

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Badji-Mokhtar Annaba



Faculté des Sciences
Département de Biologie

En vue de l'obtention du diplôme du Magister dans le cadre de L'école
doctorale Ecologie et Environnement

Option

Pathologies des écosystèmes diagnostic et procédés de traitement

Mémoire présenté par
M^{lle} **Ahlem BERRANEM**

Intitulé

IMPACT DE L'IRRIGATION PAR LES EAUX DE LA MOYENNE SEYBOUSE SUR LES SOLS ET LES RENDEMENTS DES CULTURES

Devant le jury composé de

M^{me} Seridi R.	Président	Professeur	U.Badji Mokhtar
M^r Benslama M.	Directeur	Maitre de conférences	U.Badji Mokhtar
M^r Djemai R.	Examineur	Maitre de conférences	U.Badji Mokhtar
M^r Laifa A.	Examineur	Maitre de conférences	U.Badji Mokhtar

Promotion 2012

"بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ"

** وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ

وَإِلَيْهِ أُنِيبُ **

DEDICACE

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source de l'amour, de la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 25 ans... A mes très chers parents :

KRIMOU et JASMIN...

En priant Dieu jour et nuit qu'il les garde et les protège pour moi

A ceux qui n'ont jamais cessé de me chérir et me soutenir :

Mon unique frère **M^{ED} AMINE**, mon adorable sœur **MADJDA**

Ainsi qu'à ma sœur **DALLEL** et son aimable époux **HICHEM**

A celui qui m'a offert le soutien moral, qui a été toujours présent pour moi,

mon fiançais **MILOU**

A la lumière de ma vie, ma très chère grand- mère « **MIMI** »

A tous mes oncles, à toutes mes tantes et à tous mes cousins et toutes mes cousines

A toutes mes amies et collègues sans exception

A tous ceux que j'aime, et à ceux qui m'aiment... de près ou de loin.

AHLEM

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier avant tout « **Dieu** » le tout puissant de m'avoir guidé durant toutes ces années en me donnant la force, la patience et la volonté pour réaliser ce mémoire comme il se doit.

Je remercie tout particulièrement **M^R BENSLAMA MOHAMED**, maître de conférence à l'université de Badji Mokhtar - Annaba, d'accepter de diriger mon travail, pour sa disponibilité, ses conseils ainsi que pour sa judicieuse orientation qui m'ont été un grand secours

Mes vifs remerciements vont à **M^{ME} SERIDI R**, professeur à l'université de Badji Mokhtar – Annaba, qui m'a honoré en acceptant de présider le jury

Je tiens également à remercier **M^R DJEMAI R**, maître de conférence à l'université de Badji Mokhtar – Annaba, et **M^R LAIFA A**, maître de conférence à l'université de Badji Mokhtar - Annaba, d'avoir bien voulu examiner mon travail

Je suis particulièrement reconnaissante à **M^{ME} NADIA**, technicienne du laboratoire de la physiologie végétale et également à **M^{ME} WAFA**, technicienne du laboratoire de la pédologie pour leur disponibilité et leurs conseils

Je remercie tout particulièrement **M^R BOUDJAHM FAYCEL**, directeur du centre d'assainissement des eaux – Guelma, pour son aide précieuse, sa disponibilité et ses conseils

Ma gratitude à **M^R SAAD E'DDINE**, université de Jijel pour sa disponibilité et son coup de mains

Je ne peux finir sans remercier **REHAILIA FARID**, qui m'a offert l'aide et le soutien pour réaliser mon mémoire

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail

BERRANEM Ahlem.

TABLE DES MATIERES

Dédicace	II
Remerciements	III
Table des matières	IV
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	X
Liste des signes et abréviations	XI

INTRODUCTION	1
---------------------	----------

1. LUMIERE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Eau et pollution des eaux	3
---	----------

1. L'eau	
1.1. Etat et répartition de l'eau dans le monde	3
1.2. Situation actuelle des ressources en eau en Algérie	4
1.3. Importance de l'eau	5
1.4. La composition minérale de l'eau	5
1.5. Propriétés physiques de l'eau	6
1.6. Utilisation des eaux	6
1.6.1. Types d'utilisation des eaux	6
2. Pollution des eaux	8
2.1. Définition	8
2.2. Origine de la pollution des eaux	9
2.3. Les eaux usées	10
2.3.1. Définition	10
2.3.2. Origine des impuretés des eaux	10
2.4. Origine des eaux usées (résiduaires)	11
2.4.1. Types des eaux usées (résiduaires)	12
2.4.2. Impact des eaux résiduaires sur le milieu récepteur	13
2.4.3. L'épuration des eaux usées	14
2.4.4. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées	14
2.4.5. Réglementation	15

Chapitre 2 : Sol et pollution des sols

1. le sol	17
1.1. Généralités	17
1.1.1. Composition minérale	17
1.1.2. Richesse organique	18

1.2. Organisation	19
1.3. Rôles et fonctions	19
2. Pollution des sols	20
2.1. Définition	20
2.2. Historique	21
2.3. Formes	21
2.4. Sources et Origines	21

Chapitre 3 : Eléments traces métalliques

1. Eléments en trace et/ou métaux lourds	23
1.1. Classification	23
1.2. Utilisation des métaux lourds	24
2. Traitement des sols	25
3. Conséquences	25
3.1. Bioaccumulation et bioamplification dans la chaine alimentaire	25
3.2. Effets sur les êtres vivants	26

2. MATERIEL ET METHODES

Chapitre 1 : Zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude	29
1.1. Situation géographique	29
1.2. Situation géologique	32
1.3. Tectonique de la région de Guelma	32
1.4. Lithologie	34
1.5. Climat	34
1.5.1. Température	36
1.5.2. Humidité	36
1.5.3. Insolation	36
1.5.4. Vents	37
1.5.5. Précipitations	37
1.5.6. Diagramme ombrothermique de Guelma	37
1.5.7. Evaporation	37
1.6. Microclimat	38
1.7. Agriculture	41
1.8. Occupation des sols et choix de l'espèce végétale	41

Chapitre 2 : Echantillonnage

1. Techniques d'échantillonnage	43
2. Prélèvement des échantillons	45
3. Préparation des échantillons	45

Chapitre 3 : Techniques de dosage et d'analyses

1. Analyses effectuées sur le sol	46
-----------------------------------	----

1.1. Paramètres physico-chimiques effectués sur le sol	46
1.1.1. La porosité	46
1.1.2. La granulométrie	47
1.2. Paramètres physiques effectués sur le sol	49
1.2.1. Le pH	49
1.2.2. La conductivité électrique	49
1.3. Paramètres chimiques effectués sur le sol	50
1.3.1. L'humidité hygroscopique	50
1.3.2. La matière organique	50
1.3.3. Les éléments métalliques trace ETM	50
2. Analyses effectuées sur l'eau	51
2.1. Paramètres physico-chimiques réalisés dans l'eau	51
2.1.1. Le pH	51
2.1.2. Conductivité électrique	51
2.2. Paramètres chimiques effectués sur l'eau	51
2.2.1. Matière en suspension	51
2.2.2. Résidus secs	52
2.2.3. Eléments traces métalliques ETM (Pb, Cu, Zn, Cd)	52
3. Paramètres physiologiques effectués sur le végétal	52
3.1. Détermination du rapport matière sèche /matière fraîche	52
3.2. Dosage de la chlorophylle	52
3.3. Dosage de la proline	53
3.4. Dosage des sucres totaux	54
3.5. Les éléments métalliques traces ETM (Pb, Cu, Zn, Cd)	54

3. RESULTATS

1. Résultats des analyses du sol	55
1.1. Caractères physiques	55
1.1.1. Mesure de la porosité	55
1.1.2. Mesure de la granulométrie du sol	57
1.2. Caractères physico-chimiques du sol	59
1.2.1. Mesure du pH du sol	59
1.2.2. Mesure de la conductivité électrique du sol	62
1.3. Caractères chimiques du sol	63
1.3.1. Mesure de l'humidité hygroscopique du sol	63
1.3.2. Mesure des teneurs en matière organique du sol	64
1.3.3. Mesure des teneurs en ETM dans le sol	65
2. Résultats des analyses effectuées sur l'eau	66
2.1. Caractères physico-chimiques de l'eau	66
2.1.1. Mesure du pH de l'eau	66
2.1.2. Mesure de la conductivité électrique de l'eau	67
2.2. Caractères chimiques de l'eau	68
2.2.1. Mesure des matières en suspension présentes dans l'eau	68
2.2.2. Mesure des résidus secs de l'eau	69
2.2.3. Mesure des teneurs en ETM dans l'eau	70
3. Résultats relatifs aux mesures physiologiques effectuées sur le végétal	71
3.1. Mesure du rapport matière sèche /matière fraîche	71

3.1.1. Le rapport matière sèche /matière fraîche des feuilles du végétal	71
3.1.2. Le rapport matière sèche /matière fraîche des fruits du végétal	72
3.2. Mesure des teneurs en chlorophylles	73
3.2.1. Mesure des teneurs en chlorophylles a	73
3.2.2. Mesure des teneurs en chlorophylles b	73
3.2.3. Mesure des teneurs en chlorophylles a+b	7
3.3. Mesure des teneurs en proline	75
3.3.1. Mesure des teneurs des feuilles du végétal en proline	75
3.3.2. Mesure des teneurs du fruit en proline	76
3.4. Mesure des teneurs en sucres totaux	77
3.4.1. Teneurs des feuilles du végétal en sucres totaux	77
3.4.2. Teneurs des fruits du végétal en sucres totaux	78
3.5. Mesure des teneurs en ETM dans le végétal	79
3.5.1. Mesure des teneurs en ETM dans les feuilles du végétal	79
3.5.2. Mesure des teneurs en ETM dans le fruit	80
4. DISCUSSION GENERALE	82
1. Plomb et Cadmium	85
2. Cuivre et Zinc	87
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	91
RESUME	93
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	96

LISTE DES TABLEAUX

1. Volume et pourcentage d'eau terrestre sous forme liquide, solide et gazeuse	3
2. Ressources hydriques en Algérie	5
3. Composition minérale de l'eau	5
4. Propriétés physiques de l'eau et leur signification sur le plan écologique	6
5. Besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance	7
6. Classification générale des eaux résiduaires	12
7. Conditions préliminaires à l'épuration de l'eau industrielle	14
8. Types et abondance des organismes vivants dans le sol	18
9. Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique	24
10. Production mondiale de quelques métaux lourds par rapport à celle des années 1980	25
11. Stations étudiées	43
12. La gamme de pH des sols	49
13. Echelle de salinité du sol	50
14. Evaluation de la densité réelle selon les sites d'étude	55
15. Evaluation de la densité apparente selon les sites d'étude	55
16. Evaluation de la porosité selon les sites d'études	56
17. Evaluation de la granulométrie et classification texturale des sols étudiés	57
18. Evaluation de l'acidité actuelle du sol des sites étudiés	59
19. Evaluation de l'acidité potentielle du sol des sites étudiés	60
20. Evaluation de la conductivité électrique du sol	62
21. Evaluation de l'humidité hygroscopique du sol des sites étudiés	63
22. Evaluation des teneurs en matière organique du sol des sites étudiés	64
23. Evaluation des éléments traces métalliques dans le sol.	65
24. Evaluation du pH de l'eau des sites étudiés	66
25. Evaluation de la conductivité électrique de l'eau des sites étudiés	67
26. Evaluation de la matière en suspension dans l'eau des sites étudiés	68
27. Evaluation des résidus secs présents dans l'eau des sites étudiés	69
28. Evaluation des éléments traces métalliques de l'eau des sites étudiés	70
29. Le rapport matière sèche /matière fraîche des feuilles du végétal	71
30. Le rapport matière sèche /matière fraîche des fruits du végétal	72
31. Evaluation des teneurs en chlorophylle a	73
32. Evaluation des teneurs en chlorophylle b	73
33. Evaluation des teneurs en chlorophylle a+b	74
34. Mesure des teneurs des feuilles du végétal en proline	75
35. Mesure des teneurs du fruit en proline	76
36. Evaluation des teneurs des feuilles du végétal en sucres totaux	77
37. Evaluation des teneurs du fruit du végétal en sucres totaux	78
38. Evaluation des éléments traces métalliques dans les feuilles du végétal des sites étudiés	79
39. Evaluation des éléments traces métalliques dans le fruit du végétal des sites étudiés	80

LISTE DES FIGURES

1. Situation géographique de l'Oued Seybouse	30
2. Position géographique de la zone d'étude	31
3. Carte géologique de l'Est Algérien	33
4. Classification du climat en Algérie	35
5. Diagramme ombrothermique de la région de Guelma	38
6. Interprétation des données météorologiques de la région de Guelma	39
7. Différents éléments influençant le microclimat de Guelma	40
8. Répartition de la superficie agricole/STA de la région de Guelma	41
9. Localisation géographique des sites d'échantillonnage	44
10. Diagramme de texture	48
11. Variation du taux de la porosité du sol selon les stations	56
12. Variation de la granulométrie du sol selon les stations d'étude	58
13. Variation de l'acidité actuelle du sol selon les stations	59
14. Variation de l'acidité potentielle du sol selon les stations	60
15. Relation pH_{eau} et pH_{KCl} dans les différents sites étudiés	61
16. Variation de la conductivité électrique du sol selon les stations	62
17. Variation de l'humidité hygroscopique du sol selon les sites d'étude	63
18. Variation des teneurs en matière organique du sol selon les stations	64
19. Variation des teneurs en ETM dans le sol selon les sites étudiés	65
20. Variation du pH de l'eau selon les stations	66
21. Variation de la conductivité électrique de l'eau de selon les stations	67
22. Variation quantitative des matières en suspension dans l'eau selon les stations	68
23. Variation quantitative des résidus secs dans l'eau selon les stations	69
24. Variation des teneurs en ETM dans l'eau selon les stations étudiées	70
25. Variation du rapport matière sèche / matière fraîche des feuilles du végétal selon les stations	71
26. Variation du rapport matière sèche / matière fraîche des fruits du végétal selon les stations	72
27. Variation des teneurs en chlorophylle a selon les stations	73
28. Variation des teneurs en chlorophylle b en fonction des stations	74
29. Variation des teneurs en chlorophylle a+b selon les stations	74
30. Variation des teneurs en proline des feuilles du végétal selon les stations	75
31. Variation des teneurs en proline du fruit du végétal selon les stations	76
32. Variation des teneurs en sucres des feuilles du végétal selon les stations	77
33. Variation des teneurs du fruit du végétal en sucres totaux selon les stations	78
34. Variation des teneurs en ETM dans les feuilles du végétal selon les stations étudiées	79
35. Variation des teneurs en ETM dans le fruit du végétal selon les stations étudiées	80
36. Variation des teneurs en Plomb dans les différents paramètres étudiés	85
37. Variation des teneurs en Cadmium dans les différents paramètres étudiés	86
38. Variation des teneurs en Cuivre dans les différents paramètres étudiés	89
39. Variation des teneurs en Zinc dans les différents paramètres étudiés	90

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AGID : Agence national de réalisation et de gestion des infrastructures hydraulique pour l'irrigation et le drainage

DPAT Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire de Guelma,

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CCME : Conseil Canadien des Ministères de l'Environnement

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

FAO : Food and Agriculture Organization

MAT : Ministère de l'aménagement du territoire

MEAT : Ministère de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire

MENA : Middle East and North Africa

MRE : Ministère des Ressources en Eau

NRC: U.S. National Research Council

OMS : Organisation mondiale de la santé

SAG : Service agricole de Guelma

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Enfance et la Culture

USDA : U.S. Departement of Agriculture

USEPA: U.S. Environmental Protection Agency

Cd: Cadmium

CE: Conductivité électrique

Cu: Cuivre

D_A: Densité apparante

DO : Densité optique

D_R : Densité réelle

ETM: Eléments Traces Métalliques

ETP: Evapotranspiration potentielle

H: Humidité hygroscopique

ID : Indice d'aridité de De Martonne

MES: Matière en suspension

MF : Matière fraîche

MO: Matière organique

MS : Matière sèche

P: Porosité

Pb: Plomb

SAU: Superficie Agricole Utilisable

Zn: Zinc

Introduction

La population humaine a doublé depuis le milieu de ce siècle et le volume de son économie a presque quadruplé (BROWN *in* BARBAULT, 2003). L'amplification accélérée de la demande humaine en ressources naturelles se traduit par une pression accrue sur les systèmes naturels, c'est-à-dire sur l'infrastructure écologique de la biosphère : accroissement du CO₂ atmosphérique, altération des milieux, modification du cycle biogéochimique de l'azote pour permettre à l'agriculture de répondre à des exigences sans cesse accrues, érosion de la biodiversité... voilà les grandes crises écologiques qui vont marquer le XXI^e siècle (BARBAULT, 2003).

La civilisation industrielle introduit de telles modifications dans le fonctionnement des systèmes naturels qu'elle risque d'infléchir, de façon irréversible et souvent catastrophique, nos modes de vie. Là où elle n'a pas tout détruit, elle a néanmoins perturbé la structure trophique, le flux d'énergie et les cycles biogéochimiques (KOLLER, 2004 ; BARBAULT, 2003). Aujourd'hui, les activités agricoles et plus spécifiquement – l'élevage – sont pointés du doigt comme étant encore une source majeure de pollution (BOIVIN, 2005 ; KOLLER, 2004).

L'utilisation d'engrais azotés a certes contribué à une augmentation spectaculaire des rendements, mais cette dernière est due également à l'utilisation de variétés sélectionnées pour leur productivité avec la mise en œuvre de pesticides divers... ce qui est une erreur et une voie sans issue ; car la famine n'est pas disparue et de nombreuses pollutions sont apparues (POUSSET, 2000). La lutte phytosanitaire constitue un des enjeux agronomiques du XXI^e siècle. Il faut en effet conjuguer le développement durable avec une agriculture de plus en plus productive pour répondre à la croissance démographique, tout en respectant les contraintes écologiques et environnementales (RENAULT-ROGER C., 2005).

La qualité des eaux et des sols ont connu ces dernières années une grande dégradation, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée de ces ressources. L'apport de substances étrangères dans un écosystème modifie ces conditions naturelles, ainsi les concentrations des polluants peuvent atteindre des valeurs nettement plus élevées que celles relevées initialement

dans le sol, l'air ou l'eau, ce phénomène constitue donc une menace particulière pour l'être humain et d'autres maillons finaux de la chaîne alimentaire (KOLLER, 2004).

Plusieurs travaux publiés depuis 1990 ont mis l'accent sur l'évaluation de l'impact des contaminants sur les écosystèmes (LANDIS & YU, 1995 ; WRIGHT & WELBORN, 2002). Parmi ces cas de pollution figure le site de la moyenne Seybouse (Nord-est Algérien), due à des rejets liquides et aux dégagements de poussières à partir des unités industrielles. Plusieurs personnes ont déjà subi des intoxications à cause de la mauvaise qualité de l'air. Plusieurs champs agricoles ont également été détruits à cause de l'utilisation des eaux polluées de l'oued pour l'irrigation (DEBEICHE, 2002). C'est dans ce cadre que cette étude a été menée, afin d'évaluer la qualité de l'eau, du sol et des cultures au niveau de cette zone à vocation agricole. La démarche adoptée consiste à échantillonner le sol, l'eau et une plante cultivée (la tomate), le long d'un transect Nord-Sud. Pour cela, treize (13) stations ont fait l'objet d'une description morphologique, d'un échantillonnage et d'une analyse au laboratoire.

Les résultats obtenus sont consignés dans le document articulé en trois chapitres. Le premier met le point sur l'états des connaissances concernant le sol, l'eau ainsi que leur pollution, le deuxième présente la zone sur laquelle l'étude se concentre ainsi que le matériels et les méthodes utilisés pour l'évaluation, quant au troisième, il traite les résultats obtenus et leur discussion et nous terminons ce document par une conclusion et quelques recommandations.

1. L'eau

1.1. Etat et répartition de l'eau dans le monde

L'eau constitue une ressource très mal répartie à l'échelle de la planète, ces inégalités dépendent évidemment du climat, notamment des précipitations et des écoulements qu'elles engendrent, on peut ajouter également un déséquilibre lié au développement des populations humaines et de leurs activités (ROUYRRE, 2003). Ainsi 9 pays partagent 60% des ressources renouvelables d'eau douce dans le monde : le Brésil, la Russie, les Etats Unies, le Canada, la Chine, l'Indonésie, l'Inde, la Colombie et le Pérou, tandis que certains ne disposent que de ressources extrêmement faibles (UNESCO 1996 in TAMRABET L. 2011)

Tableau n°1 : Volume et pourcentage d'eau terrestre sous forme liquide, solide et gazeuse

	Volume (Km³)	(%)
Océans	1 348 000 000	97,39
Icebergs, glaciers	27 820 000	2,01
Nappe, humidité du sol	8 062 000	0,58
Lacs, rivières	225 000	0,02
atmosphère	13 000	0,001
Total	1 384 120 000	100,00
Eau douce	36 020 000	2,60

(KETTAB, 1992)

L'eau recouvre près de 70 % de la surface de la terre (dont 97 % est salée), essentiellement sous forme d'[océans](#), mais aussi trouvée dans toutes sortes d'étendues d'eau, telles que les mers, les lacs, et de cours d'eau comme les fleuves, les rivières, les torrents, les canaux ou les étangs. La majorité de l'eau sur terre est de l'eau de mer. L'eau est également présente dans l'atmosphère en phase liquide et vapeur. Elle existe aussi sous forme d'eaux souterraines et aquifères (ANONYME2).

L'eau est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne (KETTAB, 1992). Son importance dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient ainsi de plus en plus difficile, tant en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie, que du développement accéléré des techniques industrielles modernes, sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne (RODIER, 1975). Les eaux douces et océaniques sont devenues un réceptacle de pollutions multiples – chimiques, organiques, radioactive, microbiologique – et d'origines variées : urbaines, industrielles, agricole (KOLLER, 2004).

Nous ne trouvons pas l'eau qui répond aux paramètres qualitatifs exigés pour l'eau potable, (KETTAB, 1981). On est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes, à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Parallèlement des recherches des eaux souterraines se sont développées, les méthodes de recyclage, et maintenant on se préoccupe de plus en plus de dessalement de l'eau de mer. Simultanément, les causes de pollution se sont étendues ; celle-ci est devenue plus massive, plus variée, plus insidieuse, ce qui a fait écrire que « *le temps des rivières est finis, celui des égouts commence* » (RODIER, 1975).

1.2. Situation actuelle des ressources en eau en Algérie

En Algérie, les ressources en eau douce sont rares et vulnérables et la disponibilité en eau potable par habitant est en décroissance inquiétante (TAMRABET et *al.*, 2002; SAGHIR et *al.*, 2000 in TAMRABET L., 2011; BOUZIANI, 2000). Les ressources en eau existantes sont menacées par une pollution du fait de concentration des rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs (MRE, 2001; KETTAB, 2001).

Elles sont limitées et inégalement réparties, une pluviométrie totalise un volume annuel de 12,4 milliards de m³, essentiellement réservée à l'Algérie du Nord, les eaux de surface sont en outre inégalement réparties au niveau du Nord de l'Algérie, car elles diminuent de l'Ouest en Est et ne sont par ailleurs que très partiellement mobilisables (MAT, 2000).

Pour une population de 35 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an/habitant (MEDKOUR, 2002; LEHTIHET, 2005), cette moyenne est très faible comparée à la moyenne des pays du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) qui est de 1 250 m³ ou à la moyenne mondiale qui est de 7 500 m³ (FARUQUI, 2003). Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare (SAGHIR et *al.*, 2000 in TAMRABET L., 2011; TAMRABET et *al.*, 2002).

Dans ces conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau (AYERS AND WESTCOT, 1994; TAMRABET ET AL., 2003; SAIDAM, 2005). Il est noté qu'en 2006, 900 000 ha soit 10.5% de la SAU sont irrigués, et 78% de cette superficie l'est avec des eaux souterraines et 13% avec des eaux superficielles (BAGHDALI, 2007).

Tableau n°2 : Ressources hydriques en Algérie

	Eaux mobilisables (%)	Eaux mobilisées (%)
Eau de surface	5,7	1,8
Eau souterraine	6,5	2,1
Total	12,2	3,9

(BOUZIANI, 2000)

1.3. Importance de l'eau

C'est une source et milieu de vie, solvant de lavage et de transport de minéraux, régulateur thermique... L'eau possède des propriétés remarquables et essentielles à tous les êtres vivants et au maintien des propriétés environnementales de la planète terre (NGÖ, 2008). Et grâce à l'eau, cette dernière a connu un climat favorable et par la suite des conditions de vie adéquates pour tous les êtres vivants (ANDREAE, 1970).

1.4. La composition minérale de l'eau

Tableau n° 3 : Composition minérale de l'eau

Cations		Anions	
	Masse atomique		Masse atomique
Calcium Ca ²⁺	40	Hydrogénocarbonate Hco ³⁻	61
Magnesium Mg ²⁺	24	Chlorure Cl ⁻	35,5
Sodium Na ⁺	23	Sulfate So ₄ ⁻	96
Ammonium NH ₄ ⁺	18	Nitrate No ₃ ⁻	62
Potassium K ⁺	39	Fluorure F ⁻	19
Fer ferreux Fe ²⁺	56	Phosphate Po ₄ ⁻	95

(BERNE, 1991)

Les principaux ions présents peuvent être classés selon leur fréquence décroissante, cependant PO₄³⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻ ne sont pas souvent présents et peuvent alors être l'indice d'une pollution. (BERNE, 1991)

1.5. Propriétés physiques de l'eau et leur signification sur le plan écologique

Tableau n°4 : Propriétés physiques de l'eau et leur signification sur le plan écologique

Propriétés écologiques	Comparaison avec les	Signification physique
-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

	autres liquides	pour la biosphère
Capacité calorifique	La plus élevée de tous les liquides	Volant thermique face aux températures extrêmes
Point de fusion et d'ébullition	Elevé	Possibilité d'être à l'état liquide à la surface de la terre
Tension superficielle	Elevé	Favorise la formation d'aérosols dans les nuages, de condensation et de précipitation
Densité	Max. à 4°C	Stratification dans les océans
Absorption lumineuse	Forte en particulier dans l'UV et l'IR	Effet de serre et important sur le plan biologique
Propriétés de solvant	Structure dipolaire favorisant la dissolution des sels et des molécules polaires	Transport aisé de substances dissoutes dans la biomasse et les cycles biochimiques

(RAMADE, 2002)

1.6. Utilisation des eaux

On peut diviser l'utilisation de l'eau en 2 catégories: utilisation non consommatrice de l'eau, qui laisse l'eau sur place comme par exemple : la pêche, les habitats fauniques, la production d'énergie hydro-électrique et les loisirs (baignade)... Mais dans d'autres, elle est consommée et ne peut donc être retournée (prélèvements qui retirent l'eau de son milieu naturel), comme l'alimentation en eau potable et c'est le cas notamment de l'irrigation, des utilisations ménagères et municipales, la production d'énergie et des activités de transformation (ANONYME 1).

1.6.1. Types d'utilisation des eaux

Usage agricole

Les agriculteurs se fient le plus souvent aux sources naturelles locales, plus qu'aux systèmes publics de distribution, (MASSCHELEIN, 1996). La majeure partie des prélèvements mondiaux est destinée à l'irrigation celle-ci est une pratique très ancienne connue depuis l'Antiquité. Aujourd'hui dans le monde environ 15% des terres arables sont irriguées et cette proportion est beaucoup plus élevée dans certains pays comme le Pakistan (plus de $\frac{3}{4}$) et l'Égypte (ROUYRRE, 2003). L'irrigation aura pour effet de relever le niveau de production des terres et d'atténuer ou d'éliminer les aléas inhérents aux variations du climat et dans une certaine

mesure aux autres particularités naturelles. L'inconvénient de l'eau d'irrigation est son incapacité à servir à d'autres usages (FABY, 1997 ; ROUYRRE, 2003).

Les plantes se servent de l'eau pour développer leurs tissus à l'aide du processus de la photosynthèse et pour régulariser leur température, elles agissent à la manière des pompes tirant l'eau du sol et l'acheminant vers les feuilles, d'où elle s'évapore dans l'atmosphère, ainsi les variations de la quantité de l'eau du sol qu'utilisent les plantes se déterminent selon le type de la plante, la quantité de l'eau dans le sol pouvant être absorbée, ainsi que la quantité de l'eau que l'atmosphère peut tirer des plantes et du sol (ANONYME 1).

Tableau n°5 : Besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance

Culture	Utilisation moyenne d'eau (mm³)	Période de croissance (jour)
Luzernes	635	155
Graminées	610	150
Betteraves sucrières	559	155
Pomme de terre	508	140
Avoine	406	95
Orge	406	90
Pin	381	100
Maïs cultivé	381	120
Tomate	356	105
Pois de conserverie	330	80
Blé de printemps	457	100

(ANONYME 1)

Usage domestique

L'utilisation domestique de l'eau recouvre principalement la consommation d'eau potable, les bains, la cuisine, les usages sanitaires et le jardinage, cette consommation représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète. (NGO, 2008 ; GUERREE ET GOMELLA, 1978).

