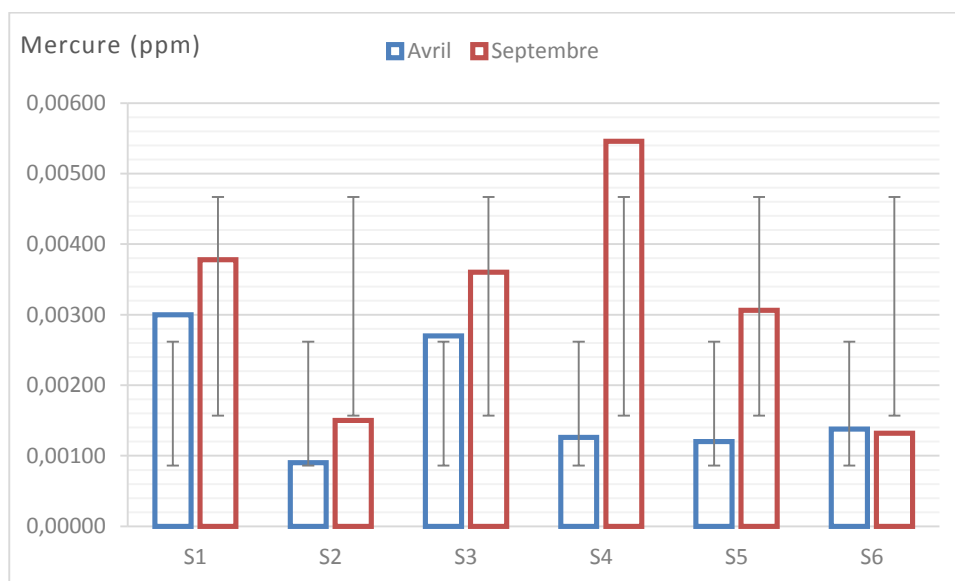


FIGURE 52 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA CONCENTRATION EN MERCURE

L'amont de l'oued [site 2] présente les teneurs les plus faibles. La variation temporelle du mercure montre des teneurs maximales en été et des teneurs moindres pendant la période pluviale.

Les teneurs en mercure au niveau de l'oued Medjerda dépassent de loin la valeur limite de 1 $\mu\text{g/l}$ [OMS, 2004] à l'exception du site 2 lors de la première période.

1.3.4. CUIVRE :

Le cuivre est présent naturellement dans l'environnement, mais il est aussi abondamment utilisé dans les domaines industriels et domestiques. Il peut être détecté dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer [ATSDR, 2004; Cal EPA, 2008].

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg / L compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Toutefois, elle précise que des risques de taches sur les appareils sanitaires peuvent apparaître pour des teneurs supérieures à 1 mg / L.

Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme niveau guide 100 $\mu\text{g/ L}$ à la sortie des installations; de plus, elles préconisent un niveau guide de 3 000 $\mu\text{g/ L}$ après 12 heures de stagnation dans la canalisation et au point de mise à la disposition du consommateur. La réglementation française retient comme valeur limite 1 mg / L. Au-delà de cette concentration, les propriétés organoleptiques ou esthétiques de l'eau de consommation pourront être altérées [SC, 2008].

L'eau d'oued Medjerda contient des teneurs en cuivre qui varient légèrement entre 0.43 ppm [site 3] et 0.85 ppm [site 5] avec une moyenne de 0.67 ppm en hiver et entre 0.75 ppm [site 4] et 1.25 ppm [site 5] avec une moyenne de 0.98 ppm en été [Figure 53]. Les valeurs maximales ont été observées au niveau du site 5.

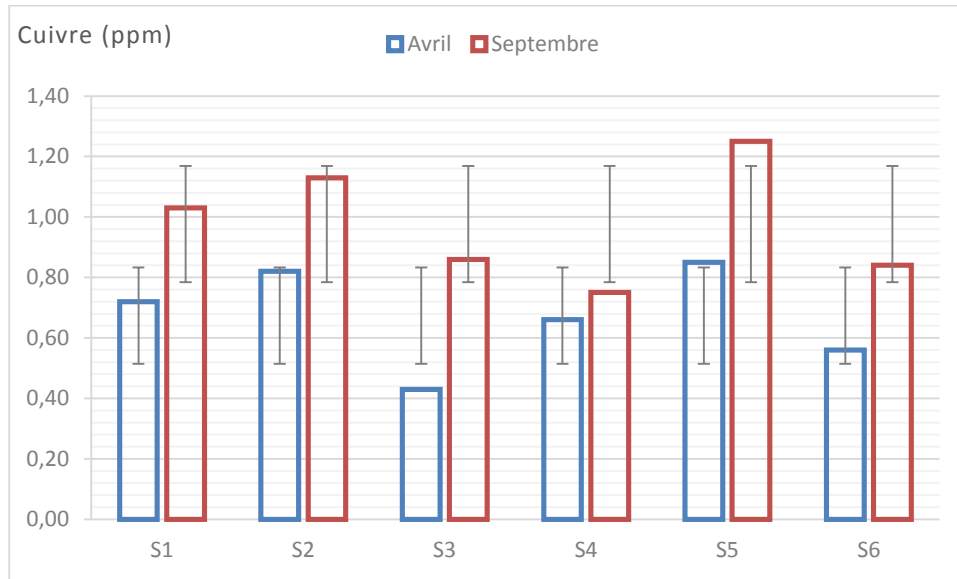


FIGURE 53 : EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA TENEUR EN CUIVRE

L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement des teneurs en cuivre pendant la saison humide par rapport à la saison sèche.

Il convient de noter que les eaux d'oued Medjerda présentent des teneurs en cuivre inférieures à la valeur limite de 1 mg/l [U.S.EPA, 1980; SB SC, 1987; OMS, 1994; CCME, 1995c; CCME, 2002; U.S.EPA, 2006a; SC, 2008] à l'exception des sites 1, 2 et 5 en été.

1.4. RESULTATS STATISTIQUES :

1.4.1. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES VALEURS EAUX:

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique descriptive permettant d'étudier les relations qui existent entre variables quantitatives, sans tenir compte, a priori, d'une quelconque structure, ni des variables ni des individus. Les domaines d'application de cette méthode sont très variés [Palm, 1998].

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres étudiés et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux d'oued Medjerda, un traitement statistique ACPN (analyse en composantes principales Normée) a été appliqué à l'ensemble des paramètres en période humide et en période sèche.

Notre ACP a été effectuée sur une matrice de données constituée de 6 prélèvements (6 stations x 1 campagne humide) et 6 prélèvements (6 stations x 1 campagne sèche) au cours desquels les 22 variables [température de l'eau, pH, turbidité, conductivité, titre alcalimétrique, titre alcalimétrique complet, titre hydrométrique, matière en suspension, oxygène dissous, demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène, DCO/DBO, sulfates, chlorures, phosphates, Ammonium, nitrite et nitrates, plomb, mercure, cuivre et cadmium] ont été analysées.

Le **tableau** ci-dessous donne les valeurs propres de la matrice de corrélation, les proportions et les proportions cumulées de la variance expliquées par les composantes.

TABLEAU 23: INFORMATIONS RELATIVES AUX CORRELATIONS DES VARIABLES INITIALES AVEC LES CINQ PREMIERES COMPOSANTES PRINCIPALES.

	<i>Dim.1</i>	<i>Dim.2</i>	<i>Dim.3</i>	<i>Dim.4</i>	<i>Dim.5</i>
<i>Variance</i>	7.840	5.472	3.588	2.348	1.752
<i>% of var.</i>	37.333	26.057	17.087	11.181	8.342
<i>Cumulative % of var.</i>	37.333	63.390	80.477	91.658	100.000

La première composante principale (Dim.1) prend en compte (**37.33%**) de la variabilité. Elle est, de loin, la plus importante, puisque les quatre composantes suivantes n'expliquent respectivement que (26.06%), (17.09%), (11.18%), (8.34%).

A partir de la 3^{ème}, les composantes sont nettement moins utiles et correspondent à des valeurs propres inférieure à l'unité (<2.34).

Nous limiterons notre analyse aux trois premières composantes qui, ensemble, expliquent **80.48%** de la variabilité [Tableau 23].

Le but de cette analyse multivariée est de fournir des classes de sites d'échantillonnage à la base des analyses effectuées sur l'eau, Ceci signifie que les valeurs d'un même site doivent se ressembler tandis que ceux de deux sites différents doivent être les plus différents possibles, mais réaliser une classification peut être :

- Celui d'obtenir une répartition des valeurs en groupes ou classes homogènes et bien séparés.
- Une analyse complémentaire avant ou après d'autres analyses.

Une bonne classification doit satisfaire deux conditions [Bouroche & Saporata, 1980]:

- Cohésion (ou homogénéité à l'intérieur des classes).
- Isolement (ou hétérogénéité entre les classes).

La hiérarchie est représentée graphiquement par un diagramme des scores [Figure 54].

1.4.1.1. PLAN FACTORIEL DES DIMENSIONS 1x2 :

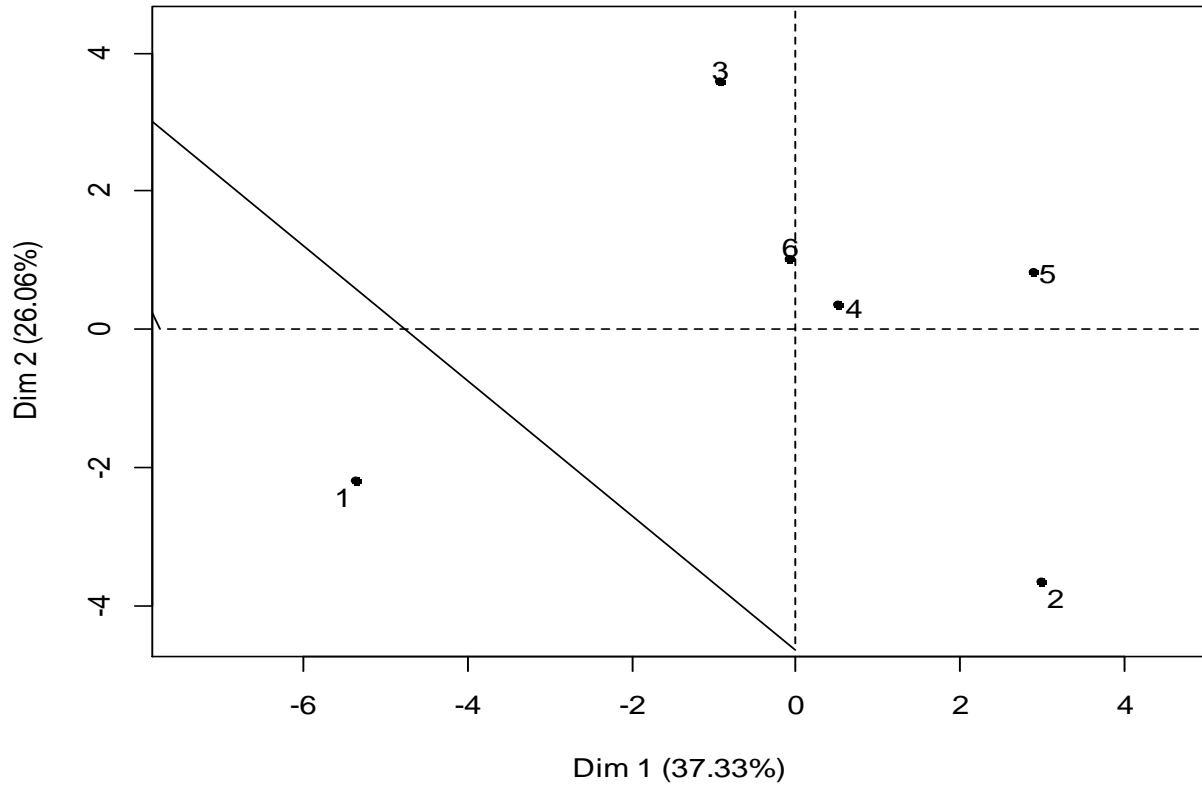


FIGURE 54 : PLAN FACTORIEL DES PARAMETRES D'EAUX SELON LES DIMENSIONS 1x2

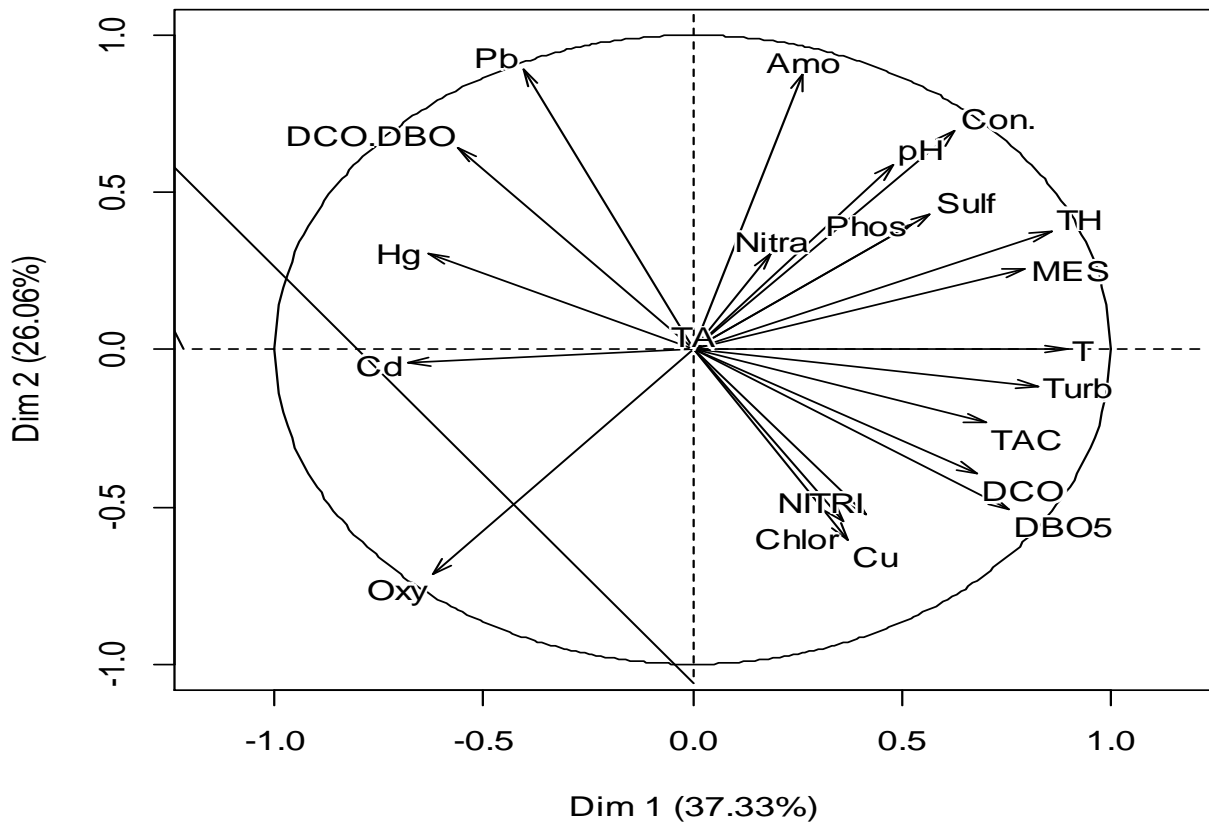


FIGURE 55 : CERCLE DES CORRELATIONS DES PARAMETRES D'EAUX SELON LES DIMENSIONS 1x2

Le cercle de corrélation formé par les dimensions 1 et 2 [Figure 54, Figure 55, Tableau 23] donnant 63.39 % de l'information totale montre :

1.4.1.1.1. PREMIERE DIMENSION :

C'est la 1^{ère} dimension qui donne le maximum d'information avec un pourcentage de 37.33 %,

Cet axe indique donc l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé des sites 2 et 5, le second est composé des sites 3, 4 et 6 et le 3^{ème} est formé par le site 1 [Figure 54]. Les paramètres qui ont créés cette hétérogénéité sont la température, la turbidité, la matière en suspension, la DBO₅, le TH et le TAC dans la partie positive de l'axe et le cadmium, l'oxygène dissous et le mercure dans la partie négative de l'axe [Figure 55]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les valeurs les plus élevées en température, la turbidité, la matière en suspension, DBO₅, le TH et le TAC et les teneurs les moins élevées en cadmium, oxygène dissous et en mercure au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des valeurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsable de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation (voir annexe).

1.4.1.1.2. DEUXIEME DIMENSION :

La 2^{ème} dimension donne un pourcentage d'information de l'ordre de 26.06 % et témoigne l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé des sites 3, le second est composé des sites 4, 5 et 6 et le 3^{ème} est formé par les sites 1 et 2 [Figure 54]. Les paramètres responsables de cette variabilité sont l'ammonium et le plomb dans la partie positive de l'axe et les chlorures, nitrite, cuivre et l'oxygène dissous dans la partie négative de l'axe [Figure 55]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les concentrations les plus importantes en ammonium et en plomb et les teneurs les moins élevées en chlorures, nitrite, cuivre et oxygène dissous au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des teneurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsables de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation (voir annexe).

