

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire de Djelfa Ziane Achour

Institut d'Agronomie pastorale

Mémoire

Présenté au centre universitaire Ziane Achour

Pour l'obtention du diplôme de

Magister

Par

Amel SASSOUI

Intitulé

**Etude de la pollution et de l'autoépuration
des eaux de oued Mellah
(Rejets de la ville de Djelfa)**

Soutenu le : 21/09/ 2006, devant le jury :

Mr. A. CHOUKRI	Maître de conférences, C.U.Djelfa	Président
Mr. B. LAHRECH	Chargé de cours, C.U. Djelfa	Promoteur
Mr. M. LAHRECH	Maître de conférences, C.U.Djelfa	Examineur
Mr. B. AZZOUZI	Maître de conférence, C.U.Djelfa	Examineur
Mr. M. AMARI	Maître de conférence, USTHB	Examineur

Remerciements

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur B. LAHRECH. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma profonde gratitude, ainsi que ma reconnaissance pour son aide précieuse tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer ma respectueuse gratitude à Monsieur A. CHOUKRI, Directeur du centre universitaire de Djelfa, pour avoir accepté la présidence du jury et pour toute l'aide qu'il nous a apportée.

J'exprime mes profonds remerciements à Monsieur M. LAHRECH, Monsieur B. AZZOUZI et à Monsieur M. AMARI pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour leur aide précieuse.

Mes plus vifs remerciements s'adressent également au personnel du laboratoire d'analyses du HCDS, notamment S. HASSANI, à l'équipe du laboratoire de Chimie de l'Environnement de l'USTHB et à l'équipe du laboratoire LCME de Chambéry, pour m'avoir permis d'effectuer mes analyses et toute l'aide qu'ils m'ont apportée.

Que tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail, trouvent ici l'expression de ma très grande gratitude et ma sympathie.

Je voudrais enfin remercier ma famille et mes amis pour leur soutien et leur affection sans lesquels je ne serai arrivée au terme de ce travail.

Sommaire

Introduction

Première partie : Partie bibliographique.

Chapitre I : Caractéristiques de la pollution et phénomène de l'autoépuration.

1. Nature et origine des eaux usées	01
2. Caractéristiques des eaux usées	01
3. Paramètres de rejet	02
3.1. Paramètres physiques	02
3.2. Paramètres chimiques	03
3.3. Paramètres toxiques et inhibiteurs	04
3.3.1. Les cations	04
3.3.2. Les métaux lourds	05
4. Normes de rejets	07
5. Phénomène de l'autoépuration	08
5.1. L'autoépuration	08
5.2. Mécanisme de l'autoépuration	08
5.3. L'épuration biologique	09
5.4. Facteurs influençant l'autoépuration	10
5.4.1. Facteurs climatiques	10
5.4.2. Facteurs physico-chimiques	11
5.4.3. Facteurs physiques	12
5.4.4. Facteurs biologiques	13
5.4.5. Les inhibiteurs et les toxiques	13
5.5. Pouvoir épurateur du sol	14
5.6. Précipitation des métaux	14
5.7. Sédimentation	15
5.8. Adsorption	15
5.9. Flocculation et Biosorption	15
6. Les différentes classes de qualité et usage des eaux	16

Chapitre II : Etude du milieu

Présentation de la zone d'étude	17
1. Situation géographique	17
2. Délimitation du bassin versant de l'aire d'étude	17
3. Milieu physique	18
3.1. Relief	18
3.2. Géologie	18
3.2.1. Structures géologiques	18
3.2.2. Formations géologiques	19
3.3. Les pentes	21
3.4. Pédologie	21
3.5. Hydrologie	21
3.5.1. Réseau hydrographique	21
3.5.2. Les débits	24
3.5.2.1. Débit moyen interannuel	24
3.5.2.2. Débit moyen annuel	24

Sommaire

3.6. Climat	25
3.6.1. Précipitations	25
3.6.2. Températures	25
3.6.3. Bioclimat	26
3.6.3.1. Diagramme ombrothermique	26
3.6.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	26
3.6.4. Humidité	27
3.6.5. Evapotranspiration potentielle	27
3.6.6. Vents	27
3.6.7. Les gelées	28
3.6.8. Neige	28
4. Données socio-économiques	29
4.1. Population	29
4.2. Activités industrielles	29
4.3. Réseau d'assainissement	29
4.4. Station d'épuration	30
4.5. Pollution des eaux	30

Deuxième partie : Partie expérimentales

Chapitre III : Méthodologie d'expérimentation

1. Introduction	31
2. Objectifs	31
3. Etudes antérieures	32
4. Localisation de points de prélèvement	32
5. Echantillonnage	34
5.1. Prélèvement des eaux de l'oued	34
5.2. Prélèvement des rejets industriels	35
5.3. Prélèvement des sédiments	37
6. Conditions de prélèvement	37
7. Laboratoires d'analyses	37
8. Traitement et conservation des échantillons	37
9. Méthodes d'analyses	38
10. Traitement de données	38

Chapitre IV : Résultats et interprétations

I. Analyse des eaux usées de l'oued Mellah	40
I.1. Première phase : Etude préliminaire	40
I.1.1. Mise en évidence de la pollution	40
I.1.2. Variation spatio-temporelle des rejets : Etude synchronique de la pollution	45
I.2. Deuxième phase : Caractérisation de la pollution	50
I.2.1. Evaluation de la charge polluante	50
I.2.2. Provenance des polluants et mise en évidence de l'autoépuration	50
• ANOVA	50
• Corrélations	61
I.2.3. Variation saisonnière	62

Sommaire

II. Analyse des rejets industriels : Source de pollution	63
III. Analyse des sédiments	66
Conclusion générale	73
Références Bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques moyennes des rejets urbains	01
Tableau 02 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejet	08
Tableau 03 : Les différentes classes de qualités et d'usage des eaux	16
Tableau 04 : Débits mensuels de l'oued Mellah	24
Tableau 05 : Précipitations moyennes mensuelles entre 1990 et 2005.	25
Tableau 06 : Températures moyennes mensuelles entre 1990 et 2005	25
Tableau 07 : Humidité relative dans la ville de Djelfa entre 1990 et 2005	27
Tableau 08 : Moyennes de l'ETP et de l' ETP-P de la station de Djelfa	27
Tableau 09 : Vitesse moyenne des vents m/s de la station de Djelfa	27
Tableau 10 : Nombre de jours de gelée par an dans la station de Djelfa	28
Tableau 11 : Nombre de jours de gelée par moi dans la station de Djelfa	28
Tableau 12 : Nombre de jours de neige tombée dans la station de Djelfa	28
Tableau 13 : Population de la ville de Djelfa (1998-2029)	29
Tableau 14 : Méthodes d'analyses utilisées	39
Tableau 15 : Résultats du premier prélèvement	40
Tableau 16 : Résultats du pH du deuxième prélèvement	46
Tableau 17 : Résultats de la CE du deuxième prélèvement	46
Tableau 18 : Résultats des analyses de la deuxième phase	51
Tableau 19 : Résultats des ANOVA des différents éléments	52
Tableau 20 : Résultats des tests de contraste des différents éléments	52
Tableau 21 : Résultats des corrélations entre les différents éléments	61
Tableau 22 : Comparaison entre les prélèvements de mai et d'octobre	62
Tableau 23 : Résultats d'analyses de rejets industriels (ZI) et du point 1 (P1)	63
Tableau 24 : Répartition des éléments dans les sédiments	66

Liste des figures

Figure 01 : Géologie du bassin versant de l'oued Mellah	20
Figure 02 : Profil en long de l'oued Mellah	22
Figure 03 : Réseau hydrographique de l'oued Mellah	23
Figure 04 : Diagramme ombrothermique de la station de Djelfa	26
Figure 05 : Points de prélèvement	33
Figure 06 : Variation du pH dans l'oued (prélèvement mai 2004)	41
Figure 07 : Variation de la conductivité dans l'oued (prélèvement mai 2004)	41
Figure 08 : Variation de la DBO dans l'oued (prélèvement mai 2004)	42
Figure 09 : Variation des MES et des MVS dans l'oued (prélèvement mai 2004)	42
Figure 10 : Variation des nitrates dans l'oued (prélèvement mai 2004)	43
Figure 11 : Variation de l'ammoniac dans l'oued (prélèvement mai 2004)	43
Figure 12 : Variation des phosphates dans l'oued (prélèvement mai 2004)	44
Figure 13 : Variation du chrome dans l'oued (prélèvement mai 2004)	44
Figure 14 : Variation journalière de la CE et du pH dans l'oued (octobre 2004).	47
Figure 15 : Analyse de la variance de la CE en fonction des points et des jours	48
Figure 16 : Analyse de la variance du pH en fonction des points et des jours	48
Figure 17 : Variation du pH dans l'oued (prélèvement octobre 2005)	53
Figure 18 : Variation de la CE dans l'oued (prélèvement octobre 2005)	53
Figure 19 : Variation de la DBO dans l'oued (prélèvement octobre 2005)	54
Figure 20 : Variation des MES et des MVS dans l'oued (prélèvement octobre 2005)	54
Figure 21 : Variation des NO_3^- et des NO_2^- dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	55
Figure 22 : Variation des PO_4^{3-} dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	55
Figure 23 : Variation des Cl^- dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	56
Figure 24 : Variation des K^+ dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	56
Figure 25 : Variation des Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et CaCO_3 dans l'oued (octobre 2004)	57
Figure 26 : Variation des SO_4^{2-} dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	58
Figure 27 : Variation du Cr, Pb et Zn dans l'oued (prélèvement octobre 2004)	59
Figure 28 : Comparaison entre les rejets du P1 et de la ZI.	64
Figure 29 : Variation de la fraction fine et CE dans les sédiments	67
Figure 30 : Variation de la MO et des CaCO_3 dans les sédiments	68
Figure 31 : Variation des Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et des SO_4^{2-} dans les sédiments	69
Figure 32 : Variation des NO_3^- , NO_2^- , Na^+ et des K^+ dans les sédiments	70
Figure 33 : Variation des PO_4^{3-} , Cr, Pb et Zn dans les sédiments	71

Introduction

Aujourd'hui, par suite de la croissance démographique, de l'urbanisation et du développement industriel, les dégâts causés par la pollution des eaux prennent une ampleur telle que, dans certains pays, si des mesures très sévères ne sont pas appliquées et respectées par toutes les collectivités, des situations désastreuses peuvent apparaître à brève échéance.