Usage Industriel

Généralement les industries transformatrices sont les plus consommatrices en eau (GUERREE ET GOMELLA, 1978). La plus grande part de l'eau qui est utilisée par l'industrie est épuisée dans les réserves naturelles (rivières) et 80 à 90% de celle-ci sert comme eau de

refroidissement qui est, elle-même, restituée à 90% au milieu. Les besoins spécifiques de l'industrie sont énumérés dans la littérature ; 6 à 10 m³ par tonne d'acier, 0,3 m³ par tonne de pétrole raffiné, 40 à 80 m³ par tonne de papier... Et dans l'industrie chimique ; 450 m³ par tonne d'acide acétique et 900 m³ par tonne de sulfate d'ammonium. L'importance relative des besoins industrielles par rapport à la consommation domestique est largement dépendante des conditions régionales. Aux abords des agglomérations développées, la consommation industrielle se situe entre 10 à 50% du total, les zones portuaires emploient souvent plus d'eau brute industrielle (MASSCHELEIN, 1996).

Usage municipal

En distribution urbaine, l'utilisation de l'eau est quantifiée entre 5 et 55% du total de la consommation, aux fins du nettoyage des rues, des fontaines publiques, de l'arrosage des parcs de l'extinction des incendies et en certains lieux publics ou qui appartiennent à l'état, de l'usage non facturé de l'eau (MASSCHELEIN, 1996)... ces usages sous entendent la construction d'un réseau de distribution qui double au moins en partie le réseau d'eau potable. (ANONYME 1).

2. Pollution des eaux

L'eau compte tenu de ses propriétés physico-chimiques, est trop souvent utilisée comme un vecteur d'évacuation de déchets ; ainsi polluée, elle devient alors un vecteur de pollution. Cette situation fréquemment rencontrée est d'autant plus regrettable que l'eau est le principal élément constitutif des êtres vivants (KOLLER, 2004).

2.1. Définition

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui résulte en totalité ou en partie de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects, altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la construction physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes (BARBAULT, 2003) Un milieu aquatique est dit pollué lorsque son équilibre a été modifié de façon durable par l'apport en quantités trop importantes soit de substances toxiques d'origine naturelle ou issues d'activités humaines ou encore d'eau trop chaude (COLAS, 1976).

2.2. Origine de la pollution des eaux

La pollution de l'eau constitue une menace à l'environnement, le plus grave, elle affecte aussi bien les pays industrialisés que ceux en développement, chez lesquels le problème est particulièrement important pour ceux dont le climat est aride, en raison d'un déficit hydrique prononcé, la concentration des polluants dans l'eau demeure élevée, ceci est aggravé par le fait qu'un certain nombre de polluants sont solubles dans l'eau où ils y restent en suspension, pouvant ainsi être transportés loin des sources d'émission (COLAS, 1976).

Jadis, les polluants étaient essentiellement d'origine ménagère et facilement biodégradables ; pour préserver son équilibre, la nature évacue les déchets selon un cycle bien défini. Mais les régions très peuplées ou industrielles menacent cette harmonie (KOLLER, 2004). La pollution des eaux a essentiellement pour origine les rejets d'eaux usées urbaines et industrielles, dont l'abondance et la variété croissent au fil des années sous l'effet de l'urbanisation galopante. Pendant des millénaires, les eaux usées étaient déversées directement dans les cours d'eau et les lacs, et il n'y a seulement moins d'un siècle que l'accent a été mis sur le résultat désastreux de telles pratiques (QUEVANVILLER, 2001).

Les pollutions agricoles sont chroniques et diffuses, à l'inverse des pollutions industrielles de l'eau qui sont désormais largement maîtrisées, où revêtent un caractère accidentel, et des pollutions en provenance de collectivités locales qui ont fait des efforts importants pour améliorer les rejets d'eaux usées. La dégradation des eaux, tant de surface que souterraines, liées à la présence de nitrates ou de produits phytosanitaires est incontestable (NGÖ, 2008).

Les eaux douces et océaniques sont devenues un réceptacle de pollutions multiples – chimiques, organiques, radioactive, microbiologique – et d'origines variées : urbaines, industrielles, agricole. Des quantités importantes de matières organiques et fermentescibles et d'effluents riches en phosphates (engrais, détergents) et nitrates, provoquent ou accélèrent un phénomène naturel que l'on appelle *Eutrophisation* (KOLLER, 2004).

2.3. Les eaux usées

2.3.1. Définition

Elles constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme pour ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles. Elles sont

généralement chargées de détritiques de matières minéralisées dissoutes et de produits organiques en suspension (BOUZIANI, 2000 ; TOMAS, 1995), ces rejets d'eau peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogéniques, menaçant la qualité de l'environnement dans son ensemble. Cependant si l'eau est préalablement traitée, elle trouve d'autres utilisations surtout dans le domaine agricole, où elle vient valoriser l'itinéraire technique mis en application pour produire plus (TAMRABET *et al.*, 2003).

Les eaux usées représentent une faible fraction du volume des ressources en eau utilisable mais leur qualité très médiocre exige leur collecte et acheminement par un réseau d'égout vers une usine de dépollution pour éliminer toutes les substances nuisibles avant leur rejet dans le milieu naturel (COLAS, 1976 ; TOMAS, 1995)

Les divers polluants présents dans les eaux usées sont susceptibles de contaminer les eaux de surface si elles sont déversées directement sur le sol, et souillent les nappes souterraines par infiltration, elles sont en outre des sources de nuisances désagréables car elles constituent des produits fermentescibles et certaines matières qui ne se décomposent qu'en émettant des gaz fétides. (BOUZIANI, 2000)

2.3.2. Origine des impuretés des eaux

Les eaux naturelles doivent subir un traitement avant leur utilisation (alimentation, industrie,...), ainsi les eaux résiduaires doivent être traitées avant déversement dans la nature, et les eaux superficielles doivent aussi être traitées avant consommation car elles présentent des matières en suspension, des colloïdes, qui se traduisent par la turbidité et les matières organiques dissoutes qui donnent de la coloration (BERNE, 1991 ; KETTAB, 1992)

Matières en suspension

Elles sont hétérogènes de forme et variées d'origines dans les eaux de surface. Dans les eaux de fourrage ce sont le sable fin, le fer oxydé et quelques fois des algues filamenteuses, tandis que dans les eaux de rivières on distingue des matières volumineuses souvent flottantes ou indécantables (feuilles, papiers...) éliminées en général par un moyen mécanique, ou bien des

matières fines (limon, sables, argiles, débris végétaux et animaux) qui demeure en suspension dans l'eau soit indéfiniment soit en décantant très lentement (BERNE, 1991).

Matière colloïdale

Les colloïdes minéraux (argile, gels et silice...) qui sont responsable de la turbidité (KETTAB, 1992) de taille comprise entre 0,1 et 1 à 2 microns, ayant une surface spécifique considérable et chargée électro-négativement ,pour pouvoir les filtrer on doit faire appel à des anticoagulants minéraux, tels que les sels d'aluminium ou de fer dont la dissolution dans l'eau libère des charges électropositives susceptible de neutraliser les charges négatives des colloïdes (BERNE, 1991).

Matières organiques dissoutes

Les matières organiques d'origine naturelle issues de la dégradation des végétaux, métabolites des algues et des micro-organismes et d'origine artificielle provenant de la pollution urbaine, industrielle et agricole (KETTAB, 1992).Elles représentent plusieurs familles de composés parmi lesquelles on peut citer les acides humiques, les acides carboxyliques et les hydrates de carbone. Elles sont caractérisables globalement par l'oxydabilité au permanganate ou le carbone organique totale (BERNE, 1991).

2.4. Origine des eaux usées (résiduaires)

Il n'est pas toujours facile d'identifier les sources de pollution ni d'estimer leurs effets respectifs, qui dépendent à la fois de la nature, de la concentration du polluant et de l'écosystème considéré car les phénomènes en jeu étant forts complexes (COLAS, 1976). Il existe généralement différents types d'eaux résiduaires en fonction de leur origine ou de leur mode de collecte qui influence beaucoup leur composition et leurs caractéristiques.

Tableau n°6 : Classification générale des eaux résiduaires

Type d'eau résiduaire	Localisation-origine	Caractéristiques
Domestique	Habitations	Assez connues, type fréquent, présence de micro-

		organismes
Industrielle	Industries, entreprises...	Très variables avec la nature des productions et des activités
Urbaine (réseau unitaire)	Agglomérations (prise en compte du réseau pluvial)	Très variables avec la charge industrielle et la dilution
Urbaine (réseau séparatif)	Agglomérations	Variables

(TOMAS, 1995)

2.4.1. Types des eaux usées (résiduaires)

Les eaux de ruissellement

comprennent aussi les eaux de pluie qui sont très polluées après une longue période sèche (L'EVY, 1982) la pollution des eaux de lavage et les eaux de drainage est variable dans le temps, plus forte au début d'une précipitation qu'à la fin par la suite du nettoyage des aires balayées par l'eau, les eaux de ruissellement en provenance des cours de fermes sont assez polluées, ainsi elle sont polluées en provenance des trottoirs et chaussées (mazoute, bitume,...) elle contiennent également du zinc, du plomb et du cuivre(GUERREE H. ET GOMELLA C., 1978).

Les eaux domestiques

Elles se présentent comme un mélange complexe de matières non dissoutes dans une solution aqueuse de matières organiques et minérales (BERNE, 1991) dont l'origine est les eaux ménagères (eaux de cuisine, de lessive, de toilette,...) et également les eaux vannes (en provenance des W.C., matières fécale et urines), elles constituent un effluent pollué et nocif, leur étude doit s'effectuer sous un double point de vue physico-chimique et biologique car ces eaux peuvent renfermer des germes qui peuvent être pathogènes et de virus (GUERREE H. ET GOMELLA C., 1978).

Les eaux industrielles

Sont celle en provenance des divers usines de fabrication ou de transformation, elles sont extrêmement variées selon le genre d'industrie dont elles proviennent, elles contiennent les

substances les plus diverses, pouvant être acides ou alcalines, corrosives ou entartrantes, à température élevée, et souvent odorante et colorées (GUERREE H. ET GOMELLA C., 1978). Les eaux résiduaires industrielles regroupent des rejets très divers et qui représentent des caractéristiques tellement variées qu'il est nécessaire de les rassembler en familles et de les classer par catégories pour définir les conditions d'épuration, et leur rejet direct, s'il est possible, nécessite une étude soignée du nombre d'équivalents-habitants auquel correspond l'industrie étudiée et de l'influence des corps toxiques et inhibiteurs qu'elles contiennent (GUY M., 1979 ; GUERREE H. ET GOMELLA C., 1978 ; KETTAB,1992).

2.4.2. Impact des eaux résiduaires sur le milieu récepteur

Dans une agglomération, les eaux de ruissellement, les eaux usées domestique et les eaux industrielles peuvent être séparées mais il arrive aussi qu'ils se mélangent, ce qui fait apparaître la notion d'effluent urbain constitué par des eaux usées, d'origine domestique, plus ou moins polluées par des eaux industrielles et plus ou moins diluées par des eaux de ruissellement (GUERREE H. ET GOMELLA C., 1978).

Une eau résiduaire urbaine ou industrielle peut engendrer, suivant la nature et la concentration de ces constituants un certain nombre d'effets sur le milieu récepteur, même après avoir subi une épuration, à citer que les rejets de certaines stations d'épuration des matières azotées, et l'effet précité des matières organique peuvent accélérer ainsi le processus naturel de l'eutrophisation des milieux récepteurs fermés. La présence de toxiques organiques, ou minéraux, peut entraîner des phénomènes irréversibles comme la mort des espèces animales et végétales... dans le cas de l'utilisation de l'eau par l'homme à l'aval, le risque est majeur (TOMAS, 1995).

2.4.3. L'épuration des eaux usées

Pour le traitement d'effluents destinés au déversement dans un cours d'eau, la tâche de la station de traitement doit être assignée aux besoins spécifiques de chaque industrie. Suivant la littérature, on peut estimer la concentration maximale de l'eau usée admise au traitement en station de traitement ; ces aperçus sont donnés au tableau n°7. Les chiffres les plus élevés se

rappellent aux possibilités des traitements les plus modernes. Si ces quantités sont dépassées, une épuration spécifique préliminaire est nécessaire avant acceptation de l'effluent dans le collecteur public(MASSCHELEIN, 1996).

Tableau n°7 : Conditions préliminaires à l'épuration de l'eau industrielle

Paramètre	Concentration	Unité
pH	6	
Conductivité	250 - 500	mS/m
Matières en suspension	0,5 - 2	Kg/m ³
Hydrocarbures extractibles à l'éther de pétrole	0,2 - 0,5	Kg/m ³
Sulfures	25 - 50	g/m ³
Hydrates de carbone	0,5 - 1,5	g/m ³
Cyanures	10 - 20	g/m ³
Sulfates	1,8	Kg/m ³
Métaux		
Cr, Cu, Ni, Zn, Cd individuellement	20	g/m ³
globalement	50	g/m ³
As, B, Pb, Se, Hg individuellement	5	g/m ³
globalement	20	g/m ³

(MASSCHELEIN, 1996)

2.4.4. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

Les risques liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture sont multiples et de nature microbiologique, chimique ou environnementale. La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques. Plusieurs pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées brutes sont rapportés et décrits dans la littérature (OMS, 1989; NRC, 1996; NRC, 1998 BLUMENTHAL et *al.*, 2000; CARR et *al.*, 2004; NRC, 2004; RADCLIFFE, 2004; USEPA, 2004).

La contamination chimique est liée aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour ces éléments traces est la consommation des plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. L'accumulation des micropolluants dans les plantes est plus problématique, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux. Le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé (BAUMONT, 2004).

Quant au risque environnemental, Il réside dans la dégradation de la qualité des sols, des eaux souterraines et de surface (PASCUAL *et al.*, 2004; LIU *et al.*, 2005; TJANI, 2008). Les sols qui ont une bonne capacité de rétention assurent une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration des sols est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), par la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et par l'exportation par les végétaux. Les sols ayant une perméabilité interstitielle (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols fissurés (calcaire, dolomies, granit, etc.).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou un autre aquifère pollué. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque.

Les bactéries, les protozoaires et les helminthes sont très rapidement éliminés, par les phénomènes d'adsorption et de compétition trophiques selon les mêmes processus des traitements par percolation/infiltration. Seuls les virus posent des problèmes. ASANO (1998) mentionne qu'au-delà de 3 m de profondeur, la quasi-totalité des virus est éliminée. D'après le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF, 1999), les nitrates et les dérivés halogénés sont les plus préoccupants, parce qu'ils migrent en profondeur. Les eaux provenant de puits de moins de 30 m de profondeur sont plus polluées par l'azote que les eaux plus profondes (FROESE, 1998). Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu.

2.4.5. Réglementation

Il est donc difficile de déterminer pour chaque substance toxique une concentration maximale acceptable pour un écosystème, il n'existe d'ailleurs aucun consensus sur les seuils à ne pas

dépasser, dans les rares cas où les lois fixent des normes, celles-ci varient selon les pays.
(COLAS, 1976)

1. Le sol

1.1. Généralités

Le sol est la couche la plus externe, marquée par les êtres vivants, de la croûte terrestre. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches, et un compartiment majeur de l'écosystème terrestre à l'interface de l'atmosphère, de

l'hydrosphère, de la lithosphère et de la biosphère. Donc, le sol occupe une position-clef dans les cycles globaux des matières (GOBAT, 2003 ; BOURRIER ET BERTHELIN, 1998 ; ROBER, 1996).

Il est l'épiderme des terres émergées et il fait partie intégrante du paysage, cette couche pédologique est organisée depuis l'échelle du continent ou de la région jusqu'à la maille élémentaire du minéral argileux (ROBER, 1996). C'est un milieu complexe et de nature organo-minéral ; formé d'éléments minéraux résultant de l'altération de la roche mère sous l'action d'agents atmosphériques et biologiques (BONEAU ET SOUCHIER, 1994), il est aussi un milieu vivant ; car il est riche en organismes et micro-organismes avec lesquels il existe une multitude d'interactions (ELHAI, 1968 ; ROBER, 1996 ; DUCHAUFOR, 2001 ; CALVET, 2003 ; PEDRO, 2007). Le sol assure ainsi des fonctions de transformation, de transfert et d'accumulation, tout en pouvant aussi subir des modifications importantes et rapides d'origine naturelle ou anthropique ; dégradation, érosion, changement d'usage... c'est pour cela qu'il est considéré comme un réacteur biogéochimique complexe (multiphasique, interactif) (BOURRIER ET BERTHELIN, 1998)

1.1.1. Composition minérale

Le sol est un véritable écotone, par rapport à sa position dans l'écosystème, à l'interface entre le monde minéral et le monde organique (GOBAT, 2003 ; PEDRO, 2007), sa phase minérale résulte directement de la désagrégation mécanique et de la décomposition chimique des roches du substratum ou des matériaux apportés, alluvions, colluvions, dépôts éoliens (ELHAI, 1968 ; DUCHAUFOR, 2001), et c'est à l'aide d'une analyse granulométrique qu'on distingue ainsi les sables (2mm – 50µm), les limons (50 - 2µm) et les argiles (< 2µm), la proportion relative de ces dernières définit la texture du sol et la façon dont sont assemblées ces particules élémentaires qui constituent le sol représente sa structure (STENGEL et *al.*, 1998 ; GOBAT, 2003 ; ROBER, 1996 ; POUSSET, 2000 ; BENSLAMA, 2005).

1.1.2. Richesse organique

A coté de la phase minérale est également présente une phase organique (ELHAI, 1968 ; PEDRO, 2007 ; DUCHAUFOR, 1995 ; ROBERT, 1996 ; BALDOCK ET NELSON, 2000) constituée essentiellement d'organismes vivant tels que les vers de terre, nématodes, insectes, protozoaires... des racines des plantes et également une microflore, qui est une extrême diversité taxonomique chiffrant par millions voire milliards par gramme de sol, constituée de

bactéries, champignon, actinomycètes et d'algues... cette phase joue le rôle essentiel à la fois dans la formation du sol et dans son fonctionnement (ROBER, 1996). L'un de ses principaux processus concerne évidemment la dégradation de la matière organique et les grands cycles qui en dépendent directement comme celui du carbone et celui de l'azote, mais ils participent aussi à la dégradation des roches et des minéraux et à la réalisation d'associations argilo-minérales qui structure le sol à différentes échelles (BERTHELIN ET AL., 1994).

Tableau n° 8 : Types et abondance des organismes vivants dans le sol

Les êtres vivants dans le sol	Nombre (/g de sol)	Biomasse (Kg/Ha)
Bactéries	$10^6 - 10^{10}$	300 – 3000
Actinomycètes	$10^5 - 10^7$	50 – 500
Champignons	$10^4 - 10^6$	500 - 5000 (180m/g)
Protozoaires	$10^4 - 10^5$	7 – 200
Algues	$10^3 - 10^5$	50 – 200
Faune	$10^3 - 10^4$	500 – 2000 (vers de terre)

(STENGEL et *al.*, 1998)

La microflore du sol recouvre aussi une grande diversité physiologique et écologique, ainsi coexistent des micro-organismes hétérotrophes et autotrophes, aérobies et anaérobies. Il faudrait, pour compléter le panorama de la microflore des sols, rajouter les lichens surtout en surface du sol, les champignons mycorhiziens qui vivent en symbiose avec les racines et les virus qui sont particulièrement mal connus. Les espèces appartenant à la microflore et la microfaune sont particulièrement diversifiées et l'on peut estimer que moins de 10% des espèces sont connues, le sol constitue donc une réserve génétique importante pouvant être affectée par des pollutions organiques ou métalliques (ROBERT, 1996 ; STENGEL et *al.*, 1998). La matière organique décomposée du sol, et que l'on ne peut pas identifier à l'œil par sa forme correspond à l'humus (STENGEL et *al.*, 1998 ; POUSSET, 2000 ; PEDRO, 2007).

1.2. Organisation

Le profil pédologique ou solum est une coupe du sol selon un plan vertical, en deux dimensions, qui permet d'atteindre une profondeur suffisante, et de décrire la variation d'un certain nombre de caractéristiques avec la profondeur (ROBER, 1996), le profil fait apparaître plusieurs bandes d'épaisseur variable, qui le subdivisent en couches plus ou moins homogènes appelées horizons. Ces derniers se distinguent par la différence observable ou mesurable, la couleur, la nature et la taille des constituants (texture), l'organisation (ou la structure), le comportement... (ELHAI, 1968 ; GOBAT, 2003 ; ROBER, 1996).

La mise en valeur agricole a eu pour conséquences de modifier, sur plusieurs décimètres d'épaisseur et sur des pas de temps très courts, la partie supérieure du sol, c'est-à-dire des horizons hérités de la pédogenèse. L'organisation naturelle des horizons pédologiques est modifiée au point que les traits pédologiques ont généralement totalement disparu ou ont été déplacés au sein du sol. Quant à la structure macroscopique des horizons, elle n'est plus liée qu'aux seules pratiques culturales. (STENGEL *et al.*, 1998).

1.3. Rôles et fonctions

Au sein de la biosphère terrestre, le sol, qui constitue le nœud du système biogéochimique (ROBERT, 1996), est un objet infiniment plus complexe que l'air et l'eau, de nature organo-minérale, il est donc meuble, poreux et hydraté, abritant de nombreux micro-organismes. C'est la raison pour laquelle il constitue un bioréacteur de premier plan (PEDRO, 2007), ce qui lui permet d'assurer de nombreuses fonctions, dont entre autres :

Un milieu biologique où croissent et se développent de très nombreux organismes vivants animaux et végétaux, et ses caractères influents beaucoup sur cette croissance et ce développement, tout en déterminant la qualité de l'environnement, la qualité des eaux et de l'air (CALVET, 2003 ; PEDRO, 2007), de plus, c'est un puits et source dans les cycles biogéochimiques en particulier, son rôle est d'une très grande importance dans les cycles du carbone, de l'azote, du soufre et du phosphore, tant du point de vue agronomique que celui environnemental (CALVET 2003 ; ROBERT, 1996 ; PEDRO, 2007)

Son pouvoir épurateur, connu depuis le début de l'humanité, observé par la décomposition par les micro-organismes tellurique, de composés organiques, que ceux-ci soient naturels ou artificiels et qu'ils soient bénéfiques ou nocifs (ROBERT, 1996 ; PEDRO, 2007)

D'un point de vue technologique, le sol constitue une source de matériaux, son importance dans de nombreuses régions dans divers pays, en particulier pour la construction d'habitations, c'est un réceptacle de déchets industriels et urbains, et de nombreux sites ont reçu des déchets de toute nature dans des conditions le plus souvent incontrôlées, ce qui pose le problème de leur décontamination et de leur réhabilitation (CALVET, 2003).

Economiquement, les sols ont une valeur patrimoniale qui est de plus en plus prise en compte dans la gestion des territoires. Cette valeur peut être considérée comme une intégration de toutes les valeurs attachées aux autres fonctions du sol (CALVET, 2003).

2. Pollution des sols

2.1. Définition

Un sol est considéré pollué lorsque la dégradation de sa qualité par l'apport anthropique d'élément toxique peut porter atteinte à la santé humaine ou/et à l'environnement. La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soit un danger, le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme (DUBEY ET DWIVIDI, 1988). La pollution des sols et sous-sols résulte des conséquences cumulées au cours du temps des diverses activités humaines tant industrielles qu'agricoles, urbaines, militaires etc. Cette contamination trop négligée jusqu'à une époque récente est préoccupante par ses conséquences sanitaire, environnementale et socio-économiques. (COLIN, 2000)

La pollution du sol peut se présenter sous des aspects très variés, essentiellement ponctuelle ou locale, la nature des sites pollués est très hétérogène, de quelques mètres carrés pollués par un épandage accidentel jusqu'à une superficie de plusieurs dizaines d'hectares. Elle est avant tous une conséquence de l'expansion de certaines techniques agricoles modernes : engrais, pesticides... même dans les régions les plus reculées, il n'existe pas de sols intacts (KOLLER, 2004).

2.2. Historique

Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, le secteur industriel s'est développé sans préoccupation des rejets d'éléments toxiques dans l'environnement et particulièrement le sol (LECOMTE, 1998). Les polluants sont émis à partir de la surface du sol, et par elle qu'ils transitent souvent avant de passer dans l'hydrosphère, sa position d'interface lui confère un rôle important dans certains nombre de cycles biogéochimiques mais va faire de lui, héla, un lieu de passage ou de séjour de nombreux et de divers polluants produits par l'activité humaine (ROBER, 1996; KOLLER, 2004).

2.3. Formes

La Pollution des sols peut être ponctuelle, caractérisées par la présence locale de fortes concentrations de substances dangereuses non confinées dans les sols et sous-sols donnant

naissance à des « sites localement contaminés », l'étendue de la contamination est généralement faible. La pollution diffuse, là où les substances dangereuses sont dispersées accumulées sur d'importantes surfaces de sols, caractérise des « sites uniformément contaminés », l'étendue de la contamination est généralement grande et le gradient de concentration à l'intérieur du site est plutôt faible (horizontalement) (COLIN, 2000). En revanche, la pollution est endogène, lorsque les constituants normaux du sol se présentent sous une forme inhabituelle ou sont à des concentrations anormalement élevées, tandis que la pollution exogène, qui résulte d'apports extérieurs au sol, est la plus fréquente (KOLLER, 2004).

2.4. Sources et Origines

La fabrication, l'utilisation et l'élimination des substances et des produits impliquent toujours une forme de pollution de l'environnement. Pour préserver son équilibre, la nature évacue les déchets selon un cycle bien défini, mais les régions très peuplées ou industrielles menacent cette harmonie (KOLLER, 2004). Les substances nocives présentes dans le sol proviennent pour leur grande majorité de pollutions atmosphériques – issues des processus de combustion domestique, des exploitations industrielles et du trafic – ainsi que des produits auxiliaires en agriculture (KOLLER, 2004 ; BOIVIN, 2005).

Classer les sources de pollution n'est pas une chose aisée, tant elles sont nombreuses. On peut en distinguer 03 grands groupes : les pollutions industrielles ; suite à des accidents lors de l'extraction, du stockage, de la transformation et du transport de matières premières, de produits ou de déchets dangereux, ou lors de la distribution des produits dangereux (KOLLER, 2004 ; COLIN, 2000), ou des pollutions agricole, par l'utilisation abusée des fertilisants qui ont contribué à une augmentation spectaculaire des rendements ... ce qui est une erreur et une voie sans issue ; car la famine n'est pas disparue et de nombreuses pollutions sont apparues (POUSSET, 2000 ; KOLLER, 2004) des modalités d'engraisement des sols inadaptés dans le cadre de l'agriculture intensive ont favorisé le déversement de quantités d'engrais souvent exagérées et conduit à un appauvrissement des sols et à de sévères pollutions en nitrates. Parallèlement, le problème de la pollution des sols et des eaux souterraines par l'agriculture réside aussi dans l'élevage, dont les nuisances essentielles doivent être attribuées aux épandages trop abondants ou trop fréquents (BOIVIN, 2005 ; COLIN, 2000 ; KOLLER, 2004).

Le risque posé par les métaux lourds dépend, donc, de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition. Par ailleurs, certains métaux sont indispensables pour la croissance des

végétaux. Ils s'éliminent facilement par les traitements physiques (décantation) et sont récupérés dans les boues (ADEME, 2000). Le problème des pesticides et des métaux lourds est plus préoccupant dans le cas le recyclage des boues (MIQUEL, 2003).

1. Eléments en trace et/ou métaux lourds

L'appellation «métaux lourds», couramment utilisée pour désigner les micro-polluants minéraux des sols, des eaux, des sédiments, dont la masse volumique est supérieure 5g/ml (BOURRIER ET BERTHELIN, 1998 ; ANONYME 3) et qui peuvent former des sulfures a été écartée. En effet, elle apparait impropre, car elle est souvent appliquée, indistinctement, tout aussi bien à des métaux n'ayant pas nécessairement ces propriétés qu'à des éléments non métalliques (arsenic, antimoine, sélénium...). Par ailleurs, le terme « polluant » n'est pas non plus satisfaisant, car il implique que ces éléments sont susceptibles d'entraîner, à certaines teneurs, des phénomènes de toxicité vis-à-vis des organismes, alors que certains d'entres eux sont des oligo-éléments (Cu, Zn, Ni, Co...) essentiels à la vie.

En revanche, d'autres éléments dits « lourds » comme le plomb et le mercure, même à faible teneur, n'ont aucune fonction biologique essentielle connue à ce jour et sont toxiques pour la communauté biologique (BOURRIER ET BERTHELIN, 1998).

Dans l'écorce terrestre, les éléments « O, Si, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, H, P, Mn », constituent plus de 99% du total de l'ensemble des éléments, et sont présent à des teneurs moyennes supérieures ou égales à 1000 ppm. Les autres éléments sont présents à des teneurs moyennes ou inférieures à 1000 ppm, ils sont désignés sont le terme « d'éléments en trace » ou « d'éléments-trace » (BOURRIER ET BERTHELIN, 1998)

1.1. Classification

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn) (Anonyme 3). Les métaux lourds sont classés, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires (Tableau n°9). Le manganèse (Mn) et le fer (Fe) sont indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problèmes pour la santé humaine (BAUMONT et *al.*, 2004).