1.4.1.2. PLAN FACTORIEL DES DIMENSIONS 2 ET 3 :

Le plan factoriel formé par les dimensions 2 et 3 [Figure 56, Figure 57, Tableau 23], explique 43.17 % de l'information totale :

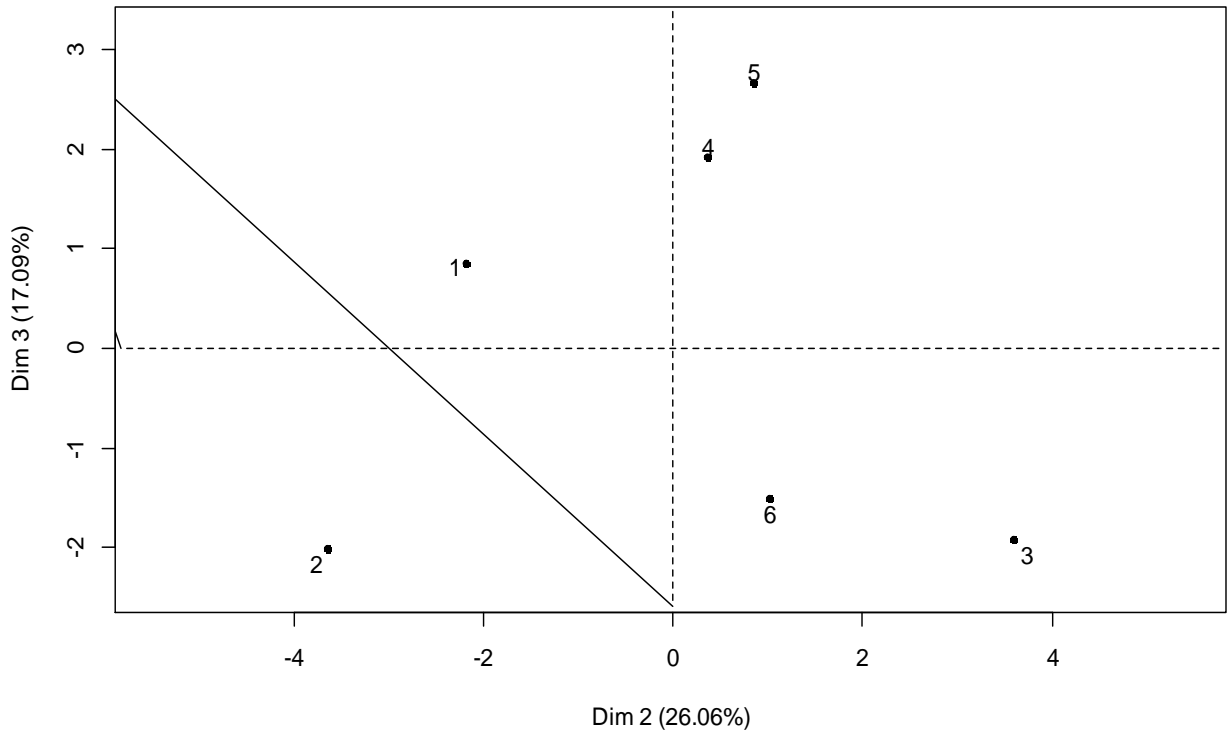


FIGURE 56 : PLAN FACTORIEL DES PARAMETRES D'EAUX SELON LES DIMENSIONS 2X3

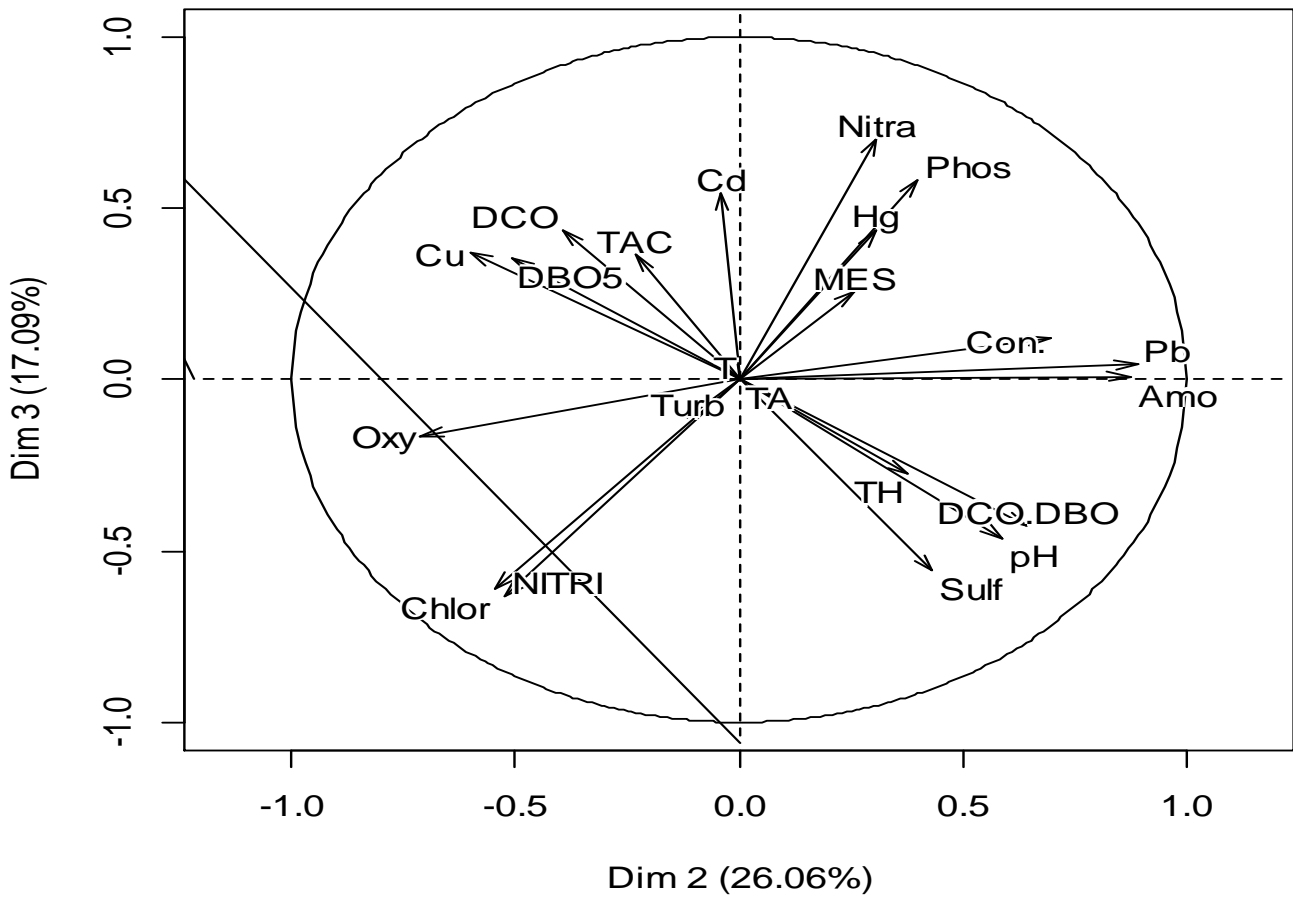


FIGURE 57 : CERCLE DES CORRELATIONS DES PARAMETRES D'EAUX SELON LES DIMENSIONS 2X3

1.4.1.2.1. TROISIEME DIMENSION :

La 3^{ème} dimension donne un pourcentage d'information de l'ordre de 17.09 % et indique l'existence de 3 groupes assez distincts en allant de $+\infty$ vers $-\infty$: Le 1^{er} est composé des sites 4 et 5, le second est composé par le site 1 et le 3^{ème} est formé par les sites 2, 3 et 6 [Figure 56]. Les paramètres responsables de cette variabilité sont les nitrates, les phosphates et le cadmium dans la partie positive de l'axe et les nitrites, les chlorures et les sulfates dans la partie négative de l'axe [Figure 57]. C'est-à-dire que le 1^{er} groupe est caractérisé par les concentrations les plus importantes en nitrates, les phosphates et le cadmium et les teneurs les moins élevées en nitrites, chlorures et sulfates au contraire du 3^{ème} groupe, le 2^{ème} groupe contient des teneurs intermédiaires dans l'ensemble des paramètres responsables de cette variabilité. Les résultats des corrélations avec l'axe et des contributions à l'axe et des cosinus carré confirment notre interprétation (voir annexe).

A partir de cette analyse en composante principale dans les diverses dimensions, on résume les caractéristiques de chaque site dans le **tableau** suivant :

⇒ 1 ^{ER} SITE :	Caractérisé par les valeurs les plus élevées en cadmium, mercure, chlorures, nitrite, cuivre et oxygène dissous et les teneurs les moins élevées en température, turbidité, matière en suspension, DBO ₅ , TH, TAC, ammonium et plomb et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 2 ^{EME} SITE :	Caractérisé par les valeurs les plus élevées en température, turbidité, matière en suspension, DBO ₅ , TH, TAC, chlorures, nitrite, cuivre, oxygène dissous, et sulfates et les teneurs les moins élevées en cadmium, mercure, oxygène dissous, ammonium, plomb, nitrates et phosphates et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 3 ^{EME} SITE :	Caractérisé par les concentrations les plus importantes en ammonium, plomb, nitrite, chlorures et sulfates et les teneurs les moins élevées en chlorures, nitrite, cuivre, oxygène dissous, nitrates, phosphates et cadmium et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 4 ^{EME} SITE	caractérisé par les concentrations les plus importantes en nitrates, les phosphates et le cadmium et les teneurs les moins élevées en nitrites, chlorures et sulfates et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 5 ^{EME} SITE	caractérisé par les concentrations les plus importantes en nitrates, phosphates, cadmium, température, turbidité, matière en suspension, DBO ₅ , TH et TAC et les teneurs les moins élevées en cadmium, mercure, oxygène dissous, nitrites, chlorures et sulfates et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
⇒ 6 ^{EME} SITE	caractérisé par les concentrations les plus importantes en nitrites, chlorures et sulfates et les teneurs les moins élevées

	en nitrates, phosphates et cadmium et des valeurs moyennes pour les autres paramètres.
--	----------------------------------------------------------------------------------------

Ainsi à partir des résultats de l'ACP et du **tableau** ci-dessus, on obtient une partition en 3 classes basée sur le degré de similarité entre les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

Les classes obtenues sont les suivantes :

⇒ 1^{ERE} CLASSE : « la plus polluée »	Correspond au site 2 et 5, le premier est situé en aval du chef lieu de wilaya côté sud (route de Zaarouria) et en amont de l'ex usine SONIC, le second situé en aval du chef lieu de wilaya coté Est et en aval de la station d'épuration.
⇒ 2^{EME} CLASSE : « Moyennement polluée »	Représentée par les sites 1, 3 et 4, le premier est situé en amont du chef lieu de wilaya, le second est situé en aval de l'ex usine SONIC et le dernier est situé en amont de la station d'épuration des eaux usées.
⇒ 3^{EME} CLASSE : « la moins polluée »	Correspond au site 6 situé en aval du chef lieu de wilaya côté nord et en aval de l'oued Djedra.

Ces résultats statistiques se concordent avec les résultats physico-chimiques et de pollution et sont justifiable du point de vue scientifique.

1.4.2. TEST U DE MANN WHITNEY :

Le **tableau 24** résume les résultats du test U de Mann Whitney qui prouve l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche avec un $p < 0.05$ pour plusieurs paramètres à savoir la température, le TAC, les nitrites, l'oxygène dissous, la DBO_5 , la DCO, les chlorures, le phosphate, le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure.

TABLEAU 24 : RESULTATS DU TEST U DE MANN WHITNEY

<i>variable</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>P-level</i>	<i>Z ajusté</i>	<i>P-level</i>	<i>P exacte</i>
<i>pH</i>	14	-0,560449	0,575174	-0,563411	0,573155	0,588745
<i>Conductivité</i>	12	0,880705	0,378478	0,880705	0,378478	0,393939
<i>Température</i>	0	-2,80224	0,005075	-2,80715	0,004998	0,002165
<i>TH</i>	8	-1,52122	0,128206	-1,52122	0,128206	0,132035
<i>Turbidité</i>	14	0,560449	0,575174	0,560449	0,575174	0,588745
<i>MES</i>	9	1,361089	0,173486	1,361089	0,173486	0,179654
<i>TAC</i>	5	-2,0016	0,045328	-2,01575	0,043827	0,041126
<i>Amonium</i>	10	1,200961	0,229767	1,203066	0,228952	0,24026
<i>Nitrate</i>	6,5	1,76141	0,07817	1,764497	0,077649	0,064935
<i>Nitrite</i>	2	2,481986	0,013066	2,481986	0,013066	0,008658
<i>O₂ dissous</i>	0	2,802243	0,005075	2,802243	0,005075	0,002165

<i>variable</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>P-level</i>	<i>Z ajusté</i>	<i>P-level</i>	<i>P exacte</i>
<i>DBO₅</i>	3	-2,32186	0,020241	-2,32186	0,020241	0,015152
<i>DCO</i>	3	-2,32186	0,020241	-2,32186	0,020241	0,015152
<i>DCO/DBO</i>	17	-0,080064	0,936186	-0,080064	0,936186	0,937229
<i>Sulfate</i>	6	-1,84147	0,065553	-1,84147	0,065553	0,064935
<i>Chlorure</i>	5	-2,0016	0,045328	-2,0016	0,045328	0,041126
<i>Phosphate</i>	0	2,802243	0,005075	2,802243	0,005075	0,002165
<i>Plomb</i>	0	-2,80224	0,005075	-2,80224	0,005075	0,002165
<i>Cadmium</i>	3	-2,32186	0,020241	-2,32593	0,020023	0,015152
<i>Cuivre</i>	3	-2,32186	0,020241	-2,32186	0,020241	0,015152
<i>Mercuré</i>	5	-2,0016	0,045328	-2,0016	0,045328	0,041126

1.4.3. CORRELATIONS DE SPEARMAN (NON-PARAMETRIQUE) :

Le coefficient de corrélation de rang (appelé coefficient de Spearman) examine s'il existe une relation entre le rang des observations pour deux caractères X et Y, ce qui permet de détecter l'existence de relations monotones (croissante ou décroissante), quelle que soit leur forme précise (linéaire, exponentiel, puissance, ...). Ce coefficient est donc très utile lorsque l'analyse du nuage de point révèle une forme curviligne dans une relation qui semble mal s'ajuster à une droite. Le calcul d'un coefficient de corrélation ne constitue qu'une première étape dans l'analyse de la relation entre deux caractères. Une corrélation n'implique pas nécessairement une causalité [Grasland, 2000].

Notre matrice des corrélations entre les différents paramètres du sol est mentionnée en annexe, en effet les paramètres qui ont présentés des corrélations sont les suivants :

Pour les corrélations positives, on trouve :

- Le pH et le TH avec un coefficient de 0.94 ;
- Le pH et les Sulfates avec un coefficient de 0.83 ;
- Le TH et les MES avec un coefficient de 0.83 ;
- Le TH et les Sulfates avec un coefficient de 0.94 ;
- Les Sulfates et les nitrites avec un coefficient de 0.89 ;
- Le Cuivre et la DBO5 avec un coefficient de 0.89 ;
- Le mercure et le cadmium avec un coefficient de 0.94.

Pour les corrélations négatives, on trouve :

- La conductivité et l'oxygène dissous avec un coefficient de -0.94 ;
- La température et le cadmium avec un coefficient de -0.94 ;
- La température et le mercure avec un coefficient de -0.89 ;
- L'oxygène dissous et les orthophosphate avec un coefficient de -0.94 ;
- Le Plomb et la DBO5 avec un coefficient de -0.94 ;
- Le Plomb et le cuivre avec un coefficient de -0.94.

2. DISCUSSION

L'oued de Medjerda constitue la source hydrographique la plus importante dans le nord est algérien en général et pour la région de Souk-Ahras en particulier. Il est largement utilisé pour l'approvisionnement en eau douce (eau potable), l'abreuvement des cheptels et l'irrigation des terres agricoles.

L'étude des eaux de la haute vallée de la Medjerda nous a permis de déduire ce qui suit :

⇒ Les paramètres physico-chimiques :

La température de l'eau montre des valeurs maximales en été (21.5 °C) et minimales (17.8°C) en hiver. La variabilité saisonnière de la température est liée exclusivement à la notion temps et non pas aux stations d'échantillonnage [Chahlaoui, 1996; Vega *et al.*, 1998 ; Silva et Sacomani, 2001 ; El Addouli *et al.*, 2011].

La turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation. L'aspect de l'eau d'oued Medjerda est légèrement trouble à trouble [S4 en hiver et S2 en été], Ces changements brusques sont dus à des déversements aléatoires de déchets urbains (particules organiques diverses, d'argile, de colloïdes, etc..).

Les valeurs du pH sont limitées entre 6.00 et 7,20, ce qui donne un aspect neutre de cette eau. Par ailleurs, Les valeurs saisonnières ne présentent pas de fluctuations très importantes. La diminution du pH enregistré sur le site 1 résulte de la décomposition de la matière organique par voie bactérienne [Meybeck *et al.*, 1996 ; Ansa-Asare *et al.*, 1999; Neal *et al.*, 2000 a ; El Addouli *et al.*, 2011].

Les eaux d'oued Medjerda sont fortement minéralisées, cette forte minéralisation est fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des travaux, des rejets, etc.. [Rodier *et al.*, 2009]. Cependant, l'accroissement de la minéralisation en période hivernale serait favorisée par la prépondérance des rejets fortement minéralisés [Silva et Sacomani, 2001], Le lessivage des sols par les eaux de ruissellement en période de crue et l'entraînement des déchets bien minéralisés [Berzas *et al.*, 2000; Neal *et al.*, 2000 b; House *et al.*, 2001 ; Addouli *et al.*, 2011].

L'eau du cours d'eau étudiée est moyennement dure à l'exception du site 1 qui est douce cette différence est liée au lessivage des terrains traversés [Rodier *et al.*, 2009]. Les concentrations plus importantes en ions calcium et magnésium de l'été par rapport à l'hiver sont dues à un phénomène de dilution.

Le titre alcalimétrique est nul dans tous les sites et pendant les deux périodes d'études tandis que les valeurs du titre alcalimétrique complet sont plus importantes en été qu'en hiver suite à un phénomène de dilution. À partir de ces résultats, on déduit que l'alcalinité de l'oued Medjerda est due aux bicarbonates.

⇒ Les paramètres indicateurs de pollution :

Les résultats de la matière en suspension confirment ceux de la turbidité et montre que cette eau est très chargée en matières en suspension et dépassent de loin les normes. Les valeurs obtenues en période hivernale (crue) sont supérieures à celles mesurées en période estivale. Cette remarque est en accord avec plusieurs travaux effectués au niveau des oueds [Rohatgi *et al.*, 1975; Azzaoui, 1999 ; Makhoukh *et al.*, 2011].

Le régime de l'oxygène dissous dans le secteur étudié est non déficitaire; c'est-à-dire que les eaux de l'oued Medjerda sont bien oxygénées. L'évolution saisonnière montre des concentrations plus élevées en période humide qu'en période sèche, Ceci est essentiellement dû à la diminution de la température de l'eau; car une eau froide renferme une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [Hébert et Légaré, 2000], et aux fortes vitesses des vents qui engendrent un brassage continu de la masse d'eau et par conséquent un enrichissement de la phase dissoute en oxygène dissous pendant la saison hivernale [Makhoukh *et al.*, 2011].

Les eaux courantes étudiées présentent des valeurs relativement élevées en DBO₅ (hors norme) c'est-à-dire des quantités importantes de matière organique biodégradable, ces valeurs sont plus importantes en été qu'en hiver. Cette augmentation des teneurs en période sèche peut être expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec la diminution de la vitesse d'écoulement et avec le réchauffement des eaux. Cette activité, qui consomme beaucoup d'oxygène, participe pleinement dans l'autoépuration des eaux [Bremond & Perrodon, 1979]. Cependant en période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique émanant des eaux usées des villes riveraines [Makhoukh *et al.*, 2011]. Cependant les variations spatiales brusques peuvent être attribuées à des rejets aléatoires d'abattoirs, eaux usées urbaines et ruissellement des fumiers des terres agricoles.

Pour la demande chimique en oxygène, l'ensemble des sites présentent des valeurs dans les normes à l'exception des sites 2 et 4 en période estivale sous l'effet de pollutions accidentelles et le site 5 pendant les deux périodes sous l'effet d'une pollution diffuse de matière organique totale. L'évolution temporelle montre des concentrations plus importantes en été qu'en hiver sous l'effet des matières organiques biodégradables (DBO₅) qui suit le même gradient croissant de l'hiver vers l'été.

Le rapport DCO/ DBO évolue d'environ 2, ce qui veut dire que la matière organique biodégradable représente à peu près la moitié de la matière organique totale c'est-à-dire une équitabilité entre la matière organique biodégradable et chimiquement dégradable.

Les teneurs en ammonium dépassent de loin les normes et montre des concentrations plus importantes en hiver qu'en été. Cette différence temporelle est due aux apports d'engrais agricole azotés tandis que la forte concentration annuelle provient des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère, de la réduction et la biodégradation des déchets, des

déjections des organismes vivants et de la matière organique azotée, sans négliger les apports anthropiques d'origine domestique, industrielle et agricole [Chapman & Kimstach, 1996].

Globalement, les concentrations en nitrite dépassent de loin la norme à l'exception des sites 2, 4 et 5 en été. La période hivernale présente des valeurs très importantes par rapport à la période estivale. Ces variations tiennent leurs sources des variations de l'ammonium car les nitrites sont le premier produit de l'oxydation de l'ammonium [Rodier *et al.*, 2009]. Par contre la variation spatiale observée en été est dû à une inhibition du processus de dénitrification sous l'effet d'inhibiteurs chimiques et biologiques diverses [Berzas *et al.*, 2000; Neal *et al.*, 2000 b; House *et al.*, 2001].