Les pays en voie de développement, comme le notre, ne sont pas à l'abri d'une telle menace. En effet, depuis ces deux dernières décennies, les constats faits sur l'état actuel de l'environnement de la ville de Djelfa, en particulier l'oued Mellah, sont alarmants.

Une importante concentration de la population, estimée à plus de 300.000 habitants (URBATIA, 2006), un urbanisme accéléré et une industrie polluante sont les causes principales de la pollution de l'oued. Cet oued est le seul exutoire de la ville et qui est devenu de ce fait, un véritable égout charriant toutes les catégories d'eaux usées.

Les constats faits sur le terrain sont alarmants. Les odeurs nauséabondes émanant de l'oued, la couleur noirâtre des rejets et les nombreuses pathologies à transmission hydrique enregistrées dans la ville, laissent supposer l'existence d'une pollution très poussée des eaux usées de l'oued Mellah, et qui a atteint des seuils de toxicité très élevés.

Il n'existe aucune politique environnementale en la matière : La seule station d'épuration de la ville est à l'arrêt depuis 1988 (ANAT, 2000) , le traitement des effluents industriels ne se fait que partiellement et les rejets restent toujours pollués et dangereux, le taux de raccordement au réseau d'assainissement est de 86 % (ANAT, 2000), c'est à dire que 14 % des eaux usées s'infiltrant directement dans le sol et contaminent les eaux souterraines.

Si on ajoute à cela l'absence totale du contrôle des eaux déversées, alors qu'elles sont utilisées directement pour l'irrigation des terres avoisinantes, et même pour l'abreuvement des animaux destinés à l'alimentation, c'est donc toute la chaîne trophique qui se voit contaminée. L'impact est encore plus grave, car cette pollution touche directement les habitants de la ville.

Par cette étude, nous pensons, dans la mesure de nos moyens qui sont fort limités, d'attirer l'attention sur le danger réel que court les habitants de la ville de Djelfa et tout son environnement.

Notre travail reste dans le cadre de la recherche. Et le but de cette intervention est l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux, car celle-ci n'a pu être menée d'une façon exhaustive jusqu'à présent.

Les objectifs de ce travail sont donc :

- La caractérisation de la qualité physico-chimique des eaux résiduaires industrielles et domestiques de la ville de Djelfa déversées dans l'oued Mellah et la détermination du seuil de la pollution.
- Etude de la variation spatio-temporelle et saisonnière de la qualité physico-chimique de l'eau le long de l'oued sur une longueur d'environ 20 km, afin de mettre en évidence le phénomène d'autoépuration des eaux.
- L'analyse des rejets industriels afin d'étudier la pollution à sa source et l'impact de ces rejets sur le milieu récepteur.
- L'analyse des sédiments, dans le but d'étudier l'infiltration et l'accumulation des polluants.

Ce travail est une ébauche qui donne un aperçu sur la pollution de l'oued Mellah dont l'objectif est d'alerter et sensibiliser les collectivités. pour remédier à cette pollution.

Ce travail est réparti en deux parties :

- Première partie : avec deux chapitres, le premier est une étude bibliographique qui traite les caractéristiques de la pollution des eaux et le phénomène de l'autoépuration. Le deuxième est consacré à l'étude du cadre physique.
- Deuxième partie : avec deux chapitres : Le premier expose la méthodologie du travail. et le deuxième les résultats et leurs interprétations.

1. Nature et origine des eaux usées

Les eaux usées proviennent de diverses activités de part leur origine, ces eaux peuvent être classées en trois catégories principales (01) :

- **Les eaux usées pluviales** : Les eaux de pluies sont relativement pures et douces au moment de leur chute mais de nos jours les eaux de pluies dans les villes sont souillées par les pollutions atmosphériques lorsqu'elles s'écoulent sur les différentes surfaces (toits, cours, rues...), elles se chargent de matières en suspension (01).
- **Les eaux usées domestiques** : Ces eaux sont généralement les eaux ménagères provenant principalement des habitations (les eaux de cuisine, des salles de bains et les eaux de vannes provenant des W-C). Ce sont des eaux chargées de matières fécales, de déchets ménagers et de détergents.
- **Les eaux usées industrielles** : Elles proviennent des industries et contiennent des bruts finis et des sous produits industriels. Les caractéristiques de ces eaux varient en fonction de la nature de l'activité industrielle, des matières premières utilisées et de la technologie appliquée pour la fabrication du produit final.

2. Caractéristiques des eaux usées

Les eaux usées renferment des matières organiques solubles, colloïdales et en suspension.

La pollution des réseaux d'égouts urbains est habituellement évaluée par habitant.

L'intérêt croissant porté à la quantité de l'eau conduit à définir pour les eaux usées, un certain nombre de paramètres spécifiques qui les caractérisent.

Le degré de pollution d'une eau résiduaire est apprécié en déterminant ces paramètres (02).

Tableau 01 : Caractéristiques moyennes des rejets urbains d'après Hunter et Heukelekian (03).

Caractéristiques	Maximale	Moyenne	Minimale
PH	7.5	7.2	6.8
Matières décantables (mg/l)	6.1	3.3	1.8
Matières solides totales (mg/l)	640	453	322
Matières volatiles totales (mg/l)	388	217	118
Matières en suspension (mg/l)	258	145	83
Matières volatiles en suspension (mg/l)	208	120	62
Demande chimique en oxygène (mg/l)	436	288	159
Demande biologique en oxygène (mg/l)	276	147	75
Chlorures (mg/l)	45	35	25

3. Paramètres de rejet

La détermination des différents paramètres caractérisant l'eau polluée est nécessaire, car elle conditionne le choix et le dimensionnement du procédé épuratoire le plus adapté, ces paramètres peuvent être ainsi récapitulés (04).

3.1. Paramètres physiques

- **pH** : il donne un aperçu sur la charge de l'eau et indique l'efficacité de l'épuration. Une épuration biologique ne peut se faire qu'en présence d'un pH neutre ou légèrement basique. Sa variation entraînerait une diminution de la dégradation de la matière organique (05).
- **Température** : elle constitue un des facteurs les plus importants de l'épuration des eaux car elle influe sur l'activité et la vitesse de dégradation et la nature des micro-organismes présents dans l'eau (06), mais elle reste un paramètre dont la détermination est souvent négligée. Son contrôle est indispensable pour la réalisation du traitement des effluents qui nécessite une température inférieure à 30°C (07).
- **Conductivité** : sa mesure donne une idée sur la salinité de l'eau et varie en fonction du degré d'impureté. Sa détermination est nécessaire car au-delà d'une salinité limite, la biodégradation de la matière organique peut se trouver freinée, et les rendements épuratoires affectés (04).
- **Matières en suspension (M.E.S)** : ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées ni à l'état colloïdal (07). C'est la quantité des particules solides de nature minérale et organique véhiculées par les eaux usées : $M.E.S = 70\% M.V.S + 30\% M.N.$ (05)
- **Matières volatiles sèches (M.V.S)** : elles représentent la fraction organique des M.E.S. Ces matières disparaissent au cours d'une combustion et sont mesurées à partir des M.E.S (résidu à 105°C), après calcination au four à 525°C. La connaissance de ces matières fournit des renseignements sur la quantité des boues organiques produites (08), et représentent 70% des M.E.S (07).
- **Matières minérales (M.N)** : c'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent le résidu de calcination et correspondent à la présence de sel de silice et de poussières (08).
- **Turbidité** : c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de la matière non dissoute (09). La turbidité des effluents résiduaires et des eaux polluées est en général très élevée, elle ne peut de ce fait être exprimée en goutte de silice ou de mastic. Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique (05).
- **Couleur** : elle dépend de la nature des composants rejetés dans l'eau. elle renseigne également sur le fraîcheur du rejet. En effet, une eau urbaine présente une coloration grisâtre, alors qu'une eau sceptique présentera une couleur noirâtre (04).
- **Odeur** : les odeurs et les saveurs sont causées par le dégagement des gaz de fermentation anaérobie tel que H_2S et CH_4 et l'augmentation de la température des eaux usées, surtout en saison estivale (08).

3.2. Paramètres chimiques

- **Demande biologique en oxygène (DBO₅)** : c'est la mesure la plus importante de la pollution organique (07). Elle représente la quantité d'oxygène consommée par l'eau usée pendant cinq jours. Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation, et avec l'intervention des bactéries, les matières organiques de l'eau usée (10).
- **Demande chimique en oxygène (DCO)** : elle traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques dans l'effluent. la DCO est une mesure de presque toutes les matières organiques contenues dans l'eau qu'elles soient ou non biodégradables (11).
- **Le rapport DCO/DBO₅** : ce rapport marque la part relative des matières rapidement biodégradables dans l'ensemble des matières oxydables (12).
 - Si $DCO/DBO_5 < 2$: ceci favorise le traitement biologique
 - Si $2 < DCO/DBO_5 < 2.5$: l'effluent est biodégradable, il y a possibilité de traitement biologique
 - Si $DCO/DBO_5 > 2.5$: l'effluent est surtout d'origine industrielle, le choix se porte donc sur un traitement physico-chimique.
- **L'oxygène dissous** : le taux d'oxygène dissous détermine directement la nature de l'écosystème aquatique et constitue le paramètre le plus sensible à la pollution organique, c'est un élément important pour le bon déroulement de l'autoépuration (05)
Sa teneur dans l'eau décide du mécanisme, donc de la vitesse d'épuration d'après l'équation :
$$MO + O_2 \longrightarrow CO_2 + NO_3^- + PO_4^{3-} + \text{boues} + \text{nouvelles cellules.}$$
- **L'Azote** : l'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques est essentiellement d'origine urinaire, il est présent dans les eaux sous plusieurs formes (07).
 - **L'Azote ammoniacal (N-NH₄⁺)** : c'est le produit normal de la dégradation de l'azote organique des protéines, des acides aminés, de l'urée, etc...(11)
Il exige une demande en oxygène importante lors de son déversement dans le milieu récepteur. Cette demande peut être aussi importante que la demande en oxygène carbonée des effluents urbains : l'oxydation d'un gramme d'azote ammoniacal en azote nitrique exige 4,75 g d'oxygène (07).
Il est très toxique et cause la perte des poissons (14).
 - **Les nitrites (N-NO₂⁻)** : L'élimination de l'azote consiste en une oxydation de l'ammoniac en nitrites par les *Nitrosomonas*. D'autres organismes oxydent également l'ammoniac en nitrites tel que : les *Nitrosococcus*, *Nitrosospina* et *Nitrosocytis* (15).
 - **Les nitrates (N-NO₃⁻)** : les nitrates sont le produit final de l'oxydation des dérivés azotés, sous l'action des bactéries de type *Nitrobacter* (11).
Les nitrates présentent 60 – 80 % de l'azote contenu dans l'eau (16).