Tableau n°9 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique

	Intéressants pour les plantes	Inutile ou mauvais pour les plantes
Ne posant pas de problèmes	Mn, Fe	Pb, Hg, Sn, Cr, Se, Al
Posant de problèmes	Cu, Mo, Zn	As, Ni, Cd

(BAUMONT et *al.*, 2004)

Les métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture pose des problèmes sont le cuivre, le molybdène et le zinc. Le cuivre est toxique pour les animaux d'élevage, le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zootoxicité (BAUMONT et *al.*, 2004). Le molybdène n'est pas phytotoxique, mais pose des problèmes sanitaires pour le bétail. Le zinc est peu toxique, mais s'accumule très facilement dans les tissus végétaux (BOSWELL, 1989).

Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cadmium. Le nickel est peu toxique,

mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. Le cadmium est le polluant non organique le plus préoccupant. Il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées et il est très mobile dans le sol. Il s'accumule dans les plantes à de fortes concentrations engendrant la phytotoxicité (GUPTA *et al.*, 2007). Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer de graves intoxications (YANG *et al.*, 2008). L'OMS (1997) préconise un apport alimentaire moyen de 0.057 à 0.071 mg/j/individu. La FAO (2000) fixe comme un taux maximal dans les aliments de 0.1 mg/kg pour les légumes et 0.05 mg/kg pour les céréales et leurs dérivés.

1.2. Utilisation des métaux lourds

La problématique même des métaux et des métaux lourds en particulier repose sur le fait qu'ils sont très utiles, voire indispensables à l'homme. En effet, de par leurs propriétés, ils entrent dans la composition d'une grande variété de produits, et se retrouvent à de nombreux niveaux: métallurgie, chimie, pharmacie, énergie, etc. Il semble donc assez difficile de s'en passer et de les substituer. D'ailleurs, comme le montre le tableau suivant, leur production est en augmentation par rapport à celle des années 1980 (ANONYME 3).

Tableau n°10 : La production mondiale de Quelques métaux lourds par rapport à celle des années 1980

Production mondiale (milliers de tonnes)	Arsenic	Cadmium	Chrome	Mercure	Plomb
Dans les années 80	-	16	4 000	7	3 400
Dans les années 90	50,1	18,882	12 393	1 984	8 013

(ANONYME 3)

2. Traitement des sols

Le traitement des sols pollués consiste, sauf dans des sites localisés à contamination intense ou multiple, à immobiliser les éléments et à éviter que les conditions favorisent le relargage ; les mesures peuvent inclure une végétalisation, des traitements de stabilisation, le confinement, la lutte contre l'acidification... (BOURRELIER ET BERTHELIN, 1998)

3.1. Bioaccumulation et bioamplification dans la chaîne alimentaire

La contamination de divers milieux par les agents polluants va se traduire par leur transfert dans les êtres vivants (biomasse), lorsque la substance est biodégradable, les micro-organismes joueront un rôle actif dans sa décomposition, mais malheureusement, il existe toute une série de composés qui ne le sont pas, comme les substances organochlorées et les métaux lourds. Leur grande persistance dans la nature favorise leur passage dans les communautés végétales, puis animales, et le jeu trophique conduira à leur accumulation dans les pyramides écologiques (KOLLER, 2004).

Les métaux lourds contenus dans notre environnement peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans une étape végétale de notre chaîne alimentaire et entraîner une contamination de l'homme par voie orale. Toutefois, un simple passage passif dans notre chaîne alimentaire aurait un impact limité, sans l'existence de la bioaccumulation qui est un phénomène existant pour les métaux lourds mais également mis en évidence pour d'autres composés chimiques, qui a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant supérieure à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme (ANONYME 3).

Des études menées « in situ » ont révélé une augmentation des concentrations de certains polluants, au fur et à mesure des différents maillons de la chaîne trophique: la bioamplification. Le prédateur concentre une substance (ou un élément) à un niveau supérieur à celui de sa proie. Cette amplification a été constatée pour plusieurs contaminants organiques et dans le cas des métaux, pour la forme méthylée du mercure (FOWLER, 1982). Pour RAMADE (1979), la rémanence d'un contaminant associé à des transferts cumulatifs « proies contaminées - prédateurs » est à l'origine de ce processus. Au contraire, une dilution entre les échelons primaires et secondaires a été montrée à plusieurs reprises. La bioamplification des contaminants au sein des structures biocénotiques ne peut être abordée par une approche mono-factorielle. Ce processus est lié à une conjonction de facteurs favorables (BOUDOU, 1982): concentration du contaminant dans le milieu, stabilité des conditions, aptitude du contaminant à franchir les barrières biologiques, rémanence de la molécule à l'égard des mécanismes de dégradation (abiotiques et biotiques), transferts trophiques, types de réseaux alimentaires, durée de vie, etc.

3.2. Effets sur les êtres vivants

Les êtres vivants consomment une quantité de nourriture équivalente à plusieurs fois leur poids. De l'énergie, des nutriments minéraux, mais aussi des substances nocives sont ainsi véhiculés par la nourriture et concentrés dans le corps ; cette concentration intervient en plusieurs étapes dans la chaîne alimentaire, de sorte que les concentrations des polluants peuvent atteindre des valeurs nettement plus élevées que celle relevés initialement dans le sol, air ou l'eau, ce phénomène constitue donc une menace particulière pour l'être humain et d'autres maillons fins de la chaîne alimentaire (KOLLER, 2004). Parmi les principaux polluants générés par les activités industrielles, les métaux lourds (Cu, le Pb, le Cr, ...) posent effectivement des problèmes particulièrement préoccupants. Ces éléments, par nature non biodégradables, présentent une forte écotoxicité et pourraient être impliqués dans de nombreuses pathologies, atteintes du système nerveux central, du foie, des reins, mais aussi cancers et malformations embryonnaires (ABRAHAMS, 2002 ; ADRIANO, 2001).

Effets sur la flore

L'apport de substances étrangères dans le sol, l'eau et l'air modifie les conditions naturelles d'un site. Lorsqu'une plante est soumise à une concentration trop importante de ces substances, elle réagit par des symptômes de maladies ou elle dépérit (KOLLER, 2004)

Parmi l'ensemble des métaux lourds, une vingtaine d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, en particulier la respiration, la photosynthèse ou l'assimilation des macronutriments tels que l'azote, le soufre... (KABATA-PENDIAS ET PENDIAS, 2001 *in* TAMRABET L., 2011). Nombre de ces métaux, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Se et Ba sont aussi impliqués au niveau de processus moléculaires tels que le contrôle de l'expression des gènes, la biosynthèse des protéines, des acides nucléiques, des substances de croissance, de la chlorophylle et des métabolites secondaires, le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress (RENGEL, 1999).

En outre, certains éléments trace peuvent se présenter sous différents états d'oxydation (Cu^{2+} , Cu^+), ils jouent ainsi un rôle d'accepteurs ou de donateurs d'électrons, très important dans les multiples systèmes enzymatiques mettant en jeu des réactions d'oxydoréduction (CHAIGNON, 2001). Les végétaux ne supportent généralement pas les concentrations élevées en cuivre dans le sol. En effet, le cuivre réagit avec le fer, ce qui provoque une carence en fer pour la plante (chlorose). Plus spécifiquement, l'excès de cuivre dans le sol provoque une réduction de croissance des racines. Un rabougrissement de la plante peut s'en suivre. De plus, le cuivre est

bactéricide : il réduit l'activité microbienne dans le sol et donc la vitesse de décomposition de la matière organique dans celui-ci (MOULAERT, 1992; LETEINTURIER, 2002 *in* TAMRABET L., 2011).

Pour autant, les métaux lourds n'ont pas tous une fonction connue à ce jour dans le métabolisme de la plante, et malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. On retrouve parmi les plus toxiques, Hg, Cr, Ni, Pb et Cd (KABATA-PENDIAS ET PENDIAS, 2001 *in* TAMRABET L., 2011).

Effets sur l'homme

Le corps absorbe les polluants à travers la nourriture et l'eau potable, par la respiration ou par la peau. Les effets s'étendent des allergies légères au développement de cancers, l'absorption de substances nocives peut causer des dommages, qu'elle soit de courte (aiguë) ou de longue durée (chronique). Les atteintes dues à une exposition chronique sont souvent liées à de très longues périodes de latence, typiques des substances cancérigènes (KOLLER, 2004). Les polluants peuvent atteindre l'homme par passage à travers la peau, ingestion (diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine; le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine D en cas de carence) ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires, le mercure et le plomb tétraéthyl peuvent être à l'état vapeur à température ambiante; quant aux particules, celles de diamètre supérieur à 20 μm sédimentent mais celle de diamètre compris entre 10 et 20 μm ont un impact sur le naso-pharynx, celle de diamètre compris entre 1 et 5 μm sédimentent dans la trachée, celles de diamètre inférieur à 1 μm atteignent les bronchioles et la circulation sanguine

(ANONYME 3).

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

La zone d'étude s'étend de la jonction de l'oued Cherf et l'oued Bouhamdène au lieu dit Mjez Amar jusqu'à la jonction oued Seybouse et Oued Meboudja d'une longueur de 80 km. C'est la plaine alluviale de la Seybouse. Elle est composée de trois ensembles bien individualisés :

- ✚ le bassin de la moyenne Seybouse, qui s'étend d'Est en Ouest sur une longueur de 20 Km, ayant une largeur maximum de 12 km. C'est une région montagneuse, formée d'une chaîne imposante.

- ✚ La plaine de Bouchegouf : dans cette région l'oued est plus large, la pente est douce, la largeur de la plaine prend de l'ampleur, elle passe de 12 km à 25 km et elle est orientée Nord-sud. Le dépôt sédimentaire devient très épais favorisant la diversité des cultures.

- ✚ La plaine de Drean El Hadjar : cette région se caractérise par une faible pente, un dépôt sédimentaire (alluviaunaire) très important, une texture fine et sa largeur dépasse 20 km. (GHACHI, 1986).

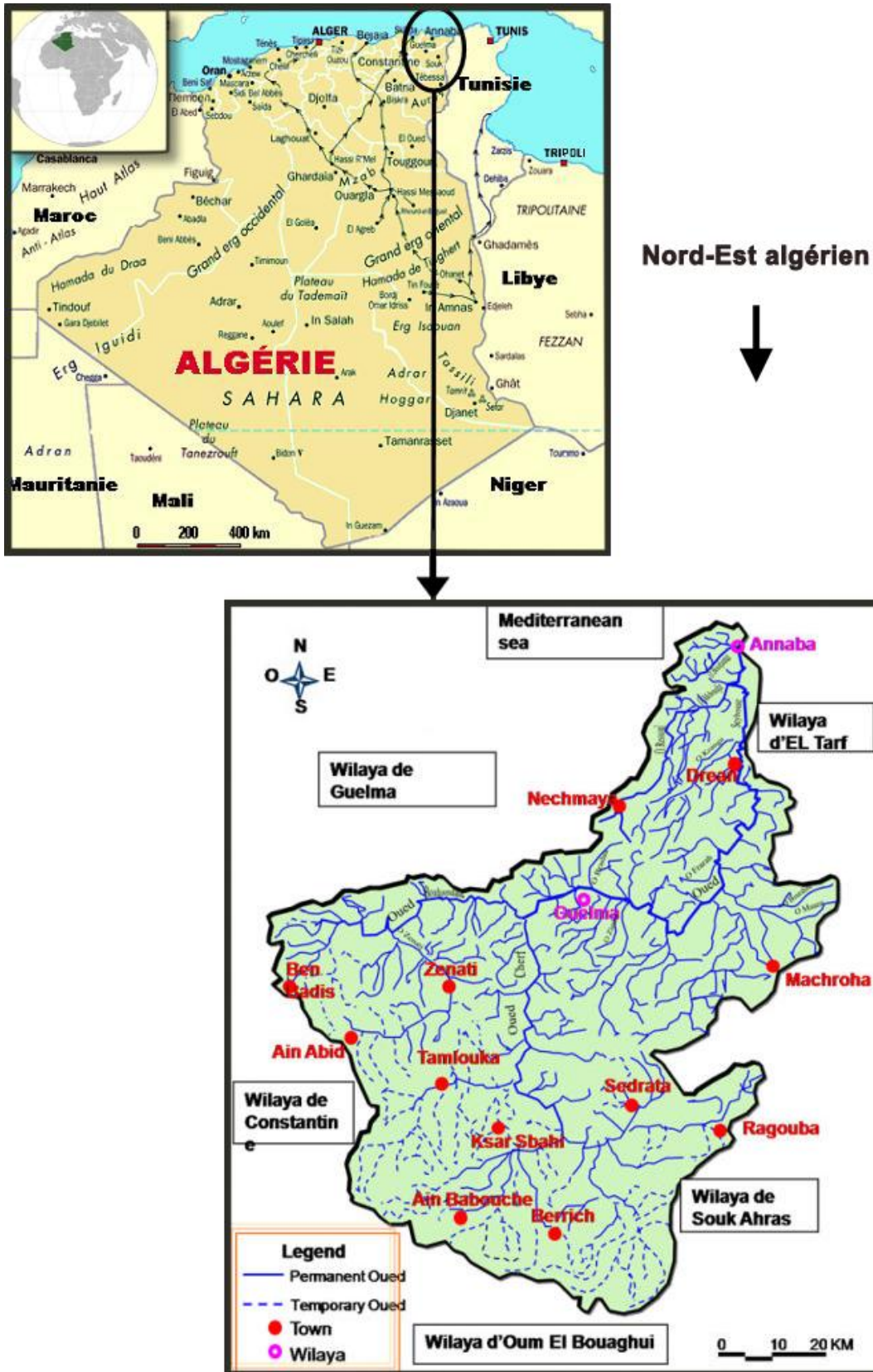


Figure n°1 : Situation géographique de l'Oued Seybouse (ANONYME 4)

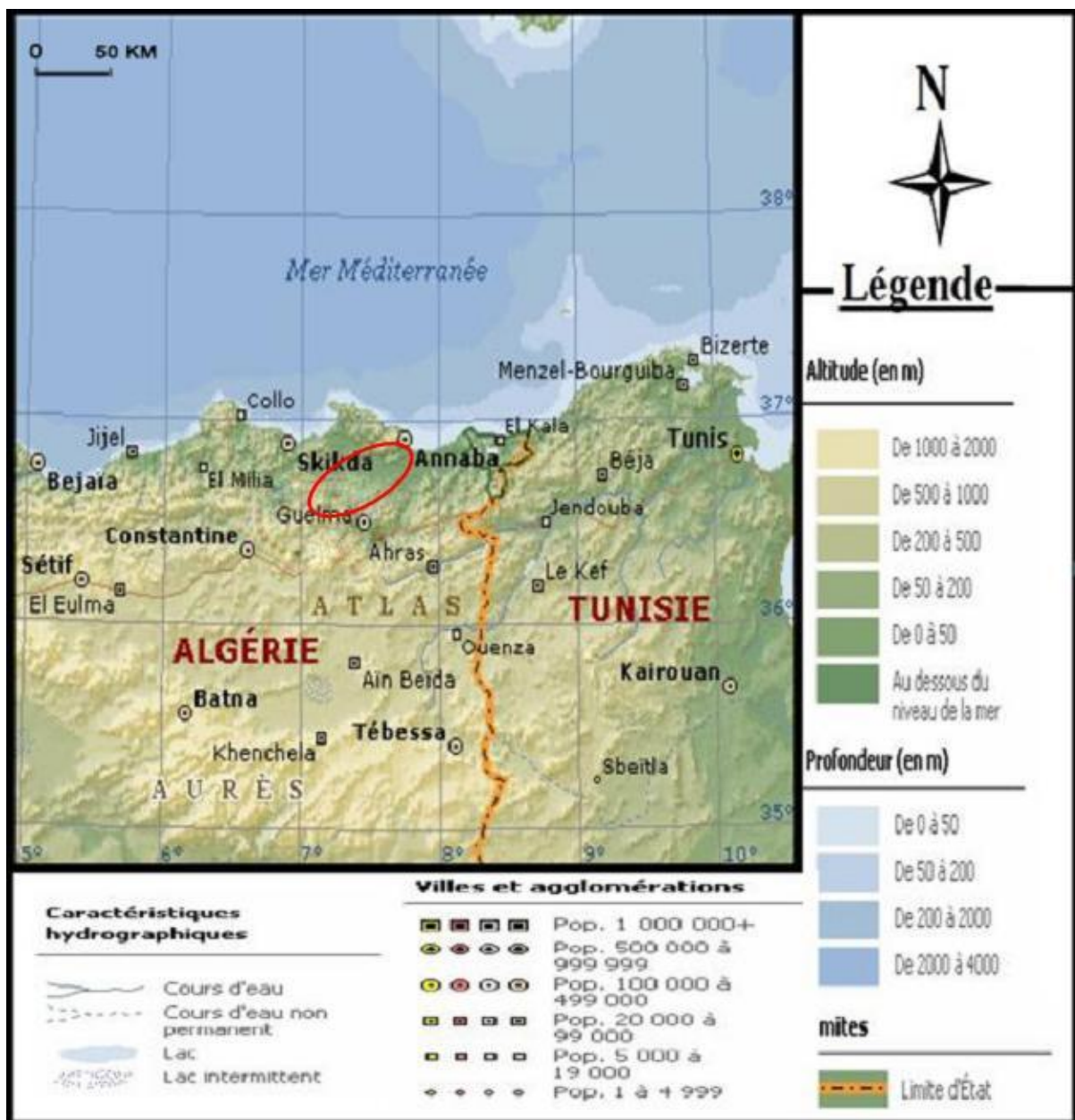


Figure n°2 : Position géographique de la zone d'étude (ENCARTA, 2005 in MEDJELEKH D., 2006)

— Délimitation de la zone d'étude.

1.2. Situation géologique

Les terrains affleurant dans la région de Guelma sont représentés par des formations allant du Néocomien au Plio-Quaternaire. L'étude stratigraphique de ces formations a été pour l'essentiel réalisée par : (DE LA CHAVANE, 1910 ; RAOULT J.F., 1973, VILA J.M., 1980 ; LAHONDER J.C., 1987 *in* GOUAIDIA L., 2008).

1.3. Tectonique de la région de Guelma

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des Hauts plateaux se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec le plus d'intensité les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie. Ces effets tectoniques se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud-est. Ces plis souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écaillés imbriquées. Ce phénomène de structure écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. (DE LA CHAVANE, 1910 *in* BOUKROUH F.)

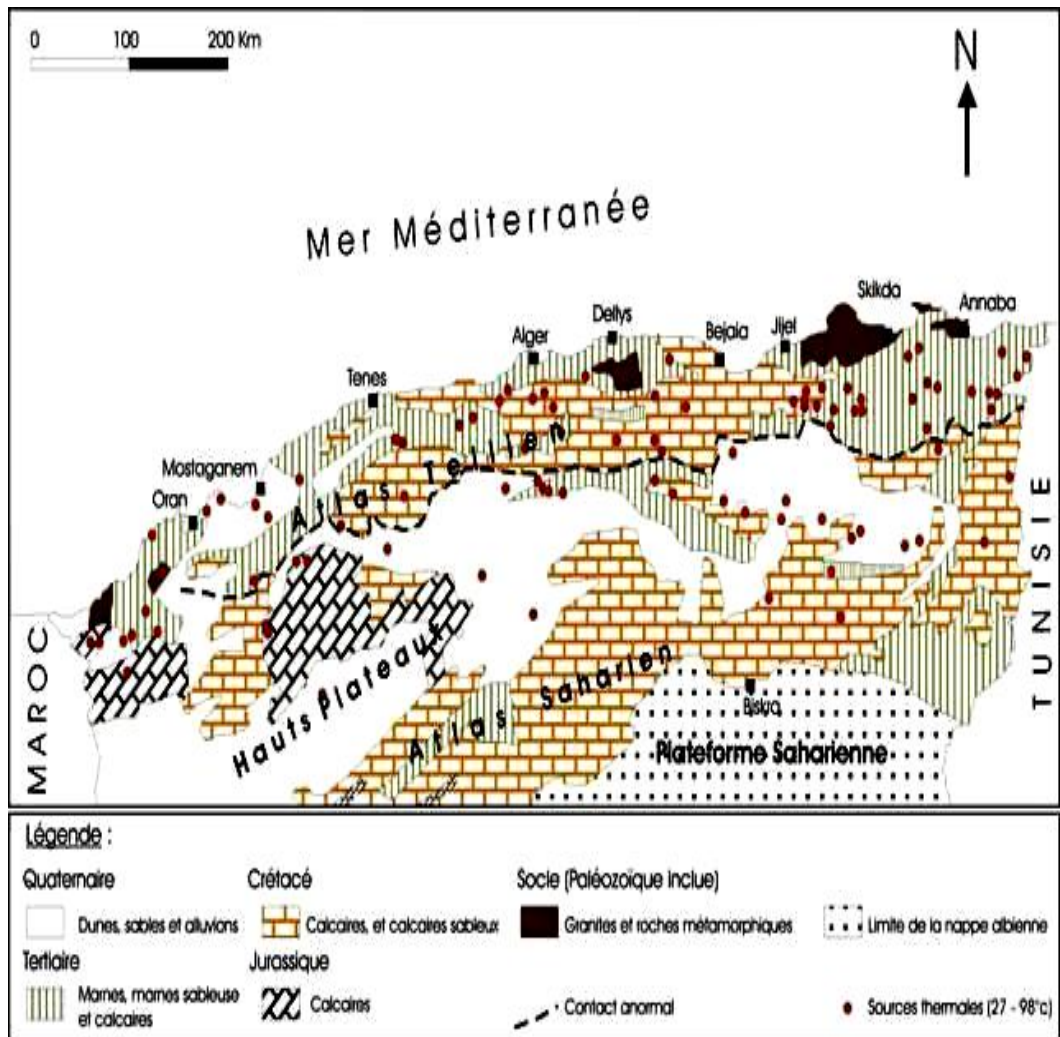


Figure n°3: Carte géologique de l'Est Algérien (Fekraoui and Kedaïd)

1.4. Lithologie

La région de Guelma s'inscrit dans le cycle de l'érosion, le principal agent modificateur est l'eau. Cette région présente des différents groupes lithologique qui dépendent des conditions climatiques, géologique et également de la tectonique :

- Roches résistantes : des dolomies noires jurassiques, calcaires et grés ;
- Roches moyennement résistants : marno-calcaire, conglomérat et marnes ;
- Roches meubles : marnes et argiles

Les principales formations superficielles observées dans cette région : éluvions, colluvions, alluvions, la haute terrasse, la moyenne terrasse et la basse terrasse (AGID *in* BOUCHIHEB M., 2001).

1.5. Climat

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus de 4/5 de sa superficie est désertique. D'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert. La classification climatique en Algérie (figure n°4) permet de distinguer quatre zones principales (MAZOUZ, 2004).

- **Zone A** : Littoral marin ;
- **Zone B** : Arrière littoral montagne,
- **Zone C** : Hauts plateaux ;
- **Zone D** : Pré-saharien et saharien

Le climat de Guelma est celui de l'arrière littoral montagne (Zone B). Déterminé par des hivers plus froids et plus longs et des étés chauds et moins humides que ceux du littoral.

L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avèrent utiles pour mieux caractérisé son climat.

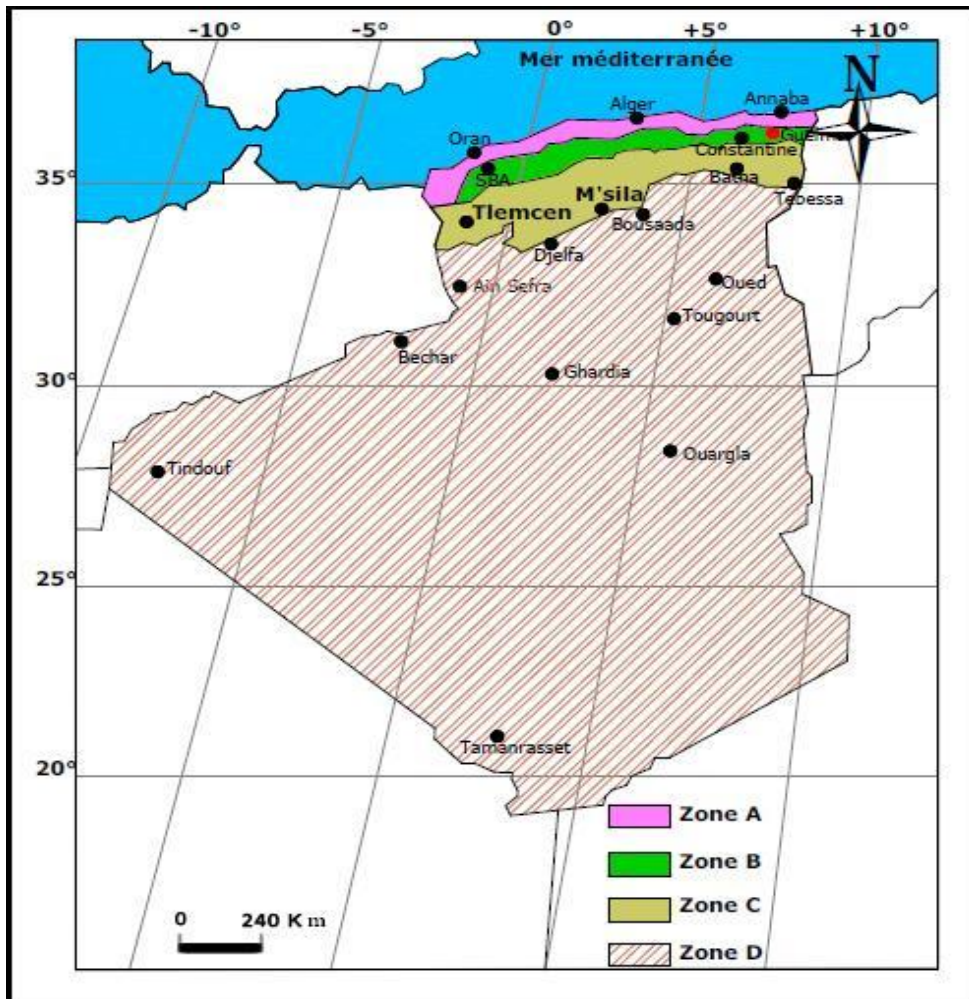


Figure n°4 : Classification du climat en Algérie (MAZOUZ, 2004)

A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes. D'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, et amplitude des extrêmes

absolues de températures quotidiennes (entre le maximum diurne et minimum nocturne) (Estienne et Godard, 1970 *in* BOUKROUH F.)

1.5.1. Température

L'interprétation des données météorologiques de Guelma, période 1995-2004 (Figure n°6) fait ressortir que la température annuelle moyenne est de 17.9°C avec 27.7°C en août (le mois le plus chaud) et 10°C en janvier (le mois le plus froid). Les extrêmes absolus enregistrés varient entre -3.5°C au mois de janvier à 47°C au mois de juillet. Les amplitudes mensuelles ne sont pas très contrastées comparées aux amplitudes annuelles qui dépassent les 31.6°C. Ce qui distingue la période chaude de la période froide.

L'amplitude diurne variée entre 15.4 et 20.4°C pendant les saisons fraîches.

1.5.2. Humidité

La moyenne mensuelle de l'humidité relative dépasse les 68.3 % avec une moyenne maximale de 94.2% et une moyenne minimale de 29.1%. Les valeurs des humidités moyennes maximales laissent penser à un climat humide ou sub- humide. D'après le calcul d'indice d'aridité de Martonne $I_m = P / T_m + 10$

$$I_m = 24.70, \text{ où } 20 < IDM < 30$$

Donc le climat de Guelma est un climat sub- humide.

1.5.3. Insolation

L'insolation totale mensuelle est considérable, d'une moyenne de 243.3 h avec un minimum 160.9 h enregistré en janvier et un maximum 353 h enregistré en juillet.

1.5.4. Vents

Les vents prédominants à Guelma sont d'une vitesse moyenne qui varie de 1.46 à 2m/s pour une moyenne annuelle de 1.80 m/s. Mais il est enregistré 36.2 j/an de Sirocco.

Les vents à Guelma sont de diverses directions. Ceux de Nord-Ouest avec une moyenne de 23.77%, ils atteignent leur maximum au mois de décembre et leur minimum au mois de juillet avec 10.36%. A l'inverse les vents Nord-est sont plus fréquents au mois de juillet, avec un maximum de fréquences entre les mois d'octobre et février. Enfin le sirocco se manifeste au Nord plus qu'au Sud de la région, surtout en juillet de 6 à 7 jours en moyenne. C'est un vent chaud et desséchant très néfaste pour les cultures.