Les teneurs en nitrates restent inférieures à la valeur admissible par les normes. De ce fait, les eaux étudiées ne sont pas assujetties à une pollution ponctuelle par les nitrates. La variation temporelle apparaît plus importante en hiver qu'en été. Le lessivage des sols par les eaux de ruissellement et l'entraînement des déchets d'origines végétales et animales, très riches en composés organiques azotés, seraient sans doute responsables de l'élévation des concentrations des nitrates en période pluvieuse. Ces variations saisonnières ont été mentionnée dans la littérature : une augmentation des concentrations en nitrates pendant l'hiver suite à l'accroissement du lessivage et des valeurs plus faibles en été et en automne du faite de la réduction de l'intromission diffuse [Berzas *et al.*, 2000; Neal *et al.*, 2000 b; House *et al.*, 2001, El Addouli *et al.*, 2011].

Il est important de noter qu'immédiatement en aval des foyers de pollution, on trouve souvent des teneurs fortes en ammonium tandis que les teneurs en nitrites et en nitrates sont relativement faibles. Plus en aval, les teneurs en azote ammoniacal diminuent et celles des nitrites puis des nitrates augmentent. D'une façon générale, l'ammoniaque se transforme assez rapidement en nitrites puis en nitrates par oxydation [Rodier *et al.*, 2009].

Les valeurs des sulfates au niveau de l'oued Medjerda dépassent de loin la valeur limite de 250 mg/l à l'exception du site 1 lors de la première période. La forte concentration des eaux en sulfates serait sans doute liés à la morphologie des sols parcourus par le cours d'eau [Vega *et al.*, 1998; Silva & Sacomani, 2001 ; Rodier *et al.*, 2009], à une potentielle intrusion de la nappe alluviale par les eaux de l'oued Medjerda. Certes, des auteurs tels que Delisle *et al.*, [1977] et Greenwood *et al.*, [1984], ont étudié les sulfates et ont remarqué que les valeurs élevées de cet élément peuvent être observées dans les cours d'eau polluée par les rejets industriels (industrie minière, fonderie, usines de pâtes et papiers, usines de textiles, tanneries...). Ces fortes concentrations peuvent être dues aussi aux diverses activités agricoles [Barry, 1989 ; Derwich *et al.*, 2010]. En effet, l'agriculture, principale activité dans la zone d'étude, emploie de manière excessive des insecticides et des fongicides à base de sulfates ou d'acide sulfurique ainsi que des engrais au sulfate d'ammonium.

La variation temporelle des sulfates montrent des teneurs maximales en été qui serait attribuable aux dilutions provoquées par les apports des eaux de ruissellement pendant la période pluviale.

Les eaux d'oued Medjerda présentent des teneurs en chlorures dans les normes. L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement des teneurs en chlorures pendant la saison humide par rapport à la saison sèche sous l'effet de la dilution provoquée par les précipitations pendant la période fraîche.

Les concentrations en phosphates au niveau du cours d'eau étudié sont hors normes et la comparaison des concentrations saisonnières se révèle plus fortes en hiver qu'en été. Ces fortes concentrations peuvent avoir comme origine : les rejets d'eau usée [Neal *et al.*, 2000a; Jonnlagadda & Mhere, 2001; Vega *et al.*, 1998; Silva & Sacomani, 2001 ; El Addouli *et al.*, 2011] et d'autre part, la libération du phosphore stocké dans les sédiments suite aux interactions entre l'eau et les sédiments [Neal *et al.*, 2000a; Bowes & House, 2001; El Addouli *et al.*, 2011].

Cependant la variation temporelle peut être attribuée d'une part à l'effet du lessivage à la suite des crues et d'autre part aux différentes sources domestiques et agricoles [Neal *et al.*, 2000b; Jonnlagadda & Mhere, 2001; Petry *et al.*, 2002 ; El Addouli *et al.*, 2011].

⇒ Les éléments toxiques (métaux lourds) :

Les eaux d'oued Medjerda présentent des concentrations relativement élevées en plomb avec des teneurs plus importantes en été qu'en hiver. Ces fortes concentrations peuvent avoir comme origine des pollutions diffuses par des apports dus aux transports routiers et à l'existence de sites industriels désaffectés [IBGE, 2005], Aux rejets urbains et industriels : câblages, certains alliages et soudures, batteries et autres appareils électriques, pigments et peintures, raffineries, carburants, matières plastiques et aux lessivages de produits agricole : biocides (pesticides, herbicides, conservateurs) et engrais...etc. [Biney *et al.*, 2005].

Le cadmium enregistre des teneurs qui dépassent largement les normes avec un léger abaissement des teneurs pendant la saison humide par rapport à la saison sèche. Ces fortes concentrations peuvent avoir comme source : les usines de galvanoplastie et les industries chimiques de textiles et de teintures [IBGE, 2005], les rejets urbains et industriels : revêtement électrolytique des métaux, certains alliages et soudures, accumulateurs, de peintures et de matières plastiques [Rodier *et al.*, 2009], batteries et autres appareils électriques, pigments, carburants et aux lessivages des engrais...etc. [Biney *et al.*, 2005].

Les valeurs du mercure au niveau de cet oued dépassent de loin la valeur limite de 1 µg/l à l'exception du site 2 lors de la première période. Ces teneurs élevées peuvent être attribuées aux rejets de certaines activités industrielles et urbaines : extractions minières, cimenteries, combustion des hydrocarbures fossiles et du charbon, industries de la pâte à papier [Rodier *et al.*, 2009], batteries et autres appareils électriques, pigments et peintures, carburants, produits dentaires et cosmétiques et aux lessivages de produits agricole : biocides (pesticides, herbicides, conservateurs) et engrais...etc. [Biney *et al.*, 2005].

Le cuivre présente des valeurs inférieures à la limite de 1 mg/l.

Il est important de noter que la variation temporelle des métaux lourds marquée par un abaissement des teneurs pendant la saison humide par rapport à la saison sèche est due au phénomène de dilution observé lors de la période pluviale.

⇒ Les résultats de l'analyse statistique :

Les résultats de permis l'ACP nous a de joindre les différentes caractéristiques pour chaque site, et de répartir ces dernier en 3 classes basée sur le degré de similarité entres les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

La classe la plus polluée correspond au site 2 et 5, le premier est situé en aval du chef lieu de wilaya de Souk Ahras côté sud (route de Zaarouria), le second situé en aval du chef lieu de wilaya coté Est (route de Taoura). Donc à cet effet, on peut conclure que les principales sources de pollution pour ce cours d'eau sont les rejets urbains et industriels.

La classe de moyenne pollution est représentée par les sites 1, 3 et 4, le premier est situé en amant du chef lieu de wilaya (route de Henancha), le second est situé en aval de l'ex usine SONIC et le dernier est situé en amant de la station d'épuration des eaux usées. Ces sites se trouvent en amant et en aval du site 2 ce qui met en évidence l'importante pollution urbaine et industrielle.

La classe la moins polluée correspond au site 6 situé en aval du chef lieu de wilaya côté nord et en aval d'oued Djedra. Apparemment les phénomènes d'autoépuration et de dilution par les eaux courantes d'oued Djedra ont joués un grand rôle dans l'épuration des eaux de ce site. Ce phénomène d'autoépuration a été signalé dans plusieurs travaux similaires [Makhoukh *et al.*, 2011].

Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche pour la température, le TAC, les nitrites, l'oxygène dissous, la DBO₅, la DCO, les chlorures, le phosphate, le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure.

3. CONCLUSION

Notre étude a été menée sur la haute vallée de la Medjerda afin de donner des réponses positives et suffisamment représentatives concernant la caractérisation des eaux de l'oued Medjerda. A la lumière des résultats obtenus on a pu déduire ce qui suit :

Concernant les paramètres physicochimiques, on constate que l'eau est légèrement trouble à trouble, moyennement dure, fortement minéralisées et neutre avec une alcalinité due aux bicarbonates.

Pour ce qui est des paramètres indicateurs de pollution, le régime d'oxygène dissous est acceptable avec de forte charge en matières en suspension et en matière organique biodégradable, cependant il existe une équitabilité entre la matière organique biodégradable et chimiquement dégradable.

Globalement, à part les nitrates et les chlorures qui sont dans les normes, tous les autres éléments à savoir les sulfates, les phosphates, l'ammonium et les nitrites dépassent de loin les valeurs limites.

En ce qui concerne les métaux lourds, la pollution de ces eaux par le plomb, le mercure et le cadmium est très apparente et sans aucune équivoque et elle n'épargne que le cuivre.

Il est important de signaler l'existence d'une pollution masquée des nitrates par le facteur temps c'est-à-dire que l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites mais ces derniers demande du temps pour se transformer en nitrates [Rodier *et al.*, 2009], c'est pour cette raison que l'ammonium et les nitrites ont dépassés la valeur limite au contraire des nitrates qui sont restés dans les normes.

En effet, la variation temporelle du calcium, du magnésium, des matières organiques, des sulfates, des chlorures et des métaux lourds marquée par un abaissement des teneurs pendant la saison humide par rapport à la saison sèche est dû à un phénomène de dilution observé lors de la période pluviale. Au contraire des autres éléments qui ont subi une élévation des concentrations en période hivernale suite à des phénomènes diverses tel que les amendements printaniers d'engrais et de biocides agricole, le lessivage hivernal, l'intrusion de la nappe alluviale et le colluvionnement...etc.

Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche pour la température, le TAC, les nitrites, l'oxygène dissous, la DBO₅, la DCO, les chlorures, le phosphate, le plomb, le cadmium, le cuivre et le mercure.

Les résultats de l'ACP nous a permis de rassembler les différentes caractéristiques pour chaque site, et de répartir ces dernier en 3 classes basée sur le degré de similarité entres les différents sites d'échantillonnage et le degré de pollution.

La classe la plus polluée correspond au site 2 et 5 La classe de moyenne pollution est représentée par les sites 1, 3 et 4, La classe la moins polluée correspond au site 6 Donc à

cet effet, on peut conclure que les principales sources de pollution pour ce cours d'eau sont les rejets urbains et industriels.

Le suivi spatio-temporel de plusieurs traceurs physico-chimiques, indicateurs de pollution, toxique et indésirables, nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge polluante de matières en suspension, matière organique, ammonium, nitrite, sulfates, phosphates, plomb, cadmium et de mercure et d'une dégradation de la qualité de l'eau particulièrement au niveau de la zone soumise aux rejets d'eaux usées provenant des villes de Ain Dalia, Zarouria et Souk Ahras.

La question de la limitation des effets des pollutions azotées par les stations d'épuration peut s'aborder de deux façons:

- réduire les apports azotés en améliorant les traitements de l'azote en station d'épuration (systèmes de nitrification/dénitrification)
- compter sur l'autoépuration de l'azote dans les cours d'eau, c'est à dire les processus spontanés de nitrification puis de dénitrification.

III. Microbiologie de l'eau

1. RESULTATS :

Les résultats des analyses microbiologiques obtenus peuvent être sommairement résumés comme suit :

1.1. GERMES TOTAUX :

Le dénombrement germes totaux vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable [Robertson, 1995; Santé Canada, 2002]. Il permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois préciser les sources de contamination [CEAEQ, 2000a].

Les résultats des germes totaux sont détaillés dans le tableau suivant :

TABLEAU 25 : RESULTATS DE DENOMBREMENT DES GERMES TOTAUX (U.F.C/ML¹).

<i>Prélèvements</i>	<i>Site</i>	<i>Dilution 10⁰</i>	<i>Dilution 10⁻¹</i>	<i>Dilution 10⁻²</i>
<i>Période humide</i>	S1	90	67	100
	S2	200	42	20
	S3	224	800	82
	S4	336	304	92
	S5	190	116	66
	S6	336	184	120
<i>Période sèche</i>	S1	125	100	96
	S2	458	189	100
	S3	321	300	285
	S4	500	452	352
	S5	356	236	210
	S6	485	365	258

Le dénombrement des germes totaux aux différentes dilutions, aussi bien pour la période humide que pour la période sèche, montre l'existence d'un gradient croissant des charges bactériennes de l'amont vers l'aval du cours d'eau à l'exception du site 5 qui subit l'effet des substances inhibitrices déversés par les eaux résiduaires de la commune de Souk Ahras juste en amont de ce site. La charge en germes totaux augmente avec la température de l'eau (l'effet saison).

1.2. GERMES FECAUX :

L'intérêt de la détection des coliformes fécaux, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales [CEAEQ, 2000b]. Quant aux streptocoques fécaux susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont plutôt typiques des déjections animales, comme *Streptococcus bovis*, *S. equinus*, *S.*

¹ U.F.C/ml : Unité Format Colonie par millilitre d'eau.

gallolyticus et *S. alactolyticus* [Bitton, 1999 ; Clausen *et al.*, 1977; Farrow *et al.*, 1984]. Ces espèces colonisent le bétail, les chevaux et la volaille bien qu'elles peuvent parfois être présentes chez l'humain, en particulier *S. bovis* [Devriese *et al.*, 1998; Ruoff *et al.*, 1989].

En ce qui concerne notre analyse des germes fécaux, nous avons constaté une très forte contamination en coliformes fécaux sur tous les sites étudiés et ce, aussi bien durant la période humide que durant la période sèche [Tableau 26]. Une très forte contamination en streptocoques fécaux est également observée sur les quatre premiers sites étudiés, alors qu'elle devient minime pour les sites 5 et 6, probablement par le fait du déversement des eaux usées chargés par des polluants abiotiques.

TABLEAU 26 : DENOMBREMENT DES GERMES FECAUX PENDANT LES DEUX PERIODES D'ETUDE.

<i>Prélèvement</i>	<i>Site</i>	<i>Coliformes fécaux</i>		<i>Streptocoques fécaux</i>	
		N.C. ²	N.P.P ³	N.C.	N.P.P
<i>Période humide</i>	S1	333	140 x 10 ²	320	9 x 10 ¹
	S2	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S3	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S4	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S5	333	140 x 10 ²	110	0.7 x 10 ¹
	S6	333	140 x 10 ²	110	0.7 x 10 ¹
<i>Période sèche</i>	S1	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S2	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S3	333	140 x 10 ²	333	140 x 10 ²
	S4	333	140 x 10 ²	310	4 x 10 ¹
	S5	333	140 x 10 ²	300	2.3 x 10 ⁰
	S6	333	140 x 10 ²	001	0.3 x 10 ²

1.3. SOURCES PROBABLES DE CONTAMINATION :

La détermination pratique de l'origine de la pollution fécale est indiquée par le rapport CF/SF⁴ [Guiraud & Galzy, 1995].

- si le rapport CF/SF est supérieure ou égale à 4, la source probable de contamination est humaine (déchets domestiques).
- si le rapport CF/SF est inférieur ou égale à 0.7, la source probable de contamination est animale (bétail et rejets d'animaux).

² N.C. : nombre caractéristique

³ N.P.P. : nombre le plus probable : nb de germes/100ml d'eau

- si le rapport CF/SF est compris entre 0.7 et 4, la source probable de contamination est à la fois humaine et animale (contamination mixte).

Le **tableau 27** montre que la principale source de contamination fécale de ces eaux courantes est d'origine humaine et que l'origine animale dans la contamination n'apparaît que dans les 3 premiers sites. L'effet saison est inapparent.

TABLEAU 27 : SOURCE PROBABLE DE CONTAMINATION FECALE.

<i>Prélèvement</i>	<i>Site</i>	<i>CF/SF⁴</i>	<i>Source probable de contamination</i>
<i>Période humide</i>	S1	155	CF/SF>4 : Contamination humaine
	S2	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S3	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S4	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S5	2000	CF/SF>4 : Contamination humaine
	S6	2000	CF/SF>4 : Contamination humaine
<i>Période sèche</i>	S1	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S2	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S3	1	0.7<CF/SF<4 : Contamination mixte
	S4	350	CF/SF>4 : Contamination humaine
	S5	6086	CF/SF>4 : Contamination humaine
	S6	466	CF/SF>4 : Contamination humaine

1.4. SULFITOREDUCTEURS :

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente [Rodier et al., 2009].

En ce qui concerne notre analyse des *Clostridium* sulfito-réducteurs, nous avons constaté leurs présences lors de la première période sur tous les sites à l'exception des sites 1 et 6 [Tableau 28]. Au contraire de la seconde période où nous avons constaté leurs présences seulement dans le site 2.

TABLEAU 28 : VARIATION DES CLOSTRIDIUM SULFITO-REDUCTEURS DANS LES DEUX PERIODES D'ETUDE.

<i>Mois</i>	<i>Site 1</i>	<i>Site 2</i>	<i>Site 3</i>	<i>Site 4</i>	<i>Site 5</i>	<i>Site 6</i>	<i>Norme</i>
<i>Période humide</i>	-	+	+	+	+	-	-
<i>Période sèche</i>	-	+	-	-	-	-	-

+ : Présence, - : Absence

⁴ CF/SF : Coliformes fécaux/ Streptocoques fécaux

1.5. SALMONELLES :

Les salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénèse varient énormément : fièvres typhoïdes salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires. Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs. Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles non seulement en cas de maladie mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer [Rodier *et al.*, 2009].

Les germes pathogènes du genre *Salmonella* ont été systématiquement recherchés au niveau de toutes les stations. Aucun prélèvement ne s'est révélé positif et ce durant les deux périodes d'études.

1.6. LEVURES ET MOISSURES :

Plusieurs faits contribuent aux différences potentielles entre les effets à la santé dus à une exposition en milieu intérieur et ceux dus à une exposition à l'extérieur [Weisel, 2002; Grech *et al.*, 2002; Jacob *et al.*, 2002; Meklin *et al.*, 2002; SCHL, 2001; EPA, 2001; ACGIH, 1999; Santé Canada, 1995a]. Les infections fongiques sont bien connues depuis près d'un siècle par la communauté médicale et scientifique. L'association est prouvée entre certains champignons (moisissures et levures) et des infections superficielles, profondes ou systémiques du fait qu'elle répond aux postulats de Koch⁵. L'effet infectieux est très bien documenté chez les immunodéprimés ; bien que moins fréquentes, ces infections sont aussi connues chez les sujets immunocompétents [MIEH, 1999 ; Parameswaran *et al.*, 1999 ; Clancy & Nguyen, 1998 ; Karim *et al.*, 1997 ; Karam & Griffin, 1986].

En ce qui concerne les moisissures et les levures, nous constatons une augmentation significative d'un mois à l'autre, on remarque aussi que les sites les plus contaminés sont les sites 4 et 5 [Tableau 29].

TABLEAU 29 : RESULTATS PONDERES DE DENOMBREMENT DES LEVURES ET MOISSURES (GERME/ML).

Site	Moisissures		Levures	
	Période humide	Période sèche	Période humide	Période sèche
<i>S1</i>	283,63	201,36	338,18	132,18
<i>S2</i>	297,27	513,64	224,54	451,82
<i>S3</i>	642,73	1198,18	206,36	58,91
<i>S4</i>	2536,37	2975,45	2181,82	2281,82
<i>S5</i>	766,36	1804,55	370	1690
<i>S6</i>	316,37	320,91	260	264,55

⁵ Robert Koch, médecin et microbiologiste allemand, a proposé en 1890 un ensemble de critères permettant de définir si un micro-organisme était pathogène ou non.

2. DISCUSSION

En Algérie, les maladies d'origine hydrique ont été responsables de vastes épidémies de dysenterie, de fièvre typhoïde et de choléra [PNAE-DD, 2002]. Ces maladies sont souvent transmises par voie féco-orale et la contamination de l'homme se fait par consommation d'eau de boisson ou d'aliments contaminés par l'eau [Haslay & Leclerc, 1993 ; Hunter *et al.*, 1999 ; Ashbolt *et al.*, 2001]. Les agents pathogènes responsables sont d'origine fécale et incluent des bactéries, principalement les genres *Salmonella*, *Vibrio* et *Escherichia* [Burton *et al.*, 1987 ; Servais *et al.*, 1999 ; Schaffter & Parriaux, 2002 ; Schaffter & Parriaux, 2002 ; Baghel *et al.*, 2005].