Ils pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Mais ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais.

Les nitrates sont l'une des causes de la dégradation de l'eau. Transformés en nitrites par l'organisme, ils peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine en "méthémoglobine" et provoquer un mauvais transfert de l'oxygène vers les cellules. Le risque est très difficile à établir. Partant d'un principe de précaution, la norme de rejet est fixée à 25 mg/l (17).

- **Le phosphore** : il est présent dans les eaux sous forme de sels minéraux (orthophosphates (PO_4^{3-}) et polyphosphates provenant surtout des lessives) et sous forme organique d'origine industrielle et biologique (07).

Le phosphore joue un rôle important dans le stockage et le transfert d'énergie dans la cellule vivante, et un rôle très important dans l'épuration des eaux. Il est le facteur limitant principal du développement des algues en zone tempérée (13).

Sous l'action des microorganismes le phosphore organique et polyphosphates sont hydrolysés plus au moins rapidement en orthophosphates (07).

- **Le chlore** : C'est le désinfectant le plus utilisé pour l'élimination des germes pathogènes et pour la sécurité sanitaire du transport de l'eau dans les canalisations. En se combinant aux matières organiques, le chlore élimine les éléments indésirables. Lorsque sa concentration dépasse 50mg/l, il provoque la corrosion des canalisations en acier inoxydable. Il peut provenir des engrais. Les teneurs admises par l'O.M.S. ne dépassent pas 35 mg/l (18).
- **Les sulfates** : proviennent des rejets d'eaux usées d'origine industrielle et du lessivage des engrais dans les terrains agricoles. Ils peuvent aussi provenir de la dissolution du gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) dans les terrains gypseux ou du lessivage des terrains contenant des pyrites dont les sulfures entraînés s'oxydent en sulfates à l'air. Des concentrations supérieures à 200 mg/l provoquent la précipitation du sulfate de calcium dans les eaux calcaires. Des concentrations supérieures à 100 mg/l favorisent la corrosion des métaux (19).

3.3.Paramètres toxiques et inhibiteurs

La présence dans les eaux usées, d'acides, de substances minérales ou organiques, d'huiles et de métaux lourds peut inhiber totalement l'action des bactéries. La toxicité des métaux lourds dans les eaux usées s'étend à certains ions alcalins ou alcalino-terreux aux fortes concentrations comme K^+ , Na^+ et NH_4^+ . L'échelle de toxicité à égales concentrations selon MC. Carty et Kiney s'établissent comme suit : $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ (12).

3.3.1. Les cations :

- **Le sodium** : c'est un élément très soluble et très fréquent dans les eaux. C'est l'élément principal dans la composition des détergents. Il présente plusieurs origines indépendamment du lessivage des formations géologiques riches en NaCl. Il peut provenir de la décomposition des sels minéraux tels que les silicates, des eaux salées et surtout des rejets d'eaux usées d'origine industrielle et domestiques (19).

- **Le magnésium** : il peut être d'origine géologique, à savoir l'attaque des roches magnésiennes par le CO₂, le lessivage des roches volcaniques ainsi que la dissolution de MgSO₄ dans les terrains gypseux et pyriteux (19). Il peut provenir aussi des rejets industriels.
- **Le calcium** : sa forte présence donne des eaux dures. En plus de son origine industrielle, le calcium a une origine naturelle, il provient de la dissolution du gypse, et l'attaque chimique des roches carbonatées par le CO₂ (19).
Le Ca et le Mg sont très importants pour l'absorption des métaux lourds par les végétaux (20).
- **Le potassium** : il provient essentiellement des lessivages des engrais, des argiles et des roches volcaniques. Ainsi que des eaux usées industrielles, en particulier les industries traitant les sels de potassium, et des industries du verre et des engrais (19).

3.3.2. Les métaux lourds :

Souvent les métaux lourds présents dans les eaux usées ont une origine industrielle (21), ils proviennent des activités anthropiques : fumier, pesticides, et des fertilisants inorganiques (22). Ils peuvent provenir aussi des industries minières, métallurgiques et de conditionnement divers. Les effets sur la faune et la flore sont particulièrement néfastes (23).

Ils peuvent provenir de l'atmosphère et entrent dans le système aquatique par les écoulements des pluies et contribuent à la pollution des eaux et du sol (24,25,26,27)

Les métaux lourds peuvent être sous deux formes : dissoute dans l'eau., ou particulaire (associés aux matières en suspension. (Des études ont permis de constater que la quantité des métaux se répartie comme suit : métal dissous : de 0.05 à 17.1 % et métal dans les MES : de 82.9 à 99.95 % (16)), ou adsorbés par les colloïdes et les sédiments fins tels que les argiles et les limons). Ils peuvent également dans certaines conditions physico-chimique, précipiter sous forme d'hydroxydes ou être piégés par les oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse présents dans l'eau. Leur rétention est plus importante lorsque les oxydes de fer et de manganèse sont revêtus d'acides humiques (28).

La connaissance des concentrations totales des métaux dans les milieux pollués est insuffisante pour donner une information complète sur leur comportement. En effet, la toxicité, la bioaccumulation, la biodisponibilité, la biodégradation, la persistance, la mobilité, la solubilité, l'extractabilité et plusieurs propriétés dépendent des formes physiques et chimiques spécifiques sous lesquelles se trouve l'élément (29, 30, 31, 32, 33).

Leur comportement et leur biodisponibilité dans l'environnement dépend de leur spéciation (ils peuvent être complexés, précipités, adsorbés ou solubilisés (34)) et non pas de leur totale concentration.(35, 36).

Cette spéciation est influencée par le pH, la température, le potentiel redox, la capacité d'échange cationique, la phase solide, la compétition avec les autres spéciations des métaux dans la matrice solide du sol (37). Elle dépend aussi du régime hydraulique En effet un régime hydraulique suffisamment fort empêche pratiquement tout dépôt et remet en suspension le sédiments de surface et diminue le taux d'adsorption des métaux sur les MES (22, 38).

L'effet du pH est prépondérant, une baisse du pH provoque une solubilisation plus poussée des espèces adsorbées tels que les oxydes précipités en hydroxydes et sulfures et une libération des métaux par les processus d'échange d'ions (39, 40) .

C'est de cette manière que l'on explique la forte augmentation de mortalité des poissons dans les lacs, où baisse le pH à la suite des pluies acides provoquant la désorption du cuivre des MES et des sédiments (28).

- **Le cadmium** : il est très soluble dans l'eau et considéré comme un des plus dangereux des polluants Même à des concentrations faibles (43). La limite permise par l'O.M.S. est de 0.01 ppm. Les sources de pollution par ce métal sont principalement les rejets d'industries métallurgiques, les fabrications de plastique, de pigments et de batteries (41), il est aussi présent dans les pneus (24, 42).

- **Le zinc** : est un oligo-élément souvent présent dans les eaux et dans certains aliments. L'eau de mer en contient habituellement 0.01 ppm. Les eaux résiduelles contenant du zinc proviennent des industries de traitement de l'acier, des ateliers de filature, des manufactures de fibres de rayonne, de papeteries et des ateliers de galvanoplasties (23). Il est présent dans les pneus, dans les fermetures de sécurité et les dépôts secs (24). Des études ont trouvé une relation entre l'augmentation du Zn et la présence des rails, ainsi qu'à la distribution des vieilles maisons (44, 45)

L'effet toxique du zinc commence à 400 ppm. La présence combinée de cadmium et de zinc conduit à une synergie des effets de toxicité vis à vis de la flore et de la faune aquatiques (41).

Le Zn est le métal qui inhibe l'activité microbienne par excellence, non par sa toxicité mais par ses niveaux élevés. L'inhibition est en fonction du pH, du temps de séjour. Et dans le sol du type du sol. Quand sa concentration augmente le pH augmente et la nitrification diminue.

- Quand [Zn] est comprise entre 0 et 0.125 mg/l la nitrification est bonne.
- Quand [Zn] est comprise entre 0.125 et 0.5 mg/l la nitrification est partielle.
- Quand [Zn] est supérieure à 0.5 mg/l la nitrification est inhibée.(46)

Le Zn est adsorbé sur les surfaces des sites réactionnels des oxyhydroxydes de fer (47, 48, 49) Il est plus important sous sa forme particulaire sous l'effet de son adsorption par le phytoplancton ou sa grande complexation avec les molécules organiques (50) Les formes très instables augmentent avec la salinité et le Zn précipite avec les chlorures et les sulfates (51).

- **Le plomb** : Le plomb est un métal lourd très toxique (15). Son utilisation commune fait que ses concentrations dans tout l'environnement soient élevées (52, 53). Il provient des carburants (20) et des fertilisants agricoles (42). Il peut être en très forte concentration due à la formation de complexes avec les substances humiques. La teneur limite fixée par l'O.M.S pour les eaux potables est de 0.1 mg/l (54).

En été, la quantité du Pb particulaire diminue avec l'élévation de la salinité dans la période où l'activité biologique est insignifiante (51). La salinité stimule la désorption du Pb de la matière qui est suivie d'une augmentation de la précipitation et le déplacement du métal, surtout en présence de chlorures, d'où la formation de chlorocomplexes et de fines particules (33, 55, 56).