1.5.5. Précipitations

La répartition des précipitations à Guelma est marquée par une durée de sécheresse durant l'été, avec un minimum de 2.6mm enregistré en juillet. Le reste des saisons est marqué par des précipitations considérables. Le total annuel est de 688.3 mm avec un maximum de 137.7 mm enregistré en décembre. Près de 57% de la pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide.

1.5.6. Diagramme ombrothermique de Guelma

Le diagramme ombrothermique de Guelma (Figure n°5), fait distinguer deux périodes : La première froide et humide où la courbe de précipitations est au dessus de celle des températures. La seconde est considérée chaude et sèche. La période humide débute d'octobre à avril et la période sèche s'étale de mai à octobre.

1.5.7. Evaporation

L'évaporation mensuelle atteint un maximum de 186.8mm au mois de juillet et un minimum de 49.6mm en février. L'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée est de l'ordre de 994 mm (ZEDDOURI A., 2003)

1.6. Microclimat

Le territoire Guelmois se caractérise par un microclimat sub-humide au centre et au Nord, et semi aride vers le Sud. La diversité des microclimats (figure n°7) est due à l'influence de plusieurs paramètres qui participent simultanément, surtout à l'élévation du taux d'humidité comme son rapprochement par rapport à la mer (60Km), la présence de oued Seybouse, le

massif forestier intense, les sources thermales et les barrages (DPAT, 2004 In BOUCHIHEB M., 2001).

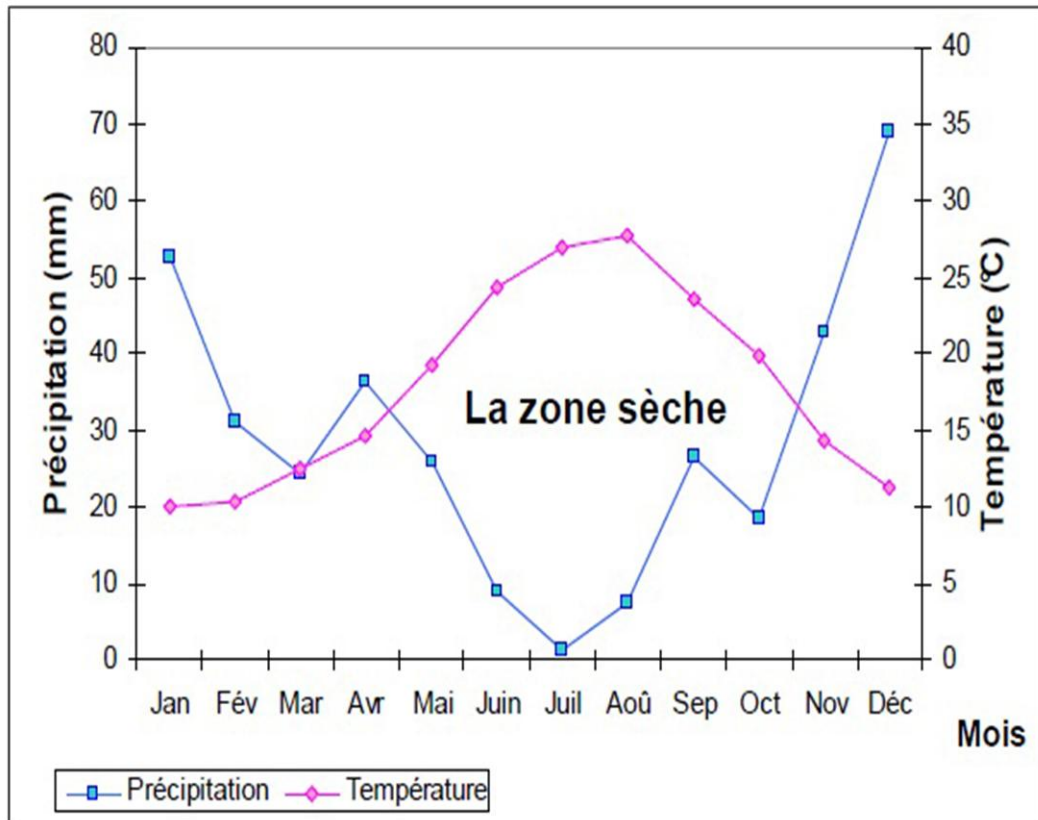


Figure n°5 : Diagramme ombrothermique de la région de Guelma

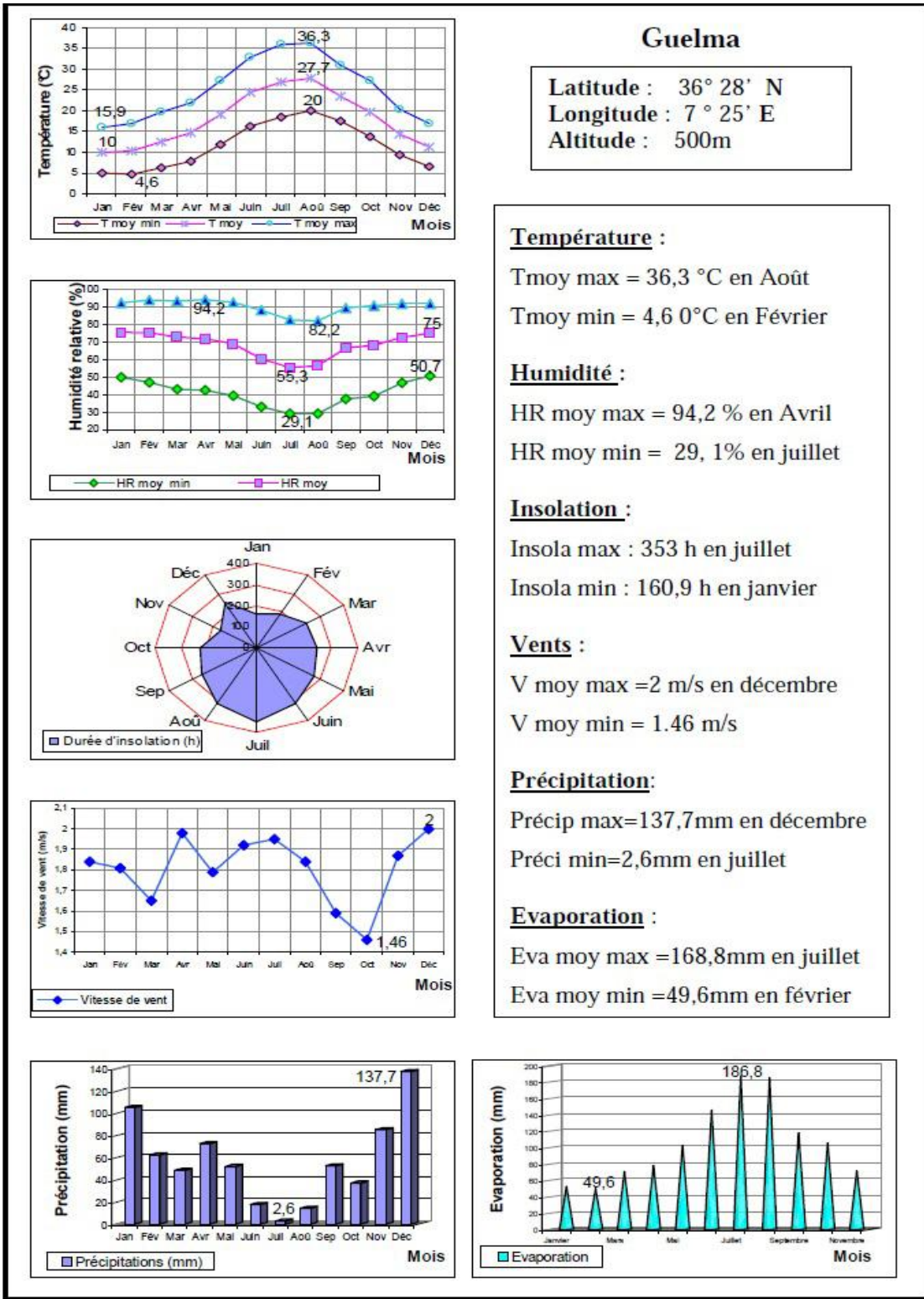


Figure n°6: Interprétation des données météorologiques de la région de Guelma période 1996-2004 (Météo, 2004 in Medjelekh, 2006)

D'une vocation essentiellement agricole, Guelma recèle un important potentiel. Avec 266.000 Ha de surface agricole totale, soit 72,15 % de la superficie totale. La surface agricole utile est de près de 186.122.Ha.

Une superficie de pacages et parcours de 53.473 Ha, soit 14,50 % de la superficie totale de la wilaya et 20,10 % de la SAT. Les terres improductives de 26.405 Ha, soit 7,16 % de la superficie totale de la Wilaya et 9,92 % de la S.A.T. La superficie irrigable est près de 17.343 Ha, soit 9,35 % de la SAU. (S.A.G, 2004 *in* BOUCHIHEB M., 2001)

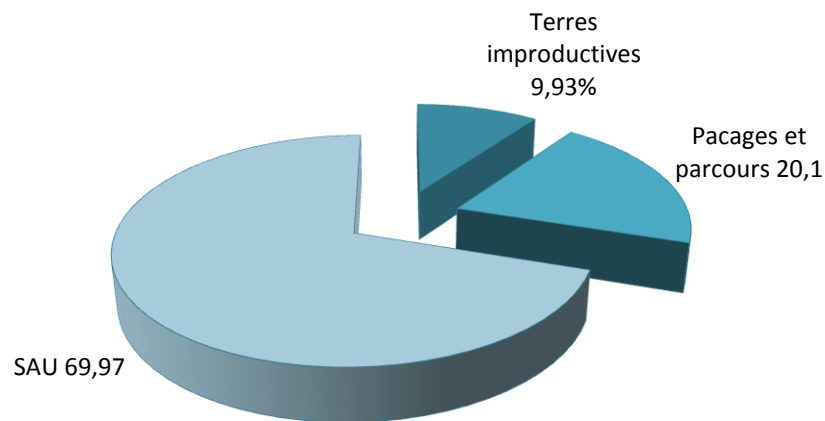


Figure n°8 : Répartition de la superficie agricole/STA de la région de Guelma (SERVICES AGRICOLES DE GUELMA, 2004 *in* BOUCHIHEB M., 2001)

1.8. Occupation des sols et choix de l'espèce végétale

Les sols qui avoisinent l'oued Seybouse sont essentiellement à vocation agricole, de nombreux types de cultures sont présents : cultures fruitières, cultures maraîchères, céréaliculture, cultures industrielles... mais nous avons remarqué que la tomate était cultivée tout au long de l'oued, c'est pour cette raison que nous l'avons choisis pour notre étude.

La tomate *Lycopersicum esculentum L.*, seconde culture maraîchère en Algérie après la pomme de terre, est originaire de l'Amérique du sud : Bolivie, Mexique et Pérou (LAUMMONIER, 1979). Elle a connu un développement considérable depuis XIX^{ème} siècle, et cela dans tous les pays du monde (BOURGEOIS, 1999).

Plusieurs études ont été réalisées sur la tomate afin de mettre en évidence l'effet des métaux lourds sur différents paramètres physiologiques (croissance, respiration,), biochimiques (protéines, chlorophylle, activités enzymatiques, ...) et agronomiques, mais notre choix a pour but principalement d'étudier son effet accumulateur et sa capacité de concentrer quelques toxiques dans l'un de ses parties qui seront récoltées et consommées.

1. Techniques d'échantillonnage

La Seybouse est considérée parmi les oueds les plus importants à l'échelle nationale en termes de superficie, son eau est utilisée par les agriculteurs pour irriguer leurs cultures et il est également un drain pour les eaux usées d'un ensemble de villes et de villages, ce qui

augmente sa charge polluante. L'oued Seybouse traverse plusieurs zones et contribue soit à leur épuration soit à leurs contaminations ce qui fait de lui un distributeur de pollution.

Dans le but de connaître ce rôle nous avons réalisé un échantillonnage le long d'un transect de 80km de longueur (figure n°9) qui commence à la jonction des deux affluents (Oued Cherf et Oued Bouhamdène) et qui se termine au niveau de la jonction Oued Meboudja et Oued Seybouse.

Treize stations ont fait l'objet d'une description et d'un prélèvement dans le même jour et dans la même période (mois d'Avril) de sols d'eau et de végétaux (Tableau n°11)

Tableau n° 11 : Stations étudiées

N° station	Non	Source probable de pollution
1	Salah Salah Salah	Domestique, Agricole
2	El Fdjoudj	Domestique, Agricole
3	Boumahra	Industrielle, Agricole
4	Djbellah Khmisi	Domestique, Agricole
5	Bni Mezline	Domestique, Agricole
6	Bouchegouf	Industrielle, Agricole
7	Bouchegouf	Gare ferroviaire, Agricole
8	Bouaroua	Domestique, Agricole
9	oued Fragha	Domestique, Agricole
10	Boukemouza	Domestique, Agricole
11	Chihani	Le projet de l'autoroute, Agricole
12	Drean	Le projet de l'autoroute, Domestique
13	El Hadjar	Industrielle, domestique

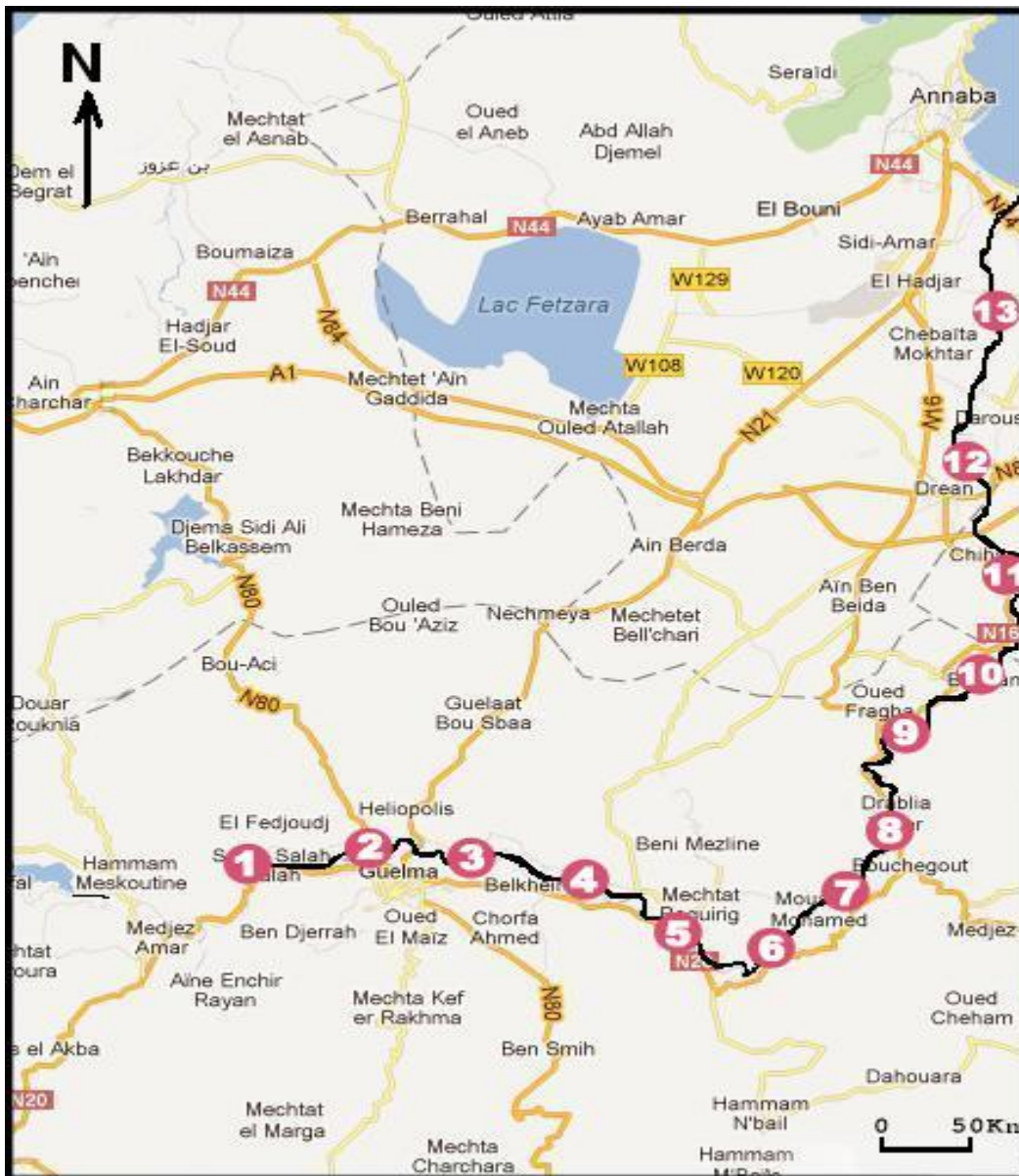


Figure n° 9: Localisation géographique des sites d'échantillonnage (ANONYME 4)

2. Prélèvement des échantillons

L'échantillonnage a été basé sur le prélèvement d'un végétal cultivé qui est la tomate (une plante mûre) ainsi que le sol sur lequel elle était cultivée (1kg à 15cm de profondeur), et l'eau par laquelle elle était irriguée durant sa culture (bouteille de 1,5L à partir de l'oued lui-même ou bien la source d'irrigation). Les échantillons représentatifs ont été prélevés manuellement.

3. Préparation des échantillons

2.4.1.1. Préparation du sol

Le sol pris d'une parcelle agricole a été séché à l'air libre pendant quelques jours, puis broyé et tamisé à 2mm de diamètre, et conservé dans des sacs en plastique bien fermé dans un endroit sec et propre.

2.4.1.2. Préparation de l'eau

L'eau prélevée a été filtrée à l'aide du papier filtre et congelée dans des bouteilles hermétiquement fermées.

2.4.1.3. Préparation du végétal

Quant au végétal, le fruit était séparé de la partie verte, les deux parties étaient séchées à l'air libre pendant quelques jours puis à l'étuve pendant 24h, grossièrement broyées et conservées dans des boîtes en plastique hermétiquement fermées dans un endroit sec et propre.

1. Analyses effectuées sur le sol

1.1. Paramètres physico-chimiques effectués sur le sol

Sur la fraction broyée et tamisée nous avons effectué des paramètres physico-chimiques, et sur la fraction non traitée, nous n'avons effectué qu'une seule analyse qui est la densité apparente.

1.1.1. La porosité

La partie de l'espace porale qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalicules est appelée la porosité structurale, et elle comprend deux paramètres, la densité apparente D_a et la densité réelle D_r (Delaunois, 1976).

La densité apparente (D_A)

Sachant que la densité apparente des sols varie entre $1,00 \text{ g/cm}^3$ et $1,80 \text{ g/cm}^3$. (KAURICHEV, 1980 in BOUDJEMAA, 2007), elle représente la masse totale de l'agrégat/volume total de l'agrégat ; La « D_A » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (DUTHIL, 1970 in BOUDJEMAA, 2007).

Mettre un agrégat de sol (10 à 15 g), dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C , l'entourer d'un fil à coudre de poids négligeable puis peser l'agrégat (P_1), plonger l'agrégat dans une solution de paraffine dissoute, pendant 5 à 10 minutes, peser l'échantillon avec la paraffine, replonger l'agrégat enrobé de paraffine dans une éprouvette de 100 ml contenant un volume connu (V_t) d'eau distillée et noter la différence. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Densité apparente (g/cm}^3\text{)} = \text{Masse de l'échantillon} / \text{Volume de l'échantillon}$$

La densité réelle (D_R)

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, et représente la masse du solide / le volume du solide, elle est généralement entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ et $2,6 \text{ g/cm}^3$. (MOREL, 1989). Elle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Densité réelle (g/cm}^3\text{)} = \text{Masse du sol} / \text{Volume du sol}$$

Donc la **Porosité** est le rapport du volume des vides au volume total, elle peut être exprimée par la formule suivante

$$\text{Porosité (\%)} = (1 - \text{Densité apparente} / \text{Densité réelle}) \times 100$$

1.1.2. La granulométrie

L'analyse granulométrique d'un sol, consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. On sépare par les analyses de sol, les particules en trois classes distinctes : soit sable (de 2 à 0,05 mm), le limon (de 0,05 à 0,02 mm) et l'argile (inférieure à 0,002 mm). (DAMAY et JULIEN, 1995 *in* MEDJELEKH D., 2006).

Cela nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, comme la capacité des racines qui y pénètrent, la capacité du sol à retenir l'eau, ou sa vulnérabilité à la compaction. (CALVET, 2003) ; Et donc la granulométrie est effectuée selon la méthode internationale,

Le prélèvement des argiles et des limons fins a été effectué à l'aide de la pipette Robinson, les sables fins et grossiers ont été récupérés par tamisage, les limons grossiers ont été déduits par différence. (OUMERZOUK ET BOUHARAS, 1993).

Les principales classes texturales (selon le triangle textural de l'USDA)

Pour définir la texture de la fraction de terre fine, on s'est servi du diagramme triangulaire représenté ci-dessous. La méthode du triangle textural se fonde sur la classification granulométrique de l'USDA, qui répartit les particules de la façon suivante :

- Le limon regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre 0,002 et 0,05 mm
- L'argile comprend toutes les particules dont le calibre est inférieur à 0,002 mm. (BONNEAU ET SOUCHIER, 1994)

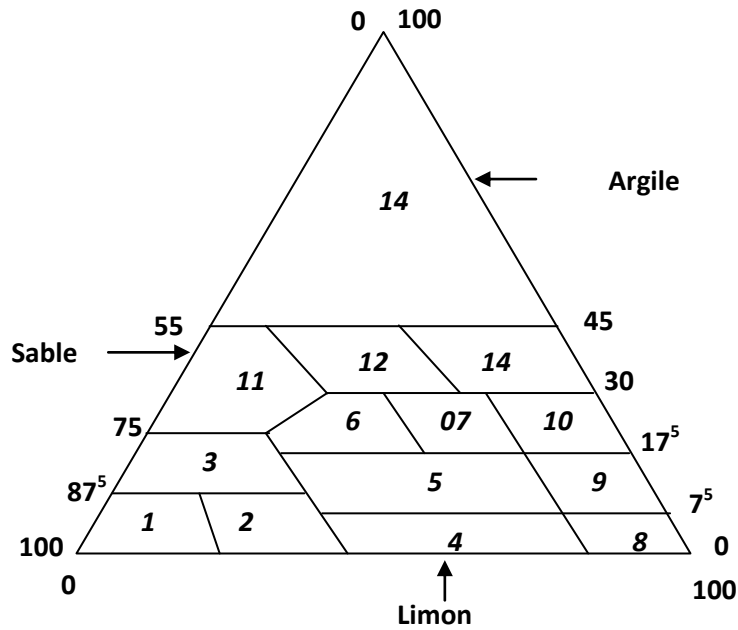


Figure n°10 : Diagramme de texture (JAMAGNE, 1980)

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| 1. Sable | 8. Limon léger |
| 2. Sable limoneux | 9. Limon moyen |
| 3. Sable argileux | 10. Limon argileux |
| 4. Limon léger sableux | 11. Argile sableuse |
| 5. Limon moyen sableux | 12. Argile |
| 6. Limon sableux argileux | 13. Argile limoneuse |
| 7. Limon argilo-sableux | 14. Argile lourde |

1.2. Paramètres physiques effectués sur le sol

1.2.1. Le pH

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il existe plusieurs méthodes de mesure du pH (DAJOZ, 1985)

Tableau n°12: La gamme de pH des sols

pH	Désignation des sols
3 - 4,5	Extrêmement acides
4,5 – 5	Très fortement acides
5 – 5,5	Très acides
5,5 – 6	Acides
6 – 6,75	Faiblement acides
6,75 – 7,25	Neutres
7,25 – 8,5	Alcalins
> 8,5	Très alcalins

(GAUCHERS ET SOLTSER, 1981)

Le pH_{EAU}

C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre/eau normalisé (1/5), il indique aussi la concentration en ions « H⁺ » présente dans l'eau (Morel, 1986). La lecture du pH se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée et après un repos au moins d'une heure de la suspension. (BEN AMARA, 2007).

Le pH_{KCl}

Il exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expression des degrés de saturation du complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Dans notre étude, nous avons mesuré l'acidité d'une suspension de chlorure de potassium (KCl 1N), avec un rapport terre /solution normalisé. (DELCOUR, 1981).

1.2.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la mesure du degré de la salinité du sol étudié. La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol/eau=1/5) à l'aide d'un conductimètre (DELAUNOIS, 1976). Les valeurs sont comparées à une étude de salinité.

Tableau n°13 : Echelle de salinité du sol

Conductivité électrique (µs/cm)	Salure
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salés

(USSL, 1981)

1.3. Paramètres chimiques effectués sur le sol

1.3.1. L'humidité hygroscopique (H)

L'humidité hygroscopique représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles.

C'est la quantité d'eau retenue à la surface externe des particules du sol et en équilibre avec la pression et l'humidité atmosphérique. Son évaluation passe par un séchage à l'air libre puis un séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C (BENSLAMA, 2005).

1.3.2. La matière organique (MO)

Elle est réalisée par incinération après passage au four à moufle à 450°C pendant 4h, elle est exprimée en pourcentage du poids sec de la terre. (BENSLAMA-ZANACHE, 1998)

1.3.3. Les éléments métalliques trace ETM (Pb, Cu, Zn, Cd)

Les teneurs du sol en plomb, cuivre, zinc et cadmium ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique.

2. Analyses effectuées sur l'eau

2.1. Paramètres physico-chimiques réalisés dans l'eau

Après la filtration, l'eau a été conservée au congélateur dans des bouteilles hermétiquement fermées, afin d'effectuer les paramètres suivants :

2.1.1. Le pH

Le pH indique la concentration en ions H^+ présents dans l'eau ; pour mesurer le pH nous avons utilisé un pH-mètre qui a été étalonné avec 2 solutions (acide, basique)

2.1.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est liée à la présence des ions et augmente avec la température et la concentration en sels dissous, elle est mesurée par un conductimètre étalonné et les valeurs sont en micro-siemens par centimètre ($\mu s/cm$) (CHAMPIAT, ET LARPENT, 1994)

2.2. Paramètres chimiques effectués sur l'eau

2.2.1. Matière en suspension (MES)

Se sont des particules visibles à l'œil nu qui contribuent à la turbidité de l'eau, elles sont mises en suspension par l'action de la turbulence, et seulement une fraction est décantée lorsque l'eau devient dormante.

La quantification des matières en suspension se fait par filtration de l'eau, la détermination du poids des matières retenues à l'aide du papier filtre se fait par pesées différentielles.

Le papier filtre est mis à l'étuve à la température de $105^{\circ}C$ pendant une heure, puis au dessiccateur pendant environ 30 minutes.

Peser le papier filtre avant filtration de l'échantillon (P_0) à un volume (V) de 1 litre, et le mettre à nouveau à l'étuve pendant une heure et puis au dessiccateur jusqu'à refroidissement, le peser à nouveau (P_1). (AFNOR N° 90-101)

$$\text{MES} = (P_1 - P_0) \times 100 / V$$

2.2.2. Résidus secs

Après avoir récupéré la matière en suspension à l'aide d'un papier filtre, les incinérer dans un four à moufle à température de 480°C

2.2.3. Les éléments traces métalliques ETM (Pb, Cu, Zn, Cd)

Les teneurs de l'eau en plomb, cuivre, zinc et cadmium ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique.

3. Paramètres physiologiques effectués sur le végétal

3.1. Détermination du rapport matière sèche /matière fraîche (MS / MF)

Après avoir prélevé des échantillons frais, nous avons pesé 1g de ces échantillons (matière fraîche MF) puis mis à l'étuve à 105°C pendant 72h, enfin ces derniers sont repesés pour déterminer la matière sèche MS, ainsi le rapport suivant est établi :

$$\text{MS / MF}$$

3.2. Dosage de la chlorophylle

La teneur en chlorophylle a été déterminée par la méthode traditionnelle de (HOLDEN, 1975). Pour traitement, à partir de la feuille étendant, on pèse 1g de végétal, qui est coupée en petits morceaux et broyée dans un mortier avec 25ml d'acétone ($\text{CH}_3\text{COHCH}_3$) titré à 80% et avec une pincée de carbonate de calcium (CaCO_3).

Après filtration la solution est mise dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre. La lecture se fait aux deux longueurs d'onde 645 et 663nm, les valeurs obtenues sont multipliées par 25, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% et en se basant sur la formule de (ARNON, 1949):

$$\text{Chl.a} = 12.7 (\text{D.O663}) - 2.69 (\text{D.O645})$$

$$\text{Chl.b} = 22.9 \text{ (D.O645)} - 4.68 \text{ (D.O663)}$$
$$\text{Chl.a+Chl.b} = 8.02 \text{ (D.O663)} + 20.2 \text{ (D.O645)}$$

3.3. Dosage de la proline

La technique utilisée pour le dosage de la proline est celle de (MONNEVEUX *et* NEMMAR, 1986 *in* AOUADI A., 2006).

On pèse 0.1g du végétal, coupé en petits morceaux et introduit dans un tube à essai, au quel on ajoute 2ml de méthanol à 40%, l'ensemble est ensuite chauffé au bain-marie à 80°C pendant 60 minutes, les tubes sont bien fermés pour éviter la volatilisation de l'alcool.