La caractérisation des eaux de l'oued Medjerda nous a permis de dégager plusieurs points de grande importance pour les différents paramètres microbiologiques analysés :

La densité de la flore bactérienne totale augmente avec l'espace et la température ce qui est confirmé par les travaux de Fernandez-Alvarez *et al.*, [1991] ; Chahlaoui [1996] ; Aboukacem *et al.*, [2007] qui ont souligné des variations spatiales et temporelles dans les eaux de surface. Ces auteurs ont constaté que les charges en bactéries aérobies hétérotrophiques et en entérobactéries augmentaient avec la température de l'eau. Par ailleurs, Chahlaoui [1996] a clairement démontré l'existence d'un gradient croissant des charges bactériennes de l'amont vers l'aval des cours d'eau.

La présence des coliformes fécaux dans tous les sites d'étude témoigne d'une pollution fécale, dans la mesure où toutes les bactéries de ce groupe sont d'origine fécale. Les résultats relatifs aux streptocoques fécaux sont en concordance avec les résultats suscités à l'exception de ceux des trois derniers sites où les concentrations enregistrées sont très minimales, ceci est dû probablement aux déversements multiples des eaux usées chargés par des polluants abiotiques. Ces résultats, concordent avec les observations faites par Fernandez-Alvarez *et al.*, [1991] ; Chahlaoui, [1996] ; Hunter *et al.*, [1999] ; El Addouli *et al.*, [2009] et Hamaidi *et al.*, [2009]. Selon Hunter *et al.*, [1999], la moyenne du taux de mortalité étant plus rapide chez les streptocoques fécaux qui sont potentiellement plus influencés par les facteurs abiotiques du milieu naturel.

Il est à noter, que la flore fécale humaine contient plus de coliformes fécaux que de streptocoques [Geldreich & Kenner, 1978]. Les résultats caractérisant le rapport coliformes/streptocoques sont semblables à ceux obtenus par Hassoune *et al.*, [2010] et prouvent l'implication massive de la contamination fécale humaine sur le cours de la Medjerda. La contamination fécale mixte se concentre seulement dans les régions à forte activité agricole tels que les sites 1, 2 et 3.

L'apparition irrégulière des *Clostridium* sulfite-réducteurs toujours en présence des germes exclusivement fécaux, signifie que l'eau n'est pas protégée contre l'irruption de flore bactérienne étrangère d'origine fécale. Ces résultats, concordent avec les observations relevées par Aboukacem *et al.*, [2007].

Les germes pathogènes du genre *Salmonella* n'ont pas été détectés malgré la présence de bactéries d'origine fécale. Cette absence a été mentionnée dans les travaux de **Galès & Baleux, [1992]** ; **Chahlaoui, [1996]** ; **Schaffter & Parriaux, [2002]** ; **Aboukacem et al., [2007]** et **Hamaidi et al., [2009]**.

La présence des moisissures et des levures, confirme l'importante contamination de ce cours d'eau surtout au niveau des sites 4 et 5. En fait, il a été démontré que les eaux usées peuvent contenir divers agents antimicrobiens [**Hirsch et al., 1999**], ce qui peut justifier l'instabilité dans les dénombrements effectués. Les risques sanitaires provenant de ces micro-organismes sont surtout importants au cours des baignades, d'irrigation et d'abreuvement des animaux.

Enfin concernant l'effet perceptible du facteur saison sur l'ensemble des paramètres étudiés, il est soutenu par les résultats des travaux de **McDonald & Kay, [1981]** ; **Fernandez-Alvarez et al., [1991]** ; **Hunter & McDonald, [1991]** ; **Chahlaoui, [1996]** et **Aboukacem et al., [2007]**. Par ailleurs, les variations saisonnières concernant les bactéries entériques peuvent être en partie expliquées par l'influence des changements des conditions hydrométéorologiques [**Hunter et al., 1999**].

3. CONCLUSION

L'analyse des paramètres microbiologiques nous a permis de déduire les points suivants :

L'eau de l'oued Medjerda n'est pas de bonne qualité microbiologique et par conséquence, elle n'est pas conforme aux normes internationales ;

Notre caractérisation microbiologique stipule que les sites les plus pollués au niveau de l'oued Medjerda sont les sites 3 et 4 ;

Le facteur saison a des effets certains sur l'augmentation de concentrations en germes durant la saison sèche par rapport à la saison humide ;

Les paramètres les plus sensibles par rapport à la saison sont particulièrement les germes totaux, les levures et les moisissures ;

Malgré la forte charge en bactéries indicatrices de contamination fécale, les germes pathogènes du genre *Salmonella* n'ont pas été détectés.

L'ensemble des micro-organismes pathogènes trouvés (bactéries, levures et moisissures) dans l'eau, présentent des risques très importants de maladies capables de toucher les utilisateurs de cette eau tel que l'homme, les organismes végétaux ou animaux soit via le contact direct (boisson, lavage et baignade) ou d'une manière indirecte par la consommation des intermédiaires (cycle d'alimentation) ;

De ce fait, il serait intéressant d'envisager des études complémentaires et de prendre des mesures afin de préserver cet écosystème par :

- Des traitements visant à éliminer ou à minimiser les risques pour l'ensemble des utilisateurs ;
- L'établissement des points de surveillance continu de ces eaux courantes ;
- L'utilisation d'autres indicateurs de pollution ;
- Etablir une approche multidisciplinaire de la gestion environnementale ;

Et enfin établir une stratégie de vulgarisation sur la viabilisation et la pérennisation de cet environnement.

***Conclusion
Générale et
Perspectives***

Conclusion générale

L'analyse des eaux et des sols de la haute vallée de la Medjerda nous a permis d'évaluer leurs états de santé. Les 6 échantillons ont été prélevés durant la fin de période humide (Avril) et la fin de la période sèche (Septembre) de l'année 2009, au niveau des eaux et des sols de la haute vallée de la Medjerda (wilaya de Souk Ahras).

Il faut noter que les résultats obtenus dans cette étude sont dus à une stratégie d'échantillonnage basée sur l'analyse des échantillons en amont et en aval de chaque source de pollution probable. L'étude menée sur la haute vallée de la Medjerda a donné des réponses positives et suffisamment représentatives concernant la caractérisation des eaux et des sols. De plus toutes les analyses ont donné des résultats concordants.

A la lumière des résultats obtenus au niveau des différents paramètres étudiés au niveau de la haute vallée de la Medjerda, on a pu déduire ce qui suit :

En ce qui concerne le sol ;

- ⇒ L'analyse physico-chimique, nous a permis de déduire que nos sols ont une acidité effective neutre à légèrement alcaline, une acidité de réserve faible à moyenne, une faible teneur en humidité, matière organique, calcium, magnésium, minéraux et cuivre, une teneur modérée en calcaire, des concentrations hors norme en plomb, cadmium et mercure.
- ⇒ La description morphologique, nous a permis de constater une faible porosité et une texture d'un limons-argilo-sableux.

S'agissant de l'eau :

- ⇒ Concernant les paramètres physicochimiques, on constate que l'eau est trouble, moyennement dure, fortement minéralisée et neutre avec une alcalinité due aux bicarbonates.
- ⇒ Pour ce qui est des paramètres indicateurs de pollution, le régime d'oxygène dissous est acceptable avec de forte charge en matières en suspension et en matière organique biodégradable, cependant il existe une équitabilité entre la matière organique biodégradable et chimiquement dégradable.
- ⇒ Globalement, à part les nitrates et les chlorures qui sont dans les normes, tous les autres éléments à savoir les sulfates, les phosphates, l'ammonium et les nitrites dépassent de loin les valeurs limites.
- ⇒ En ce qui concerne les métaux lourds, la pollution de ces eaux par le plomb, le mercure et le cadmium est très apparente et sans aucune équivoque et elle n'épargne que le cuivre.

Pour ce qui est de la microbiologie de l'eau ;

- ⇒ Malgré la forte charge en bactéries indicatrices de contamination fécale, les germes pathogènes du genre *Salmonella* n'ont pas été détectés.
- ⇒ L'ensemble des micro-organismes pathogènes trouvés (bactéries, levures et moisissures) dans l'eau, présentent des risques très importants de maladies capables de toucher les utilisateurs de cette eau tel que l'homme, les organismes végétaux ou animaux soit via le contact direct (boisson, lavage et baignade) ou d'une manière indirecte par la consommation des intermédiaires (cycle d'alimentation) ;

Les résultats de l'analyse statistique confirment ceux obtenus au laboratoire et révèlent ce qui suit :

- ⇒ l'ACP a permis de répartir les différents sites en 3 classes : la classe la plus polluée correspond aux sites 2, 4 et 5, la classe de moyenne pollution est représentée par le site 1 et 3 tandis que la classe la moins polluée correspond aux sites 6.
- ⇒ Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche pour le pH-Kcl, l'humidité et le mercure dans le sol, et pour la température, le TAC, les nitrites, l'oxygène dissous, la DBO₅, la DCO, les chlorures, le phosphate, le plomb, le cadmium, le cuivre, le mercure, germes totaux, levures et les moisissures dans l'eau.

Le suivi spatio-temporel de plusieurs traceurs physico-chimiques, indicateurs de pollution, toxiques, indésirables et microbiologiques, nous a fourni l'image d'une pollution relativement intense qui se traduit par une importante charge polluante et d'une dégradation de la qualité des eaux et des sols particulièrement au niveau de la zone soumise aux rejets urbains, agricole et industriels provenant des villes de Ain Dalia, Zarouria et Souk Ahras.

les rejets de stations d'épuration représentent des apports concentrés d'azote, auxquels les milieux aquatiques sont très sensibles, et qui entraînent, selon leur forme chimique et en lien avec les caractéristiques physico-chimiques locales de chaque site, une diminution de la qualité des cours d'eau et des phénomènes de pollution parfois importants: toxicité pour la faune aquatique (NH₄⁺, NO₂⁻), gêne aux traitements de potabilisation (NH₄⁺, NO₂⁻), eutrophisation (NO₃⁻ + PO₄³⁻), consommation accrue d'oxygène liée à la nitrification.

A cet effet, la limitation des effets des pollutions azotées par les stations d'épuration peut s'aborder de deux façons :

- ⇒ réduire les apports azotés en améliorant les traitements de l'azote en station d'épuration (systèmes de nitrification/dénitrification)
- ⇒ compter sur l'autoépuration de l'azote dans les cours d'eau, c'est à dire les processus spontanés de nitrification puis de dénitrification.

De ce fait, il serait intéressant d'envisager des études complémentaires et de prendre des mesures afin de préserver cet écosystème par :

- ⇒ Des traitements visant à éliminer ou à minimiser les risques pour l'ensemble des utilisateurs ;
- ⇒ L'établissement des points de surveillance continu de cette biosphère ;
- ⇒ L'utilisation d'autres indicateurs de pollution ;
- ⇒ Etablir une approche multidisciplinaire de la gestion environnementale ;
- ⇒ et enfin établir une stratégie de vulgarisation sur la viabilisation et la pérennisation de cet environnement.



Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABH. 2001.** Le bassin versant Medjerda-Mellègue. Les cahiers de l'agence n° 6. Publication de l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellègue. 24 p.
- Abboudi, A., Tabyaoui, H., & El Hamichi, F. 2014.** Étude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *Européen Scientific Journal*. 10(23) : 84-94.
- Aboukacem, A., Chahlaoui, A., Soulaymani, A., Rhazi-Filali, F. & Benali, D. 2007.** Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San. & Environn.*, 1 (1): 10-22.
- AFNOR. 2003.** Norme NF X31-107. Détermination de la distribution granulométrique des particules du sol- Méthode à la pipette. Paris, 20p.
- AFNOR. 2004.** *Evaluation de la qualité des sols*, Volume 1. AFNOR Editions, Paris, 461p.
- AFNOR. 2005.** *Qualité de l'eau*, Volumes 1 et 2.
- AFNOR.1999.** *Qualité de l'eau*, tomes 1 à 4.
- Agence de bassin hydrographique [ABH]. 2005.** Le bassin de la Medjerda-Mellègue. Les cahiers de l'agence n° 9. Publication de l'agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellègue. 44p.
- Agence Nationale Des Ressources Hydriques [ANRH]. 1968.** Etude agro pédologique de la plaine de Tichef – Hamimine (wilaya de Souk Ahras). 88p.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 1999.** Toxicological profile for lead, Accessible à: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>, Consulté en: Juin 2014.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR]. 2004.** Toxicological profile for copper, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, 1-265.
- Allan, J.D., & Johnson, L.B., 1997.** Catchment-scale analysis of aquatic ecosystems. *Freshwat. Biol.* 37: 107-111 .
- Allan, J.D., Erickson, D.L., & Fay, J. 1997.** The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwat. Biol.* 37: 149-161.
- Amegeek, F.P. 1992.** Analyse du secteur eau et assainissement au Bénin, Cotonou. Ministère de la santé. 93 p.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. 1999.** Bioaerosols : assessment and control. Publication 3180. Janet Macher Editor. 526 p.
- American Water Works Association. [AWWA]. 2000.** AWWA standard for lead (ANSI/AWWA), September 1, 2000.
- Amoros, C., Petts, G.E. 1993.** *Hydrosystèmes fluviaux*. volume 24, collection d'écologie. Masson, Paris. 300 p.

- Andersson, A. 1979.** « Mercury in soils ». In NRIAGU J. (éd.): The biogeochemistry of mercury in the environment, Amsterdam, Elsevier j North-Holland Biomedical Press: 79-112.
- Ansa-Asare, O.D., Marr, I.L., Cresser, M.T. 1999.** Evaluation of cycling patterns of dissolved oxygen in a tropical lake as an indicator of biodegradable organic pollution. *Sci. Total Environ.* 231: 145-158.
- Antiquités africaines. 1995.** Centre national de la recherche scientifique, volumes 21 à 32, éd.Paris, p. 37.
- Armengol, J., Sabater, S., Vidal, A., Sabater, F. 1991.** Using the rescaled range analysis for the study of hydrological records: the River Ter as an example. *Oecologia Aquatica.* 10:21-33.
- Arrignon, J. 1998.** *Aménagement Piscicole des Eaux Douces.* Lavoisier Tec & Doc, Paris .
- Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K. & Snozzi, M. 2001.** Indicators of microbial water quality. In: Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Risk assessment and management for water-related infectious disease, L. Fewtrell, J. Bartram (Eds.), IWA Publishing, London, 289–315.
- Athmani, A. 2008.** Evolution de la qualité des eaux de surface cas du sous bassin versant Medjerda région de souk Ahras (Algérie). Mémoire de magister de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie.
- Aulu-Gelle. 1886.** *Nuits attiques*, édition Martin Julius Hertz, Breslau, Livre VI, 4.
- Azzaoui, S. 1999.** Métaux lourds dans le bassin versant du Sebou, Géochimie, source de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse de l'université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc, 130 p.
- Baghel, V.S., Gopal, K., Dwivedi, S., & Tripathi, R. D., 2005.** Bacterial indicator of fecal contamination of the Gangetic river system righth at its source, *Ecological Indicators*, 5: 49-56.
- Baize, D. 1988.** *Guide des analyses courantes en pédologie.* Ed. INRA, Paris., 171 p.
- Baize, D., & Girard, B. (coords) 1995.** *Référentiel Pédologique.* INRA. Paris, 336 p.
- Baize, D., & Jabiol, B. 1995.** *Guide pour la description des sols.* INRA: Paris, 375 p.
- Baize, D. 1997.** *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France).* Editions Quae- 408 p.
- Barry, G.S. 1989.** Sodium sulphate. Canadian minerals yearbook-1988. Mineral Report, n°37. Division des ressources minérales, énergie, mines et ressources. Ottawa.
- Basraoui, Y., Zegmout, M., Eladdouli, J., Demnati, S., Chahlaoui, A., & Chafi, A. 2010.** Contribution à l'étude de la pollution de la zone côtière Saidia/Moulouya, au Maroc Nord Oriental. *Afrique Science.* 6(3) : 64-74.
- Belaid, N. 2010.** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse en cotutelle de l'Université de Sfax (Tunisie) et de l'Université de Limoges (France), 188 p.
- Bendjide, H., & al. 2010.** Caractérisation des sols d'oued Medjerda. Mémoire D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie.
- Bengherbia, A., Hamaidi, F., Zahraoui, R., Hamaidi M. S., & Megateli S. 2014.** Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Science Journal.* 15(2) : 39-51.