- **Le chrome** : il existe sous deux formes :

Le CrIII n'est pas toxique quand il est à l'état de trace mais il le devient pour les poissons quand il est présent à 5 mg/l (57). Il est sous forme CrOH^{2+} et facilement adsorbable (58).

Le CrVI : sous forme HCrO_4^- , il est soluble et très toxique. À 0.05 mg/l il est dangereusement toxique pour les organismes aquatiques (59).

Le CrVI est réduit en CrIII par la matière organique, le fer et les sulfites, le CrIII est oxydé en CrVI par les oxydes de Mn. L'oxydation du CrIII en CrVI augmente en saison sèche (60). Le passage du Cr de la forme dissoute qui représente 28 % de la quantité de Cr (60), à la forme insoluble, se fait par réduction du CrVI en CrIII suivie d'une coprécipitation avec les Fe^{3+} (61, 62, 63, 64). Ce qui indique que le transfert est rapide (65).

Le Cr est adsorbé dans les conditions de pH très acide et le maximum est observé à pH = 4.5 (66). La présence des sulfates à grandes concentrations interfèrent dans l'adsorption du Cr (67).

4. Normes de rejets

Le but du traitement d'une eau usée est d'obtenir un effluent épuré pour lequel la pollution soit limitée à un degré ou à une certaine norme tel que le rejet ne crée aucune nuisance à la faune et à la flore du milieu récepteur naturel (rivière, lac, mer ou oued) (68).

Le tableau 2 illustre les normes de rejet dans le milieu récepteur des effluents urbains à atteindre après traitement (14).

Tableau 02 : Valeurs limites maximales des paramètres de rejet.

Paramètres	Valeurs limites maximales	Paramètres	Valeurs limites maximales
Température (°C)	30	Mercure (mg/l)	0.01
PH	5.5-8.5	Nickel (mg/l)	5
MES (mg/l)	30	Plomb (mg/l)	0.5
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	40	Cuivre (mg/l)	3
DCO (mg/l)	120	Zinc (mg/l)	0.5
DBO/DCO (mg/l)	3	Fer (mg/l)	5
Azote Kjeldahl (mg/l)	40	Huiles et graisses (mg/l)	20
Phosphates (mg/l)	2	Hydrocarbures (mg/l)	20
Cyanures (mg/l)	0.1	Phénols (mg/l)	0.5
Aluminium (mg/l)	5	Solvants organiques (mg/l)	20
Cadmium (mg/l)	0.2	Chlore actif (mg/l)	1
Chrome Cr ³⁺ (mg/l)	3	Détergents (mg/l)	2
Chrome Cr ⁶⁺ (mg/l)	0.1	Tensioactifs anioniques mg/l	10
Manganèse (mg/l)	1	PCB (mg/l)	0.001

A. Ikem et al, 2003

5. Phénomène de l'autoépuration

5.1. L'autoépuration :

C'est l'ensemble des processus biologiques (dégradation, consommation de la matière organique, photosynthèse, respiration animale et végétale...), chimiques (oxydoréduction...), physiques (dilution, dispersion, adsorption...) permettant à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances (essentiellement organiques) qui lui sont apportées par la pollution (69). On doit distinguer l'auto épuration vraie (élimination de la pollution) de l'autoépuration apparente (transformation, transfert dans l'espace ou dans le temps de la pollution).

Les organismes vivants (bactéries, champignons, algues...) jouent un rôle essentiel dans ce processus. L'efficacité augmente avec la température et le temps de séjour. La capacité d'auto épuration d'un écosystème est limitée et peut être inhibée (toxique notamment) (69)

On trouve dans les cours d'eaux, selon les saisons, les stades suivants caractérisants le degré d'avancement de l'autoépuration (54).

- Développement des bactéries et décomposition des matières organiques complexes, avec formation de composés ammoniacaux.
- Réduction du nombre de bactéries et accroissement du nombre de protozoaires, formation de nitrites et augmentation de la quantité d'azote.
- Formation des nitrates et de produits d'oxydation des matières organiques simples.

5.2. Mécanisme de l'autoépuration

Le principe consiste dans la fermentation ou l'oxydation des matières organiques par des microorganismes, en milieu généralement aérobie, pour aboutir à des matières minérales.

Ce qui réclame une eau riche en oxygène dissous. Si le milieu n'est pas propice, l'autoépuration ne peut s'effectuer qu'en anaérobiose. Dans ce cas, la fermentation solubilise tous les constituants solides et dégage du méthane et souvent des sulfures, qui empoisonnent le milieu.

- Les matières en suspension se déposent progressivement et les matières dissoutes se trouvent plus ou moins diluées. Une activité biologique, combinée avec des actions chimiques entrent alors en jeu et tend à transformer les matières oxydables ou putrescibles en matières oxydées stables (54).
- Les actions bactériennes et les réactions d'oxydoréduction consomment l'oxygène dissous dans l'eau. Si l'eau reste suffisamment aérée durant ces transformations, la putréfaction est évitée, sinon elle se développe et les matières organiques présentes dans l'eau subissent une fermentation aérobie ou anaérobie selon que le milieu contient ou non une quantité suffisante d'oxygène dissous.

Cet oxygène est réalimenté grâce aux échanges avec l'atmosphère. L'oxygène de l'atmosphère se dissout d'autant plus que le déficit de saturation de l'eau en oxygène est plus grand, que la température est plus basse et que la turbulence des eaux est plus grande.

De plus, durant le jour, les organismes chlorophylliens fournissent à l'eau de l'oxygène. il peut aussi y avoir des apports d'oxygène par les eaux aérées des affluents du cours d'eau.

Dans le premier cas, il se forme de l'anhydride carbonique, de l'eau et des nitrates capables à leur tour d'être absorbés par les végétaux qui peuvent exister pour participer à la synthèse de nouveaux composés organiques. Dans le second cas, il y a formation en plus de l'anhydride, de méthane, d'hydrogène sulfuré, de composés ammoniacaux, ainsi que de nombreux produits tels que des acides aminés, des acides gras, des phénols, crésols, mercaptans et autres corps, généralement toxiques pour les organismes vivants.

5.3. L'épuration biologique

C'est un phénomène naturel qui transforme et minéralise les déchets organiques grâce à l'action des micro-organismes, notamment les bactéries.

Ce processus est favorisé par l'existence dans les eaux des sels nutritifs (N, P, K...). L'épuration biologique naturelle se produit dans les eaux stagnantes ou courantes (04).

Principe de l'épuration biologique

Les eaux usées domestiques constituent un excellent milieu de culture, dans lequel un apport d'oxygène suffit pour obtenir un intense développement des microorganismes (70). Les microorganismes utilisent et minéralisent les substances organiques apportées au cours de la pollution. Après leur transformation, ces derniers s'élimineront dans l'atmosphère (71).

L'ensemble des phénomènes de l'autoépuration biologique s'articule autour des quatre atomes **C, O, N, P** constitutifs de la matière organique

- L'oxygène provient de la photosynthèse des algues, et de la réaération par le vent.
- Le carbone est essentiellement sous forme de carbone organique issu de la pollution admise. On peut le rencontrer sous forme inorganique tel que CO_2 , et les ions CO_3^{2-} , HCO_3^- qui sont, soit fixés de l'atmosphère, soit résultant de la dégradation du carbone organique par les bactéries (05).
- L'azote peut se trouver sous forme organique et sous forme de sels nutritifs (ammonium, nitrites).
- Le phosphore se trouve sous forme d'orthophosphates H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} ou de phosphore organique (05).

L'ensemble de ces formes vont participer à la synthèse des algues. Le carbone et l'azote sont des éléments constitutifs des algues, alors que le phosphore permettra d'emmagasiner de l'énergie sous forme d'ATP.

Lorsque l'oxygène vient à manquer, le système passe en anaérobiose qui se traduit par des émanations mal odorantes.

5.4. Facteurs influençant l'autoépuration

Les facteurs intervenant dans l'autoépuration sont nombreux et variés, on distingue :

5.4.1. Facteurs climatiques :

- **La lumière solaire** : c'est le facteur essentiel de la photosynthèse des algues microscopiques des eaux, qui utilisent l'énergie solaire pour transformer le gaz carbonique, l'ammoniac et les matières minérales en de nouvelles cellules dégageant de l'oxygène. suivant la réaction suivante :



Il est évident que la nuit, les algues consomment, au contraire, de l'oxygène nécessaire à leur survie (10). L'éclairage joue un rôle important dans l'élimination des germes pathogènes et ce, grâce aux rayons UV.

- **La température** : la température joue un rôle important, car elle affecte la production d'oxygène par la photosynthèse et les réactions biologiques et chimiques. Elle règle la vitesse à laquelle les divers organismes peuvent exploiter les substances nutritives et l'oxygène produit (10).

La température de l'eau influe particulièrement sur l'existence des espèces biologiques (algues et bactéries). Ainsi les rendements de l'épuration augmente en été et diminue en hiver (40).

- **Le vent** : il joue un rôle dans l'aération des eaux et dans la répartition de la température et de l'oxygène dissous, ainsi il évite la stratification des eaux et assure les conditions d'aérobie dans toute la profondeur des eaux (01)
- **L'évaporation** : elle résulte à la fois d'une température élevée et d'un vent de forte intensité, ceci a pour effet de concentrer tout les contaminants dans les eaux et dérégler la qualité des effluents (72).
- **La pluviométrie** : les pluies ont pour effet de diluer la concentration des contaminants. Elles vont entraîner une modification de la répartition des temps de séjour et inévitablement du rendement épuratoire, si la perturbation persiste (73).

En temps de crues, il y a lavage du cours d'eau et aération des eaux et des sédiments. En effet

L'autoépuration est meilleure en hiver et au printemps, car il y a dilution des polluants (16).