Après refroidissement, on prélève 1ml d'extrait, auquel est ajouté 1ml d'acide acétique (CH₃COOH) ,1ml du mélange modifié contenant (120ml d'eau distillée+ 300ml d'acide acétique+ 80ml d'acide ortho-phosphorique (H₃PO₄ densité 1.7 et 25mg de ninhydrine).

Les solutions sont portées à ébullition pendant 30minutes, elles virent au rouge, après refroidissement, on ajoute 5ml de toluène, après agitation deux phases se séparent :

- Phase inférieure sans proline
- Phase supérieure qui contient la proline. Cette phase est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'anhydre (Na₂SO₄).

Enfin, on procède à la détermination des densités optiques des échantillons à la longueur d'onde 528nm, après étalonnage de l'appareil par le mélange.

Les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalonnage suivant l'équation suivante :

$$Y = 0,0439 X - 0,0543636$$

X : Concentration en proline (µg/g)

Y : Densité optique (nm)

3.4. Dosage des sucres totaux

Les sucres sont dosés par la méthode de Shields et Burneit,1960 (*in* BOUKROUH F.)

qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique, l'extraction se fait après macération de 0,1g de végétal dans 3ml d'éthanol à 80% pendant 48 heures.

Ensuite, les tubes sont passés dans un rotavapeur jusqu'à l'évaporation complète de l'alcool, puis on ajoute 20ml d'eau distillée. On prélève 2ml de la solution à analyser en lui ajoutant 4ml du réactif de l'anthrone (20g d'anthrone pure + 100ml d'acide sulfurique pur ayant une densité de 1,84). Les tubes sont ensuite placés dans un bain-marie à une température de 62°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) pendant 8minutes, dès que les solutions virent vers le vert ou le bleu vert on arrête la réaction par le refroidissement des tubes en les mettant dans un nouveau bain-marie de glace.

Enfin, lire au spectrophotomètre à 585nm après repos à l'obscurité pendant 30 minutes, et les quantités des sucres totaux étaient exprimées selon l'équation obtenue à partir de la formule suivante :

$$Y = 0,0096255X - 0,084$$

X : quantité de sucre ($\mu\text{g/g}$)

Y : Densité optique (nm)

3.5. Les éléments métalliques traces ETM (Pb, Cu, Zn, Cd)

Les teneurs du végétal en plomb, cuivre, zinc et cadmium ont été déterminés par absorption atomique à l'aide d'un spectrophotomètre.

1. Résultats des analyses du sol

Les mesures des paramètres physiques, physico-chimiques et chimiques effectuées sur les échantillons du sol ont permis d'obtenir les résultats suivants :

1.1. Caractères physiques

Les paramètres physiques déterminés sur nos échantillons du sol sont : la porosité et la granulométrie.

1.1.1 Mesure de la porosité (%)

La détermination de la porosité du sol nécessite l'évaluation de la densité apparente et de la densité réelle.

Densité réelle (g/cm³)

Déterminée par le protocole cité, les valeurs sont portées dans le tableau n°14

Tableau n°14 : Evaluation de la densité réelle selon les sites d'étude

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
D_r (g/cm ³)	2,61	2,36	2,51	2,63	2,61	2,46	2,36	2,31	3,06	2,60	2,45	2,55	2,42

Densité apparente (g/cm³)

Déterminée par le protocole cité, les valeurs sont portées dans le tableau n°15

Tableau n° 15: Evaluation de la densité apparente selon les sites d'étude

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
D_{app} (g/cm ³)	1,46	1,72	1,92	1,94	1,58	1,94	1,69	1,89	1,84	1,93	1,93	1,85	1,79

Le calcul de la porosité selon la formule suivante :

$$\text{Porosité (\%)} = 1 - (D_{\text{app}} / D_{\text{r}}) \times 100$$

a permis d'obtenir les résultats mentionnés dans le tableau n°16

Tableau N°16 : Evaluation de la porosité selon les sites d'études

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P (%)	44,02	27,37	23,24	26,04	39,33	20,94	28,33	18,08	39,98	25,88	21,28	27,29	25,93

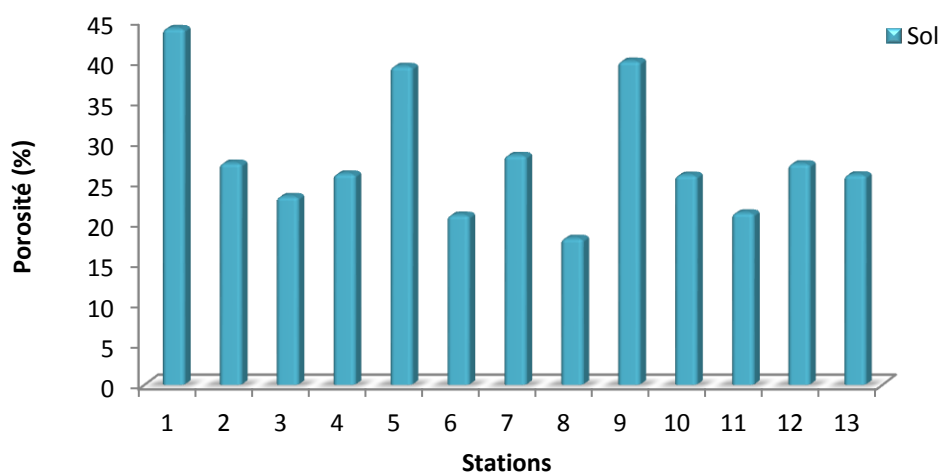


Figure n°11 : Variation du taux de la porosité du sol selon les stations étudiées

La porosité constitue le vide existant dans un sol, d'après les résultats obtenus il ressort que la majorité de nos sols ont une bonne porosité, mais il existe des sols plus poreux que d'autres. Ainsi les sols des régions de Salah, Beni Mezline et de l'oued Fragha sont des sols poreux avec une porosité allant de 39% jusqu'à 44%, tandis que le sol de Boudaroua et le moins poreux (18%).

1.1.2. Mesure de la granulométrie du sol (%)

La granulométrie permet la séparation des constituants minéraux du sol, et par conséquent les classer selon leur structure dans le tableau n°17

Tableau n°17 : Evaluation de la granulométrie et classification texturale des sols étudiés

N° Station	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Classe texturale
1	38,25	39,6	12,8	Moyen sableux
2	36,86	37,6	15,2	Moyen sableux
3	49	29,6	16,8	Moyen sableux
4	55,32	31,1	11,6	Moyen sableux
5	40,5	43,6	11,6	Moyen sableux
6	40,79	44	8,4	Moyen sableux
7	38,62	45,2	13,6	Moyen sableux
8	66,56	25,8	1,8	Sable limoneux
9	54,22	24	13,6	Moyen sableux
10	61,9	14,8	24,4	Argile sableuse
11	36,37	35,2	25,2	Moyen sableux
12	22,49	53,2	18,8	Limon argilo-sableux
13	40,72	42	13,6	Moyen sableux

D'après le tableau (17), la majorité des sols étudiés sont moyennement sableux sauf celui du site de Chihani qui a une texture de sable limoneux, de Boukemouza ayant une texture d'argile sableuse et limon argilo-sableuse pour le sol de Drean.

La texture des sols de la région est dominé par les sables ce qui permet d'obtenir une bonne perméabilité.

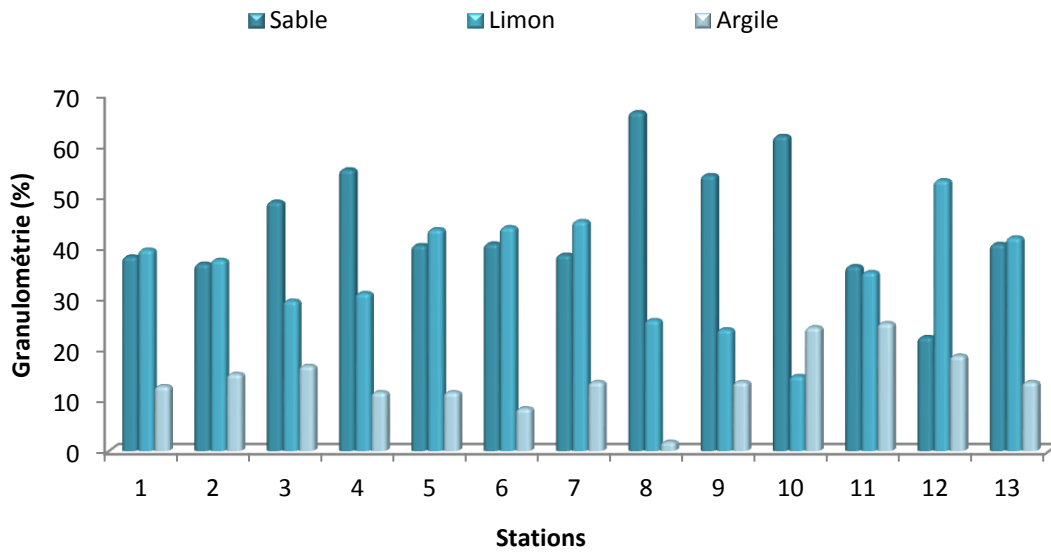


Figure n°12 : Variation de la granulométrie du sol selon les stations étudiées

Les valeurs obtenues montrent l'existence d'un certain équilibre entre les constituants minéraux du sol dans la région de Boumahra, Djbellah Khmisi et chihani, quant aux autres (Boudaroua, boukemouza et Drean) présentent des écarts considérables.

L'analyse granulométrique a montré la distribution granulométrique des sols selon la taille des particules, c'est ainsi que nous avons trouvé la dominance de la fraction grossière en amont de la séquence et la dominance de la fraction fine en aval.

Nous savons que de la porosité dépend de la vitesse de circulation des solutions, c'est chez les sols ayant une texture fine et une faible porosité que les risques d'accumulation des polluants est plus fort.

1.2. Caractères physico-chimiques du sol

Nos paramètres physico-chimiques effectués sur le sol des sites étudiés sont : l'acidité actuelle, l'acidité potentielle et la conductivité électrique.

1.2.1. Mesure du pH du sol

pH_{EAU} du sol

Le pH_{EAU} permet d'indiquer l'acidité actuelle du sol, les valeurs obtenues sont mentionnées dans le tableau n°18

Tableau n°18 : Evaluation de l'acidité actuelle du sol des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH_{EAU}	7,75	7,75	7,63	7,64	7,41	7,74	7,75	7,04	7,56	7,62	7,63	7,56	7,77

Toutes les valeurs sont comprises entre 7,04 et 7,77 ce qui indique que les sols sont neutres à légèrement alcalins.

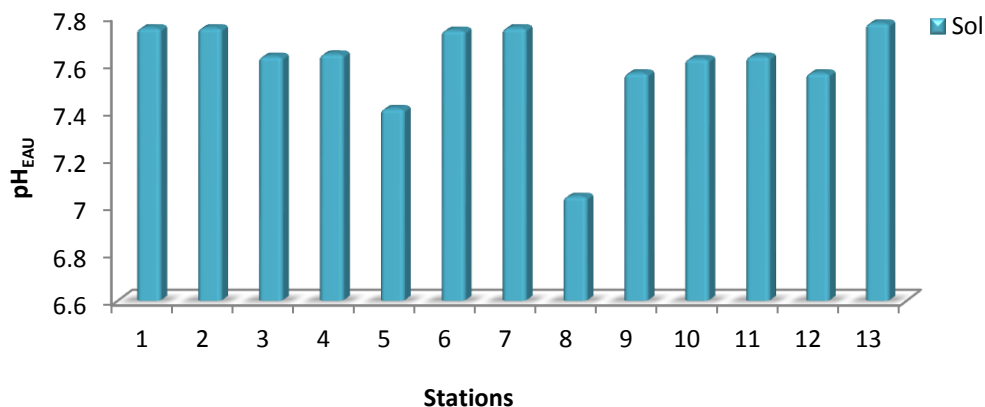


Figure n°13 : Variation de l'acidité actuelle du sol selon les stations étudiées

Le pH indique l'acidité d'une solution, c'est un élément important intervenant dans plusieurs phénomènes complexes. Les valeurs du pH dépassent 7,5 dans presque toutes les stations atteignant ainsi 7,77 à El Hadjar, ce qui indique l'alcalinité des sols, tandis qu'ils sont neutres à Boudaroua.

pH_{KCl} du sol

Le pH_{KCl} exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle (Tableau n°19), c'est un indice d'expérience du degré de saturation du complexe absorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés.

Tableau n°19 : Evaluation de l'acidité potentielle du sol des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH_{KCl}	7,67	7,91	8,09	7,94	7,14	7,71	7,95	6,95	7,91	8,33	7,92	7,91	7,84

Les valeurs du pH_{KCl} sont supérieures à celles du pH_{eau} , on note la plus faible au niveau de Boudaroua (6,95) et la plus forte à Boukemouza (8,33).

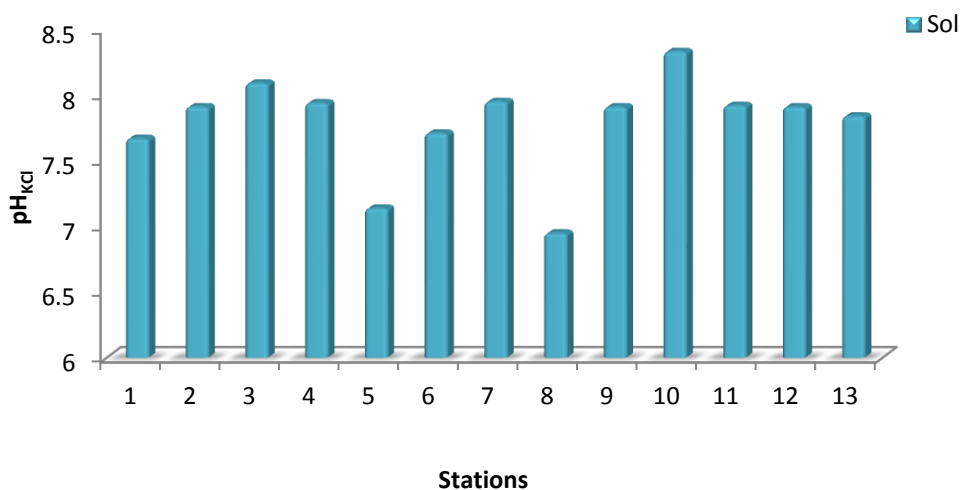


Figure n°14 : Variation de l'acidité potentielle du sol selon les stations étudiées

Le graphique suivant montre que les valeurs du pH_{KCl} de la totalité des sols étudiés évoluent dans le même sens que le pH_{eau} .

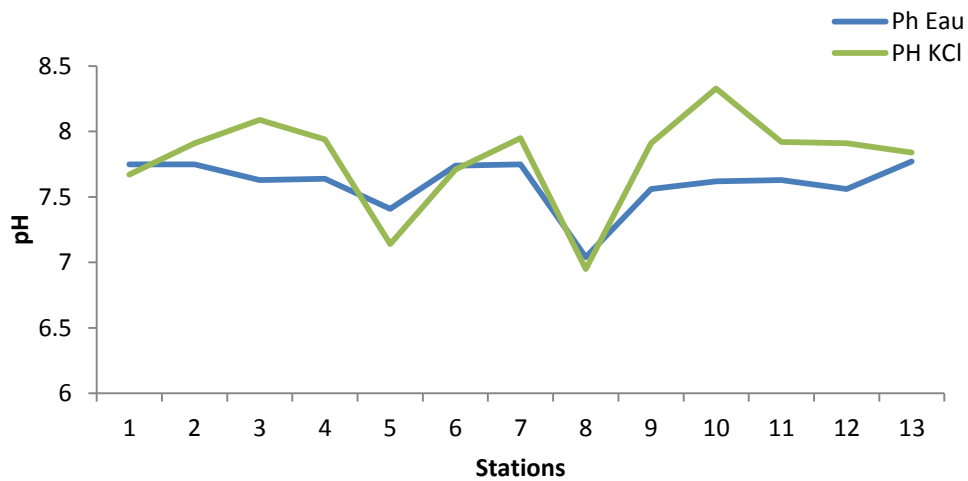


Figure n°15 : Relation pH_{eau} et pH_{KCl} selon les différentes stations étudiées

Cet accord entre les deux types du pH (eau, KCl) indique la saturation du complexe adsorbant et l'existence d'un équilibre entre l'acidité actuelle et celle résiduelle. Les résultats obtenus montrent que la majorité des sols ont un complexe adsorbant saturé en bases et réagissent peu aux variations de la solution du sol.

1.2.2. Mesure de la conductivité électrique du sol ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Les valeurs données par le conductimètre sont mentionnées dans le tableau n° 20

Tableau n°20 : Evaluation de la conductivité électrique du sol

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0,59	0,6	0,68	0,58	0,75	0,65	0,62	0,61	0,62	0,53	0,68	0,6	0,58

La conductivité électrique indique la salinité des sols, selon ces valeurs les sols sont peu salés à non salés.

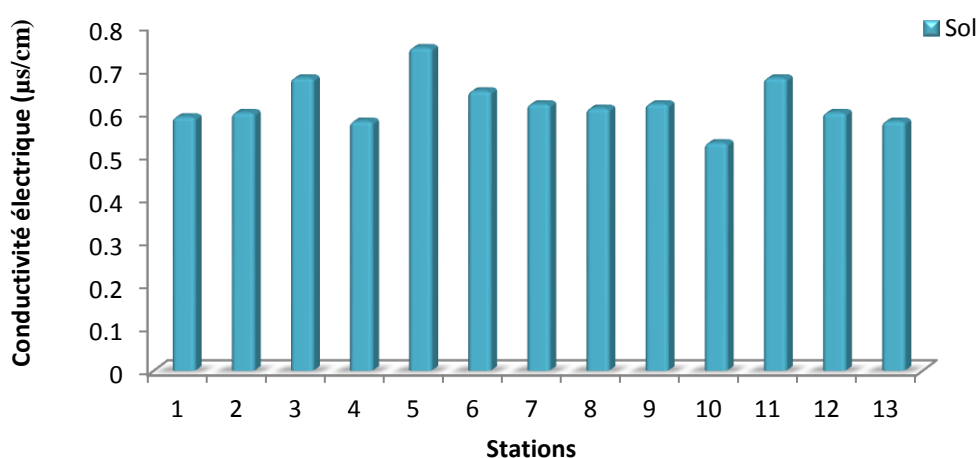


Figure n°16 : Variation de la conductivité électrique du sol selon les stations étudiées

La conductivité électrique (CE) constitue un indicateur de la concentration des sels solubles dans le sol. Les résultats des mesures effectuées sur le sol indiquent que la conductivité électrique varie entre 0,6 et 0,53 (Salah, El Fedjouj, Djebel Khmisi, Oued Fraga, Chihani et Drean) ce qui démontre que les sols ne sont pas salés, par contre, ils sont peu salés dans le reste des sites d'étude allant de 0,61 jusqu'à 0,75.

1.3. Caractères chimiques du sol

Les paramètres chimiques effectués sur le sol des sites étudiés sont : l'humidité hygroscopique, la teneur en matière organique et les éléments traces métalliques (ETM).

1.3.1. Mesure de l'humidité hygroscopique du sol (%)

La quantité d'eau retenue par le sol est exprimée dans le tableau n°21

Tableau n°21 : Evaluation de l'humidité hygroscopique du sol des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H (%)	6,2	4	2	1,8	3,8	5	3,2	1,6	2,8	1,4	3,4	4,4	4,8

L'humidité présente des fluctuations selon les stations étudiées avec 6,2% pour le sol le plus humide.

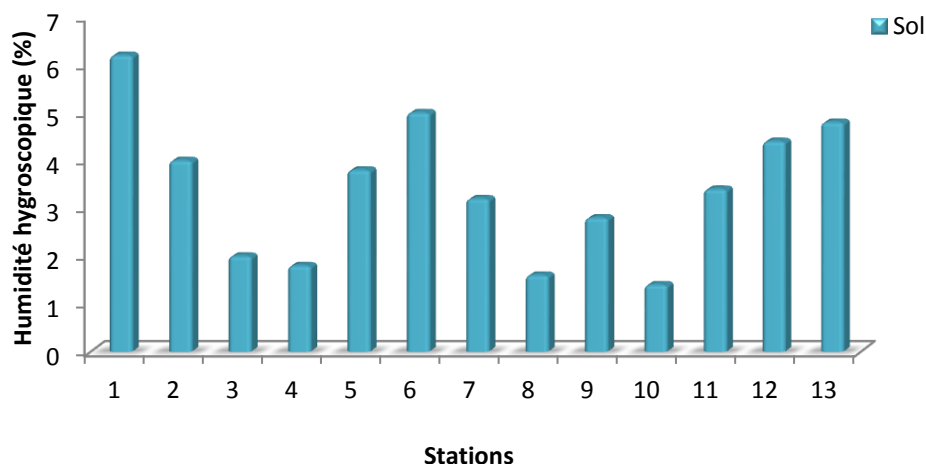


Figure n°17 : Variation de l'humidité hygroscopique du sol selon les stations étudiées

L'humidité hygroscopique constitue l'eau retenue par le sol soumettant à des conditions d'assèchement naturelles. La figure n°17 montre que l'humidité est importante au niveau du sol du site Salah (6,2%) et au niveau des sols de Bouchegouf, Drean et El Hadjar par rapport à d'autres sites qui sont beaucoup moins humides (Boumahra, Djbala Khmisi, Boudaroua et Boukemouza (2% - 1,8% - 1,6% - 1,4%).

1.3.2. Mesure des teneurs en matière organique du sol (%)

La teneur en matière organique des différents sols étudiés est mentionnée dans le tableau suivant.

Tableau n°22 : Evaluation des teneurs en matière organique du sol des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MO (%)	4,27	3,55	3,07	2,45	3,54	3,37	2,69	2,65	4,33	1,83	3,73	4,61	3,58

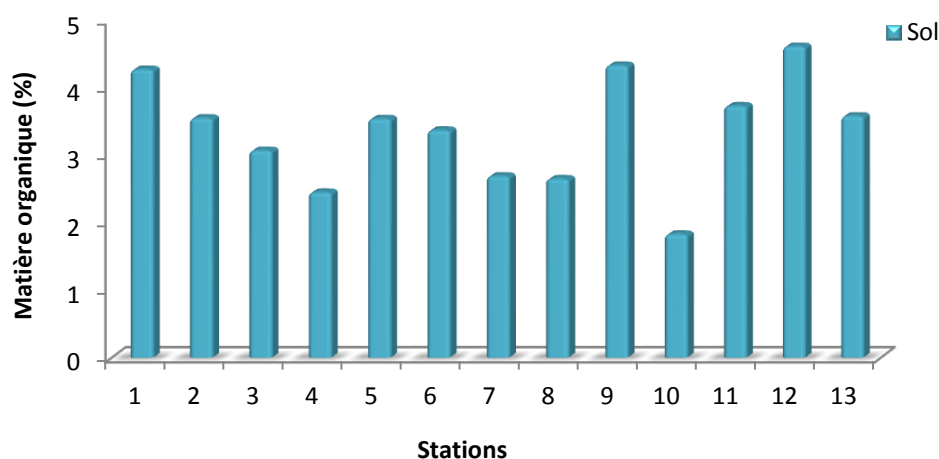


Figure n°18 : Variation des teneurs en matière organique du sol selon les stations étudiées

La figure n°18 montre que le sol de Boukemoussa présente un taux de matière organique assez faible (1,83%), les autres ont un sol moyennement riche, tandis que le sol des sites de Salah, oued Fragha et celui de Drean ont une teneur élevée en matière organique (4,27% - 4,33% - 4,61%). Pour des sols agricoles cette teneur en matière organique classe ces sols parmi les plus riches.

1.3.3. Mesure des teneurs en ETM dans le sol (ppm)

Les éléments traces métalliques que nous avons évalués sur le sol des sites étudiés sont : le plomb, le cuivre, le cadmium et le zinc, les valeurs acquises sont mises dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°23 : Evaluation des éléments traces métalliques dans le sol.

N° Station	Eléments évalués (ppm)			
	Pb	Cu	Cd	Zn
1	21,436	0,109	0,876	1,178
2	19,650	0,092	0,395	0,075
3	45,558	0,092	0,351	0,125
4	25,907	0,036	0,373	0,184
5	26,805	0,055	0,505	0,103
6	28,591	0,202	0,547	0,081
7	31,266	0,404	0,592	0,190
8	27,694	0,459	0,657	0,043
9	11,616	0,423	0,636	0,027
10	33,951	0,184	0,679	0,048
11	36,626	0,275	0,679	0,146
12	32,164	0,478	0,767	0,108
13	13,402	0,754	0,724	0,613

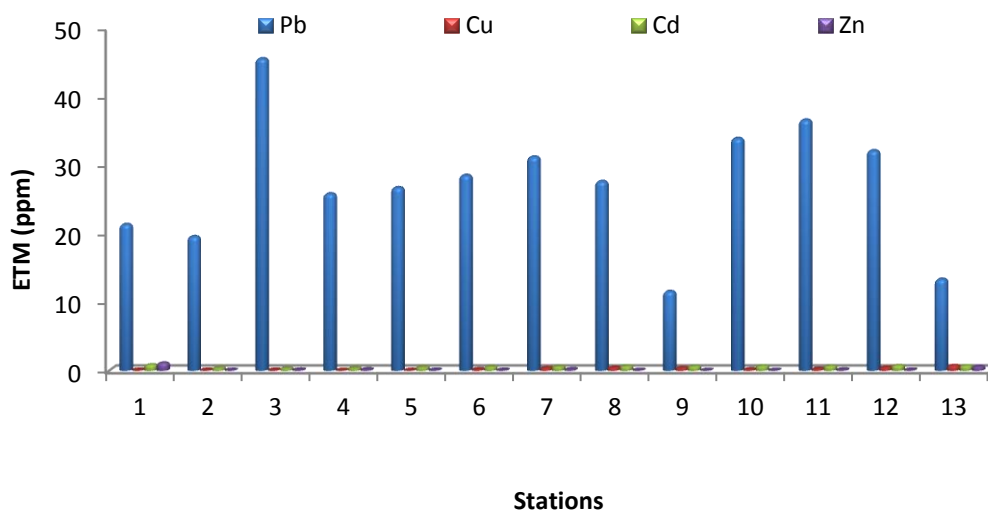


Figure n°19 : Variation des teneurs en ETM dans le sol selon les stations étudiées

Il ressort que le Pb est l'élément le plus fréquent, suivie par le Zinc puis le Cd et en fin le Cu ; mais sur le plan des stations, nous constatons que le site de Boumahra est plus pollué que les autres stations.

2. Résultats des analyses effectuées sur l'eau

Les mesures des paramètres physico-chimiques et chimiques effectuées sur les échantillons de l'eau ont permis d'obtenir les résultats suivants :

2.1. Caractères physico-chimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques effectués sur l'eau des sites étudiés sont : le pH et la conductivité électrique.

2.1.1. Mesure du pH de l'eau

Les valeurs recueillies par le pH-mètre sont mentionnées dans le tableau (24)

Tableau n°24 : Evaluation du pH de l'eau des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH	7,49	7,11	8,24	8,17	8,26	8,18	8,05	8,06	8,27	7,93	7,55	8,1	7,72

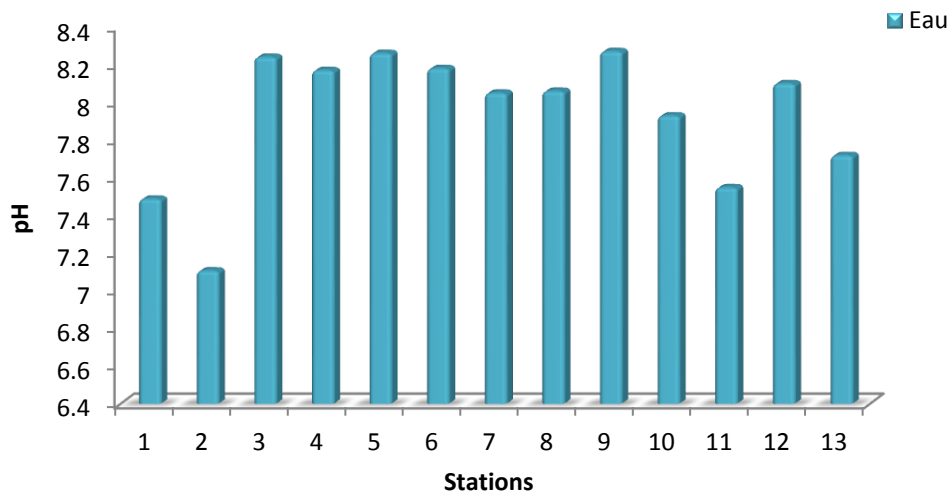


Figure n°20 : Variation du pH de l'eau selon les stations étudiées

Le pH- mètre enregistre une alcalinité dans presque tous les sites étudiés avec des valeurs qui varie entre 7,49 à Salah et 8,27 à oued Fragha, avec une exception d'une seule station, celle d'El Fdjouj qui présente une eau neutre. En fonction de ces valeurs on peut dire que plus de 50% des stations étudiées présente un pH alcalin avec un risque majeur sur les sols.