- Berne, F., Cordonnier, J. 1991.** *Traitement des eaux* ; Editions Technip - Paris.
- Berzas, J.J., Garcia, L.F., Rodriguez, R.C., Martin-Alvarez, P. 2000.** Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tablas de Daimiel National Park. *Water Research*, 34: 3161–3170.
- Bianchi, M. 1998.** Nouvelles approches d'études des réseaux microbiens. *Annales de Limnologie*. 34(4): 465-473.
- Biney, C., Amuzu, A. T., Calamari, D., Kaba, N., Mbome, I. L., Naeve, H., Ochumba, O., Osibanjo, O., Radeconde, V., & Saad, M. A. H. 2005.** Etude des métaux lourds, *Revue de la pollution dans l'environnement aquatique africain*, FAO, 25 : 1–6.
- Bitton, G. 1999.** *Wastewater Microbiology*. John Wiley & Sons, 578 p.
- Boeglin, J.C. 1997.** Analyse des eaux résiduaires - Mesure de la pollution. [Généralités sur la pollution industrielle], 1-25., *Techniques de l'Ingenieur*. 4200 p.
- Bonneau, M., Souchier, B. 1979.** *Constituants et propriétés du sol* (Tome XX). Masson, Paris, 459 p.
- Bouacha, B.E. 2001.** Contribution à l'étude de l'entomofaune du forêt de Boumezrane Ain Zana (Souk-Ahras). Thèse ing. Agro. Univ. El Tarf . 145p.
- Bouchelaghem, S., Benzara, S., Méradi, W., & Rezkallah, S. 2014.** Etude comparative de la qualité chimique et microbiologique des eaux de l'oued El kebir (Région d'El Tarf). *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 3(1) : 71-74.
- Boudy, P. 1955.** *Economie forestière nord-africaine. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie*. Tome IV, Ed. Larose, Paris. 483 p.
- Bournel, T., Harmse, B., & Temple, N. 2007.** Water : a neglected nutrient in the young child? A South African perspective. *Matern Child Nutr*, 3: 303-11.
- Bouroche, J.M., & Saporata G. 1980.** *L'analyse des données*. 1er édition. Presses universitaires de France. Paris, 127 p.
- Bowes, M.J., House, W.A. 2001.** Phosphorus and dissolved silicon dynamics in the river Swale catchment, UK: a mass-balance approach. *Hydrol. Process*. 15: 261-280.
- boyer, J. 1978.** Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides, office de la recherche scientifique et technique outre-mer, initiations - documentations techniques n° 35, paris, 157 p.
- Brahimi, A., & Chafi, A. 2014.** Etude écotoxicologique de l'oued Za et de son affluent Oued Tizeghrane (Basse Moulouya, Maroc Oriental). *J. Mater. Environ. Sci*. 5 (5) : 1671-1682.
- Braud, I., Bariac T., Vauclin M., Boujamlaoui Z., Gaudet J. P., Biron P., & Richard P. 2005b.** SiSPAT-Isotope, a coupled heat, water and stable isotope (HDO and (H₂O)-O-18) transport model for bare soil. Part II. Evaluation and sensitivity tests using two laboratory data sets, *J Hydrol*, 309(1-4): 301-320.
- Bravard, J.P., & Petts, G.E. 1993.** *Interférences avec les interventions humaines*. In: AMOROS, C. & G.E. PETTS (eds). *Hydrosystèmes Fluviaux*. Masson, Paris: 233-253.
- Bremond, R., Perrodon, C. 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. *Prevention des pollutions*. 2^{ème} ed: 259 p.
- Britain, J.E., & Saltveit, S.J. 1989.** A review of the effect of river regulation on Mayflies (*Ephemeroptera*). *Regulated Rivers: Research and Management*. 3: 191-204.
- Brown, A., Brindley, G.W. 1984.** Crystal, Structures of Clay Minerals and their XRay Identification, in G.W. Brindley & G. Brown editions, Mineralogy society, London 2nd edition p. 305-360;

- Bruce, J.K., & Turnep, J.E. 1980.** The interaction of cadmium and certain other metal ions with proteins and nucleic acids. *Toxicology*, 16: 1-37.
- Bryce, S.A., Omernik, J.M., & Larsen, D.P. 1999.** Ecoregions: a geographic framework to guide risk characterization and ecosystem management. *Environ. Pract.* 1: 141-155.
- Bureau National des Etudes Forestières [B.N.E.F]. 1987.** Etude d'aménagement et de mise en valeur du bassin versant de l'oued Medjerda, Blida, 21p.
- Bureau National des Etudes Forestières [B.N.E.F]. 1988.** Etude de schéma directeur d'aménagement du bassin versant de l'oued Medjerda, Blida, 51p.
- Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural [BNEDER]. 1996.** Etude d'aménagements hydro-agricoles de la vallée de la Medjerda, Wilaya de Souk Ahras. Etude du Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural.
- Burton, J.A. Gunnison, D. & Lanza, C.R. 1987.** Survival of pathogenic bacteria in various freshwater sediments, *Appl. Environ. Microbiol.*, 53: 633-638.
- California Environmental Protection Agency [Cal EPA]. 2008.** Public health goal for copper in drinking water, , Office of Environmental Health Hazard Assessment; Pesticide and Environmental Toxicology branch, Oakland, California, 1: 70.
- California Environmental Protection Agency [CEPA]. 1997.** Public health goal for lead in drinking water, 17 p.
- Caux, P.-Y., Moore, D.R.J. & Macdonald, D. 1997.** Ambient water quality guidelines (criteria) for turbidity, suspended and benthic sediments, Technical Appendix, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, Water Management Branch, 82 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec [CEAEQ]. 2000a.** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives; méthode par incorporation à la gélose. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Gouvernement du Québec, 17 p.
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec [CEAEQ]. 2000b.** Recherche et dénombrement des coliformes fécaux; méthode par filtration sur membrane. Centre d'expertise en analyse environnementale, Gouvernement du Québec, 24 p.
- Chabani, Y., & Dairi, H., 2006.** Impact de la Pollution sur un poisson Cyprinidé d'Eau Douce le barbeau fliviatile *Barbus barbus* dans l'oued de Medjerda : aspect Morphologique et Biochimique. Mémoire D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie. 55p.
- Chahlaoui, A. 1996.** Etude hydro biologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la santé. Thèse d'état de l'université de Meknès, Maroc, 234 p.
- Chapman, D., & Kimstach, V. 1996.** *Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- Christensen, T.H., Kjeldsen, P., & Bjerg, P.L. 2001.** Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*. 16: 659-718.
- Chrost, R.J. 1991.** Environmental control of the synthesis and activity of aquatic microbial ectoenzymes. In: *Microbial Enzymes in Aquatic Environments* (Chrost R.J, Ed.) Brock / Springer-Verlag, Berlin. pp 29-59.
- Clancy, C.J. & Nguyen, M.H. 1998.** Invasive sinus aspergillosis in apparently immunocompetent hosts. *J Infect*, 37(3) : 229-40.

- Clausen, E.M., Green, B.L. & Litsky, W. 1977.** Fecal streptococci: indicators of pollution. Dans: Hoadley, AW et BJ Dutka, édit., *Bacterial Indicators/Health hazards associated with water*. American Society for Testing and Materials, ASTM STP 635, pp.: 247-264.
- Collectif, 1998.** Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des Sciences, rapport n° 42. P-H. Bourrelier et J. Berthelincoord. Tec et Doc, 440 p.
- Commission sur La Gestion De L'Eau Au Quebec [CGEQ]. 2000.** rapport de la commission sur la gestion de l'eau au Québec. Tome 1, Québec : bureau d'audiences publiques sur l'environnement ; 480 p.
- Conil, P. & Clozel, B., 1999.** Méthodes physiques de séparation des constituants d'un sol contaminé: une première étape pour déterminer la spéciation des métaux. In *Spéciation des métaux dans le sol*, Edition Les cahiers des clubs CRIN, p 41-55.
- Conseil canadien des ministres de l'Environnement [CCME]. 1995c.** Protection de l'approvisionnement des communautés en eau potable (Révision décembre 1995), Préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable, 10 p.
- Conseil canadien des ministres de l'Environnement [CCME]. 1995c.** Protection de l'approvisionnement des communautés en eau potable (Révision décembre 1995), Préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable, 10 p.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]. 2002.** Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, mise à jour 2, novembre 2002, Winnipeg, le Conseil.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement [CCME]. 2002.** Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, mise à jour 2, novembre 2002, Winnipeg, le Conseil.
- Conseil Mondial de L'Eau [CME]. 2006.** Rapport final du quatrième forum mondial de l'eau. Mexico ; 258 p.
- Cooper, S., Diehl, S., Kratz, K., & Sarnelle, O. 1998.** Implications of scale for patterns and processes in stream ecology. *Austr. J. Ecol.* 23: 27-40.
- Coppenet, M., Golven, J., Simon, J.C., Le Corre, L. & Le Roy, M. 1993.** Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif : exemple du Finistère. *Agronomie.* 13: 17-83.
- Costanza, R., D'arge, R., Degroot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'neill, R.V.O., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton P., & Van Der Belt, M. 1997.** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Cour des Comptes Française [CCF]. 1997.** La gestion des services publics locaux d'eau et d'assainissement [www.ccomptes.fr/cours des comptes/publications/rapport/eau](http://www.ccomptes.fr/cours_des_comptes/publications/rapport/eau) [Consulté le 14 /05/ 2014].
- Cowx, I.G., & Collares-Pereira, M.J. 2002.** Freshwater fish conservation: options for the future. In: Collares-Pereira, M.J., Cowx, I.G., & Coehlo, M.M. (eds). *Conservation of freshwater fishes: options for the future*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford: 443-452.
- Coyne, A., Schäfer, J., Hurtrez, J.E., Dumas J., Etcheber, H. & Blanc, G. 2004.** Sampling frequency and accuracy of SPM flux estimates in two contrasted drainage basins. *Science of the Total Environment*, 330, 233-247.

- Dalichaouch, N., 2012.** Etude de la biodiversité dans les communes de Bir Bouhouche, Oum El Adhaim, Sefl El Ouiden et Terreguelt de la wilaya de Souk Ahras. Etude réalisée par le bureau d'étude Dalichaouch pour le ministère de l'environnement Algérien. 100 p.
- Davet, P., 1996.** *Vie microbienne du sol et production végétale*. INRA. Paris. 383p.
- Davis, A.P., Shokouhian, M., & Ni, S.B. 2001.** Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*. 44: 997-1009.
- De Os Horta, J.C. 1979.** Les encroutements calcaires et les encroutements gypseux en géotechnique routière. *Bet. Labomécanique des sols*, 105 p.
- Décamps, H., & Naiman, R.J. 1989.** L'écologie des fleuves. *La Recherche* 208: 310-319.
- Degbey, C. 2011.** Factors associated with the problematical of quality drinking water and public health in the municipality of Abomey-calavi in Benin/Facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey-calavi au Benin, thèse de l'Ecole de santé publique de l'Université libre de Bruxelles, Belgique, 375 p.
- Delarras, C. 2006.** *Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Réglementation-Prélèvements- Analyses*. Ed. Lavoisier, Paris, 269p.
- Delas, J. 2000.** *La fertilisation de la vigne*. Editions FERET, Bordeaux., 154 P.
- Delisle, C.E., & Schmidt, J.W. 1977.** The effect of sulphur on water and aquatic life in Canada. Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. NRCC, n°. 15015, Centre National des recherches du Canada, Ottawa.
- Deneux-Mustin, S., Roussel-Debet, S., Mustin, C., Henner, P., Munier-Lamy, C., Colle, C., Berthelin, J., Garnier-Laplace, J. & Leyval, C. 2003.** *Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol*. TEC & DOC, Lavoisier, Paris 91-98.
- Derwich, E., Benaabidate, L., Zian, A., Sadki, O. & Belghity, D. 2010.** Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal*, 8: 101-112.
- Devriese, L., Vandamme, P., Pot, B., Vanrobaeys, M., Kersters, K., & Haesebrouck, F. 1998.** Differentiation between *Streptococcus gallolyticus* strains of human clinical and veterinary origins and *Streptococcus bovis* from the intestinal tracts of ruminants. *Journal of Clinical Microbiology*, 36: 3520-3523.
- Dicastrì F. 1981.** Ecosystems of the world 11: Mediterranean - type shrublands, pp: 1-52.
- Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire [DPAT]. 2010.** Monographie de la wilaya de Souk Ahras. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (Souk Ahras, Algérie) 86 p.
- Directive du conseil de la Communauté européenne [DCCE]. 1998.** directive 98/83/CE, adoptée par la Communauté européenne le 3 novembre 1998 (JOCE¹⁰ n° L.330/32 du 5 décembre 1998).
- Djellailia, O., & al. 2010.** Etude de la morphométrie et de l'activité spécifique d'un biomarqueur de pollution : la glutathion S-transferase (GST) chez un poisson à intérêt écologique *Barbus barbus*. Mémoire D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaïdia Souk Ahras, Algérie.

- Djelailia, S. 2007.** Étude de quelques paramètres physico-chimiques et microbiologiques des hautes eaux de l'oued Medjerda. Mémoire D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie. 55p.
- Djili, K. & Daoud, Y., 1999 :** Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 02 juin, n° 99, pp : 25- 44.
- Djili, K. 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse de l'INA d'Alger, Algérie, 243 p.
- Doucet, R. 2006.** *Le climat et les sols agricoles.* ed. Berger, Eastman, Québec. xv, 443 pp.
- Durand, C. 2003.** Caractérisation physico-chimiques des produits d'assainissement pluvial. Origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques. Thèse de doctorat Univ de Poitiers 248p.
- Durand, J.H. 1983.** *Les sols irrigables, Techniques vivantes.*, Pesse, Univ. France., 339 p.
- Dynesius, M., & Nilsson, C. 1994.** Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- Dynesius, M., & Nilsson, C. 1994.** Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- El Addouli, J., Chahlaoui, A., Berrahou, A., Chafi A., Ennabili, A. & Karrouch, L. 2009.** Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'oued Bouishak - région de Meknès (centre-sud du Maroc), *Rev. Microbiol. Ind. San. & Environn.*, 3 (1), 56-75.
- El Addouli, J., Chahlaoui, A., Berrahou, A., Chafi, A., Ennabili, A. 2011.** Approche de la qualité biologique de l'Oued Ouislane, au voisinage des effluents bruts de la ville de Meknes, *Larhyss Journal*, 9: 21-33
- El Ouali Lalami, A., Merzouki, M., El Hillali, O., Maniar, S. & Ibnsouda Koraichi, S. 2011.** Pollution des eaux de surface de la ville de fes au maroc : typologie, origine et conséquences, *Larhyss Journal*, 9 : 55-72
- Emmanuel, J. 2010.** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires, agence de l'eau Seine-Normandie, Direction des Bocages Normands, 35p
- Environmental Protection Agency [EPA]. 2001.** Mold remediation in schools and commercial buildings. Office of Air and Remediation. Indoor Environments Division. EPA 412-K-01-1, 36 p.
- Environnement Canada. 1994.** Document d'orientation sur le prélèvement et la préparation de sédiments en vue de leur caractérisation physico-chimique et d'essais biologiques. Rapport SPE 1/RM/29. Décembre 1994. 128 p.
- Everard, M., & Powell, A. 2002.** Rivers as living systems. *Aq. Cons. Mar. Freshwat. Ecosys.* 12: 329-337.
- FAO. 2007.** Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15.
- Farrow, J.A.E., Kruse, J., Phillips. B.A., Bramley, A.J., & Collins, M.D. 1984.** Taxonomic studies of *S. bovis* and *S. equinus*: description of *S. alactolyticus* sp. no. and *S. saccharolyticus* sp. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 5: 467-482.

- Fawell, J.K., & Hunt, S., 1988.** *Environmental toxicology: Organic pollutants*, Ellis Horwood Ltd, Chichester. 440pp.
- Fawell, J.L., Dange, C., & Thouvenin, B. 2001.** Spéciation des contaminants métalliques en milieu estuarien : Intérêt de la modélisation et application au cadmium, *Hydroécologie Appliquée*, 13: 37-55.
- Fernandez-Alvarez, R.M., Carballo-Cuervo, S., De La Rosa-Jorge, M.C., & Rodriguez-De Lecea, J. 1991.** The influence of agricultural run-off on bacterial populations in a river, *J. Appl. Bacteriol.*, 70: 437-442.
- Fernandez-Cornudet, C. 2000.** Devenir du Zn, Pb et Cd issus de retombées atmosphériques dans les sols, à différentes échelles d'étude. Influence de l'usage des sols sur la distribution et la mobilité des métaux. Thèse de doctorat de l'Institut National d'Agronomie Paris-Grignon, France, p 06.
- Figala, J. & Hanak, P. 1986.** Nauka o zivotnim prostredi Praha : Vysoka skola zemedelska Praha. *Videopress MON.*, 63-79.
- Fouad, S., Hajjami, K., Cohen, N., & Chlaida, M., 2014.** Qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de l'Oued Hassar : impacts des eaux usées de la localité de Mediouna (Périurbain de Casablanca, Maroc). *Afrique Science* 10(1) : 91-102.
- Galès, P. & Baleux, B. 1992.** Influence of the drainage basin input on a pathogenic bacteria (salmonelle) contamination of a Mediterranean lagoon (the Thau lagoon-France) and the survival of this bacteria in brackish, *Water Sci. Technol.*, 25: 105-114.
- Garnier, J., & Lavandier, P. 1995.** Le cycle du carbone. In: *Limnologie générale* (Pourriot R., Meybeck M., Eds.) Masson. Paris. pp.688-704.
- Geldreich, E.E., Taylor, R.H., Blannon, J.C. & Reasoner, D.J. 1985.** Bacterial colonization of point-of-use water treatment devices, *J. Am. Water Works Assc.* 77: 72-80.
- Geldreich, E.E. 1986.** Potable water: new directions in microbial regulations, *ASM. News*, 52: 530-534 .
- Geldreich, E.E. & Kenner, B.A. 1987.** Bacterial population and indicator concepts in feces swage, storm water and solid wastes. In: *Indicators of virus in water and food*, Ed. Berg, 51-97.
- Geldreich, E.E. & Reasoner, D.J. 1989.** Home water treatment devices and water quality. In *Drinking water microbiology: progress and recent developments*. McFeters G.A. (Eds.), Springer-Verlag., New York, 147-167.
- Ghanem, I. & al., 2008.** Étude de la qualité microbiologique des eaux de l'oued Medjerda. Mémoire de D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie.
- Gharbi, T. L. 2008.** Rôle de la matière organique sur le devenir des polluants métalliques. Cas de la fertirrigation d'un sol en climat méditerranéen, Thèse de doctorat de l'Université du Sud Toulon-Var, France, 302p.
- Ghim, M., & Kraimia A. 2012.** Composition et phénologie des peuplements des oiseaux d'eau dans trois zones humides, la retenue collinaire de Tiffech, Madjen Djedj et Madjen Bouhssane (Wilaya de Souk-Ahras). Mémoire de master de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie.

- Gonzalez, J.L., Thouvenin, B., Dange, C., Fiandrino, A., & Chiffolleau, J.F. 2001.** Modeling of Cd speciation and dynamics in the Seine estuary (France), *Estuaries*, 24 (6B), 1041-1055.
- Gove, L., Nicholson, F.A., & Beek, A.J. 2001.** Movement of water and heavy metals (Zn, Cu, Pb and Ni) through sand and sandy loam amended with biosolids under steady-state hydrological conditions. *Bioresource Technology*. 78: 171-179.
- Grasland, C. 2000.** Cours de statistique, Université Paris VII / UFR GHSS / 1998-2000.
- Grech, V., Balzan, M., Asciak R.P., & Buhagiar, A. 2002.** Seasonal variations in hospital admissions for asthma in Malta. *J Asthma*, 39(3) : 263-8.
- Greenwood N.N., Earnshaw A. 1984.** *Chemistry of the elements*, Oxford [Oxfordshire] ; New York : Pergamon Press, 1542 pp.
- Gsell, S. 1913.** *Histoire ancienne de l'Afrique du nord*, tome 1, librairie hachette, Paris 536p.
- Guasmi, I. 2005.** Dégradation de la qualité de l'eau dans le bassin versant de l'oued Medjerda. Mémoire de magister de l'université Badji Mokhtar –Annaba- Algérie, 88 p.
- Guiraud, J. & Galzy, P. 1995.** *L'analyse microbiologique générale*. Ed. L'usine nouvelle, 267p.
- Haguenoer, J.M., & Furon, D. 1981.** *Toxicologie et hygiène industrielles. Les dérivés minéraux*. 1^{ère} partie, Technique et documentation, Paris.
- Haguenoer, J.M., & Furon, D. 1982.** *Toxicologie et hygiène industrielles. Les dérivés minéraux*. 2^{ème} partie, Technique et documentation, Paris.
- Hamaidi, F., & Hamaidi, M.S. 2009.** Recherche des indicateurs bactériens de contamination fécale dans les eaux du barrage de Lakhel (Bouira Algérie), *Rev. Microbiol. Ind. San. & Environn.*, 3 (1): 76-95.
- Hamdaoui, F. 1996.** Caractérisation actuelle de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué des Doukkala. Mémoire de 3^{ème} Cycle de l'université Hassan II, Rabat, Maroc, 30 p.
- Hamoda, M.F. 2004.** Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. *Desalination* 165: 31-41.
- Harding, J.S., Benfield, E.F., Bolstad, P.V., Helfman, G.S., & Jones, E.B.D. 1998.** Stream biodiversity: the ghost of land use past. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.* 95: 14843-14847.
- Hart, B.T., Maher, B., & Lawrence, I. 1999.** New generation water quality guidelines for ecosystem protection. *Freshwat. Biol.* 41: 347-359.
- Haslay, C., & Leclerc, H. 1993.** *Microbiologie des eaux d'alimentation*, Ed. Lavoisier, Paris, 367p .
- Hassoune, E., El kettani, S., Koulali, Y., & Bouzidi, A. 2010.** Contamination bactériologique des eaux souterraines par les eaux usées de la ville de Settat, Maroc, *Rev. Microbiol. Ind. San. & Environn.*, 4 (1) : 1-21 .
- Haverkamp, R., Arrue, J. L., Vandervaere, J. P., Braud, I., Boulet, G., Laurent, J. P., Taha, A., Ross, P. J., & Angulo-Jaramillo, R. 1996.** Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso (Spain): Experimental study, analysis and modeling, Proj. UE EV5C-CT 92 00 90, Eur. Union, Brussels.
- Hebert, S., & Légaré, S. 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement, Gouvernement du Québec, 5 p.