5.4.2. Facteurs physico-chimiques :

- **pH et alcalinité** : le pH joue un rôle déterminant pour l'autoépuration, car il conditionne l'activité biologique. Les bactéries ne peuvent exister et dégrader les composées organiques que dans un milieu à pH neutre ou basique. Dans un milieu acide toute vie biologique disparaît (01).
- **L'oxygène dissous** : il est fournit par l'action photosynthétique des algues et par l'atmosphère à travers l'interface air/eau du cours d'eau surtout avec l'action des vents et du mouvement des eaux. La concentration en oxygène dissous est plus grande pendant la journée que pendant la nuit (01).
- **Les nutriments**

L'azote et le phosphore sont des éléments essentiels pour le développement des bactéries. Le processus biologique d'épuration permet l'élimination des matières organiques biodégradables avec production de sels minéraux. Ceci conduit au phénomène d'eutrophisation qui se manifeste par une prolifération de micro-algues, qui croissent sous l'effet conjugué de la présence des dérivés azotés et phosphorés dans l'eau, et de la photosynthèse due aux radiations solaires (01).

Actuellement, il est admis que l'élimination des nutriments est due aux phénomènes suivants :

- Assimilation par photosynthèse.
- Volatilisation de l'ammoniac
- Précipitation avec le calcium des phosphates due à une élévation du pH par l'activité algale.

Matières azotées : Dans les eaux usées l'azote est sous forme : Azote contenu dans la matière organique dissous, ion ammonium, ion nitrate, ion nitrite, composés gazeux dissous (N_2 , NO, N_2O) et protéines (01). Il provient de l'hydrolyse des composés azotés des êtres vivants (urine) et du drainage des engrais utilisés dans l'agriculture intensive.

L'évolution générale de l'azote se fait dans le sens : $NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$

Les différents stades de l'évolution des formes azotées sont les suivantes :

- **Nitrification** : elle consiste en l'oxydation de l'ammoniac en nitrites par la bactérie *Nitrosomonas* et en l'oxydation des nitrites en nitrates par la bactérie *Nitrobacter*. Les bactéries nitrifiantes sont exigeantes, quant à la teneur en oxygène et ne peuvent se développer ou se maintenir dans un milieu à faible concentration (74).
- **Dénitrification** : elle ne nécessite pas la présence de bactéries très spécifiques. En effet de nombreuses bactéries hétérotrophes présentes dans les eaux usées sont capables d'utiliser l'oxygène du nitrate à la place de l'oxygène moléculaire, en l'absence de ce dernier (Conditions d'anoxie), pour dégrader la matière organique (75).

- **Matières phosphorées** : Le phosphore est un élément essentiel des cellules vivantes. Il est présent dans les eaux polluées sous deux formes :
 - le phosphore soluble : PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- .
 - le phosphore hydrolysable : $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$.

Les phosphates sont essentiellement assimilés sous la forme d'orthophosphates, leur élimination se fait en condition anaérobie (01).

La déphosphatation nécessite des conditions de sélection spécifique, car elle fait appel à une alternance de conditions anaérobies et aérobies. *Acinetobacter* est capable dans les conditions d'anaérobie d'absorber des composés simples (acide acétique) et de les stocker sous forme de matériaux de réserves intracellulaires après leur polymérisation en polyhydroxybutyrate (PHB).

Dans une phase aérobie suivante, le PHB stocké est oxydé facilement. Cette oxydation génère de l'énergie en excès qui est stockée sous forme de polyphosphate, qui servira, en phase anaérobie suivante, à faciliter l'absorption de l'acide acétique. La formation du polyphosphate nécessite l'absorption du phosphate extracellulaire (76).

- **Le carbone** : C'est un facteur essentiel car il est à la base de la matière organique.

Il peut provenir :

- De la composition de la matière organique.
- Du CO_2 atmosphérique en faible proportion car sa dilution dans l'eau est lente.
- De la respiration des organismes qui libèrent le CO_2 comme déchet.
- De l'alcalinité des eaux (carbonates et bicarbonates)

5.4.3. Facteurs physiques :

- **Profondeur du cours d'eau** : elle agit sur l'intensité de la luminosité, plus les eaux sont profondes et plus l'intensité de la lumière diminue, entraînant une diminution de la photosynthèse.
- **Largeur du cours d'eau** : elle détermine la surface de l'interface air/eau. Plus le cours est large et plus l'alimentation en oxygène est supérieure et plus la dégradation des composés organiques est meilleure.
- **Géomorphologie du terrain** : son influence touche les mouvements des eaux. Dans les terrains à faible pente, les eaux sont presque stagnantes, la décantation se fait plus facilement. Dans les zones en reliefs, la vitesse des eaux est supérieure, donc l'aération est plus importante.

5.4.4. Facteurs biologiques

L'autoépuration biologique fait appel à des organismes dont les rôles sont différents et spécifiques.

- **Les bactéries** : elles sont extrêmement diverses dans les eaux, et sont hétérotrophes pour le carbone (13). Elles appartiennent à plusieurs types de respiration :
 - Bactéries aérobies facultatives : tel que *Pseudomonas*.
 - Bactéries aérobies strictes : tel que celles qui interviennent dans le cycle de l'azote ; *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*.
 - Bactéries anaérobies strictes : tel que *Rodobacter* et les Sulfato-réductrices.

- **Les algues** : leur prolifération est liée à la température, à la profondeur des eaux et aux éléments nutritifs présents dans l'eau (05). Les espèces rencontrées dans les eaux usées sont essentiellement représentées par des algues microscopiques mono et pluricellulaires (cyanophycées, algues vertes et diatomées).

Elles se succèdent selon la saison et appartiennent à deux classes (01) :

- Euglenophycées : occupent les eaux les plus chargées.
- Chlorophycées : se rencontrent lors de la diminution de la matière organique dans les eaux.

- **Le zooplancton** : composé par les protozoaires (amibes, ciliés et flagelles) qui sont des prédateurs qui vivent en anaérobiose dans les zones les plus oxygénées, les rotifères, les copépodes et les cladocées. On note aussi la présence des colifères et des moustiques (01).

5.4.5. Les inhibiteurs et les toxiques

Ce sont des substances solides ou liquides qui perturbent le bon déroulement de l'activité biologique. On peut les classer en trois catégories :

- Les composés organiques toxiques à forte dose mais biodégradables ; à faible concentration tel que les hydrocarbures ; les pesticides ; et les produits organiques de synthèse (phénols, aldéhydes, produits azotés, etc.).
- La plupart des métaux lourds sont toxiques même à des concentrations relativement faibles.
- Les fortes teneurs en sels dissous peuvent inhiber l'action biologique.

5.5. Pouvoir épurateur du sol :

Les premiers décimètres d'un sol constituent un milieu biologiquement très actif, extrêmement riche en micro-organismes de toute sorte (bactéries, protozoaires, champignons...), d'une microfaune très riche et de végétaux.

Les matières organiques présentes dans les horizons sont plus ou moins rapidement dégradées et minéralisées, généralement par voie aérobie, où la consommation d'oxygène par les micro-organismes du sol est très importante. Il est donc tentant d'utiliser systématiquement le potentiel considérable d'un sol pour l'épuration des eaux (07).

Les sols constituent un milieu hétérogène formé de graviers, sables, limons, argiles et matières organiques. Les problèmes rencontrés dans la prédiction du transport et du devenir des contaminants sont essentiellement reliés aux hétérogénéités du milieu ainsi qu'à la diversité des phénomènes biotiques et abiotiques susceptibles d'intervenir et aux interactions entre les différentes phases solide/liquide (78).

L'écoulement dans les milieux poreux est fonction de la texture des sédiments et de la taille des pores. Il a été observé que les métaux quelque soit leur origine : naturelle ou anthropique, sont accumulés dans la fraction fine des sédiments (20, 79)

La présence d'argile et de matière organique favorise la rétention des contaminants organiques dans le sol. Plus la taille de la molécule est importante et plus est son hydrophobicité, plus son adsorption sur la matrice solide du sol sera importante (78). Leur concentration augmente avec l'augmentation du pourcentage des argiles et diminue avec les sables. les limons fins et les argiles sont de bons sites d'accumulation des métaux lourds (80)

Les colloïdes des argiles confèrent au sol une capacité d'échange cationique faible qui varie avec le pH (81, 82)

La concentration de la majorité des métaux augmente avec la diminution de la taille des particules, ils ont un potentiel d'adsorption aux surfaces des argiles minérales, des hydroxydes, et de la MO, qui tendent à se trouver dans les fines particules du sol (79 , 83, 84 , 85).

La migration des polluants dans le sol fait appel à plusieurs phénomènes physico-chimiques tels que la complexation par des agents chélatants ou autres colloïdes, la précipitation, les transformations chimiques et biochimiques, et l'adsorption des composés organiques ainsi que les métaux lourds sur la matrice solide (49, 86)

L'adsorption des métaux lourds augmente avec la diminution du pH, ceci est dû à la protonation des hydroxydes en minéraux solides (49, 87). L'acidité du sol favorise la mobilisation du Cr et du Zn, qui se manifeste par leur enrichissement dans les sédiments organiques (49, 53).

5.6. Précipitation des métaux

Elle se fait en présence d'hydroxydes et des sulfures, qui font augmenter le pH ; seuls le fer, le chrome et l'aluminium précipitent à pH neutre. Le cuivre et le zinc précipitent jusqu'à pH = 8.5, tandis que le nickel, le plomb, le cadmium et l'argent ne s'éliminent qu'à des pH supérieurs à 9 (23).

5.7. Sédimentation :

Les matériaux susceptibles de sédimentation sont des particules qui correspondent à deux états physiques :

- D'une part, l'essentiel des éléments minéraux et des matières organiques capables de conserver les mêmes dimensions au cours de leur chute dans l'eau lorsque leur densité est supérieure à 1.
- D'autre part, des matières organiques plus fines, chargées électriquement et susceptibles de s'agglutiner. Les modèles de sédimentation de ces particules sont différents et sont fonction du mouvement des eaux (07).

5.8. Adsorption

L'adsorption est la propriété que possèdent certains matériaux de pouvoir fixer à leur surface des substances (solutés ou adsorbats) contenues dans une phase liquide ou gazeuse (20). Les argiles, de part leur structure et leur taille ont un pouvoir adsorbant très important et sont utilisées dans l'élimination des métaux lourds.

Il existe deux mécanismes d'adsorption : le premier, en conditions acides : lié à la charge permanente des argiles minérales (c'est un échange cationique ou adsorption non spécifique).