2.1.2. Mesure de la conductivité électrique de l'eau ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Les valeurs acquises par le conductimètre sont exprimées dans le tableau ci-dessous

Tableau n°25 : Evaluation de la conductivité électrique de l'eau des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CE($\mu\text{s}/\text{cm}$)	0,39	1,01	0,98	1,26	1,35	1,09	1,69	1,01	1,56	1,72	1,74	3,15	1,75

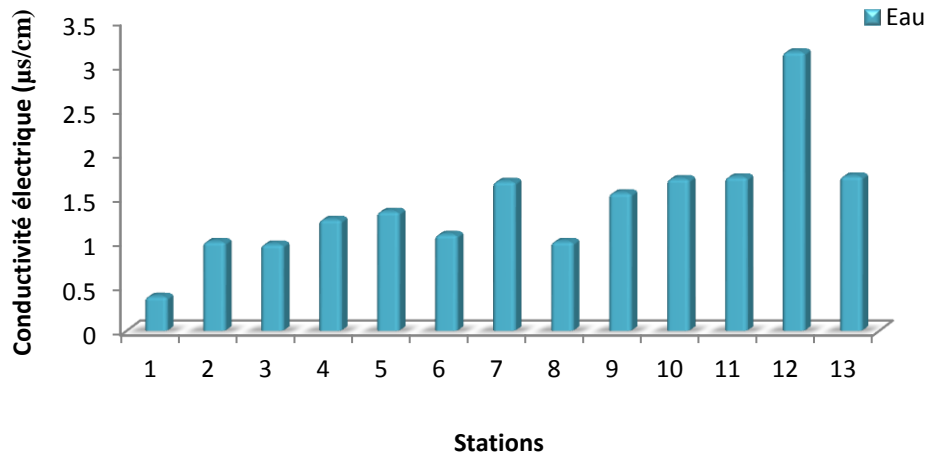


Figure n°21 : Variation de la conductivité électrique de l'eau de selon les stations étudiées

On observe une croissance de la conductivité électrique le long de l'oued. L'eau à Salah est non salée et elle est peu salée à El Fjouj, Boumahra, Djbellah Khmissi, Beni Mezline, Boumahra et avant la gare ferroviaire de Bouchegouf, tandis qu'elle est salée après la gare ferroviaire de bouchegouf, à oued Fragha, Boukemouza, Chihani et El Hadjar et on note que l'eau est très salée à Dréan. Les valeurs obtenus ne présentent aucun risque actuel, mais peuvent devenir très néfaste pour les sols.

2.2. Caractères chimiques de l'eau

Les paramètres chimiques effectués sur l'eau des sites étudiés sont : la matière en suspension, résidus sec et les éléments traces métalliques (ETM).

2.2.1. Mesure des matières en suspension présentes dans l'eau (mg/L)

Les quantités de matières en suspension obtenues par cette analyse sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau n°26 : Evaluation de la matière en suspension dans l'eau des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MES(mg/L)	0,003	0,001	0,019	0,010	0,011	0,024	0,026	0,023	0,021	0,032	0,006	0,278	0,023

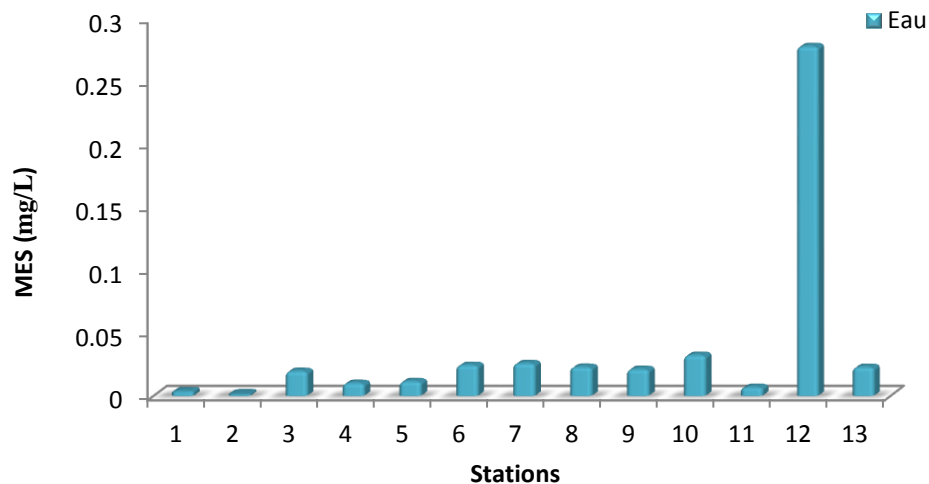


Figure n°22 : Variation quantitative des matières en suspension dans l'eau selon les stations étudiées

La lecture des résultats obtenus montre que nous sommes en présence d'une eau circulante et que les matières en suspension sont presque nul ce qui témoigne d'une stabilité des berges sauf au niveau de la station de Drean.

2.2.2. Mesure des résidus secs de l'eau (mg/L)

Les quantités des résidus secs présentes dans l'eau des sites étudiés sont mentionnées dans le tableau (27)

Tableau n°27 : Evaluation des quantités de résidus secs présentes dans l'eau des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RS(mg/L)	0,033	0,026	0,006	0,011	0,024	0,113	0,017	0,021	0,007	0,042	0,017	0,013	0,077

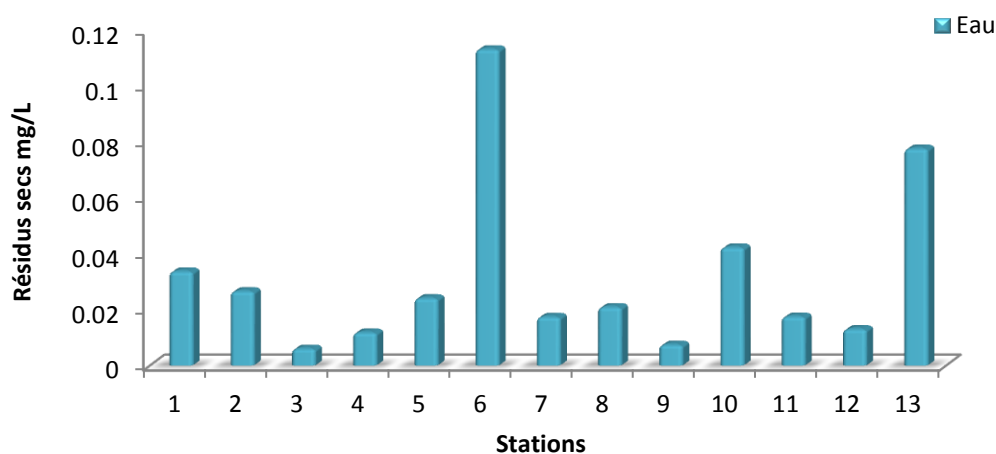


Figure n°23 : Variation quantitative des résidus secs dans l'eau selon les stations étudiées

Le résidu sec représente la quantité d'éléments minéraux contenus dans les matières en suspensions de l'eau, les résultats montrent que notre eau est très pauvre en sels solubles et ne présente aucun risque immédiat pour son utilisation en irrigation.

2.2.3. Mesure des teneurs en ETM dans l'eau (ppm)

Les différents éléments traces métalliques mesurés dans l'eau des sites étudiés sont : le Plomb, le Cuivre, le Cadmium et le Zinc, les quantités obtenues sont mentionnées dans le tableau suivant.

Tableau n°28 : Evaluation des éléments traces métalliques de l'eau des sites étudiés.

N° Station	Eléments évalués (ppm)			
	Pb	Cu	Cd	Zn
1	24,121	0,257	0,416	0,282
2	15,189	0,533	0,351	0,879
3	20,548	0,404	0,438	0,439
4	15,189	0,367	0,285	0,211
5	24,121	0,367	0,306	0,293
6	10,718	0,349	0,373	0,358
7	16,077	0,367	0,460	0,564
8	13,402	0,238	0,525	0,233
9	23,223	0,294	0,505	0,521
10	16,975	0,533	0,724	0,396
11	9,829	0,625	0,636	0,271
12	20,548	0,313	0,505	0,320
13	29,480	0,442	0,636	0,375

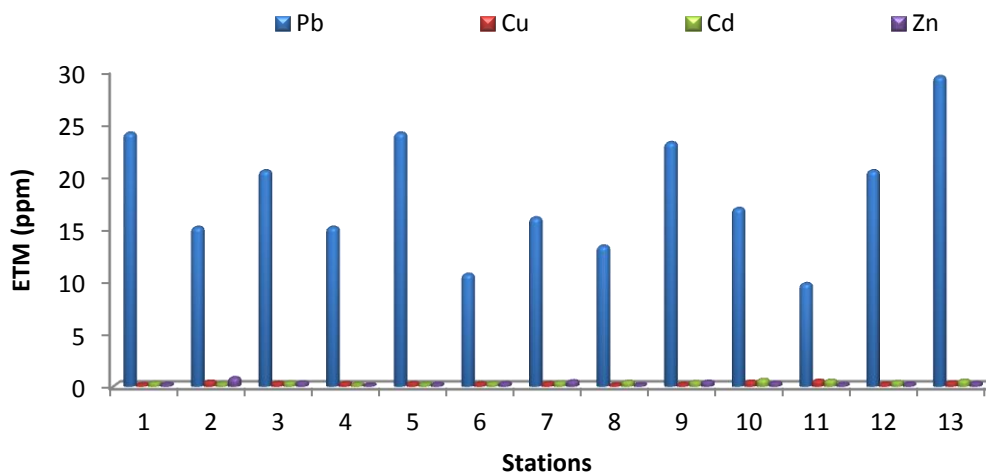


Figure n°24 : Variation des teneurs en ETM dans l'eau selon les stations étudiées

Les ETM mesuré dans l'eau présente la même évolution que dans les sols. Le Pb constitue l'élément le mieux représenté suivi par le Zn, Cd et le Cu. La dominance du Pb est liée aux multiples sources de cet élément particulièrement la circulation routière.

3. Résultats relatifs aux mesures physiologiques effectuées sur le végétal

Les mesures des paramètres physiologiques et chimiques effectuées sur les échantillons du végétal ont permis d'obtenir les résultats suivants :

3.1. Mesure du rapport matière sèche /matière fraîche

3.1.1. Le rapport matière sèche /matière fraîche des feuilles du végétal

Le rapport matière sèche /matière fraîche des feuilles du végétal des sites étudiés est représenté dans le tableau (29)

Tableau n°29 : Evaluation du rapport MS / MF des feuilles du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MS/MF	0,81	0,90	0,90	0,92	0,72	0,93	0,94	0,77	0,92	0,78	0,91	0,92	0,82
(%)	81	90	90	92	72	93	94	77	92	78	91	92	82

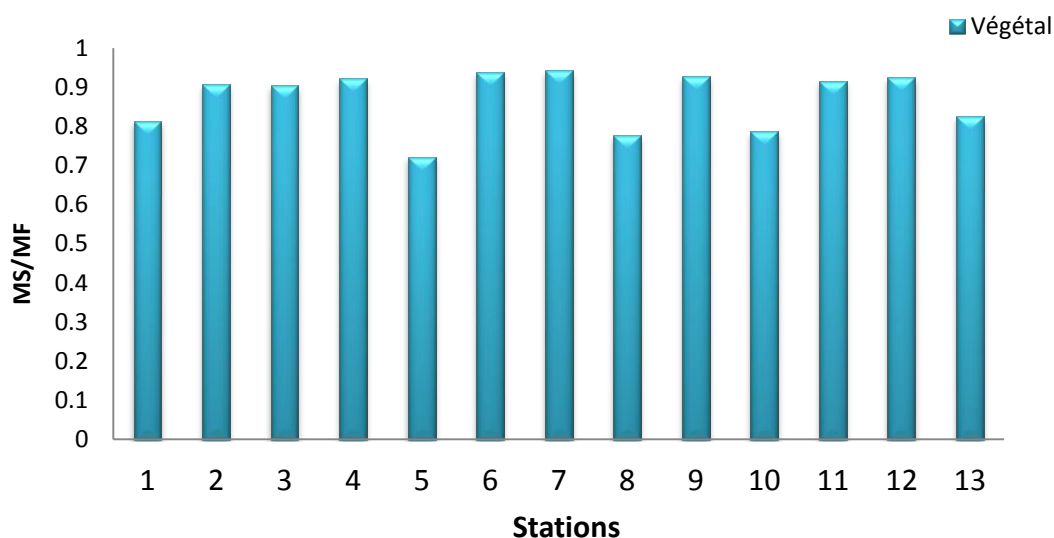


Figure n°25 : Variation du rapport MS/MF des feuilles du végétal selon les stations étudiées

Il ressort qu'il existe une certaine homogénéité entre les stations en terme de matière sèche. La figure n°25 montre que la matière sèche est importante allant de 70% à 90% atteignant son maximum de 94% à Bouchegouf.

3.1.2. Le rapport matière sèche /matière fraîche des fruits du végétal

Le rapport matière sèche /matière fraîche des fruits du végétal des sites étudiés est représenté dans le tableau (30)

Tableau n°30 : Evaluation du rapport MS / MF des fruits du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MS/MF	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08
(%)	6	5	5	6	7	6	5	4	5	6	5	5	8

Le tableau ci-dessus dévoile une chute des pourcentages de la matière sèche contenus dans les fruits par rapport à ceux présentés dans les feuilles

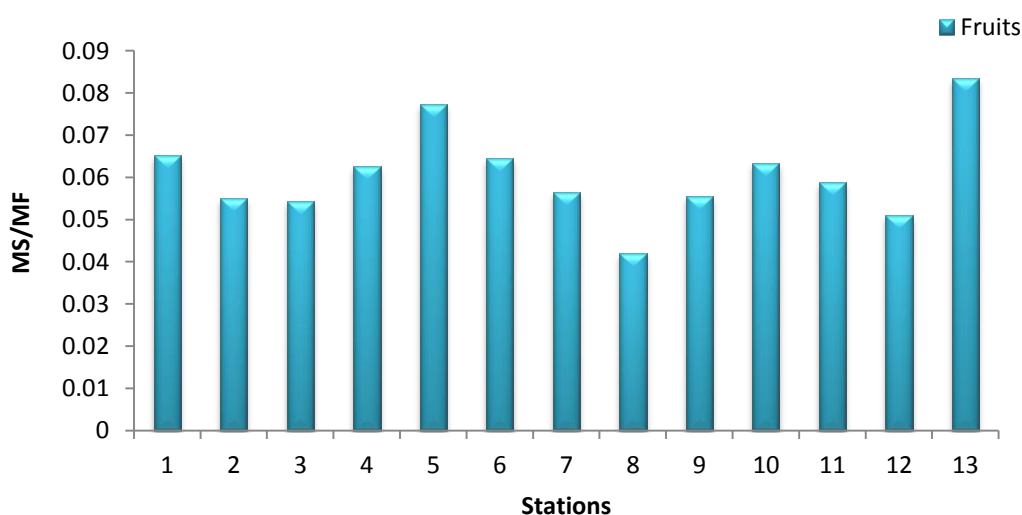


Figure n°26 : Variation du rapport MS/MF des fruits du végétal selon les stations étudiées

Dans les fruits le pourcentage de la matière sèche est moins important que celui des feuilles, il est inférieur à 10%. Mais les résultats obtenus montrent une homogénéité dans l'ensemble des sites, avec un maximum de 8% observé au niveau de la station d'El Hadjar, alors que le minimum est observé dans la station de Boudaroua (4%).

3.2. Mesure des teneurs en chlorophylles ($\mu\text{g/g}$)

3.2.1. Mesures des teneurs en chlorophylle a ($\mu\text{g/g}$)

Le tableau (31) représente les teneurs en chlorophylle a du végétal des sites étudiés

Tableau n°31 : Evaluation des teneurs en chlorophylle a du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chl a ($\mu\text{g/g}$)	17,51	16,11	17,18	23,09	17,53	9,10	8,82	9,91	17,02	14,06	15,33	10,83	10,12

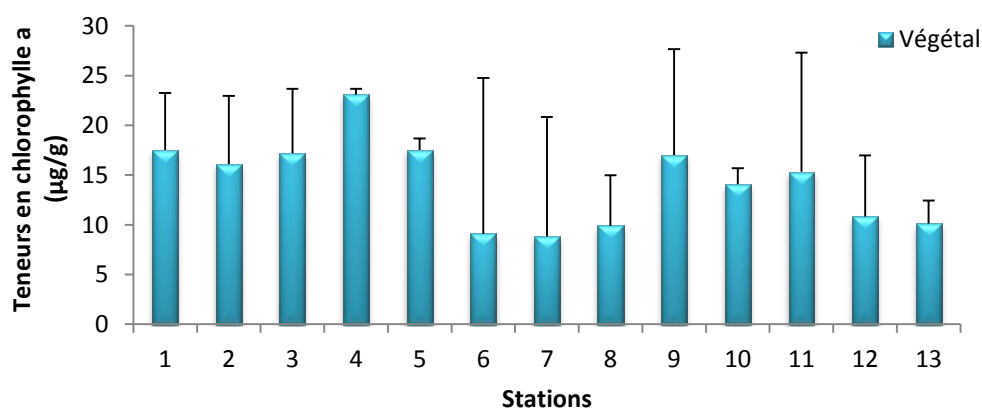


Figure n°27 : Variation des teneurs en chlorophylle a du végétal selon les stations étudiées

3.2.2. Teneurs en chlorophylle b ($\mu\text{g/g}$)

Le tableau (32) représente les teneurs en chlorophylle b du végétal des sites étudiés

Tableau n°32 : Evaluation des teneurs en chlorophylle b du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chl b ($\mu\text{g/g}$)	13,91	18,55	12,51	19,86	11,62	12,83	9,52	5,06	14,65	9,88	12,96	7,22	4,76

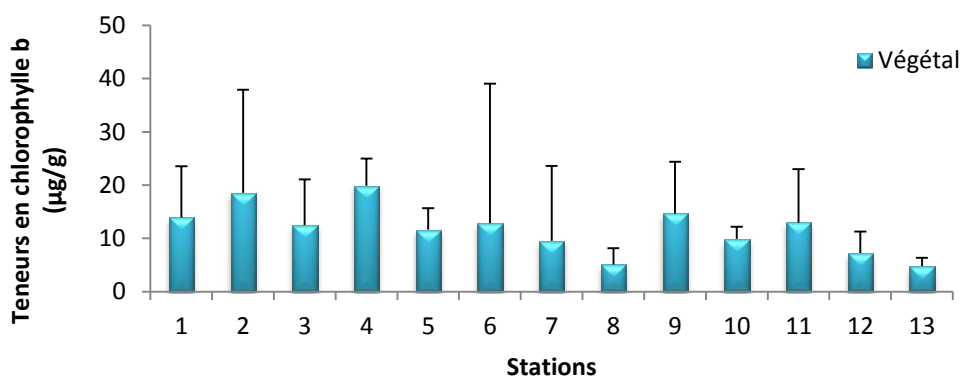


Figure n°28 : Variation des teneurs en chlorophylle b du végétal selon les stations étudiées

3.2.3. Teneurs en chlorophylle a+b (µg/g)

Le tableau (33) représente les teneurs du végétal des sites étudiés en chlorophylle a+b

Tableau n°33 : Evaluation des teneurs du végétal des sites étudiés en chlorophylle a+b

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chl a+b (µg/g)	31,46	34,68	29,73	43,02	29,2	21,93	18,45	15	31,74	23,98	28,37	18,1	14,91

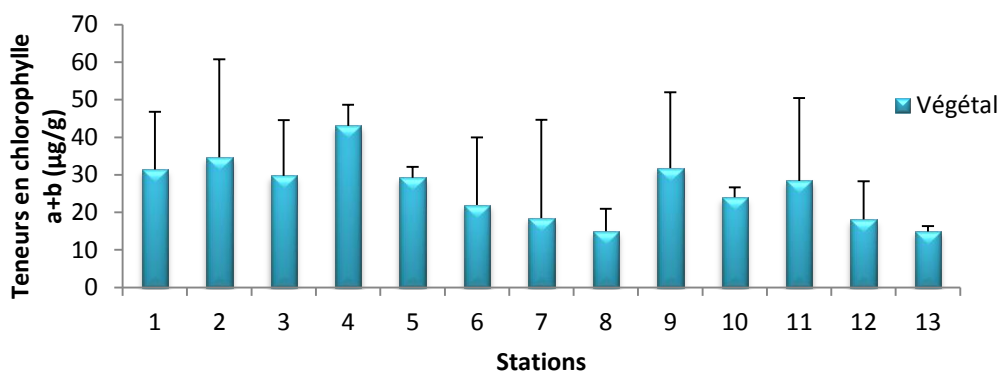


Figure n°29 : Variation des teneurs en chlorophylle a+b du végétal selon les stations étudiées

Les valeurs obtenues montrent que les conditions du développement des cultures se déroulent dans les conditions optimales et que la fonction photo-synthétique n'a enregistré aucun risque ou stress.

3.3. Mesure des teneurs en proline ($\mu\text{g/g}$)

3.3.1. Mesure des teneurs des feuilles du végétal en proline ($\mu\text{g/g}$)

Les teneurs en proline des feuilles du végétal des sites étudiés sont mentionnées dans le tableau (34)

Tableau n°34 : Evaluation des teneurs en proline des feuilles du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Proline($\mu\text{g/g}$)	2,71	0,43	1,74	2,05	1,82	0,83	3,77	7,14	0,71	1,72	2,19	2,60	4,11

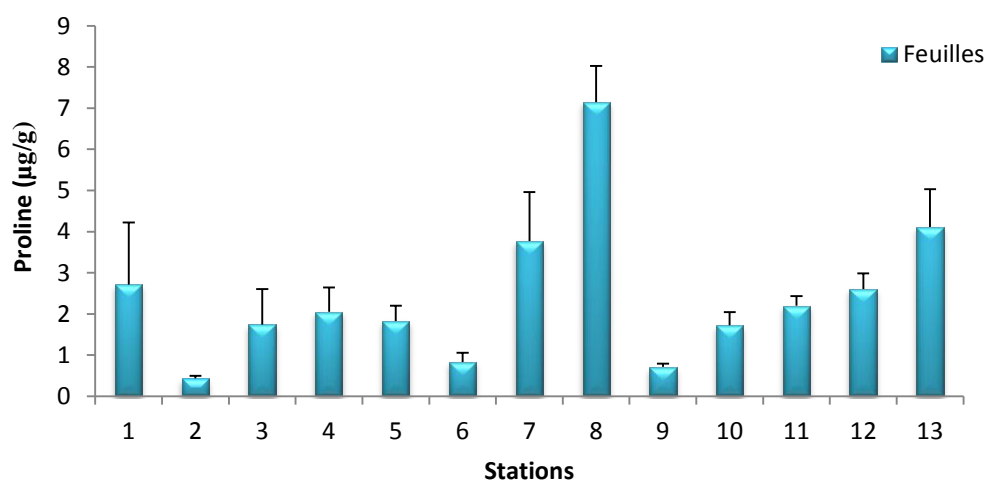


Figure n°30 : Variation des teneurs en proline des feuilles du végétal selon les stations étudiées

3.3.2. Mesure des teneurs du fruit en proline ($\mu\text{g/g}$)

Les teneurs en proline des fruits du végétal des sites étudiés sont mentionnées dans le tableau (35)

Tableau n°35 : Evaluation des teneurs en proline des fruits du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Proline($\mu\text{g/g}$)	0,4	0,4	0,44	0,44	0,44	0,36	0,39	0,42	0,40	0,39	0,44	0,42	0,42

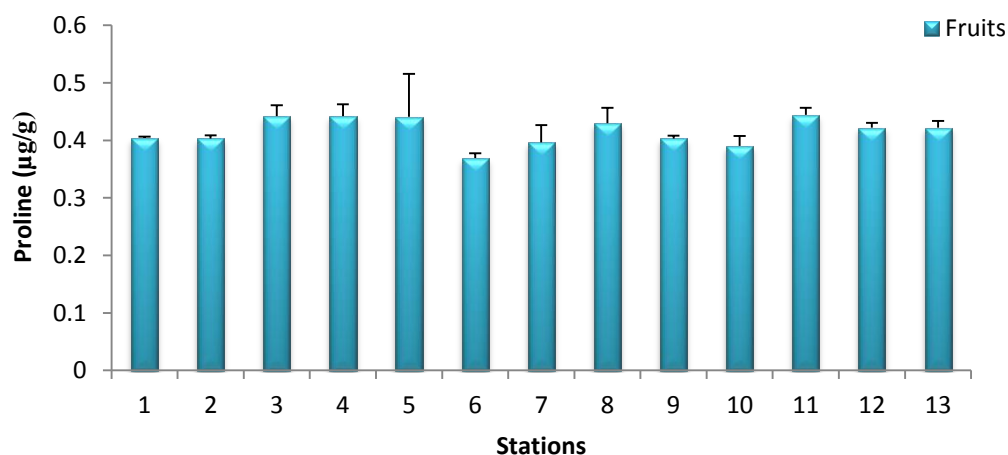


Figure n°31 : Variation des teneurs en proline du fruit du végétal selon les stations étudiées

Le dosage de la proline a été réalisé dans le but de desseller un dysfonctionnement biochimique des cultures suivies et qui sont soumises aux conditions normales de production. Il ressort qu'il n'existe aucun stress qui perturbe la fonction biochimique des cultures.

3.4. Mesure des teneurs en sucres totaux ($\mu\text{g/g}$)

3.4.1. Teneurs des feuilles du végétal en sucres totaux ($\mu\text{g/g}$)

Les teneurs en sucres des feuilles du végétal des sites étudiés sont mentionnées dans le tableau (36)

Tableau n°36 : Evaluation des teneurs en sucres des feuilles du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sucres ($\mu\text{g/g}$)	104,13	51,35	96,41	67,07	116,21	74,17	855	108,49	74,66	93,67	61,67	104,68	129,2

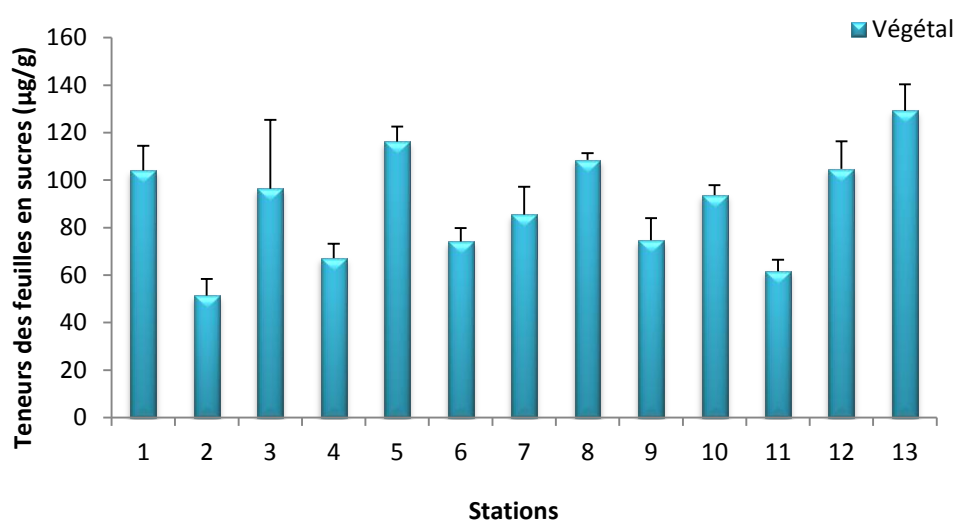


Figure n°32 : Variation des teneurs en sucres des feuilles du végétal selon les stations étudiées

3.4.2. Teneurs des fruits du végétal en sucres totaux ($\mu\text{g/g}$)

Les teneurs en sucres des fruits du végétal des sites étudiés sont mentionnées dans le tableau (37)

Tableau n°37 : Evaluation des teneurs en sucres du fruit du végétal des sites étudiés

N° Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sucres (µg/g)	57,55	30,40	51,11	52,94	39,92	49,41	47,75	54,02	51,77	47,75	58,21	56,55	48,1

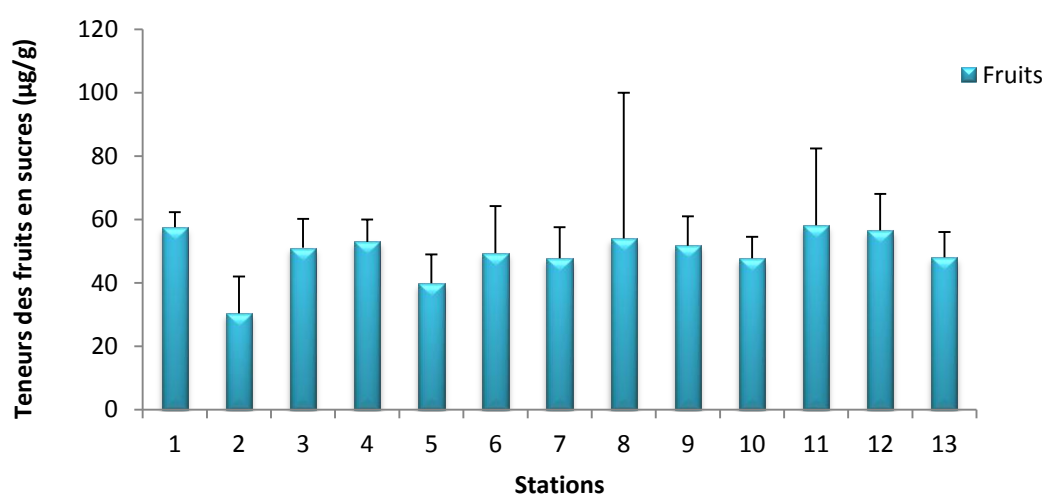


Figure n°33 : Variation des teneurs du fruit du végétal en sucres totaux selon les stations étudiées

Les résultats montrent une faible variation dans la teneur en sucre dans le végétal le long du transect ce qui témoigne que la plante n'est pas affecté par les faibles variations des propriétés du sol et des eaux observées.