- Hirsch, R., Ternes, T., Haberer, K. & Kratz, K.L. 1999.** Occurrence of antibiotics in the aquatic environment, *Sci. Total Environ.*, 225 : 109–118.
- House, W.A., Leach, D.V. & Armitage, P.D. 2001.** Study of dissolved silicon and nitrate dynamics in a freshwater stream. *Water Res.* 35(11):(2749-2757).
- Huetting, R., Reijnders, L., De Boer, B., Lambooy, J. & Jansen, H. 1998.** The concept of environmental function and its valuation. *Ecol. Econ.* 25: 31-35.
- Hunter, C. & McDonald, A. 1991.** Seasonal changes in the sanitary bacterial quality of water draining a small upland catchment in the Yorkshire Dales, *Water Res.*, 25(4): 447-453.
- Hunter, C., Perkins, J., Tranter, J. & Gunn, J. 1999.** Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire peak district in the U.K, *Water Res.*, 33 (17): 3577-3586.
- Hutton, M. 1980.** Sources of cadmium in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 7: 9-24.
- Ihaka, R., & Gentleman, R. 1996.** R : a language for data analysis and graphics. *Computational & Graphical Statistics*, 5: 299-314.
- Inhaber, M. 1975.** An approach to a water quality index for Canada. *Water Resources*. 9: 821-833.
- Institut algérien de normalisation [IANOR]. 2006.** Qualité de l'eau: détermination de la turbidité, NA 746, Alger: IANOR, pp10.
- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement [I.B.G.E.] 2005.** Qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface: cadre général, Observatoire des Données de l'Environnement, Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles", 16p.
- Jacob, B., Ritz, B., Gehring, U., Koch, A., Bischof, W., Wichmann, H.E., & Heinrich, J. 2002.** Indoor exposure to molds and allergic sensitization. *Environ Health Perspect*, 110(7) : 647-53.
- Jonasson, I.R., & Boy, R.W. 1972.** Geochemistry of mercury and origins of natural contamination of the environment. *Can. Min. Ind. Bull.*, 65 : 32-39.
- Jonnalagadda, S.B., & Mhere, G. 2001.** Water quality of the odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe, *Water Res.* 35 (10): 2371-2376.
- Kaouritchev, I. 1983.** *Manuel pratique de pédologie*, ed. MC. Grawhill, 397 p.
- Karam, G.H. & Griffin, F.M. 1986.** Invasive pulmonary aspergillosis in non immunocompromised, nonneutropenic hosts. *Rev Infect Dis*, 8(3) : 357-63.
- Karim, M., Alam, M., Shah, A.A., Ahmed R., & Sheikh, H. 1997.** Chronic invasive aspergillosis in apparently immunocompetent hosts. *Clin Infect Dis*, 24(4) : 723-33.
- Karr, J.R. 1998.** Rivers as Sentinels: Using the Biology of Rivers to Guide Landscape Management. In: Naiman, R.J., & Bilby, R.E. (eds.). *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. Springer-Verlag, New York: 502-528.
- Karr, J.R., Fausch, K.D., Angermeier, P.L., Yant, P.R., & Schlosser, I.J. 1986.** Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Spécial Publication* 5: 1-28 .
- Khasirikani Mbakwiravyo, D. 2009.** Notes d'écologie générale de l'Université de conservation de la nature et de développement de Kasugho – Tayna center for conservation biology, Série Bios, 96p.

- Koull, N. 2007.** Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla, Mémoire de Magister de l'Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie. 99p.
- Krajewski, B., Joannis, J.L., Chebbo, C., Ruban, G., Metadier, G.M., & Lacour, C. 2010.** Comment utiliser la turbidité pour estimer en continu les concentrations en MES et/ou DCO: Une approche méthodologique pour les réseaux d'assainissement, TSM : Techniques sciences méthodes, France (n°1-2), pp. 36-46.
- Laboratoire Interuniversitaire des Sciences de l'Education et de la Communication [LISEC]. 2004.** "Contrôle van de fysicochemische kwaliteit van de viswaters van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest", rapport effectué pour le compte de l'IBGE.
- Le Pimpec, P., Linard, A., Bonnard, R., Lafont, M., Cazin, B., Bossard, PH., Hubert, B., Bray, M. 2002.** *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques*, Cemagref éditions, 159 p.
- Lechevalier, M., Cawthon, C.D. & Lee, R.G. 1988.** Factors promoting survival of bacteria in chlorinated water supplies. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54 : 649-654 .
- Lévêque, C. 1999.** Etat de santé des écosystèmes aquatiques : l'intérêt des variables biologiques. In: GIP Hydrosystèmes (ed). Indicateurs de l'état de santé écologique des hydrosystèmes : Résultats du programme "Variables biologiques", 17 mai 1999, Paris. GIP Hydrosystèmes & Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement : 13-26 .
- Lias, A., & Touati, A., 2007.** Caractérisation des eaux et des sols de l'oued Medjerda. Mémoire D.E.S. de l'Université Mohamed Cherif Messaidia Souk Ahras, Algérie.
- Loz, J., & Mathieu, C. 1990.** *Dictionnaire de science du sol*. 2^{ème} édition. Lavoisier, 266 p.
- Madigou, E. 2005.** Influence du statut trophique de cours d'eau sur les fonctionnalités microbiennes des biofilms (Epipsammonet Epilithon), thèse de l'université Claude-Bernard-Lyon 1, France, 235p.
- Makhouk, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Clooster, V. M. 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc Oriental), *Larhyss Journal*, 9 : 149-169
- Marxsen, J., & Witzel, K.P. 1991.** Significance of extracellular enzymes for organic matter degradation and nutrient regeneration in small streams. In: *Microbial enzymes in aquatic environments* (Chrost R.J, Ed.) Springer-Verlag, New York. pp.270-285.
- McDonald, A.T. & Kay, D. 1981.** Enteric bacterial concentrations in reservoir feeder streams: base flow characteristics and response to hydrograph events, *Water Res.*, Vol. 15, 961-68.
- McMaster Institute of Environment and Health [MIEH]. 1999.** Expert panel on fungal contamination indoors. Ontario ministry of health. 14 p.
- Meinck, F., Stooff, H., & Kohlschütter, H. 1977.** *Les eaux résiduaires industrielles*, 2^{ème} Ed. Masson, Paris, 863p.
- Meklin, T., Husman, T., Vepsäläinen, A., Vahteristo, M., Koivisto, J., Halla-Aho, J., Hyvärinen, A., Moschandreas, D., & Nevalainen, A. 2002.** Indoor air microbes and respiratory symptoms of children in moisture damaged and reference schools. *Indoor Air*, 12(3) : 175-83.

- Meybeck, M., Friedrich, G., Thomas, R., & Chapman, D. 1996.** *Rivers Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- Ministère de l'Environnement et de l'Energie de l'Ontario [MEEEO]. 1995.** Qualité des sols, 8p.
- Moshe, M., Betzer, N., & Kott, Y. 1972.** Effect of industrial wastes on oxidation pond performance. *Water Research*, 6 : 1165-1171.
- Mosser, CH. 1980.** « Etude géochimique de quelques éléments traces dans les argiles des altérations et des sédiments », Thèse de l'univ. Strasbourg, ULP, 222 p.
- Muller, J. P. 1972.** Etude macromorphologique de sols ferrallitiques appauvris en argile du Gabon. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, X (1) : 77-93.
- Nations Unies. 1997.** Rapport du secrétaire général des Nations Unies, Evaluation générale des ressources en eau douce du monde, commission pour le développement durable, 5^e session, 5-25 avril, New York.
- Neal, C., Jarvie, H.P., Howarth, S.M., Whitehead, P.G., Williams, R. J., Neal, M., Harrow, M., & Wickham, H. 2000a.** The water quality of the River Kennet: initial observations on a lowland chalk stream impacted by sewage inputs and phosphorus remediation. *Sci. Total Environ.* 251-252: 477-495.
- Neal, C., Harrow, M., & Wickham, H. 2000b.** The water quality of a tributary of the thames, the Pang, southern England. *Sci. Total Environ.* 251-252: 459-475.
- NF EN ISO 7027. 2000.** Qualité de l'eau- détermination de la turbidité, "Water quality - determination of turbidity", AFNOR, Paris - France, 14 p.
- Olson, B.H. & Nagy, L.A. 1984.** Microbiology of potable water. *Adv. Appl. Microbiol.*, 30: 73-132.
- Omernik, J.M. 1995.** Ecoregions: a spatial framework for environmental management. In: DAVIS, W.S. & T.P. SIMON (eds). *Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making* Lewis Publishers, Boca Raton: 49-62.
- Ontario Ministry of Environment and Energy [OMOEE]. 1994.** Water Management. Policies, Guidelines, Provincial Water Quality Objectives of the Ministry of Environment and Energy, Toronto, 32 p.
- Ontario Ministry of the Environment [OMOE]. 1984a.** Water Management- Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures of the Ministry of the Environment, Revised edition, 70 p.
- Organisation mondiale de la Santé [OMS]. 1994.** Directives de qualité pour l'eau de boisson, Deuxième édition, volume 1 : Recommandations, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 204 p.
- Organisation Mondiale de la Santé [OMS]. 2003.** L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie UNESCO-WWAP.
- Organisation Mondiale de la Santé [OMS]. 2005.** Célébration de la Décennie Internationale d'action l'Eau Source de Vie : 2005-2015 ; Journée Mondiale de l'eau. Guide de sensibilisation.
- Oueslati, A., Charfi, F., & Baccar, F. 2006.** La basse vallée de Oued Majerda et la lagune de Ghar El Melh, projet WADI, cinquième rencontre internationale, Tunis, 6-9 décembre 2006.
- Paerl, H.W., & Pinckney, J.L. 1996.** A mini-review of microbial consortia: Their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. *Microbial Ecology.* 31 :225-247.

- Palm, R. 1998.** L'analyse en composantes principales : principes et applications. *Notes stat. Inform.* (gembloux) 98 (2) : 1-2.
- Parameswaran, K., Joshi, M., & Ravindran, P. 1999.** Unusual radiological presentation and rapid fatal progression of invasive pulmonary aspergillosis in an immunocompetent young patient. *Respirology*, 4(3) : 287-90.
- Payment P. & Hartmann P., 1989. Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé. *Rev. Sci. Eau.*, 11: 199-210.
- Peierls, B.L., Carraco, N.E., Pace, M.L., & Cole, J.J., 1991.** Human influence on river nitrogen. *Nature* 350 : 386-387.
- Petry, J., Soulsby, C., Malcolm, I.A., & Youngson, A.F. 2002.** Hydrological controls on nutrient concentrations and fluxes in agricultural catchments. *Sci. Total Environ*, 294 (1-3) : 95-110.
- Pharmacopée Européenne. 2002.** Editeur : Conseil de l'Europe (24 septembre 2001) Collection : Pharmacopée européenne, 4ème édition. 365p.
- Pline l'Ancien. 1959.** *Histoire naturelle*, édition Les Belles Lettres, Livre VIII, 14.
- PNAE-DD. 2002.** Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, 148p.
- Poff, N.L., Allan, D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks R.E., & Stromberg, J.C. 1997.** The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioSci.* 47: 769-784 .
- Power, M. 1999.** Recovery in aquatic ecosystems: an overview of knowledge and needs. *J. Aquat. Stress Recov.* 6: 253-257.
- Prade, K., Ottow, J.C.G., Jacq, V.A., Malouf, G., Loyer, J.Y. 1990.** Relation entre les propriétés des sols de rizières inondées et la toxicité ferreuse en basse Casamance (Sénégal). Etudes, revue et synthèse de travaux antérieurs. - Cah. ORSTOM. *Sér. Pédol.* 25(4) : 453-474.
- Puckridge, J.T., Sheldon, F., Walker, K.F., & Boulton, A.J., 1998.** Flow variability and the ecology of large rivers. *Mar. Freshwat. Res.* 49: 55-72.
- Pusch, M., Fiebig, D., Brettar, I., Eisenmann, H., Ellis, B.K., Kaplan, L.A., Lock, M.A., Naegeli, M.W., & Traunspurger, W. 1998.** The role of micro-organisms in the ecological connectivity of running waters. *Freshwater Biology.* 40:453-495.
- Qadir, M., Sharma, B.R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., Karajeh, F. 2007.** Nonconventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural water management* 87: 2 – 22
- Reasoner, D.J. 1989.** Monitoring heterotrophic bacteria in potable water, In *Drinking water microbiology: progress and recent developments*, McFeters G.A. (Eds), Springer-Verlag., New York, 452-477.
- Remini, B. 2010.** La problématique de l'eau en Algérie du nord. *Larhyss Journal* 08 : 27-46.
- Réseau de Contrôle de la Pollution de l'Eau [RCPE]. 2007.** Rapport de contrôle de la pollution de l'eau en Tunisie 2007. l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), 39p.
- Resh, V.H., Brown, A.V., Covich, A.P., Gurtz, M.E., Hiram, W.L., Minshall, G.W., Reice, S.R., Sheldon, A.L., Wallace, J.B., & Wissmar, R.C. 1988.** The role of disturbance in stream ecology. *J.N. Am. Benth. Soc.* 7: 433-455.

- Robertson, W. 1995.** Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans : Air intérieur et eau potable, sous la direction de Pierre Lajoie et Patrick Levallois, Presses de l'Université Laval, p. 179-193.
- Rodier, J. 2006.** *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*, Ed. Dunod, 8^{ème} Edition, Paris.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Coll. 2009.** *L'analyse de l'eau*, 9^{ème} édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579 p.
- Rohatgi, N., & Chen, K.Y. 1975.** Transport of trace metals by suspended particulates on mixing with seawater. *J.W.P.C.F.*, 47 (9): p2298-2316.
- Romani, A.M., & Sabater, S. 1999.** Epilithicectoenzyme activity in a nutrient-rich Mediterranean river. *Aquatic Sciences*. 61: 122-132.
- Ruban, G. 1995.** Continuous measurement of pollution due to urban effluents under wet conditions using optical-systems. *Water Science and Technology* 32(1) : 241-247.
- Ruoff, K. L., Ruoff, S. I., Miller, C. V., Garner, M. J. Ferraro, & Calderwoodet S. B. 1989.** Bacteremia with *Streptococcus bovis* and *Streptococcus salivarius*: clinical correlates of more accurate identification of isolates. *Journal of Clinical Microbiology*, 27: 305-308.
- Ryser, J.P., & Heller, W. 1997a.** Carence en magnésium en arboriculture., Editions Agroscope RAC et FAW Wädenswil., 4 p.
- Sabater, S., & Sabater, F. 1992.** Longitudinal changes of benthic algal biomass in a Mediterranean river during two high production periods. *Archiv fur Hydrobiologie*. 124:475-487.
- Santé Canada [SC]. 1995a.** Contamination fongique dans les immeubles publics. Guide facilitant la détermination et la gestion des problèmes. Comité fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail. 53 p.
- Santé Canada [SC]. 2002.** La qualité bactériologique. Fiche technique disponible en format PDF sur le site de Santé Canada : http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/
- Santé Canada [SC]. 2008.** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Tableau sommaire et documents techniques, Santé Canada, Santé de l'environnement et du milieu de travail, Rapports et publications, Qualité de l'eau, [en ligne]. <http://www.hcsc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/index-fra.php>
- Santé et Bien-être social Canada [SBSC]. 1987.** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, Préparé par le Sous-comité fédéral-provincial sur l'eau potable du Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail, Approvisionnement et Services Canada.
- Santé et Bien-être social Canada [SBSC]. 1991.** Notre eau comporte-t-elle des risques?, Dépliant émis par Santé et Bien-être social Canada et par Environnement Canada, Ottawa.
- Schaffter, N. & Parriaux, A. 2002.** Pathogenic-bacterial water contamination in mountainous catchments, *Water Res.*, Vol. 36 (1), 131-139.
- Schindler, D.W. 1974.** Eutrophication and recovery in experimental lakes. Implication for lake management. *Science*, 184: 897- 899.
- Schlosser, I.J. 1991.** Stream fish ecology: a landscape perspective. *BioSci.*, 41: 704-712.
- Schorter, A.S. 2001.** La capacité autoépuration des cours d'eau : application des connaissances scientifiques à leur gestion. Synthèse ENTGREF.

- Schwartz, J. 1994.** Low-level lead exposure and children's IQ: a meta-analysis and search for a threshold, *Environ Res*, 65(1): 42-55.
- Schwartz, J. 1995.** Lead, blood pressure, and cardiovascular disease in men, *Arch Environ Health*, 50(1): 31-37.
- Semhi, K., Suchet, P.A., Clauer, N., & Probst, J.L. 2000.** Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. *Appl. Geochem.* 15: 865-878.
- Semhi, K., Suchet, P.A., Clauer, N., & Probst, J.L. 2000.** Impact of nitrogen fertilizers on the natural weathering-erosion processes and fluvial transport in the Garonne basin. *Appl. Geochem.* 15: 865-878.
- Servais, P., Castignolles, N., Petit, F., Georges, G., Buffet, C. & Ficht, A. 1999.** Contamination bactérienne et virale, Programme Seine-Aval, 28p.
- Service de l'observation et des statistiques [SOES]. 2010.** L'environnement en France. Commissariat général au développement durable, Imprimerie Nouvelle, Saint-Jean-de-Braye, France, 138p.
- Sevrin-Reyssac, J., De La Noüe, J., & Proulx, D. 1995.** *Le recyclage du lisier de porc par lagunage*, Edition Technique et Documentation Lavoisier, pp118.
- Silva, A.M.M., & Sacomani, L.B. 2001.** Using chemical and physical parameters to define the quality of pardo river water (Botucatu-Sp-Brasil). Technical Note. *Water Res.*, 35(6): 1609-1616.
- Société canadienne d'hypothèques et de logement [SCHL]. 2001.** Guide sur la moisissure à l'intention des propriétaires-occupants. SCHL-CMHC. 17 p.
- Soltner, D. 1981.** *Les bases de la production végétale*. Tome 1, le sol. Collection sciences et techniques agricoles 456 p.
- Soltner, D., 1999.** *Les bases de la production végétale*, T III, la plante et son amélioration. 2^e Edition, Editions Sciences et techniques agricoles, 304 p.
- Steedman, R.J. 1988.** Modification and assessment of an index of biotic integrity to quantify stream quality in southern Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 492-501.
- Stewart, P. 1969.** Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.du Nord* ; Alger, 59 :14.
- Tardat-Henry, M., & Beaudry, J. P. 1992.** *Chimie des Eaux*, deuxième édition, Les éditions le Griffon d'argile, 537 pp.,
- Taylor, S.R., & Mclennan, S.M. 1985.** The continental crust its composition and evolution, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 312.
- Teissier, S., Garabetian, F., Torre, M., Dalger, D., & Labroue, L. 2002.** Impact of an urban centre on the nitrogen cycle processes of epilithic biofilms during a summer low water period. *River Res Appl.*, 18: 21-30.
- Thurman, E.M. 1985.** *Organic Geochemistry of Natural Waters*. Nijhoff/Junk Po., Netherlands. 497 p.
- Touhtouh, D., Moujahid, Y., El Faleh, E.M., & EL Halimi, R. 2014.** Caractérisations physicochimiques de trios types de sols du Sais, Maroc. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) : 1524-1534.
- United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1980.** Water Quality Criteria Documents; Availability, Federal Register, vol. 45, no. 231, p. 79318-79377.
- United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1985.** Ambient Water Quality Criteria for Lead-1984, V.S.EPA, Washington, D.C. 89 p. PB85-227437.