L'autre en conditions neutres ou alcalines associé à la formation d'espèces hydrolysées ou de complexes organiques (88, 89), ceci correspond à la grande affinité entre la surface d'adsorption et les cations métalliques (90).

5.9. Flocculation et biosorption

Une propriété importante des colonies bactériennes et des flocons de matière organique présents dans les eaux, est leur tendance à s'agréger les uns aux autres pour former des particules plus importantes, donc plus facilement décantables. Cette flocculation est l'aboutissement de phénomènes complexes qui tiennent à la structure même des corpuscules en suspension dans l'eau.

Ces particules sans être de vrais colloïdes possèdent quelques propriétés de micelles colloïdales, en particulier une charge électrique négative qui leur communique un potentiel électrostatique (07).

La biosorption amène les cellules affamées par une oxygénation intense en présence d'un taux faible d'aliment à absorber et stocker très rapidement les matières organiques solubles ou finement divisées qui leur sont offertes. Flocculation, adsorption et biosorption se combinent pour donner un taux initial élevé d'élimination de la DBO (07).

6. Les différentes classes de qualité et usage des eaux

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité, les classes de qualité et usages possibles des eaux sont représentées par le tableau ci-dessous.

Tableau 03 : Les différentes classes de qualités et d'usage des eaux (17)

Qualité de l'eau	Excellente	Bonne	Passable	Médiocre	Pollution
Classe de qualité	1A	1B	2	3	4
Température (°C)	< 20	De 20 à 22	De 22 à 25	De 25 à 30	>30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	5.5-9.5	≤5.5 ou ≥9.5
O ₂ dissout (mg/l) (% de saturation)	≥7(≥90%)	5-7(de 70à 90%)	3-5 (de 50 à 70%)	<3 (< 50%)	
MES (mg/l)	-	≤ 30	-	30-70	>70
DBO5 (mg/l)	≤3	3-5	5-10	10-25	>25
DCO (mg/l)	≤20	20-25	25-40	40-80	>80
Nitrates (mg/l)	-	≤44	-	44-100	>100
Ammonium (mg/l)	≤0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	>8
Fer total (mg/l)	≤0.5	0.5-1	1-1.5	>1.5	-
Bactéries coliformes/10ml	-	<5000	-	-	-
Eau potable	←	Traitement simple	Traitement poussé →		Aucun usage possible sauf navigation
Loisirs	← Baignade		Contact exceptionnel avec l'eau →		
Poissons	←		Reproduction aléatoire →		
Breuvage des animaux	←		Tolérable →		
Irrigation	←			Tolérable →	
Industries	← Industries alimentaires		Eaux industrielles	Eaux de refroidissement →	

Présentation de la zone d'étude.

1. Situation géographique

De part sa situation géographique, la commune de Djelfa est considérée comme un carrefour très important Nord – Sud et Est – Ouest (91).

Cette position est marquée par des axes d'infrastructures d'importance nationale et régionale.

- RN1 : reliant Alger au Sud du pays, passant par Djelfa.
- RN46 : reliant Djelfa à Boussaâda, puis Biskra au Sud – Est et Sétif au Nord – Est.
- RN40 : au Nord de la ville qui rejoint Tiaret à l'Ouest.

Cette commune est le chef lieu de la wilaya, depuis 1974. Elle s'étend sur une superficie de 54930 ha (91). Elle est située au centre de la wilaya, et limitée par :

- La commune de Ain Maâbed au Nord et Nord – Ouest.
- La commune de Dar Echioukh au Nord – Est.
- La commune de Moudjebara à l'Est.
- La commune de Zaafrane à l'Ouest.
- La commune de Zaccar au Sud.

2. Délimitation du bassin versant de l'aire d'étude

Les limites du bassin versant est l'aire géographique délimitée par la ligne de crêtes. Les précipitations tombant à l'intérieur de cette surface sont recueillies dans l'Oued Mellah, qui se jette dans le Zahrez Gharbi et fait partie du bassin versant Zahrez (92).

Il est délimité entre quatre bassins versants qui sont :

- Le bassin de Chellif au Nord Ouest.
- Le bassin du Hodna au Nord est.
- Le bassin du Chott Melghir au centre (partie Sud).

Le bassin saharien au Sud.

Le bassin versant est de 612 km² de superficie avec un périmètre de 113 km. Il est de forme plus au moins allongée. La densité de drainage (estimée à 0.45 km/km²) est faible par rapport à la superficie du bassin versant, aussi, la longueur du talweg principal (estimée à 48.5 km) et sa pente faible (6 ‰) donne un temps de concentration relativement important qui est de 18 heures (93).

3. Milieu physique

3.1. Relief

Le relief du territoire communal est généralement élevé, ses altitudes varient de 1020 m à 1489 m. Trois grands ensembles morphologiques caractérisent la commune de Djelfa : Les monts, les piémonts et les plateaux (91, 92).

- **Les monts** : ils représentent plus du tiers de la superficie totale (soit 21600 ha). Caractérisées par Djebel Senelba, Djebel El Ouast et kef Haouas. Cette zone de montagnes, formant une série de lignes de crêtes, est située au Nord de la ville, sa direction est Sud-Ouest Nord-Est. Le Djebel Senelba s'étend sur une grande partie et représente le point le plus élevé avec 1489 m.
- **Les piémonts** : c'est la phase intermédiaire entre monts et plateaux. Ils se localisent au Sud-Est et au Nord de la ville, occupant une superficie de 4505 ha, soit 8.2 % de la superficie totale.
- **Les plateaux** : ils font partie du plateau Moudjebara – Mouilah, occupant la plus grande partie de la superficie de la commune, avec 28825 ha, et se localisant en deux parties :
 - La partie allant du Sud-Ouest jusqu'au Sud-Est de la commune. C'est la plus grande partie des plateaux.
 - La partie se trouvant à l'extrême Nord-Est de la commune.

Ces plateaux sont caractérisés par des ondulations formant de petites collines et sont traversés par des oueds plus au moins importants. Une grande partie de la population éparse se localise sur ces terres, où s'exerce une activité agricole.

3.2. Géologie

3.2.1. Structures géologiques

La région de Djelfa est située dans la zone de transition de deux grandes unités structurales : les hauts plateaux et l'Atlas saharien. L'effet de la pression de ces deux unités est fait par un mouvement de plissement (mouvement tectonique récent de la terre), ainsi cette région se situe, du point de vue géologique, dans la période d'ascension. Elle peut être divisée en deux parties structurales (92) :

- Le grand synclinal Sud de Djelfa, dont l'axe s'oriente dans le sens Est – Nord-Est et s'incline vers le Nord-Est. Avec cette inclinaison, il forme du côté Sud-Ouest une assise semi fermée, ayant une base large, à pente modérée.
- Le petit synclinal Nord : suivant la même orientation que le précédent, mais caractérisé par ses diapirs rapprochés les uns des autres, par l'importance d'angle d'inclinaison de roches et par le développement de ses formes du aux plissements.

3.2.2. Formations géologiques

Du point de vue géologique, cette zone est constituée par les calcaires et les marnes du crétacé supérieur et inférieur, plissées de manière alpino-type et des couches superposées qui parviennent du Mio-Pliocène et du Quaternaire (92). Ainsi que de quelques structures diapiriques provenant du Trias et qui constituées de sels (calcaire, gypse et sels solubles) qui ont des conséquences sur la composition des eaux superficielles et souterraines, cas de l'oued Mellah baigne le flanc du rocher de sel (94).

- **Le Trias** : les dépôts triasiques forment des diapirs qui recoupent toutes les roches sous-jacentes. Il est formé d'argiles schistosées plus ou moins gypseuses et salées. Ces formations apparaissent en petit massifs érodés. Le rocher de sel est caractéristique du Trias et il est riche en sel gemme (94).
- **Crétacé inférieur** :
 - Barrémien : grès jaunes et rouges avec niveaux argileux généralement compacts. On rencontre des couches très friables de couleur plus claires, jaune ou blanchâtre.
 - Aptien : calcaires et marnes beiges, comme transition vers l'Albien ; une alternance de marnes rouges et vertes et petits bancs de calcaires.
 - Albien inférieur : grès rouges, rarement beiges, comme transition vers l'Albien ; une alternance de marnes rouges et petits bancs de calcaires.
 - Albien supérieur : calcaires jaunes et gris.
- **Crétacé supérieur**
 - Cénomaniens : composé de calcaires, calcaires dolomitiques, calcaires marneux, marnes et argiles gypseuses d'une épaisseur de 150 à 220 m peu fissuré.
 - Turonien : représenté par des calcaires gris à gris brun , des calcaires dolomitiques, des calcaires marneux à bancs d'huîtres. Cette formation épaisse de 100 à 180 m est marquée dans le grand synclinal Sud par des fissures très développées et une perméabilité favorable. On peut remarquer des fissures de certaines zones, empreintes de l'érosion d'eau souterraine et le dépôt secondaire de calcaires carbonatés.
 - Sénonien : constitué par des alternances de calcaires biolithiques, parfois colithiques et de marnes claires. Cette formation constitue une couche réservoir d'eau souterraine et qui alimente les nappes aquifères.
 - Mio-Pliocène : formé par un dépôt de marnes argileuses ou sableuses et de sable argileux qui est largement présent dans la région. Il est faiblement perméable.
- **Quaternaire** : constitué d'une manière très différente passant du gravier jusqu'à l'argile. Dans les vallées de l'oued Mellah et de ses affluents au Nord de Djelfa, on y trouve des dépôts de travertin.

3.3. Les pentes

Les terrains rencontrés sont généralement faiblement accidentés. Les pentes varient de 0 à 8 % avec une prédominance de la classe (0 – 3 %), qui se trouve au niveau des plateaux au Sud, Sud-Ouest, à l'Est et au Nord-Est de Djelfa (91, 92).

Au Nord et au Nord-Ouest se trouvent les pentes moyennes à fortes.

La classe (12 – 25 %) est répandue, surtout au niveau des versants des monts, où la couverture végétale est dense.

La classe (> 25 %) est localisée sur tout le long des crêtes de Sénélba et Kaf Haoues.