3.5. Mesure des teneurs en ETM dans le végétal (ppm)

3.5.1. Mesure des teneurs en ETM dans les feuilles du végétal (ppm)

Les éléments traces métalliques estimés dans le végétal des sites étudié sont : le Plomb, le Cuivre, le Cadmium et le Zinc, les quantités obtenues sont mises dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°38 : Evaluation des éléments traces métalliques dans les feuilles du végétal des sites étudiés.

N° Station	Eléments évalués (ppm)			
	Pb	Cu	Cd	Zn
1	32,164	0,809	0,154	1,732
2	6,257	0,515	0,109	1,081
3	30,378	0,423	0,087	1,776
4	16,975	0,478	0,065	1,244
5	8,043	0,238	0,044	1,308
6	16,077	0,644	0,022	1,700
7	11,616	0,588	0,044	1,884
8	16,077	0,313	0,109	2,020
9	24,121	0,735	0,044	1,281
10	10,718	0,625	0,065	2,340
11	7,145	0,607	0,022	1,048
12	8,932	0,404	0,087	2,922
13	17,864	0,773	0,044	1,357

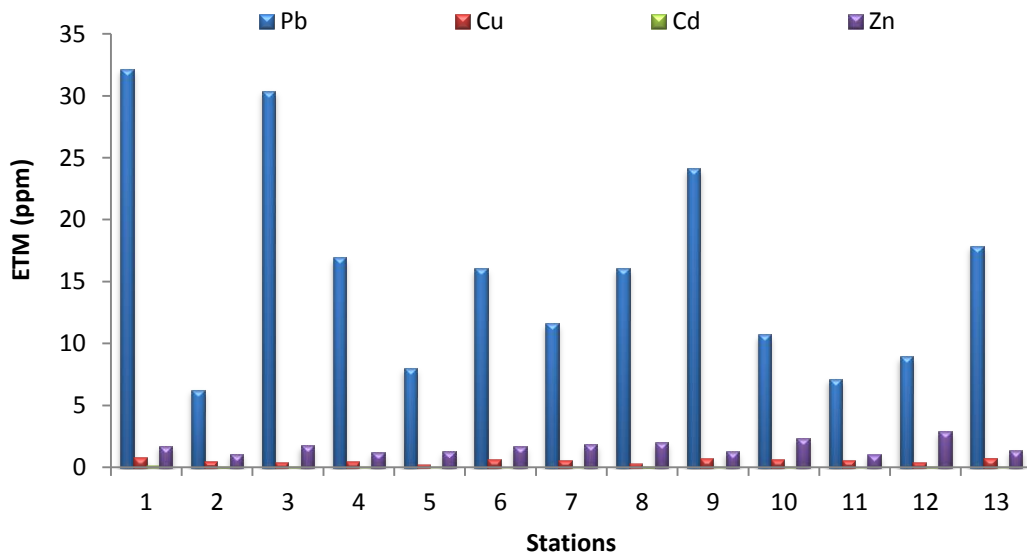


Figure n°34: Variation des teneurs en ETM dans les feuilles du végétal selon les stations étudiées

3.5.2. Mesure des teneurs en ETM dans le fruit (ppm)

Les éléments traces métalliques estimés dans le fruit du végétal des sites étudiés sont : le Plomb, le Cuivre, le Cadmium et le Zinc, les teneurs recueillies sont inscrites dans le tableau suivant.

Tableau n°39 : Evaluation des éléments traces métalliques dans le fruit du végétal des sites étudiés.

N° Station	Eléments évalués (ppm)			
	Pb	Cu	Cd	Zn
1	2,659	0,698	0,943	3,112
2	6,719	0,773	0,789	4,296
3	5,459	0,698	1,030	4,079
4	11,338	0,625	0,921	2,970
5	8,259	0,551	0,921	2,922
6	7,979	0,956	0,767	2,987
7	7,699	0,809	1,097	3,427
8	2,659	0,717	1,030	3,329
9	2,939	0,644	1,097	3,378
10	9,099	0,790	1,227	3,400
11	9,518	0,846	1,075	3,133
12	6,159	0,809	1,140	3,373
13	6,578	0,827	1,207	3,323

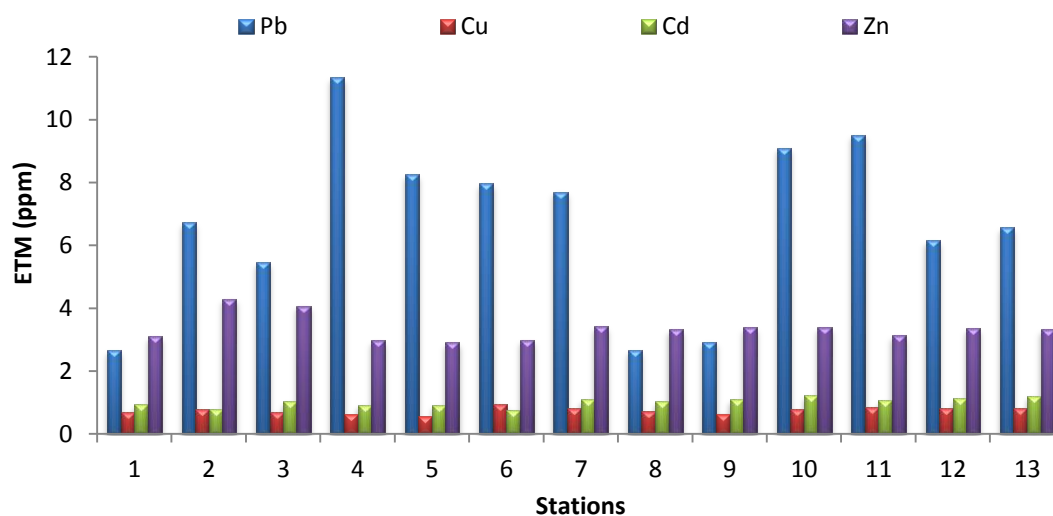


Figure n°35 : Variation des teneurs en ETM dans les fruits du végétal selon les stations étudiées

Il ressort que la présence d'ETM dans les différentes parties du végétal est dominée par la forte concentration de Pb suivie par le Zn particulièrement au niveau des fruits.

DISCUSSION GENERALE

La caractérisation physico-chimique des sols et des eaux de la vallée de l'oued Seybouse est réalisée en vue d'établir une relation entre la qualité du sol et des eaux d'une part et les qualités biochimiques de la culture dominante de cette région d'autre part (Tomate Industrielle).

Les résultats des analyses du sol ont fait ressortir une certaine homogénéité dans les propriétés physiques des sols car l'analyse granulométrique a révélé une texture équilibrée dominée légèrement par des sables ce qui confère au sol une bonne porosité permettant à l'air et l'eau de circuler et aux racines de bien se développer.

Les propriétés physico-chimiques, représentées par les valeurs de l'acidité actuelle, l'acidité d'échange et la conductivité électrique, révèlent l'état d'équilibre qui règne entre le complexe adsorbant et la solution du sol, et qui se traduit par un pH_{eau} neutre à légèrement basique, un pH_{KCl} qui varie peu et une conductivité électrique très faible. Cet équilibre enregistré peut être un bon indicateur de la saturation du complexe adsorbant et qui participe aux différentes réactions de stabilisation de la solution du sol et son aptitude à résister aux variations brutales des propriétés chimiques de cette dernière (pouvoir tampon).

Cette état d'équilibre est renforcé par un taux de matière organique très satisfaisant dans des sols agricole (valeurs comprise entre 1.83% et 4.61%)

L'état chimique de ces sols évalué à travers les teneurs en métaux lourds montre que le plomb est l'élément le plus présent dans ces sols. La présence de cet élément peut être lié à plusieurs origine mais la source la plus importante reste la pollution automobile ou par les engins agricoles. Les autres éléments (Cd, Zn, Cu) présents à des concentrations relativement faibles, proviennent probablement des engrais chimiques ou produits phytosanitaires utilisés à des doses non raisonnées. La présence de ces éléments dans le sol évoque le risque de sa pollution par ces éléments, et nous savons que si ces derniers passent sur le complexe adsorbant, ils réduisent énormément la capacité d'échange cationique des ces sols et leur fertilité.

Une forte teneur en ETM a des conséquences désastreuses sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elle conduit à la stérilisation des sols et à l'élimination de sa biodiversité faunistique et floristique entravant ainsi le fonctionnement de son écosystème.

Les analyses des échantillons des eaux prélevées sur le même site que le sol montrent que nous sommes en présence d'une eau courante qui varie peu d'une station à une autre.

La réaction de cette eau est souvent neutre à légèrement basique en parfait équilibre avec la réaction des sols. La conductivité électrique est également très faible bien que les eaux de la partie Bouchegouf- El Hadjar montrent des valeurs plus élevées suite à la jonction de l'oued El-Mallah (qui traverse le trias d'El Machrouha) et qui est très chargé en sels.

L'évaluation des matières en suspension montre que l'eau est faiblement chargée et que le processus d'érosion des sols n'est pas développé. Il est de même pour l'extrait sec qui renseigne sur la teneur de l'eau en sels solubles.

L'évaluation des éléments traces métalliques (ETM) dans ces eaux montre la dominance du Plomb dans la totalité des sites d'étude, l'origine est toujours la même (circulation routière) ; alors que pour les autres éléments aucune forme de distribution n'est décelable. Nous enregistrons une distribution aléatoire avec des concentrations qui sont très proches entre éléments dans la même station d'une part et entre les stations d'autre part. Cette situation peut être attribuée au rôle de l'oued comme agent de transport et homogénéisation des concentrations des matières transportées.

Les qualités du sol et de l'eau doivent avoir un effet sur les propriétés biochimiques des cultures de la région, pour cela nous avons opté pour la culture rencontrée le long de notre transect à savoir la tomate industrielle.

La caractérisation biochimique du végétal nous a permis de mettre en évidence le rôle de l'eau et du sol d'une part et l'importance des éléments métalliques traces d'autre part.

Les propriétés biochimiques évaluées au niveau de la partie végétative et au niveau du fruit ont porté sur les paramètres suivants : teneurs en matière sèche, la chlorophylle a et b ; la teneur en proline et la teneur en sucre. Nous avons également évalué la teneur en éléments métalliques traces dans les deux parties du végétal.

Les résultats montrent que les propriétés biochimiques varient peu d'une station à l'autre pour la même partie du végétal.

Concernant la teneur en MS, en Chlorophylle et en proline, nous avons constaté que la partie végétative réagit mieux à la perturbation du milieu que les fruits, tandis que les sucres un équilibre nous semble être établi entre la partie végétative et le fruit.

L'évaluation de ces paramètres constitue un bon indicateur de santé pour la plante d'une part et l'état d'équilibre entre l'eau le sol et l'ambiance racinaire de la culture d'autre part. Le long du transect étudié cette ambiance est rarement perturbée et nous enregistrons une parfaite harmonie. L'évaluation de la teneur en ETM des fruits et de la partie végétative nous montre que la partie végétative semble être en équilibre avec les concentrations enregistrées dans l'eau et dans le sol, par contre nous enregistrons une forte accumulation des ETM dans les fruits. Les concentrations enregistrées du Pb et du Zn sont dangereusement élevées et peuvent apporter un préjudice à la santé humaine lorsqu'on sait que c'est cette partie de la plante qui constitue la base de notre alimentation. C'est dans cette optique que nous apportons un regard plus approfondi sur ces éléments métalliques traces (ETM) dans le sol, dans l'eau et dans les végétaux.

Les ETM sont naturellement présents dans les sols en faibles quantités. Ils sont en partie libérés lors de l'altération de la roche mère et constituent le pool endogène appelé fond pédogéochimique (DI BENEDETTO ; 1997; BAIZE, 1997). Un second pool, plus ou moins important selon la situation géographique, est issu d'apports exogènes. Il provient essentiellement de l'activité humaine de façon diffuse, émis par l'activité industrielle, les moyens de transport et amené par voie atmosphérique, ou localement soit de façon ponctuelle par l'apport de déchets contaminés (pollution souvent aiguë), soit de façon répétée et cumulative par l'activité agricole (GODIN *et al.*, 1985 ; DI BENEDETTO, 1997). Les eaux pluviales peuvent être aussi une source de pollution des sols par le cuivre, le zinc, le nickel et le plomb, et à de très fortes concentrations (ADRIANO, 1986).

1. Plomb et cadmium

Le Pb (ppm)

Les concentrations du Pb sont les plus importantes comparées à celles des éléments évalués dans les différents paramètres étudiés, selon IMPENS 1980 (*in* KADEM N.D., 2004), le Pb introduit dans le sol ne subit que peu de transformation et migre relativement peu à travers les différents horizons. Etant peu mobile, il reste généralement fixé à la partie supérieure du sol. Il n'est pas entraîné en profondeur par le lessivage, il en résulte un gradient de concentration selon la profondeur. D'autant plus que le sol contient les teneurs les plus élevées en Pb par rapport à l'eau et au végétal et les sites 3, 7, 10 et 11 viennent en tête, qui nous fait constater (Figure n°36) que le sol est le premier récepteur de cet élément.

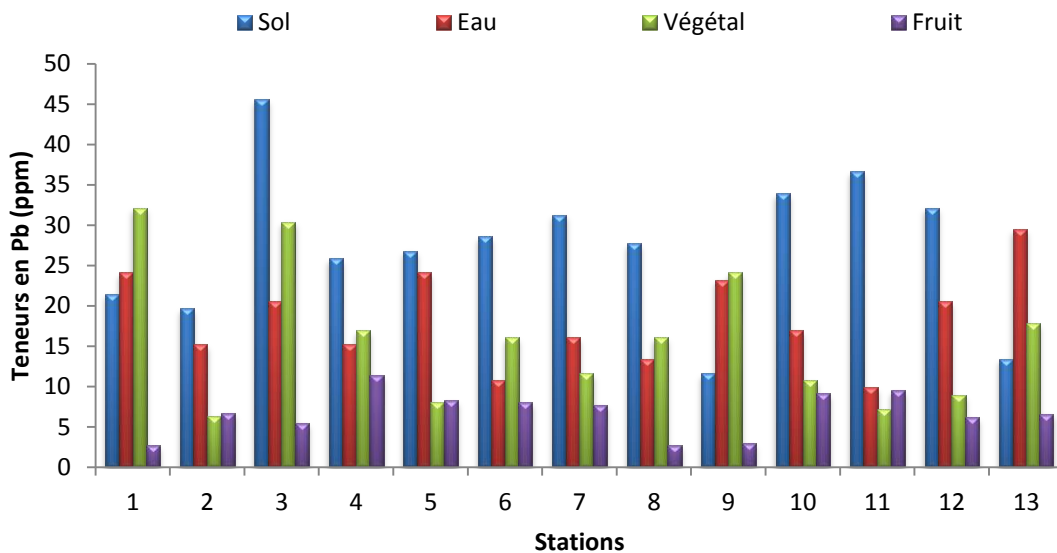


Figure n°36 : Variation des teneurs en Plomb dans les différents paramètres étudiés

Il existe une différence significative entre les teneurs en Pb dans le sol et celles dans le végétal, en règle générale, les concentrations en Pb d'une plante sont étroitement corrélées aux concentrations en Pb du sol, d'après KABATA- PENDIAS AND PENDIAS 1992, cette corrélation doit être nuancée et tenir compte en particulier de l'organe (racines, tiges, feuilles, fruits, etc.). Bien que le Pb soit dans le sol un élément très peu soluble, il peut s'accumuler dans les racines et particulièrement dans les membranes cellulaires.

La translocation de Pb vers les parties épigées d'une plante est un phénomène très limité. Ce qui fait que le Pb n'est pas un toxique systématique en ce sens qu'il ne diffuse pas dans le système vasculaire de la plante, son absorption racinaire n'est effective qu'au-delà de 1000

ppm dans le sol, elle dépend entre autres des facteurs de la concentration totale dans le sol, de la concentration dans la solution du sol et de la spéciation (KABATA- PENDIAS AND PENDIAS, 1992). La plante peut également absorber Pb par les feuilles. Le maximum "normal" dans les plantes, selon ROUSSEAU 1988 (*in* BOUKROUH F.), est de 8ppm.

Les métaux lourds des eaux usées se fixent, généralement, dans le sol, mais une faible partie reste en solution dans les eaux d'irrigation (LANDREAU, 1987 ; CADILLON, 1989).

Le Cd (ppm)

Les teneurs en Cd dans le fruit sont importantes, par rapport à celles présentées dans le sol, selon les travaux réalisés par KADEM (2004), le Cd est plus mobile dans le sol que Cu et Pb, donc plus disponible pour les plantes, de plus l'absorption du Cd peut être inhibée par Cu et Pb.

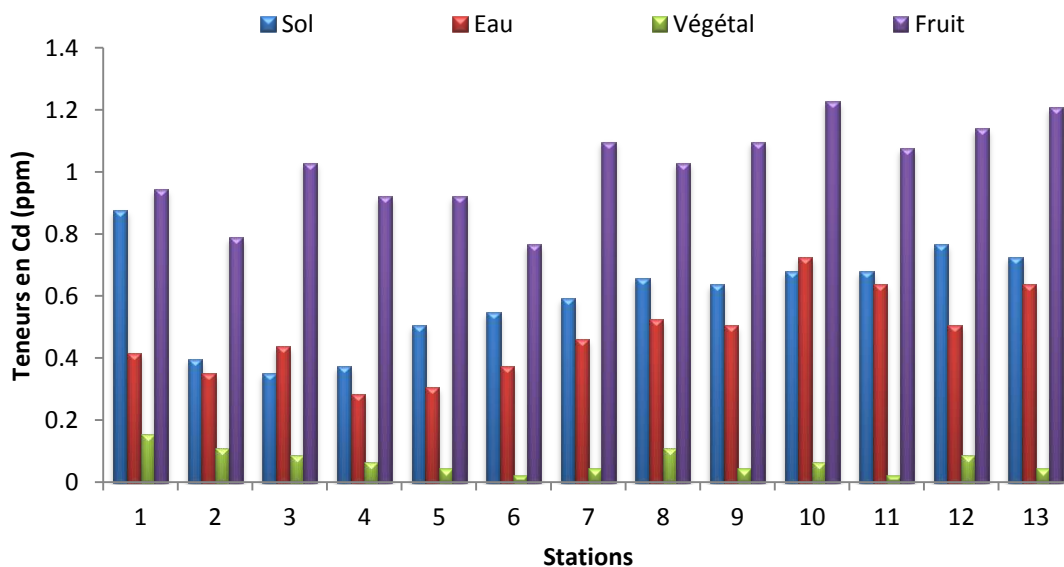


Figure n°37 : Variation des teneurs en Cadmium dans les différents paramètres étudiés

En d'autres termes, la mobilité du Cd dépendrait largement du pH et du Eh, mais BAIZE (1997), au cours de ses divers travaux, a pu constater plusieurs exemples de migrations en profondeur même en sols à pH neutre ou alcalin.

En règle générale, les plus hautes concentrations se trouvent dans les racines et les plus basses dans les organes de réserve (graines, fruits, tubercules) avec des séquences suivantes (DISERENS, 1996 *in* DOUAFER L., 2009) : [Cd] racines > [Cd] tige > [Cd] feuilles > [Cd] graine. Généralement les racines contiennent 10 fois plus de Cd que les tiges. Les racines jouent en sorte le rôle de barrière (JARVIS *et al.*, 1976).

Le cadmium a tendance à affecter sensiblement les paramètres de croissance (CHUGH ET SAWHNEY, 1995 ; HERRIECHE, 2004). Lors de leur croissance les plants de tomate utilisent les composés disponibles au niveau de leurs racines, la dissipation de concentration de cadmium dans le sol fait qu'une quantité infime amenée au contact de racines des plants. Cette faible quantité va légèrement influencer la croissance des plants.

L'accumulation des ETM dans le sol, en quantités excessives supérieures aux seuils limites, entraîneraient des phénomènes de phyto-toxicité pour les plantes. Comme elle présente également des risques pour l'homme et les animaux (RATEL *et al.*, 1986 *in* TAMRABET L., 2011; BERDAI *et al.*, 1991).

Selon SCOKART (1983), la solubilité des ETM dépend essentiellement du pH du sol, et leur assimilation par les plantes est plus élevée dans les sols acides que dans les sols basiques ou calcaires.

2. Le Cuivre et le Zinc

Le Cu et le Zn sont considérés comme des éléments de base nécessaires à la croissance de la plante. Les facteurs qui influencent la disponibilité de ces ETM dans les sols sont le pH, la capacité d'échange de cations (CEC), la teneur en matières organiques, et le potentiel d'oxydoréduction (ADRIANO, 1986).

KOUAME *et al.*, (2006) indiquent que ces éléments ont toujours tendance à s'accumuler dans les horizons de surface riches en matières organiques et dans les couches argileuses. Les éléments Zn et Cu migrent peu en profondeur, sauf dans des conditions particulières de drainage, ou en milieu très acide (MCLAUGHLIN *et al.*, 2000 ; ADRIANO, 1986 ; PICHARD *et al.*, 2004 *in* GOUIDIA L., 2008 ; BRAR *et al.*, 2002).

Le Cu (ppm)

Le cuivre présente des teneurs considérables dans le végétal et le fruit, mais ces teneurs sont moindres dans le sol (figure n°38), ce qui démontre l'apport exogène de cet élément par les fertilisants. Les teneurs moyennes en Cu d'un sol non contaminé, sont comprises entre 13 et 24ppm (COULLERY, 1997). Rousseau 1988 (*in* BOUKROUH F.) donne une concentration maximale "normale" de 100ppm et une moyenne dans les sols de 20ppm.

Le cuivre est un activateur d'enzyme, qui joue également un rôle dans le métabolisme des protéines et la synthèse de la chlorophylle. Il est aussi utilisé comme élément de combat des maladies de plantes (AL ZU'BI, 2007). La concentration du cuivre dans le sol doit être dans les limites admissibles de 2-250 mg/l et optimale pour la croissance des plantes de 40 mg/l (ADRIANO, 1986).

Cet élément présente aussi des quantités non négligeables dans l'eau, cela est dû aux rejets urbains qui ont des teneurs en Cu allant de 0.01 à 0.75 mg.l⁻¹ (CHOCAT, 1997 ; ZOUITA, 2002). Les sels de cuivre sont utilisés comme des ingrédients actifs dans les préservatifs du bois, dans les fongicides ou algicides, en agriculture, pour le traitement chimique de surface... (CCME, 1999). La toxicité du cuivre diminue dans les eaux dures et sa présence empêche l'autoépuration des eaux usées (EL HAYEK, 1989).

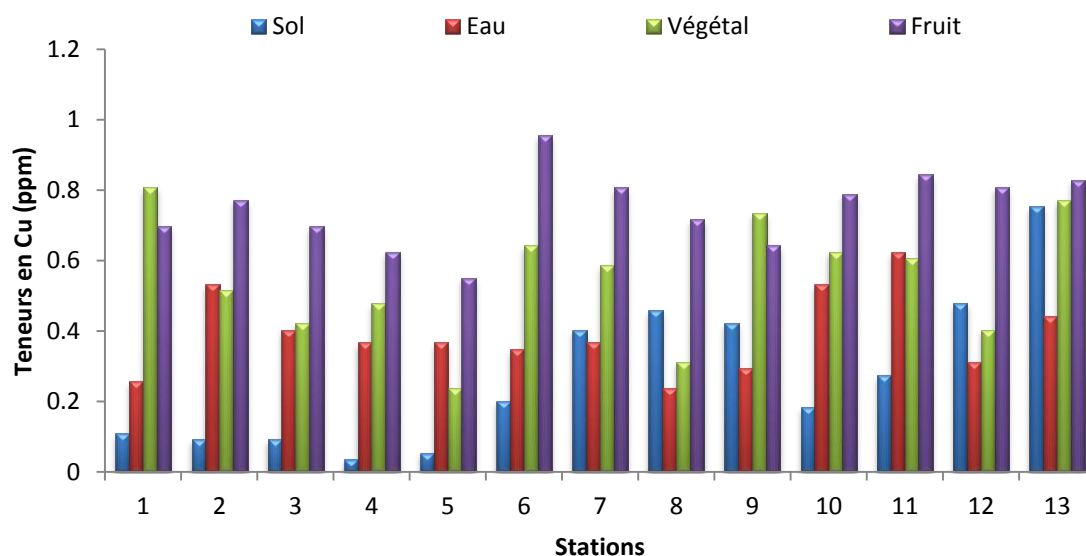


Figure n°38 : Variation des teneurs en Cuivre dans les différents paramètres étudiés

Aux teneurs naturelles, les sols se trouvent également enrichis par l'utilisation excessive de fertilisants et de produits agro sanitaires tels que les insecticides, les fongicides, les algicides qui sont à la base de sels de cuivre, notamment les sulfates de cuivre, l'utilisation directe des boues d'épuration sans oublier l'activité industrielle (bains de décapage et bains de plaquage dans l'industrie du cuivre et de ses alliages) ; les eaux de drainage des régions minières ; l'industrie électrique, les activités urbaines (ordures ménagères, brûlage de comestibles, circulation automobiles salage des routes ; etc.

Le Zn (ppm)

Le zinc (Zn) est employé dans de nombreux alliages, pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication de pigments de teinture, de vernis, comme raticide et dans la fabrication de batteries et de produits phytosanitaires (Desbordes, 2000 *in* TAMRABET L., 2011).le tableau suivant organise les teneurs en zinc dans les différents paramètres étudiés.

Les teneurs moyennes en zinc dans l'eau de l'oued Seybouse (figure n°39) varient entre 0,211 et 0,564 ppm sauf une quantité beaucoup plus supérieure de 0,889ppm au niveau de la station d'El Fejouj, ces teneurs sont encore plus importantes dans le sol avec des teneurs qui vont de 0,027 au niveau de la station de l'oued Fragma à 1,178ppm à Salah (Figure n°38).

Les teneurs en zinc croissent en suivant le passage sol – eau – végétal – fruit, cela est observé dans toutes les stations étudiées sauf la première qui ne le présente pas, Les résultats montrent que les teneurs en Zn dans végétal sont beaucoup plus supérieures à celles détectées dans le sol et l'eau ce qui conduit à interpréter que le Zn est un oligo-élément essentiel pour le bon développement de la plante, d'autant plus qu'il est considéré comme très mobile (ALLOWAY, 1995).

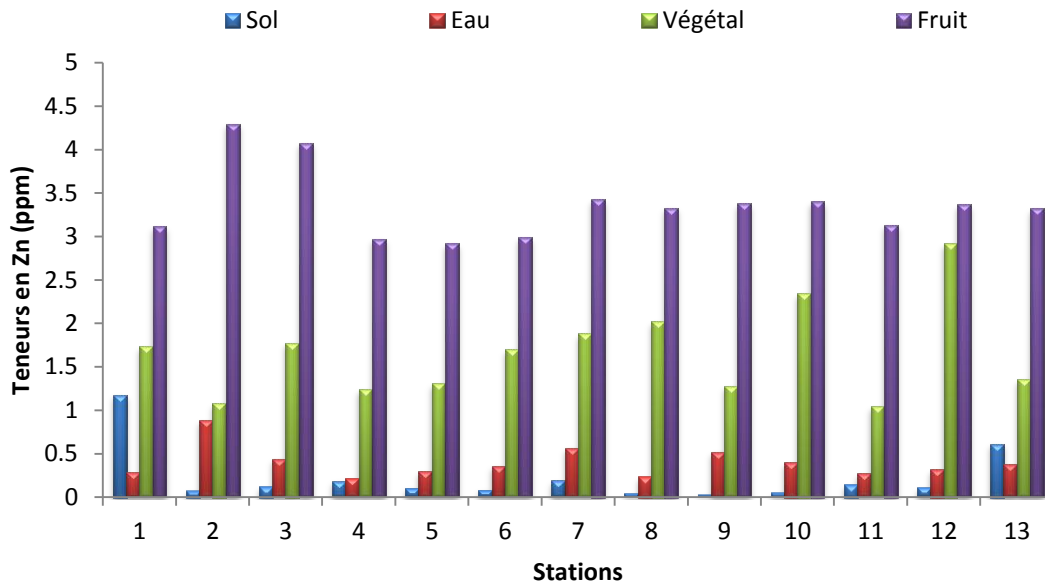


Figure n°39 : Variation des teneurs en Zinc dans les différents paramètres étudiés

Les formes les plus mobiles seraient facilement adsorbées par les constituants organiques et minéraux du sol, de sorte que le Zn tendrait à s'accumuler dans les horizons de surface de la plupart des solums (JUSTE ET AL., 1995). Les minéraux argileux et les substances humiques sont capables de fixer Zn très fortement

Nos résultats démontrent que l'eau est plus riche en Zn que le sol cela corrobore le passage du Zinc de l'eau vers le sol par le biais du phénomène d'irrigation. Le zinc est nécessaire à la formation de certaines auxines. De ce fait, il intervient dans la régulation de la croissance et dans la transformation des sucres de la plante (ADRIANO, 1986).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La Seybouse est considérée parmi les oueds les plus importants à l'échelle nationale, Il occupe la 3^{ème} place quant à la superficie de son bassin versant après l'oued Chelef et l'oued Medjerda h.