- United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1991.** National Primary Drinking Water Regulations - Synthetic Organic Chemicals and Inorganic Chemicals; Monitoring for Unregulated Contaminants; National Primary Drinking Water Regulations Implementation; National Secondary Drinking Water Regulation. Final rule, Federal Register, vol. 56, no. 20, p. 3526-3597.
- United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 1998.** National Recommended Water Quality Criteria; Republication, Notices, Federal Register, vol. 63, no. 237, p. 68354-68364.
- United States Environmental Protection Agency [US EPA]. 1999.** Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule: turbidity provisions. United States Environmental Protection Agency (EPA 815-R-99-010), pagination multiple.
- United States Environmental Protection Agency [U.S.EPA]. 2006.** National Recommended Water Quality Criteria, Office of Water, Office of Science and Technology.
- Vatan, A. 1967.** *Manuel de sédimentologie*. Ed. tech. Paris, 327 p.
- Vega, M., Pardo, R., Barrado, E., & Deban, L. 1998.** Assessment of seasonal and pollting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res.*, 32(12): 3581-3592.
- Voelz, N.J., & Mcarthur, J.V. 2000.** An exploration of factors influencing lotie insect species richness. *Biodiversity and Conservation*. 9: 1543-1570.
- Vollenweider, R.A. 1968.** Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. O.C.D.E. Paris, 182 p.
- Walmsley, J.J. 2002.** Framework for measuring sustainable development in catchment systems. *Environ Manage.* 29: 195-206.
- Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P.D., & Bannerman, R. 2001.** Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environ. Manage.* 28: 255-266.
- Weisel, C.P. 2002.** Assessing exposure to air toxics relative to asthma. *Environ Health Perspect*, 110 (4) : 527-37.
- Welcomme, R.L. 1983.** River basins. FAO Fish. Tech. Pap. 202: 1-60.
- Wetzel, R.G. 2001.** *Limnology: Lake and River Ecosystems*, 3rd Edition. Academie Press, San Diego, pp 1006.
- Wilzbach, M. A., Mather, M.E., Folt, C.L., Moore, A., Naiman, R.J., Youngson, A.F., & Mc Menemy, J. 1998.** Proactive responses to human impacts that balance development and Atlantic salmon (*Salmosalar*) conservation: an integrative model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55 (1): 288-302.
- Wopereis, M.C., Gascuel-Odoux, C., Bourrie, G., & Soignet, G. 1988.** Spatial variability of heavy metals in soil on a one hectare plot. *Soi! Sei.*, 146, 113-118.
- World Health Organization [WHO]. 1987.** Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP. Water Treatment Solutions <http://www.lenntech.fr/data-perio/cd.html>
- World Health Organization [WHO]. 2008.** Guidelines for drinking-water quality, vol. 1, 3rd edition, incorporating the 1st and 2nd addenda .Recommendations. Geneva.
- Xue, H., Sigg, L., & Gächter, R. 2000.** Transport of Cu, Zn and Cd in a small agricultural catchment. *Water Research*. 34(9):2558-2568.

Yapo, O.B., Mambo, V. & Coll, 2010. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-bouet et Treichville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4 : 289-307.

***A**nnexes*

1. RELATION DES PARAMETRES DU SOL AVEC LIS DIFFERENTES DIMENSIONS :

1.1. COS² DES DIFFERENTS PARAMETRES AVEC LES DIFFERENTES DIMENSIONS :

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
pH	0.97856515	0.002779061	1.797945e-03	0.0045309752	0.012326872
pHKCl	0.96562913	0.019993865	4.040583e-05	0.0120783365	0.002258261
Con.	0.00156075	0.130006497	5.761433e-01	0.2260392589	0.066250157
H	0.81994505	0.028371168	8.615436e-02	0.0273426671	0.038186759
MO	0.80170034	0.180229952	1.361569e-02	0.0014157684	0.003038250
Calca.tot.	0.97387894	0.006380604	4.301747e-03	0.0103496018	0.005089110
calci.	0.08729158	0.789218345	6.267747e-03	0.1022281345	0.014994193
Mg	0.05434452	0.196720231	2.260970e-01	0.3138243460	0.209013923
Pb	0.30110528	0.446392521	1.088302e-01	0.0002047989	0.143467248
Cd	0.31229270	0.073535746	2.735759e-01	0.1113443971	0.229251218
Cu	0.12826718	0.446564781	2.142284e-01	0.1919199672	0.019019684
Hg	0.12726034	0.441663199	1.534235e-03	0.3662972978	0.063244933

1.2. CONTRIBUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES A LA CONSTRUCTION DES AXES

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
pH	17.6259579	0.1006230	0.118865546	0.33131443	1.5291218
pHKCl	17.3929538	0.7239286	0.002671306	0.88319336	0.2801324
Con.	0.0281123	4.7072149	38.089932231	16.52846594	8.2181888
H	14.7688858	1.0272501	5.695828560	1.99935332	4.7369849
MO	14.4402614	6.5256825	0.900158966	0.10352396	0.3768883
Calca.tot.	17.5415497	0.2310259	0.284396680	0.75678465	0.6312931
calci.	1.5722997	28.5756518	0.414372702	7.47513617	1.8599972
Mg	0.9788559	7.1227549	14.947701483	22.94749611	25.9277254
Pb	5.4235213	16.1627734	7.194968596	0.01497533	17.7968021
Cd	5.6250296	2.6625482	18.086626140	8.14173646	28.4381180
Cu	2.3103539	16.1690105	14.163046569	14.03359158	2.3593507
Hg	2.2922187	15.9915363	0.101431222	26.78442869	7.8453972

1.3. CORRELATION DES VARIABLES AVEC LES AXES D'ACP :

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
pH	-0.98922452	-0.05271680	-0.042402178	-0.06731252	-0.11102645
pHKCl	-0.98266430	-0.14139966	-0.006356558	-0.10990149	-0.04752116
Con.	0.03950633	-0.36056414	0.759041064	-0.47543586	0.25739106
H	0.90550817	-0.16843743	0.293520627	0.16535618	0.19541433
MO	0.89537721	0.42453498	-0.116686275	-0.03762670	-0.05512032
Calca.tot.	-0.98685305	0.07987868	0.065587705	0.10173299	-0.07133800
calci.	0.29545149	0.88837962	-0.079169106	0.31973135	-0.12245078
Mg	0.23311911	0.44353154	-0.475496561	-0.56020027	0.45718041
Pb	0.54873060	-0.66812613	-0.329894157	-0.01431080	-0.37877071
Cd	0.55883154	0.27117475	0.523044877	-0.33368308	-0.47880186
Cu	-0.35814407	0.66825503	0.462848130	0.43808671	0.13791187
Hg	0.35673567	-0.66457746	0.039169317	0.60522500	0.25148545

1.4. CORRELATION DE SPEARMAN (NON-PARAMETRIQUE) :

paramètres	pH	pHKCl	Con.	H
pH	1.00000000	0.88571429	-0.08571429	-0.77142857
pHKCl	0.88571429	1.00000000	0.14285714	-0.48571429
Con.	-0.08571429	0.14285714	1.00000000	0.31428571
H	-0.77142857	-0.48571429	0.31428571	1.00000000
MO	-0.77142857	-0.94285714	-0.37142857	0.31428571
Calca.tot.	0.25714286	0.60000000	0.31428571	-0.08571429
calci.	-0.60000000	-0.71428571	-0.31428571	-0.02857143
Mg	0.05797710	-0.14494276	-0.23190841	-0.34786262
Pb	-0.08571429	-0.25714286	-0.25714286	0.31428571
Cd	-0.51610023	-0.63753558	0.51610023	0.21251186
Cu	-0.40583972	-0.28988552	-0.05797710	0.02898855
Hg	-0.20000000	0.02857143	-0.02857143	0.71428571

paramètres	MO	Calca.tot.	calci.	Mg
pH	-0.77142857	0.25714286	-0.60000000	0.05797710
pHKCl	-0.94285714	0.60000000	-0.71428571	-0.14494276
Con.	-0.37142857	0.31428571	-0.31428571	-0.23190841
H	0.31428571	-0.08571429	-0.02857143	-0.34786262
MO	1.00000000	-0.65714286	0.77142857	0.40583972
Calca.tot.	-0.65714286	1.00000000	-0.14285714	-0.40583972
calci.	0.77142857	-0.14285714	1.00000000	0.31887407
Mg	0.40583972	-0.40583972	0.31887407	1.00000000
Pb	0.20000000	-0.71428571	-0.37142857	-0.23190841
Cd	0.45538256	-0.39466488	0.39466488	0.06160411
Cu	0.20291986	0.49280538	0.69572524	-0.33823529
Hg	-0.08571429	-0.08571429	-0.54285714	-0.37685117

paramètres	Pb	Cd	Cu	Hg
pH	-0.08571429	-0.51610023	-0.40583972	-0.20000000
pHKCl	-0.25714286	-0.63753558	-0.28988552	0.02857143
Con.	-0.25714286	0.51610023	-0.05797710	-0.02857143
H	0.31428571	0.21251186	0.02898855	0.71428571
MO	0.20000000	0.45538256	0.20291986	-0.08571429
Calca.tot.	-0.71428571	-0.39466488	0.49280538	-0.08571429
calci.	-0.37142857	0.39466488	0.69572524	-0.54285714
Mg	-0.23190841	0.06160411	-0.33823529	-0.37685117
Pb	1.00000000	0.03035884	-0.55078248	0.60000000
Cd	0.03035884	1.00000000	0.15401028	-0.39466488
Cu	-0.55078248	0.15401028	1.00000000	-0.40583972
Hg	0.60000000	-0.39466488	-0.40583972	1.00000000

2. RELATION DES PARAMETRES D'EAU AVEC LIS DIFFERENTES DIMENSIONS :

2.1. COS² DES DIFFERENTS PARAMETRES AVEC LES DIFFERENTES DIMENSIONS :

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
pH	0.22784707	3.464438e-01	2.158291e-01	0.1627405154	0.047139523
Con.	0.39032057	4.827449e-01	1.461437e-02	0.1102301999	0.002089926
T	0.79875146	5.159367e-06	3.153913e-05	0.1895393267	0.011672519
TH	0.73407584	1.431788e-01	7.623409e-02	0.0355935671	0.010917720
Turb	0.67831434	1.352734e-02	1.290999e-02	0.0010810620	0.294167268
MES	0.62695158	6.642098e-02	6.709894e-02	0.2160343070	0.023494202
TAC	0.49138192	5.455319e-02	1.329213e-01	0.2818923316	0.039251288
Amo	0.06879036	7.629925e-01	9.528066e-05	0.0524199913	0.115701873
Nitra	0.03446291	9.327522e-02	4.940819e-01	0.3617645793	0.016415375
NITRI	0.16931142	2.743078e-01	4.011417e-01	0.1158367376	0.039402348
Oxy	0.38915269	5.092482e-01	2.726698e-02	0.0445241049	0.029808029
DBO5	0.56971219	2.573066e-01	1.259034e-01	0.0374713141	0.009606545
DCO	0.46212215	1.560936e-01	1.908348e-01	0.0297512264	0.161198313
DCO.DBO	0.31359425	4.142145e-01	1.806395e-01	0.0183855908	0.073166080
Sulf	0.32230173	1.867434e-01	3.116364e-01	0.0917136323	0.087604831
Chlor	0.12742882	2.992102e-01	3.731113e-01	0.1391432092	0.061106403
Phos	0.27229237	1.597382e-01	3.382587e-01	0.0005342346	0.229176492
Pb	0.16246699	7.925213e-01	2.175664e-03	0.0418253675	0.001010660
Cd	0.46232424	1.722909e-03	2.967441e-01	0.1909220747	0.048286723
Cu	0.13668224	3.635176e-01	1.389622e-01	0.0572306009	0.303607343
Hg	0.40174593	9.418645e-02	1.877826e-01	0.1693149579	0.146970021

2.2. CONTRIBUTION DES DIFFERENTS PARAMETRES A LA CONSTRUCTION DES AXES

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5
pH	2.9062012	6.331264e+00	6.014845224	6.93117781	2.69092921
Con.	4.9785589	8.822169e+00	0.407281304	4.69474436	0.11930210
T	10.1881160	9.428749e-05	0.000878950	8.07254895	0.66631823
TH	9.3631751	2.616594e+00	2.124533736	1.51594298	0.62323101
Turb	8.6519343	2.472123e-01	0.359782856	0.04604282	16.79234856
MES	7.9967996	1.213844e+00	1.869950304	9.20097980	1.34115133
TAC	6.2676017	9.969601e-01	3.704323718	12.00589706	2.24063441
Amo	0.8774246	1.394370e+01	0.002655334	2.23258652	6.60476671
Nitra	0.4395763	1.704606e+00	13.769347953	15.40768517	0.93706109
NITRI	2.1595758	5.012978e+00	11.179239190	4.93352884	2.24925759
Oxy	4.9636626	9.306517e+00	0.759891250	1.89629784	1.70157212
DBO5	7.2667083	4.702281e+00	3.508744596	1.59591691	0.54838345
DCO	5.8943918	2.852612e+00	5.318288538	1.26711557	9.20190163
DCO.DBO	3.9999108	7.569776e+00	5.034162739	0.78304901	4.17663842
Sulf	4.1109752	3.412739e+00	8.684854589	3.90611700	5.00086522
Chlor	1.6253612	5.468071e+00	10.398072821	5.92615995	3.48821957
Phos	3.4731033	2.919218e+00	9.426779558	0.02275325	13.08239211
Pb	2.0722748	1.448334e+01	0.060632619	1.78135763	0.05769289
Cd	5.8969694	3.148618e-02	8.269827574	8.13144069	2.75641641
Cu	1.7433891	6.643288e+00	3.872676562	2.43747213	17.33122918
Hg	5.1242900	1.721259e+00	5.233230585	7.21118571	8.38968877

2.3. CORRELATION DES VARIABLES AVEC LES AXES D'ACP :

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5
pH	0.4773333	0.588594742	-0.464574124	0.40341110	0.21711638
Con.	0.6247564	0.694798488	0.120889902	-0.33200934	0.04571571
T	0.8937290	0.002271424	-0.005615971	-0.43536115	0.10803943
TH	0.8567823	0.378389727	-0.276105212	0.18866257	0.10448789
Turb	0.8235984	-0.116307091	-0.113622155	-0.03287951	0.54237189
MES	0.7918027	0.257722677	0.259034626	0.46479491	-0.15327818
TAC	0.7009864	-0.233566235	0.364583705	-0.53093534	0.19811938
Amo	0.2622792	0.873494415	0.009761181	0.22895412	-0.34014978
Nitra	0.1856419	0.305409925	0.702909602	0.60146869	0.12812250
NITRI	0.4114747	-0.523744008	-0.633357493	0.34034797	-0.19850025
Oxy	-0.6238210	-0.713616280	-0.165127160	0.21100736	-0.17265002
DBO5	0.7547928	-0.507253969	0.354828640	0.19357509	0.09801299
DCO	0.6797957	-0.395086767	0.436846375	0.17248544	0.40149510
DCO.DBO	-0.5599949	0.643595010	-0.425017110	0.13559348	0.27049229
Sulf	0.5677162	0.432138219	-0.558244000	0.30284259	-0.29598113
Chlor	0.3569717	-0.547001134	-0.610828393	0.37301905	0.24719709
Phos	0.5218164	0.399672660	0.581600089	-0.02311352	-0.47872382
Pb	-0.4030719	0.890236666	0.046644018	-0.20451251	0.03179088
Cd	-0.6799443	-0.041507935	0.544742194	0.43694631	0.21974240
Cu	0.3697056	-0.602924186	0.372776393	0.23922918	-0.55100576
Hg	-0.6338343	0.306898114	0.433338947	0.41147899	0.38336669

2.4. CORRELATION DE SPEARMAN (NON-PARAMETRIQUE)

paramètres	pH	Con.	T	TH
pH	1.00000000	-0.02857143	0.02857143	0.94285714
Con.	-0.02857143	1.00000000	0.54285714	0.08571429
T	0.02857143	0.54285714	1.00000000	0.08571429
TH	0.94285714	0.08571429	0.08571429	1.00000000
Turb	0.42857143	0.25714286	0.60000000	0.37142857
MES	0.65714286	0.48571429	0.14285714	0.82857143
TAC	-0.20000000	0.65714286	0.42857143	-0.25714286
Amo	0.48571429	0.65714286	0.14285714	0.60000000
Nitra	0.20000000	0.37142857	-0.42857143	0.25714286
NITRI	0.60000000	-0.08571429	0.31428571	0.77142857
Oxy	-0.08571429	-0.94285714	-0.37142857	-0.14285714
DBO5	0.02857143	0.02857143	0.31428571	0.08571429
DCO	0.25714286	-0.08571429	-0.08571429	0.14285714
DCO.DBO	0.08571429	-0.25714286	-0.25714286	-0.02857143
Sulf	0.82857143	0.14285714	0.25714286	0.94285714
Chlor	0.71428571	-0.65714286	-0.14285714	0.54285714
Phos	-0.02857143	0.65714286	0.54285714	0.08571429
Pb	0.14285714	0.14285714	-0.20000000	0.02857143
Cd	-0.14285714	-0.48571429	-0.94285714	-0.25714286
Cu	-0.25714286	0.08571429	0.14285714	-0.08571429
Hg	-0.31428571	-0.31428571	-0.88571429	-0.42857143

paramètres	Nitra	NITRI	Oxy	DBO5
pH	0.20000000	0.60000000	-0.08571429	0.02857143
Con.	0.37142857	-0.08571429	-0.94285714	0.02857143
T	-0.42857143	0.31428571	-0.37142857	0.31428571
TH	0.25714286	0.77142857	-0.14285714	0.08571429
Turb	0.08571429	0.25714286	-0.37142857	0.77142857
MES	0.60000000	0.60000000	-0.54285714	0.25714286
TAC	0.37142857	-0.48571429	-0.77142857	0.48571429
Amo	0.37142857	0.31428571	-0.60000000	-0.42857143
Nitra	1.00000000	-0.20000000	-0.60000000	0.20000000
NITRI	-0.20000000	1.00000000	0.20000000	0.20000000
Oxy	-0.60000000	0.20000000	1.00000000	-0.14285714
DBO5	0.20000000	0.20000000	-0.14285714	1.00000000
DCO	0.48571429	-0.14285714	-0.20000000	0.77142857
DCO.DBO	-0.42857143	-0.08571429	0.37142857	-0.94285714
Sulf	0.02857143	0.88571429	-0.08571429	-0.02857143
Chlor	-0.25714286	0.42857143	0.54285714	0.08571429
Phos	0.37142857	-0.08571429	-0.94285714	0.02857143
Pb	-0.08571429	-0.25714286	-0.08571429	-0.94285714
Cd	0.48571429	-0.54285714	0.25714286	-0.14285714
Cu	0.31428571	0.14285714	-0.14285714	0.88571429
Hg	0.42857143	-0.71428571	0.14285714	-0.37142857