3.4. Pédologie

Selon la classification française, les sols rencontrés dans la région de Djelfa se distinguent comme suit :

- Classe des sols peu évolués, dont la formation exige un micro relief déterminé, cas des dépressions.
- Classe des sols calcimagnésiques à croûtes et encroûtement calcaires, ce sont généralement des sols anciens très érodés.
- Classe des sols isohumiques : ces sols sont plus riches en matière organique et sont utilisés pour l'agriculture (95).

La région de Djelfa montre la prédominance des affleurements rocheux et des surfaces encroûtées des différents glacis du quaternaire ancien et moyen. La majorité des sols se répartie dans la classe des sols calcimagnésiques

3.5. Hydrologie

3.5.1. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de l'oued Mellah est endoréique, composé d'oueds soumis à un régime saisonnier, qui se transforment en torrents en temps de pluies. Les oueds les plus importants qui se déversent dans l'oued Mellah sont : oued Msekka, oued El Haddid, oued El Kirane, oued Mguennah, oued Lozène, oued Abga et oued Sidi Slimane (92).

L'oued Mellah traverse la ville de Djelfa du Sud-Est vers le Nord, et rentre en contact avec le Trias du rocher de sel, d'où sa salure élevée (94).

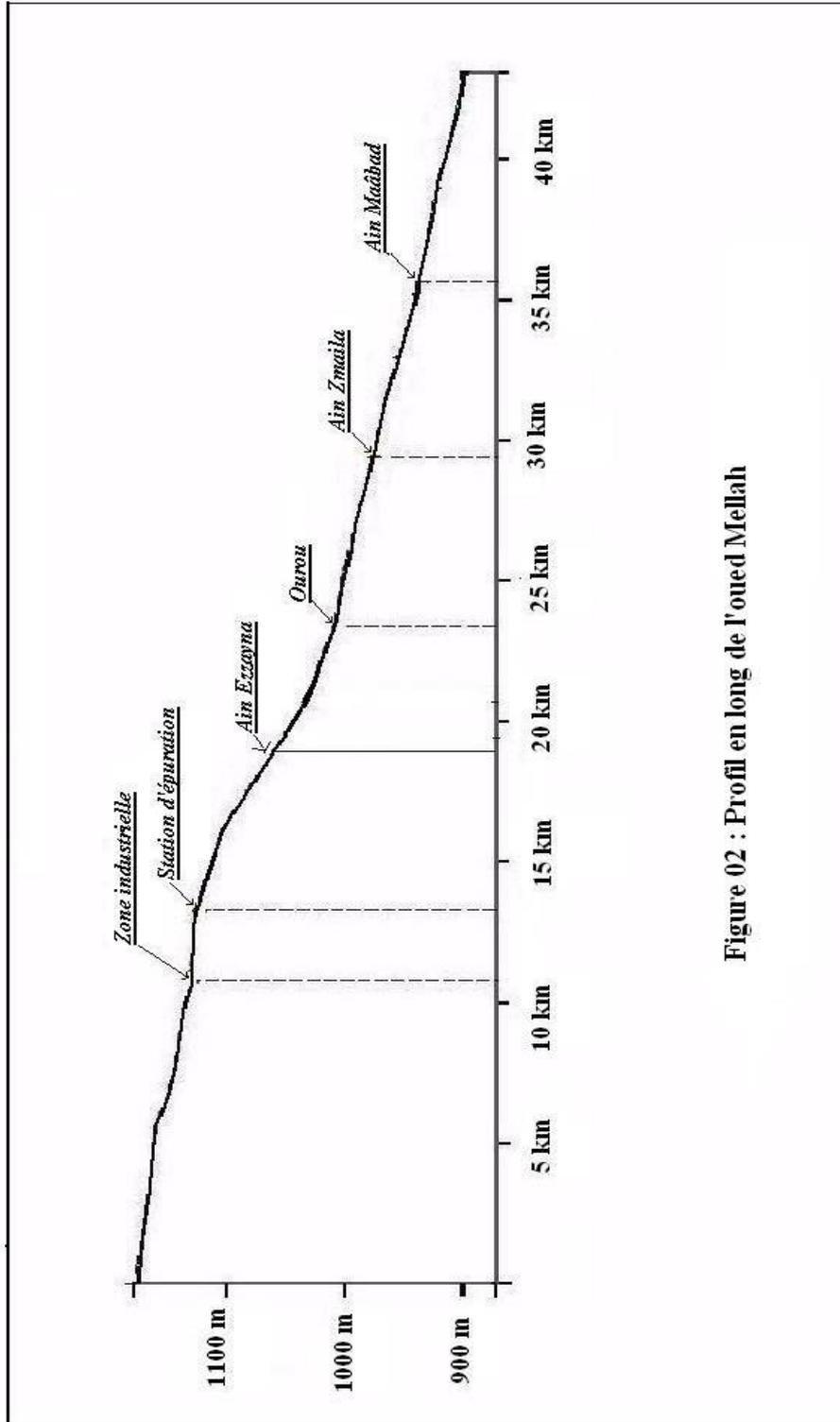
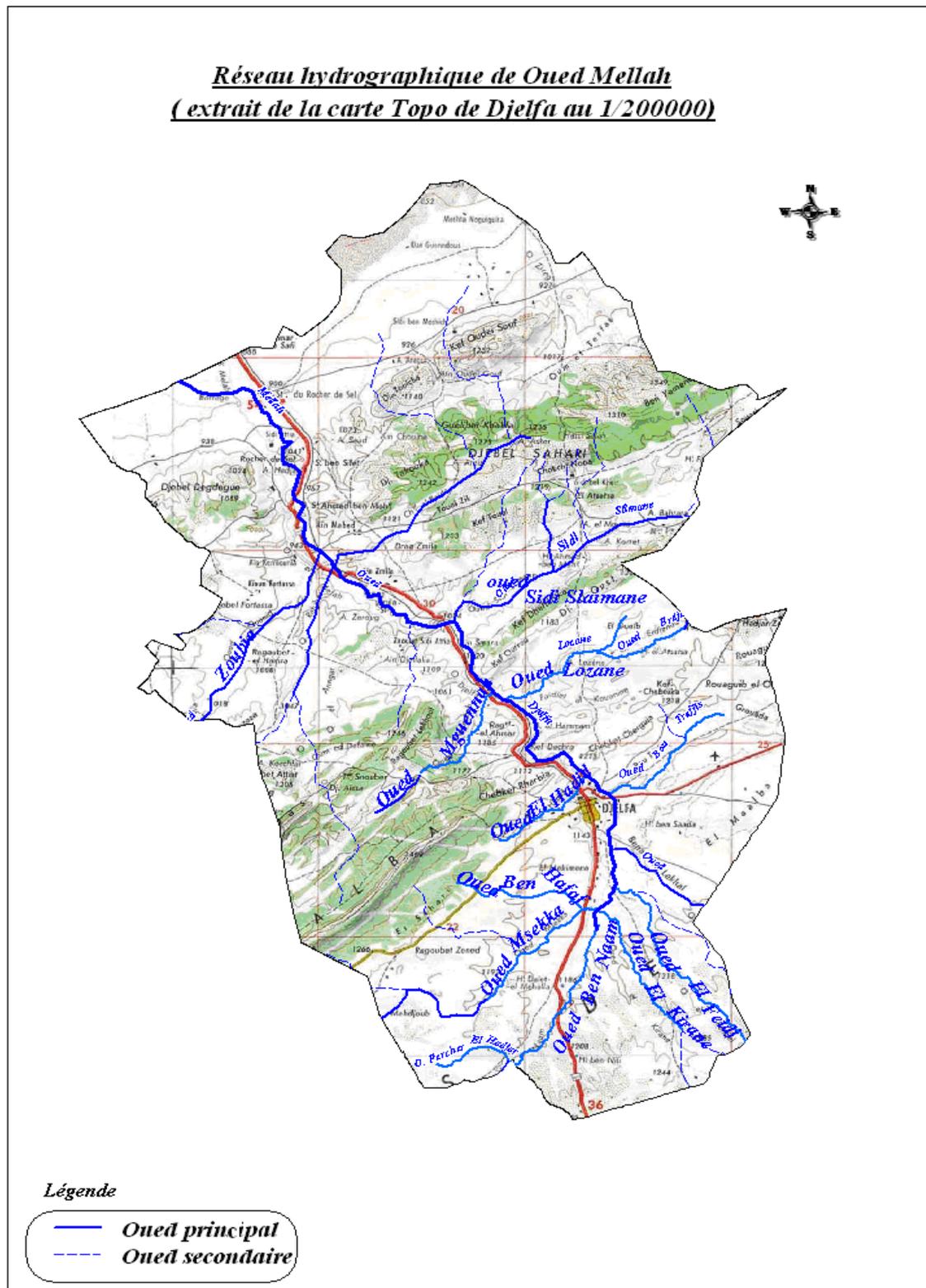


Figure 02 : Profil en long de l'oued Mellah

Original



Original

**Figure 03 : Réseau hydrographique de l'oued Mellah
(extrait de la carte Topographique de Djelfa au 1/200000)**

3.5.2. Les débits

3.5.2.1. Débit moyen interannuel

Le débit moyen interannuel est la caractéristique fondamentale qui détermine l'hydraulicité des cours d'eau et les potentialités d'un bassin ou d'une région.

Il est obtenu par les observations hydrologiques enregistrées au niveau des stations hydrométriques, si on a la chance de posséder des mesures de débits suffisantes, sinon par d'autres méthodes (analogie, formules empiriques...)(93).

Le débit moyen interannuel des 05 années d'observations est de 0,21 m³/s

3.5.2.2. Débit moyen annuel

Les seules données disponibles proviennent des jaugeages effectués et contrôlés dans la station du rocher de sel, et gérés par l'ANRH.

Les débits annuels de l'oued Mellah se caractérisent par une grande variabilité temporelle. A la station du Rocher de sel, pour cinq années d'observation, le minimum est de 5,2 m³/s et le maximum est de 284 m³/s.

Les débits de crues ont une influence directe sur le régime hydrologique, particulièrement en Algérie où les oueds, à cause de la grande irrégularité, passent de débits nuls à des débits de crues semblables à ceux des grands fleuves (92). Ces débits maxima sont estimés à partir de la formule Gradex à 245 m³/s d'une période de retour de 10 ans (93).