L'eau de cet oued draine une vaste région et traverse divers substrats et elle est utilisée à des fins multiples (agricole, industrielles et domestiques) l'exposant aux risques de la pollution, notamment dans ses parties moyenne et basse.

La pollution des eaux de la moyenne et basse Seybouse et son impact sur les propriétés du sol d'une part et sur les propriétés biochimiques d'une culture (tomate industrielle) d'autre part étaient le point d'appui de cette étude.

Les résultats recueillis ont montrés que le sol est physiquement homogène, avec une texture équilibrée à légèrement sableuse qui confère une bonne porosité favorisant ainsi un fonctionnement optimal du sol.

La caractérisation physico-chimique du sol et de l'eau montre que la conductivité électrique est très faible avec un pH neutre à légèrement basique. La solution du sol et le complexe adsorbant sont en équilibre, ce dernier pourra être un bon indicateur de la saturation du sol.

La matière organique enregistre des taux très satisfaisants dans les sols et semble jouer un rôle important dans cet équilibre.

L'évaluation des éléments traces métalliques, montre que le plomb est dominant dans la quasi-totalité des sites étudiés et provenant majoritairement du trafic routier, quant au Cd, Zn et au Cu, ils sont aléatoirement distribués selon les stations et proviennent probablement de l'activité industrielle, de l'utilisation exagérée d'engrais chimiques ou de produits phytosanitaires.

Les qualités du sol et de l'eau ont un effet peu marqué sur les propriétés biochimiques des cultures (en matière sèche, chlorophylle et proline), nous avons constaté que la partie végétative est plus résistante que les fruits en cas de perturbations du milieu, mais les fruits accumulent de façon remarquable, quelques éléments (Cu et Zn) pouvant être nocifs pour le consommateur en général au fil des années.

Et dans le but de faire diminuer les teneurs de ces éléments, il est demandé de définir une politique de protection de l'environnement, promulguer des lois strictes d'utilisation et de la fabrication de quelques substances chimiques. La distribution d'essence sans plomb, la réglementation des aérosols, la meilleure gestion des ressources (économie d'énergie) en sont quelques exemples.

Pour la sauvegarde d'un sol fertile et d'une eau saine, la limitation des apports de polluants revêt une importance capitale. Les possibilités ne manquent pas ; citons,

- ✚ limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture dans les sols à forte perméabilité, afin de réduire l'infiltration des éléments chimiques vers la nappe,
- ✚ l'abaissement des valeurs limite pour le cadmium dans les engrais phosphorés, le remplacement des produits phytosanitaires métallifères,
- ✚ l'abaissement des limites pour les métaux lourds dans les boues d'épuration et le compost,
- ✚ la réduction des teneurs en métaux lourds dans les additifs fourragers, particulièrement en cuivre et en zinc,
- ✚ réaliser un traitement préalable des rejets avant qu'ils atteignent les oueds et surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued,
- ✚ éviter l'implantation des ouvrages d'AEP au niveau des berges des oueds, car cela produirait un abaissement du niveau piézométrique dans l'ouvrage et un écoulement des eaux de l'oued vers la nappe, ce qui amènerait une modification de la qualité de la nappe.

Cela sera d'autant plus efficace avec une bonne sensibilisation des personnes qui sont en contact direct avec ces problèmes (agriculteurs, responsables d'unités industrielles, travailleurs, chimistes, citoyens...).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABRAHAMS, P.W., 2002.** Soils: their implications to human health. The Science of the
- ACTOM, 2002 :** Situation de la filière « Tomate industrielle »
- ADEME, 2000.** Les boues d'épuration municipales et leur agriculture. Dossier Doc. 59p.
- ADRIANO, D.C., 1986.** Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York. 365 p.
- ADRIANO, D.C., 2001.** Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg.
- AFNOR n° 90-101 :** Détermination des matières en suspension.
- AL ZU'BI, Y., 2007.** Effect of irrigation water on agricultural soil in Jordan valley : An example from arid area conditions. J. of Arid Environments, 70 :63-79.
- Alloway, B.J., 1995.** Soil processes and the behaviour of heavy metals.
- ANDREAE H., 1970.** Nouveaux procédés de mesure en hydrologie.
- ANONYME 1 :** Université de Saskatchewan, 1984. Centre du développement de l'irrigation
- ANONYME 3 :** Ecole nationale supérieure des mines Saint-Etienne, 1997.
- ANONYME 4 :** www.google-map.com
- ANONYME 2 :** www.Wikipedia.com
- AOUADI A., 2006.** Approche biologique d'épuration des eaux résiduaires de l'oued Meboudja (Annaba) à l'aide d'une macrophyte. Mémoire d'ingénieur, option : Pathologie des écosystèmes. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- ARNON D.I., 1949.** Coupper enzymes is olated chloroplastes polyphénolocidases *in (Beta vulgaris)* plants physiol.
- ASANO T., 1998.** Irrigation with reclaimed municipal wastewater: California experiences. CIHEAM Options Méditerranéennes, Bari (Italy).
- AYERS R.S. ET WESTCOT D.W., 1994.** Water quality for agriculture. FAO. Irrigation and drainage paper. N° 29 Rev. 1 FAO, Rome.
- BAGHDALI L., 2007.** La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie. Exposé à Rabat, 9-12 Juillet 2007.
- BAIZE, D., 1997.** Teneurs totales en éléments trace métalliques dans les sols (France). INRA, Paris, 408 pages.
- BALDOK J.A. ET NELSON, 2000.** The chemical Composition of soil. In Handbook of soil science. Edited by Sumner, ME. (CRC press, Boca Raton, London, New York, Washington. DC).

- BARBAULT R., 2003.** Ecologie générale ; structure et fonctionnement de la biosphère, 5^{ème} édition DUNOD, Paris.
- BAUMONT, S. ; CAMARD, J.P. ; LEFRANC, A. ; FRANCONI, A., 2004.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France.
- BEN AMARA, O., 2007.** Contribution à la caractérisation physico-chimique et microbiologique de la litière du chêne liège de la région d'El Kala. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement. Université d'Annaba. pp. 2-34.
- BENSLAMA M., 2005.** Cours d'écopédologie 3^{ème} année Ecologie et Environnement. Université Bdj Mokhtar, Annaba.
- BENSLAMA-ZANACHE H., 1998.** Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes des sols du complexe humide d'El-Kala, Nord-Algerien). « Cas des station d'El-Khoubzi, Righia et Lac Noir ».
- BERNE F. ; CORDONNIER J., 1991.** Traitement des eaux, Epuration des eaux résiduaires de raffinage, conditionnement des eaux de réfrigération, ed TECHNIP, Paris, France.
- BERTHELIN J., BOURRELIER P.H., 1998.** Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion.
- BERTHELIN J., LEYVAL C., TOUTAIN F., 1994.** Biologie des sols. Rôle des organismes dans l'altération et l'humification. M. Bonneau et B. Souchier.
- BLUMENTHAL U.J. ; PEASEY A. ; RUIZ-PALACIOS G. ; MARA D.D. , 2000.** Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study, Task No. 68 Part 1, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University (UK). 67 p.
- BOIVIN J.P., RICOUR J., 2005.** Sites et sols pollués. Outils juridiques, techniques et financiers de la remise en état des sires pollués. Edition LE MONITEUR, Paris.
- BONNEAU M. ET SOUCHIER B., 1994.** Pédologie 2 : constituants et propriétés du sol. Ed. Masson.
- BOSWELL F.C.; PARKER M.B. AND GAINES T.P., 1989.** Soil zinc and pH effects on zinc concentrations of corn plants. Communications in soil science and plant analysis, 20(15-16) :1575-1600.
- BOUAFER L., 2009.** Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bio indicateur, *Helix aspersa* (Mollusca, Gasteropoda): inventaire, activité enzymatique et composition physico-chimique du sol. Mémoire de magister, option : Ecotoxicologie. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- BOUCHIHEB M., 2001.** Contribution à la mise en valeur agricole du périmètre irrigué de la plaine de Guelma. Mémoire d'ingénieur, option : Aménagement rural et milieu physique. Université Badji Mokhtar – Annaba.

- BOUDJEMAA S., 2007.** Caractérisation physico-chimique des sols de la plaine d'Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- BOUDOU A. ; DESMAZES J. P. ET GEORGESCAULD D., 1982.** Fluorescence quenching study of mercury compounds and liposome interactions: effect of charged lipid and pH." *Ecotox. Environment. Safety* 6: 379-387.
- BOUKROUH F., (ND).** Etude géologique des dépôts évaporitiques du bassin de Guelma. Mémoire de magistère, option : Géologie des substances utiles. Université Mentouri – Constantine.
- BOURGEOIS C.N., 1999.** Technologie des légumes. Ed. Tecet doc. Paris. 213 p.
- BOURRELIER P.H.; BERTHELIN J., 1998.** Contamination des sols par les éléments en trace: les risques et leur gestion. Tec & Doc Lavoisier (Ed. TEC & DOC). Paris.
- BOUZIANI, M., 2000.** L'eau: de la pénurie aux maladies. Editions Ibn-Khaldoun, Oran, Algérie.
- BRAR M.S. ; KHURANA M.P.S. AND KANSAL B.D., 2002.** Effect of irrigation by untreated sewage effluentson the micro and potentially toxic elements in soils and plants. Department od soils, Punjab Agr.Univ. India.
- CADILLON M., 1989.** Réutilisation des eaux usées : Contraintes et enjeux. Actes des journées techniquesd'assainissement au Maroc. Agadir (Maroc), 6-8 Septembre. pp. 2-26.
- CALVET R., 2003.** Le sole propriétés et fonction. Tom I et II. Ed.Dunod.
- CARR R.M.; BLUMENTHAL U.J. AND MARA D.D. , 2004.** Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture: Developing Realistic Guidelines. In: Scott, C., N. Faruqui, and L.Raschid-Sally (ed.), *Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities*, CAB International, London.
- CCME :** Conseil Canadien des Ministères de l'Environnement, 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols: Environnement et santé humaine. Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 8 p.
- CHAIGNON, V., 2001.** Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.
- CHAMPIAT D., LARPENT J.P., 1994.** Biologie des eaux, méthodes et techniques. Edition MOSSON.
- CHAUX.C ET FOURY, 1994 :** production légumière édition Lavoisier, France.
- CHOCAT, B., 1997.** Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc., 1124 p.

- CHUGH L.K ; SAWHNEY S.K., 1995.** Effect of Cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating Pea seeds. *Environmental Pollution*, 92. (1): 1-5.
- COLAS, 1976.** La pollution des eaux, collection « que sais-je », Edition presses universitaire, France.
- COLIN F., 2000.** Pollution localisée des sols et des sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Académie des sciences, Rapport n°44, éditions TEC & DOC.
- DAJOZ R., 1985.** Les indicateurs du statut acido-basique des sols. « Station agronomique de l'Asine ».pp. 25-96.
- DEBEICHE T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse. Thèse de doctorat. Ecole doctorale Homme, Environnement, Santé. Science de la terre.
- DELAUNOIS A., 1976.** Travaux pratiques de pédologie générale. pp. 2-86.
- DELCOUR F., 1981.** Initiation à la pédologie, Fac, Sc, Agron. Gembloux 78p.
- DI BENEDETTO, M., 1997.** Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation : Les ETM. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. France.
- DUBEY B.L. ET DWIVIDI P., 1988.** Projective value of somatic Ink blot – séries II in casestammering. *Journal of personality and clinical studies*. 8, 173-176.
- DUBOST D., 1992.** Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. *Sécheresse*, 3, 85-96,.
- DUCHAUFOR PH, 1995.** Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed. Masson ; Paris, 317p.
- DUCHAUFOR PH., 2001.** Introduction à la science du sol – 6ème Ed de l'abrégé de pédologie Dunod, 331p.
- DUTHIL, J., 1971.** Elément d'écologie et d'agronomie. Ed. Doin.
- EL HAYEK N., 1989.** Méthodes d'analyse de l'eau. Editions OPU. Alger, Algérie. 179p.
- ELHAI, 1968.** Elément de biogéographie, édition le DOIN, France.
- FABY.J.A., 1997.** Utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Edit FNAD.
- FAO, 2000.** Water quality management and pollution control in the Near East : An overview. Regional workshop on water quality management and pollution control in the Near East. Cairo (Egypt).
- FARUQI, N., 2003.** La gestion de l'eau selon l'Islam. Éditions Karthala, Paris, p144.
- FEKRAOUI AND KEDAID F.Z., 2005.** Geothermal Resources and Uses in Algeria: a Country Update Report, In Proceedings of WGC.
- FOWLER S. W., 1982.** Biological transfer and transport processes. Pollutant transfer and transport in the sea. G. Kullenberg, CRC press. Boca Raton: 2-65.

- FROESE K.L., 1998.** Health effects associated with wastewater treatment, disposa land reuse. Water Environ. Research, 70(4):962-968.
- GALLAIS A. ET BENEROT, 1992 :** Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de sélection INRA.
- GAUCHERS ET SOLTSEY, 1981.** Base de la production végétale : le sol, Edition Techniques agricoles.
- GHACHI A., 1986.** Le bassin de la Seybouse, Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algerie.Ed O.P.U. Ben Aknoun, Alger, Algérie.
- GOBAT J.M., ARAGON M., MATTHEY W., 2003.** Le sol vivant,Collection : GERER L'ENVIRONNEMENT 2^{ème} édition.
- GODIN M., FEINBERT M.H., DUCAUZE C.J., 1985.** Modeling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources. Environmental Pollution. 10, 97-114.
- GOUAIDIA L., 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico- chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-est Algérien. Thèse de doctorat, option : Hdrogéologie. Université Badji Mokhtar – Annaba.
- GUERREE H., GOMELLA C., 1978.** Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : la collecte. Edition Eyrolles, Paris.
- GUPTA N., KHAN D.K. AND SNATRA S.C., 2007.** An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 80 :115-118.
- HERRIECHE O., 2004.** Impact du cadmium et l'interaction cadmium-calcium sur la germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum* Dsf., Var. Vitron). Effet sur la respiration des racines. Mémoire de Magister en toxicologie. Département de Biologie. Université Annaba : 120 pages.
- JAMAGNE, 1980.** Les bases de la description des sols Ed. Dunod 125p
- KADEM D.D., 2005.** Évaluation et comportement des métaux lourds (Cd – Cr – Cu – Ni – Pb – Zn et mn) dans les sols à vocation agricole et à végétation naturelle soumis à une pollution atmosphérique (El Hadjar – Annaba – Est Algérien). Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux. Thèse de doctorat, option : Ecologie. Université Mentouri – Constantine.
- KEBICH.M, BANABID. C,ADJAL.C ,1999.** Pollution des eaux superficielles dans climat semi-aride : la région de Sétif, Algérie, cahier de sécheresse, p.137, 142)
- KETTAB A., 1981.** Traitement des eaux potables. Edition OPU. Algérie.
- KETTAB A., 1992.** Traitement des eaux : les eaux potables ; Office des publications universitaires, Ben Aknoun, Alger.

- KETTAB A., 2001.** Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. Desalination. 136:25-33.
- KOLLER E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles ; eau, air, déchets, sols, boues, édition Dunod, Paris.
- KOUAME I.K., GONE, D.L., SAVANE, I., KOUASSI E.A., KOFFI K., GOULA B.T., DIALLO M., 2006.** Mobilité relative des ETM issus de la décharge d'Akouédo et risque de contamination de la nappe du Continental Terminal (Abidjan-Côte d'Ivoire). Revue Afrique Science 02(1):39-56.
- L'EVY E., LAMBERT, 1982.** Manuel des techniques de base pour le laboratoire médical établie sur la base d'un manuel antérieur.
- LANDIS W.G. ET YU M.H., 1995.** Introduction to Environmental Toxicology: Impacts of Chemicals upon Ecological Systems.
- LANDREAU A., 1987.** La réutilisation des eaux usées épurées par le sol et le sous sol : Adéquation entre : la qualité de l'eau, l'usage et la protection du milieu naturel. Séminaire sur les eaux usées et milieu récepteur, Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. Chap. 5, pp. 1-13.
- LAUMONIER, 1979.** Cultures légumiers et maraîchères, Baillière tome III.
- LECLERC H., ILARAD D., HUSSON M.O., WATTE P., JAKUBEZA K., 1983.** Microbiologie générale Edit. Dion
- LECOMTE P., 1998.** Les sites pollués : Traitement des sols et des eaux souterraines ; 2^{ème} édition.
- LEHTIHET L., 2005.** La réutilisation des eaux usées en Algérie : Situation actuelle et perspectives de développement. Communication personnelle. 30 p.
- LIU W.H., ZHAO G.Z., OUYANG Z.Y., DERLUND L.S. AND LIU G.H., 2005.** Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environ. International 31:805– 812.
- MALOUIS., 1989.** Potentiel new ressources of TMV resistance in Lycopersicon peruvianum. Thèse de doctorat, Université Nottingham.
- MARTIN G., 1979.** Le problème de l'azote dans les eaux, édition Technique et Documentation.
- MASS G., 1987.** Pollution de l'environnement d'origine naturelle et effets des polluants, contrôle et législation, épuration des eaux.
- MASSCHELEIN W.J., 1996.** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, édition CEBEDOC, sprl Liège.
- MAT :** Ministère de l'aménagement du territoire, 2000. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, Algérie
- MATTALAH ET BARCHICHE, 1983.** La culture de tomate de plein champ pour la conserverie I, T, C,M,I Annaba

- MAZOUZ S., 2004.** Eléments de conception architecturale, Alger: Edition O.P.U, p176-177.
- MCLAUGHLIN M.J., HAMON R.E., MCLAREN R.G., SPEIR T.W. & ROGERS S.L., 2000.** Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. Australian Journal of Soil Research (38):1037-1086.
- MEDJELEKH D., 2006.** Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma. Mémoire de magistère, option : Architecture bioclimatique. Université Mentouri – Constantine.
- MEDKOUR M., 2002.** Réutilisation des eaux usées épurées. Forum de la gestion de la demande en eau : réutilisation des eaux usées. Rabat, 26 et 27 mars 2002. 11 p.
- MENA:** Middle East and North Africa: the way forward. The world Bank, MENA Infrastructure Development Group, 24 p.
- MIQUEL G., 2003.** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Tome I, 198 p.
- MOREL R., 1986.** Les sols cultivés. Lavoisier. 1^{ère} édition. Paris. pp. 21-64.
- MOREL R., 1989.** Les sols cultivés. Lavoisier. 2^{ème} édition. Paris. pp. 51-74
- MRE :** Ministère des Ressources en Eau, 2001. Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse. Alger, Algérie. 73 p.
- MRE :** Ministère des Ressources en Eau, 2001. Les ressources en eau d'Algérie. Rapport de synthèse. Alger, Algérie. 73 p.
- NGO C. ; REGENT A., 2008.** Déchets, effluents et pollution impact sur l'environnement, 2^{ème} édition
- NRC:** National Research Council , 1998. Issues in Potable Reuse: The Viability of Augmenting Drinking Water Supplies with Reclaimed Water. National Academy Press, Washington D.C. (USA).
- NRC:** National Research Council, 1996. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop. National Academies Press (NAP), Washington, D.C. (USA), 193 p.
- NRC:** National Research Council, 2004. Indicators for Waterborne Pathogens. National Academy Press, Washington, DC (USA).
- OMS :** Organisation mondiale de la santé, 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.
- OUMERZOUK A. ET BOUHARAS M., 1993.** Contribution à l'étude des sols et de l'assainissement agricole dans le Sud-est de la grande plaine orientale de Annaba (secteur de Besbese, Zerirer et Ben M'Hidi). Mem. Ing. Amen. I.S.T. Uni Annaba.

- PASCUAL I., ANTOLÍN M.C., GARCÍA C., POLO A. AND SÁNCHEZ-DÍAZ M., 2004.** Plant availability of heavy metals in a soil amended with a high dose of sewage sludge under drought conditions. *Biol Fertil Soils*, 40: 291–299.
- PEDRO G., 2007.** Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux. Académie des sciences, Paris.
- PERSSON P. ET LOUVEAUX J., 1984 :** pollinisation et production végétale, INRA, Paris.
- POUSSET J. , 2000.** Engrais verts et fertilité des sols. 1^{ère} édition.
- QUEVANVILLER P., 2001.** Météorologie et chimie de l'environnement, p.251
- RADCLIFFE J.C., 2004.** Water Recycling in Australia. Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Parkville, Victoria (Australia).
- RAMADE F, 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2^{ème} édit.
- RAMADE, F., 1979.** Ecotoxicologie. 2nd ed Masson, Paris.
- RAOULT J. F., 1974.** Géologie du centre de la chaîne numidique (nord du constantinois, Algérie). Thèse sciences, Paris (France), Mém. Soc Géol. Fr. nouv. Série, n°121. doctorat, univ de Pierre et Marie Curie, Paris VI (France), 2 vol, 665p. pp 133-140.
- RATEL C., NEJJAR, A. ET BENTALEB, M., 1986.** La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation au Maroc : Cas de la ville de Marrakech. Séminaire sur les technologies appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat (Maroc), 24-28 Novembre. pp. 31-44.
- RENAULT-ROGER C., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, édition TEC & DOC, Lavoisier, Paris.
- ROBERT M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement.
- RODIER J., 1975.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Tome 1, 5^{ème} édition.
- ROUYRRE C., 2003.** Guide de l'eau,
- SAIDAM, Y., 2005.** A regional overview of wastewater management and reuse in the Eastern Mediterranean Region. WHO-EM/CEH/139/E, WHO/CEHA, 67 p.
- SCOKART P.O., MEEUS-VERDINNE K. ET DE BORGER R., 1983.** Mobility of heavy metals in polluted soils near Zinc Melters. *Water, Air and Soil pollution*. 20:436-451.
- STENGEL P., GELIN, S. COORD, 1998.** Sol : interface fragile, Institut National De La Recherche Agronomique)
- SZABOLCS I., 1994.** Prospects of soil salinity for the 21st century *Trans Int Cong of soil Sc*. 123-141,.
- TAMRABET L., 2011.** Contribution à l'étude de valorisation des eaux usées en maraichage. Thèse de doctorat, option Hydraulique. université Hadj Lakhdar – Batna.

- TAMRABET L., BOUZERZOUR H., KRIBAA, M. ET GOLEA D., 2003.** Le devenir des eaux usées traitées: Réponse de deux graminées fourragères, l'orge et l'avoine, aux apports d'eau usée traitée. In: Actes du Colloque international Oasis, Eau et Population. Université Khider, Biskra, Algérie.
- TAMRABET L., GOLEA .D, BOUZERZOUR .H, 2002.** La réutilisation des eaux usées en agriculture: insuffisances et solutions des méthodes de traitement des effluents en Algérie. Watmed 2002, Monastir, Tunisie. Pp. 295-302
- TAMRABET L., GOLEA D. AND BOUZERZOUR .H, 2002.** The analysis of the water resources in Algeria; In: Actes du deuxième conférence inter-régionale sur l'environnement et l'eau (Envirowater2002), Ouagadougou, Burkina Fasso.
- TAMRABET L., GOLEA D. AND BOUZERZOUR H., 2003.** The freshwater resources crisis and the wastewater valorization in Algeria; In: Actes du Regional symposium on water recycling in Mediterranean Region, National agricultural research foundation, Institute of Iraklio, Crete, Greece. 26-29 Sept. 7 p
- TIJANI, M.N., 2008.** Contamination of shallow groundwater system and soil-plant transfer of trace metals under amended irrigated fields. AGWAT-2678.
- TOMAS O., 1995.** Métrologie des eaux résiduaires, édition CEBEDOC.
Total Environment 291: 1-32
- VILLA J. M., 1980.** la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat.
- WRIGHT D.A., & WELBORN P., 2002.** Environmental Toxicology, Cambridge, UK, Cambridge University Press. pp. 1-15.
- YANG Y., ZHANG F.S., LI H.F. AND JIANG R.F., 2008.** Accumulation of cadmium in the edible parts of six vegetable species grown in Cd-contaminated soils. J. Environ. Management 90 :1117-1122.
- ZEDDOURI A., 2003.** Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation) » Thèse de magister en hydrogéologie Université Badji Mokhtar, Annaba.
- ZOUITA, 2002.** Etude de la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher (Nord-Est Algérien). Mémoire de Magister en Hydraulique. Université de Batna. 97 p.

RESUME

La pollution du bassin de la Seybouse est provoquée par plusieurs perturbations ayant différentes sources, notre travail repose sur l'étude des effets de cette pollution, d'une part sur l'environnement et sur les êtres vivants d'une autre part.

L'identification de la nature et de la gravité de cette pollution a nécessité l'échantillonnage du sol, eau et du végétal cultivé, et une analyse des caractères physiques, physico-chimiques, chimiques et biochimiques de ces paramètres.

Les résultats obtenus indiquent que les sols ont une texture légère à dominance de sables, perméable à la circulation des eaux et des solutions. Le pH est neutre à légèrement basique et la conductivité est souvent faible. Ces sols sont bien pourvus en matière organique, cette dernière contrôle le pouvoir tampon du sol.

Malgré les diverses sources de pollution et malgré les multiples formes de pollution les eaux de l'oued reste peu pollué et agissent faiblement sur les cultures.

Les résultats obtenus mettent en évidence que le milieu agricole contient des teneurs non négligeables en quelques éléments traces métalliques d'origines anthropiques diverses, et que ces teneurs sont stockées ou accumulées par les différentes cultures (fruits) et qui peuvent devenir nocif à long terme d'où l'intérêt d'une surveillance quasi permanente de la qualité des sols et des eaux.

Mots clefs : Seybouse, Pollution, ETM, Agriculture.

ABSTRACT

The pollution of the basin of Seybouse is due to multiple disturbances which have different sources, our work is based on the study of the impact of this pollution, not only on the environment but also on the living beings.

The identification of the nature of its gravity has required the sampling the soil (ground), the water and the cultured plant, and an analysis of the physical, Physico-chemical, chemical and biochemical characters of this parameters.

The obtained results indicate that the soil has a light texture with a sandy dominance, permeable to water and solutions circulation. The reaction is neutral to lightly basic and the conductivity is often low. This soil is provided with Organic matters, it has a buffer power on the ground .

Despite the various sources of the pollution and its multiple forms, the water of the Oued are still slightly contaminated and still has a small impact on farming .

The obtained results show that the agricultural environment contains a significant content of certain metal traces elements which have various anthropogenic origins, these contents are stocked or accumulated by the different cultures (fruits) and which can become dangerous in long terms, with the interest of a standing supervision of soil and water quality.

Key words : Pollution, Seybouse, TME, Agriculture

الملخص

تلوث حوض السيوس يسببه عدة إختلالات ذات مصادر مختلفة . عملنا يركز على دراسة عواقب هذا التلوث على المحيط من جهة ، و على الكائنات الحية من جهة أخرى .

التعرف على طبيعة و حدة هذا التلوث تطلبت أخذ عينات من التربة ، المياه والنبات المزروع ، و تحليل الطبيعة الفيزيائية ، فيزيوكيميائية ، الكيميائية و البيوكيميائية لهذه العينات .

النتائج المتحصل عليها تشير أن للتربة طبيعة خفيفة مع غالبية رملية ، نفوذة لحركة المياه و المحاليل .

رد فعل معتدل إلى قاعدي قليلا ، الإيصال الكهربائي قليل عادة . هذه التربة تحتوي على كميات معتبرة من المادة العضوية .

بالرغم من تنوع مصادر التلوث و تعدد أنواعه فإن مياه الوادي تبقى قليلة التلوث و قليلة التأثير على الزراعة في المنطقة .

هذه النتائج تبين أن الوسط الفلاحي يحتوي على كميات لا يستهان بها من بعض العناصر المعدنية ذات مصادر بشرية متنوعة ، و أن هذه الكميات تخزن و تكسد من قبل بعض المزروعات (الفاكهة) والتي تستطيع أن تتحول إلى عناصر مضرّة مع مرور الزمن ، هذا ما يتطلب المراجعة الدائمة لنوعية المياه و التربة .

الكلمات المفتاحية : حوض سيوس - التلوث - عناصر معدنية - الفلاحة .