paramètres	Turb	MES	TAC	Amo
pH	0.42857143	0.65714286	-0.20000000	0.48571429
Con.	0.25714286	0.48571429	0.65714286	0.65714286
T	0.60000000	0.14285714	0.42857143	0.14285714
TH	0.37142857	0.82857143	-0.25714286	0.60000000
Turb	1.00000000	0.37142857	0.60000000	-0.08571429
MES	0.37142857	1.00000000	0.08571429	0.71428571
TAC	0.60000000	0.08571429	1.00000000	-0.02857143
Amo	-0.08571429	0.71428571	-0.02857143	1.00000000
Nitra	0.08571429	0.60000000	0.37142857	0.37142857
NITRI	0.25714286	0.60000000	-0.48571429	0.31428571
Oxy	-0.37142857	-0.54285714	-0.77142857	-0.60000000
DBO5	0.77142857	0.25714286	0.48571429	-0.42857143
DCO	0.71428571	0.20000000	0.54285714	-0.37142857
DCO.DBO	-0.65714286	-0.37142857	-0.60000000	0.25714286
Sulf	0.25714286	0.77142857	-0.37142857	0.65714286
Chlor	0.31428571	0.02857143	-0.42857143	-0.20000000
Phos	0.25714286	0.48571429	0.65714286	0.65714286
Pb	-0.54285714	-0.14285714	-0.25714286	0.54285714
Cd	-0.42857143	-0.25714286	-0.14285714	-0.31428571
Cu	0.42857143	0.25714286	0.37142857	-0.37142857
Hg	-0.60000000	-0.37142857	-0.08571429	-0.20000000

paramètres	DCO	DCO.DBO	Sulf	Chlor
pH	0.25714286	0.08571429	0.82857143	0.71428571
Con.	-0.08571429	-0.25714286	0.14285714	-0.65714286
T	-0.08571429	-0.25714286	0.25714286	-0.14285714
TH	0.14285714	-0.02857143	0.94285714	0.54285714
Turb	0.71428571	-0.65714286	0.25714286	0.31428571
MES	0.20000000	-0.37142857	0.77142857	0.02857143
TAC	0.54285714	-0.60000000	-0.37142857	-0.42857143
Amo	-0.37142857	0.25714286	0.65714286	-0.20000000
Nitra	0.48571429	-0.42857143	0.02857143	-0.25714286
NITRI	-0.14285714	-0.08571429	0.88571429	0.42857143
Oxy	-0.20000000	0.37142857	-0.08571429	0.54285714
DBO5	0.77142857	-0.94285714	-0.02857143	0.08571429
DCO	1.00000000	-0.71428571	-0.14285714	0.31428571
DCO.DBO	-0.71428571	1.00000000	0.08571429	0.20000000
Sulf	-0.14285714	0.08571429	1.00000000	0.42857143
Chlor	0.31428571	0.20000000	0.42857143	1.00000000
Phos	-0.08571429	-0.25714286	0.14285714	-0.65714286
Pb	-0.60000000	0.88571429	0.08571429	-0.02857143
Cd	0.31428571	0.08571429	-0.48571429	0.08571429
Cu	0.54285714	-0.94285714	-0.14285714	-0.25714286
Hg	0.08571429	0.25714286	-0.60000000	-0.14285714

paramètres	Phos	Pb	Cd	Cu	Hg
pH	-0.02857143	0.14285714	-0.14285714	-0.25714286	-0.31428571
Con.	1.00000000	0.14285714	-0.48571429	0.08571429	-0.31428571
T	0.54285714	-0.20000000	-0.94285714	0.14285714	-0.88571429
TH	0.08571429	0.02857143	-0.25714286	-0.08571429	-0.42857143
Turb	0.25714286	-0.54285714	-0.42857143	0.42857143	-0.60000000
MES	0.48571429	-0.14285714	-0.25714286	0.25714286	-0.37142857
TAC	0.65714286	-0.25714286	-0.14285714	0.37142857	-0.08571429
Amo	0.65714286	0.54285714	-0.31428571	-0.37142857	-0.20000000
Nitra	0.37142857	-0.08571429	0.48571429	0.31428571	0.42857143
NITRI	-0.08571429	-0.25714286	-0.54285714	0.14285714	-0.71428571
Oxy	-0.94285714	-0.08571429	0.25714286	-0.14285714	0.14285714
DBO5	0.02857143	-0.94285714	-0.14285714	0.88571429	-0.37142857
DCO	-0.08571429	-0.60000000	0.31428571	0.54285714	0.08571429
DCO.DBO	-0.25714286	0.88571429	0.08571429	-0.94285714	0.25714286
Sulf	0.14285714	0.08571429	-0.48571429	-0.14285714	-0.60000000
Chlor	-0.65714286	-0.02857143	0.08571429	-0.25714286	-0.14285714
Phos	1.00000000	0.14285714	-0.48571429	0.08571429	-0.31428571
Pb	0.14285714	1.00000000	0.08571429	-0.94285714	0.31428571
Cd	-0.48571429	0.08571429	1.00000000	-0.02857143	0.94285714
Cu	0.08571429	-0.94285714	-0.02857143	1.00000000	-0.20000000
Hg	-0.31428571	0.31428571	0.94285714	-0.20000000	1.00000000

3. LEGISLATION ET NORMES :

3.1. LEGISLATION ALGERIENNE POUR LES EAUX DESTINEES A LA CONSOMMATION HUMAINE :

Décret N° 89-3 du 3 janvier 1989

Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

A - PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES :

L'eau ne doit pas présenter :

- 1- Une coloration dépassant 15 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt.
- 2- Une turbidité supérieure à une valeur équivalente à 2 unités Jackson.
- 3- D'odeur, de saveur, pour un taux de dilution de 2, à 12 degrés C, et de 3, à 25 degrés C.

B - PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES EN RELATION AVEC LA STRUCTURE NATURELLE DES EAUX :

- 1- A l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, la température ne doit pas dépasser 25 degrés C.
- 2- Le pH doit être supérieur ou égal à 6,5 unités pH et inférieur ou égal à 9 unités pH ; cette obligation ne s'applique pas aux eaux conditionnées non minérales.
- 3- Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Chlorures	200 mg/l (Cl)
Sulfates	250 mg/l (SO ₄)
Magnésium	50 mg/l (Mg)
Sodium	150 mg/l (Na) avec un percentile de 80
Potassium	12 mg/l (K)
Aluminium total	0,2 mg/l (Al)

 (à l'exception des eaux ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude, pour lesquelles la valeur de 0,5 mg/l [Al] ne doit pas être dépassée)
- 4- La quantité de résidus secs, après dessiccation à 180 degrés C, doit être inférieure ou égale à 1500 mg/l.

C - PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES INDESIRABLES :

- 1- Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Nitrates	50 mg/l (NO ₃)
Nitrites	0,1 mg/l (NO ₂)
Ammonium	0,5 mg/l (NH ₄)
Azote Kjeldahl	1 mg/l (en N)

 N de NO₃ et NO₂ exclus

2- L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄), mesurée après 10 minutes en milieu acide, à chaud, doit être inférieure ou égale à 5 mg/l en oxygène.
 3- La teneur en hydrogène sulfuré doit être telle que ce composé ne soit pas détectable

organoleptiquement.

4- La valeur de la concentration en hydrocarbures dissous ou émulsionnés, après extraction au CCl₄, doit être inférieure à 10 microgrammes par litre.

5- La teneur en phénols doit être telle que les composés ne soient pas détectables organoleptiquement après ajout de chlore. En cas de détection, la concentration en phénols, exprimée en indice phénol C₆H₅OH doit être inférieur ou égale à 0,5 microg/l, les phénols naturels ne réagissant pas au chlore étant exclus.

6- Pour les substances suivantes, les valeurs de concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

Agents de surface réagissant au bleu de méthylène 200 microg/l exprimés en laurylsulfate

Fer 200 microg/l (Fe)

Manganèse 50 microg/l (Mn)

Cuivre 1 mg/l (Cu)

Zinc 5 mg/l (Zn)

Phosphore 5 mg/l (P₂O₅)

Argent 10 microg/l (Ag)

7- La teneur en fluor doit être inférieure à 1 500 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 8 degrés C et 12 degrés C et à 700 microgrammes par litres (F) pour une température moyenne de l'aire géographique considérée comprise entre 25 et 30 degrés C. Pour les températures moyennes comprises entre 12 et 25 degrés

C, la teneur limite en fluor est calculée par interpolation linéaire.

D - PARAMETRES CONCERNANT DES SUBSTANCES TOXIQUES :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées :

Arsenic 50 microg/l (As)

Cadmium 5 microg/l (Cd)

Cyanures 50 microg/l (CN)

Chrome total 50 microg/l (Cr)

Mercure 1 microg/l (Hg)

Nickel 50 microg/l (Ni)

Plomb 50 microg/l (Pb)

Antimoine 10 microg/l (Sb)

Sélénium 10 microg/l (Se)

Hydrocarbures polycycliques aromatiques :

pour le total des 6 substances suivantes 0,2 microg/l

Fluoranthène,

Benzo (3,4) fluoranthène,

Benzo (11,12) fluoranthène,
 Benzo (3,4) pyrène,
 Benzo (1,12) pérylène,
 Indéno (1,3 c-d) -pyrène
 Benzo(3,4) pyrène 0,01 microg/l.

E - PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES :

- 1- L'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, en particulier de salmonelles dans 5 litres d'eau prélevée, de staphylocoques pathogènes dans 100 ml d'eau prélevée, de " bactériophages fécaux dans 50 ml d'eau prélevée " et d'entérovirus dans un volume ramené à 10 litres d'eau prélevée.
- 2- 95 p. 100 au moins des échantillons prélevés ne doivent pas contenir de coliformes dans 100 millilitres d'eau.
- 3- L'eau ne doit pas contenir de coliformes thermotolérants et de streptocoques fécaux, dans 100 ml d'eau prélevée.
- 4- L'eau ne doit pas contenir plus d'une spore de bactéries anaérobies sulfito-réductrices par 20 ml d'eau prélevée.
- 5- Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, le dénombrement des bactéries aérobies revivifiables, à 37 degrés C et après vingt-quatre heures, doit être inférieur ou égal à 20 par millilitre d'eau prélevée ; à 22 degrés C et après soixante-douze heures, il doit être inférieur ou égal à 100 par millilitre d'eau prélevée. L'analyse est commencée dans les douze heures suivant le conditionnement.
- 6- Lorsque les eaux sont livrées sous forme conditionnée, l'eau ne doit pas contenir de
Pseudomonas aeruginosa dans 100 ml.

F - PESTICIDES ET PRODUITS APPARENTES :

Pour les insecticides organochlorés persistants, organophosphorés et carbamates, les herbicides, les fongicides, les P.C.B. et P.C.T., les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après :

- 1- Par substance individualisée : 0,1 microg/l, à l'exception des substances suivantes :
Aldrine et *dieldrine* : 0,03 microg/l ; *Heptachlore* et *époxyde d'heptachlore* : 0,03 microg/l.
- 2- Pour le total des substances mesurées : 0,5 microg/l.

G- PARAMETRES CONCERNANT LES EAUX ADOUCIES LIVREES A LA CONSOMMATION HUMAINE :

Les eaux adoucies livrées à la consommation humaine doivent satisfaire, en outre, aux exigences suivantes :

- 1- La dureté totale ne doit pas être inférieure à 15 degrés français.
- 2- L'alcalinité ne doit pas être inférieure à 2,5 degrés français.

Ces dispositions ne sont pas applicables aux eaux adoucies ayant subi un traitement thermique pour la production d'eau chaude.

Autres références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

Les dispositions du troisième alinéa de l'article 2 s'appliquent lorsque est constatée l'une des situations suivantes :

- 1- La composition de l'eau, notamment sa teneur en anhydride carbonique libre et sa concentration en ions hydrogène, la rend agressive au carbonate de calcium ;
- 2- La conductivité s'écarte de 400 microsiemens par centimètre à 20 degrés C ;
- 3- Lors de traitement de l'eau avec des produits contenant des silicates, l'augmentation de la teneur en silicates dépasse 10 mg/l (SiO₂) ;
- 4- La teneur en calcium est supérieure à 100 mg/l ;
- 5- La valeur de saturation de l'oxygène dissous est inférieure ou égale à 75 p. 100, excepté pour les eaux souterraines ;
- 6- La concentration en carbone organique total augmente par rapport à la concentration habituelle ;
- 7- Le résidu sec des substances extractibles au chloroforme à pH neutre est supérieure à 0,1 mg/l ;
- 8- La teneur en bore est supérieure à 1 000 microg/l ;
- 9- La teneur en composés organochlorés, autres que les pesticides et produits apparentés, est supérieure à 1 microg/l ;
- 10- La teneur en chlore résiduel est supérieure à 0,1 mg/l ;
- 11- La teneur en baryum est supérieure à 100 microg/l ;
- 12- Le dénombrement des germes totaux pour les eaux autres que conditionnées fait apparaître plus de 10 germes par millilitre à 37 degrés C ou plus de 100 germes par millilitre à 22 degrés C.
Ces valeurs sont ramenées respectivement à 2 germes et 20 germes par millilitre pour les eaux désinfectées, à la sortie des stations de traitement ;
- 13- L'eau contient des organismes parasites, des algues, d'autres éléments figurés (animalcules) ou des matières en suspension.



Résumé

RESUME

Notre étude a été menée sur la haute vallée de la Medjerda (wilaya de Souk-Ahras) afin de donner des réponses positives et suffisamment représentatives concernant la caractérisation des eaux et des sols ainsi qu'à la recherche de pollutions probables.

Six échantillons ont été prélevés durant la fin de la période humide (mois d'Avril) et la fin de la période sèche (mois de septembre) de l'année 2009 au niveau des sols de la haute vallée et des eaux de l'Oued de Medjerda.

Les paramètres étudiés sur l'eau sont respectivement les paramètres physico-chimiques, indicateurs de pollution, éléments toxiques et indésirables ainsi que les paramètres microbiologiques et celles étudiés sur le sol sont : les paramètres physico-chimiques, biologiques et granulométriques.

Des analyses statistiques appropriées ont été appliquées sur l'ensemble des données : des analyses multivariées et des corrélations.

Les résultats obtenus sur le sol montrent qu'ils ont une acidité effective neutre à légèrement alcaline, une acidité de réserve faible à moyenne, une faible teneur en humidité, matière organique, calcium, magnésium, minéraux et cuivre, une teneur modérée en calcaire et des concentrations hors norme en plomb, cadmium et mercure ainsi qu'une faible porosité et une texture d'un limons-argilo-sableux.

Les analyses effectuées sur l'eau, nous laissent déduire que l'eau est trouble, moyennement dure, fortement minéralisée, neutre, moyennement oxygénée, chargée en matières en suspension et en matière organique biodégradable, cependant il existe une équitabilité entre la matière organique biodégradable et chimiquement dégradable.

L'étude menée a permis de détecter des pollutions très importantes par les sulfates, les phosphates, l'ammonium, les nitrites, le plomb, le mercure et le cadmium. De plus, nos résultats montrent que tous les sites ont été trouvés infectés par les Germes totaux, les Coliformes fécaux, les Streptocoques fécaux, les Clostridium sulfite réducteur, les Levures et les Moisissures.

Les résultats de l'analyse statistique ont permis de répartir les différents sites en 3 classes : la plus polluée correspond aux sites 2, 4 et 5, la classe de moyenne pollution est représentée par le site 1 et 3 tandis que la moins polluée correspond aux sites 6. Le test U de Mann Whitney confirme l'existence de différence significative entre la période humide et la période sèche.

Les résultats signalent une dégradation du milieu sous l'effet de l'activité agricole intense, des rejets urbains et industriels.

Mots clés : Oued Medjerda, eau, sol, environnement, pollution, toxicité.

ABSTRACT

Our study was undertaken on the high valley of Medjerda (wilaya of Souk-Ahras) in order to provide positive answers and sufficiently representative concerning characterization of the water, the grounds and also the search of probable pollution.

Six samples were taken during the end of the wet period (April) and the end of the dry season (September) of 2009 to the soil of the upper valley and the waters of the Oued Medjerda.

The parameters studied on water are respectively the physicochemical, indicator parameters of pollution, elements toxic and undesirable as well as the microbiological parameters and those studied on the ground are: physicochemical, biological and granulometric parameters.

Statistical analyses suitable were applied to the sets of the data: multivariate analyses and correlations.

The results on the ground show that they have a neutral acidity, low to medium reserve acidity, low moisture content, organic matter, calcium, magnesium, minerals and copper, a moderate lime content, levels off standard on lead, cadmium and mercury, low porosity and texture of a clay-sand - silt.

The analyzes carried out on the water, leave us deduct that the water is cloudy, moderately hard, highly mineralized, neutral, moderately oxygenated, loaded by suspended solids and biodegradable organic matter, however there is fairness between the biodegradable organic matter and chemically degradable.

The study was able to detect a very important pollution by sulfates, phosphates, ammonium, nitrite, lead, mercury and cadmium. In addition, our results show all sites have been found infected with total germs, fecal coliforms, fecal streptococci, sulphite-reducing Clostridium, yeast and moulds.

The results of the statistical analysis allowed to allocate different sites in three classes: the most polluted corresponds to sites 2, 4 and 5, the average pollution class is represented by the site 1 and 3, while the less contaminated corresponds to Sites 6. Mann Whitney U test confirms the existence of significant differences between the wet period and the dry period.

Our results announce a degradation of the medium under the effect of the industrial and urban wastes and also the agricultural activity on the level of the high valley of Medjerda.

Key words : Medjerda wadi, water, ground, environment, pollution, toxicity.

ط خ ص

اجرينا دراسة على مرتفعات حوض وادي مجرده (ولاية سوق أهراس) من اجل إيجاد إجابات شافية و تمثيلية بشأن خصائص المياه و الأتربة وكذا البحث عن احتمالات التلوث.

اخذنا 6 عينات خلال نهاية الفترة الرطبة (ابريل) والفترة الجافة (سبتمبر) من العام 2009 على مستوى المياه والأتربة في حوض وادي مجرده.

معالم دراسة المياه هي على التوالي : الفيزيوكيميائية، مؤشرات معالم التلوث و العناصر السامة والغير مرغوبة فيها فضلا عن المعالم الميكروبيولوجيه أما المعالم المدروسة على الأتربة فهي كاتالي : الفيزيوكيميائية، البيولوجية والغرائلومترية.

التحليلات الإحصائية المعقدة طبقت على مجموعات البيانات كما طبقنا تحليلات متعددة الارتباطات.

نتائج الأتربة تبين أن لديهم حموضة معتدلة، مقادير منخفضة في الرطوبة، المواد العضوية، الكالسيوم، المغنيسيوم، الأملاح و النحاس ، و كذا نسبة معتدلة من الكلس مع تركيزات خارجة عن المعايير بالنسبة للرصاص، الكاديوم و الزئبق. المسامية منخفضة والملمس من الطين الرملي - الطمي.

التحليلات التي أجريت على المياه أظهرت أن الماء عكر، معتدل السوغة، ملوحته عالية، محايد، معتدل الأكسجة، كثير المواد العالقة والمواد العضوية القابلة للتحلل، مع ذلك هناك توافق بين المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي و المتحللة كيميائيا.

هذه الدراسة مكنتنا من كشف تلوث كبير بالكبريتات، الفوسفات، الأمونيا، النتريت، الرصاص، الزئبق و الكاديوم بالإضافة إلى ذلك، خلصت دراستنا إلى الجزم بإصابة جميع المواقع بالجراثيم العامة، القولونيات البرازية، العقديات البرازية ، كلوستريديوم منقصة السلفيت وكذا الخميرة و القوالب.

نتائج التحليل الإحصائي سمحت بحصر المواقع المختلفة في ثلاث فئات هي: الفئة الأكثر تلوثا تجمع المواقع 2, 4 و 5، الفئة المتوسطة خاصة بالموقعين 1 و 3 ، في حين كانت الفئة الأقل تلوث من نصيب الموقع 6. إختبار U مان ويتني أكد وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين الفترة الرطبة و الفترة الجافة.

كلمات أساسية : وادي مجرده، الماء، الأرض، البيئة، التلوث و التسمم.