A titre d'exemple, les débits mensuels enregistrés durant l'année 2004, montre une grande variabilité. Les débits journaliers passent de 0,063 m³/s en août, où l'évaporation est très importante, à 322,92 m³/s, pendant la crue enregistrée en janvier.

Les observations des débits mensuels durant l'année 2004, sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 04 : Débits moyens mensuels de l'oued Mellah durant l'année 2004

Date	H (cm)	Q (m ³ /s)
02/01/2004	283	322,92
11/02/2004	45	0,127
10/03/2004	46	0,126
26/04/2004	42	0,437
16/05/2004	65	2,168
22/06/2004	18	0,246
10/07/2004	56	34,05
16/08/2004	11	0,063
04/10/2004	30	0,103
08/09/2004	21	1,395
09/11/2004	16	0,174
16/12/2004	15	0,322

ANRH (2004)

3.6. Climat

Le climat de la ville de Djelfa se distingue par sa particularité, vu sa position continentale et son proximité du Sahara, qui lui confèrent les caractéristiques suivantes: froid, gelée et neige en hiver ; chaleur et aridité en été (91).

3.6.1. Précipitations

Les précipitations moyennes enregistrées sur les seize années 1990-2005, sont consignées dans le tableau 5

Tableau 05 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrées en mm dans la ville de Djelfa entre 1990 et 2005.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Total annuel
Précipitation moyenne (mm)	39,7	27,6	26,3	29,6	36,2	15,2	6,3	18,9	37,6	29,5	22,3	28,2	317,3

Source : O.N.M. (2006)

Les précipitations moyennes mensuelles les plus élevées sont enregistrées en janvier et en septembre. Le mois le plus sec étant juillet. Les précipitations moyennes annuelles sont de 317,3 mm.

3.6.2. Températures

Les températures moyennes minimales, moyennes maximales et moyennes mensuelles sont regroupées dans le tableau 6

Tableau 06: Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales enregistrées en °C dans la ville de Djelfa entre 1990 et 2005.

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
T° Min (m) °C	0,2	1,1	3,6	5,5	10,5	15,4	18,3	18,1	14,2	9,8	4,7	2
T° Max (M) °C	9,6	12	15,6	18	23,8	30,2	34	33,2	27,3	21,5	14,5	10,5
T° Moy °C	4,5	6	9,4	11,8	16,7	22,6	26,7	26,2	20,7	15,4	9,2	5,6

Source : O.N.M. (2006)

Les températures extrêmes varient entre 0,2 et 34 °C, avec des moyennes comprises entre 4,5 et 26,7 °C. Le mois de janvier enregistre les plus faibles températures. C'est le mois le plus froid. Juillet et août sont les mois les plus chauds. L'écart thermique est très important dans cette région.

3.6.3. Bioclimat

3.6.3.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

La période sèche s'établit lorsque la pluviométrie mensuelle P exprimée en mm est inférieure au double de la température moyenne T exprimée en °C

Le climat est considéré sec, lorsque la courbe des températures est au dessus de celle des précipitations, et il est humide dans le cas inverse (96)

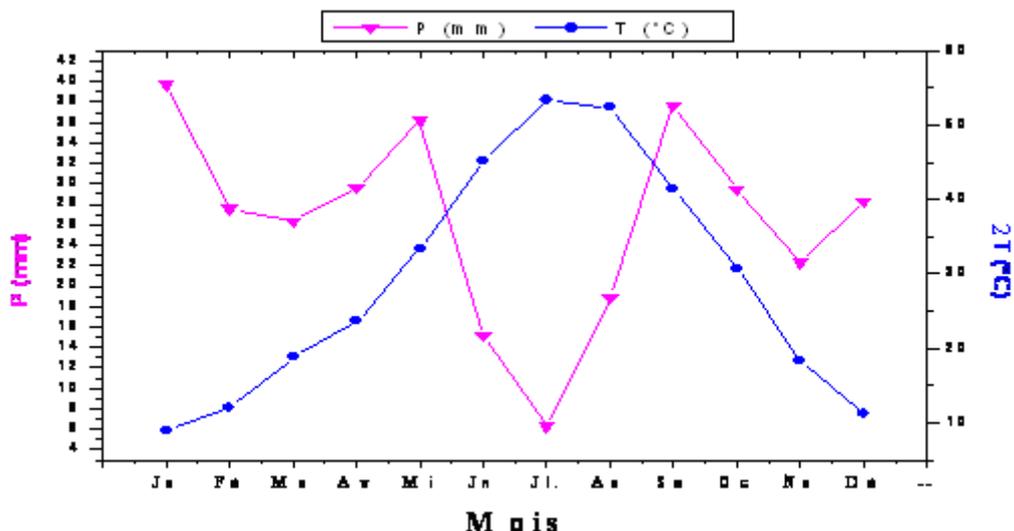


Figure 04 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1990-2005)

Le Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN montre que la période sèche s'étale sur quatre mois (juin, juillet, août et septembre).

La période humide est plus longue et s'étale de janvier à mai et de septembre à décembre.

3.6.3.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Cet indice permet de classer la station sur le climagramme d'EMBERGER et de définir à quel étage bioclimatique appartient la station de Djelfa, ainsi que sa variante thermique.

On le calcule d'après la formule suivante (97)

$$Q_2 = 1000 \times P / (M - m) \times (M + m) / 2$$

M : moyenne des températures du mois le plus chaud (°k).

m : moyenne des températures du mois le plus froid (°k).

P : pluviométrie annuelle (mm)

Le quotient thermique est de 32,35, la température minimale m est de 0,2 °C, ce qui situe la station de Djelfa dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

3.6.4. Humidité

Les données de l'humidité relative de l'air enregistrées dans la station de Djelfa sont listées dans le tableau 7.

Tableau 07: Humidité relative de l'air en (%) dans la ville de Djelfa entre 1990 et 2005.

Mois	Ja	Fé	Ma	Av	Mi	Jn	Jl.	Ao	Se	Oc	No	Dé
Humidité relative %	73	63	58	54	49	39	31	37	47	55	64	69

Source : O.N.M. (2006)

L'humidité est assez importante en hiver, le mois de janvier est considéré comme le mois le plus humide. En été les valeurs sont plus faibles, juillet étant le mois le moins humide.

3.6.5. Evapotranspiration potentielle

L'évaporation est un paramètre qui a une grande influence sur les fluctuations des niveaux piézométriques de l'oued. Elle est sous l'influence des températures et des vents.

Les moyennes de l'ETP et l'ETP-P enregistrées dans la station de Djelfa durant la période (1990-2005) sont regroupées dans le tableau 08

Tableau 08: Moyennes de l'ETP et de l' ETP-P de la station de Djelfa entre 1990 et 2005.

Mois	Ja	Fé	Ma	Av	Mi	Jn	Jl.	Ao	Se	Oc	No	Dé
ETP (mm)	50	65	100	129	175	223	285	261	167	114	70	44
ETP-P (mm)	10,3	37,4	73,7	99,4	138,8	207,8	278,7	242,1	129,4	84,5	47,7	15,8

Source : O.N.M. (2006)

Il apparaît que les variations saisonnières sont bien marquées. Le maximum d'évaporation est observé en été, surtout en juillet, avec un déficit hydrique très important. Qui a une influence directe sur les concentrations des polluants dans l'oued.

3.6.6. Vent

L'action des vents peut influencer l'aération, la vitesse et l'évaporation des eaux de l'oued, et par conséquent ses concentrations et son épuration.

Les valeurs moyennes de la vitesse des vents recueillies dans la station de Djelfa, pour la période (1990-2005), sont listées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 09 : Vitesse moyenne des vents m/s de la station de Djelfa entre 1990 et 2005.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse moyenne des vents m/s	3,8	3,6	4,0	4,4	4,0	3,4	3,3	3,0	3,0	3,4	3,7	4,7

Source : O.N.M. (2006)

La vitesse moyenne mensuelle ne dépasse pas 4,7 m/s. Elle est plus faible pendant l'été et ne dépasse pas 3,4 m/s

Les vents dominants durant la période sèche sont secs et sont orientés Sud – Ouest. En hiver, les vents sont orientés Nord – Est, et sont porteurs de pluies.

3.6.7. Les Gelées

Les valeurs moyennes mensuelles et annuelles des jours de gelées enregistrées dans la station de Djelfa, pour la période (1990-2005), sont listées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 10 : Nombre de jours de gelée par an dans la station de Djelfa entre 1990 et 2005.

Année	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Nb jours de gelée	24	31	47	29	31	28	39	34	56	37	66	45	45	19	34	62

Tableau 11 : Moyennes de jours de gelée par mois dans la station de Djelfa (1990-2005).

Mois	Ja	Fé	Ma	Av	Mi	Jn	Jl.	Ao	Se	Oc	No	Dé
Nb jours de gelée	11	10	3	1	0	0	0	0	0	0	4	10

Les jours de gelée blanche sont très fréquents en hiver et au printemps, les années 2000 et 2005 enregistrent plus de 60 jours de gelées. Ils varient entre 24 et 66 jours par an.

L'action de la gelée peut entraîner une inhibition totale de l'activité biologique, et l'autoépuration se trouve freinée durant l'hiver.

3.6.8. Neige

Les moyennes annuelles des neiges tombées dans la station de Djelfa, pour la période (1990-2005), sont enregistrées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Nombre de jours de neige tombée dans la station de Djelfa (1990-2005.)

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05
Nb jours de neige	7	14	7	5	10	6	7	0	0	5	0	5	1	13	12	18

Source : O.N.M. (2006)

Il neige pratiquement tous les ans dans la station de Djelfa. Les enneigements sont enregistrés en hiver et varient entre 1 et 18 jours. L'épaisseur moyenne est 15 cm, mais elle peut atteindre 50 cm surtout dans les hauteurs.

4. Données socio-économiques

4.1. Population

La ville de Djelfa a connu une évolution démographique très important, avec un taux d'accroissement de plus en plus important.

Les données des recensements de la population, et la connaissance du rythme de son évolution et de sa répartition spatiale, permettent d'émettre des hypothèses d'évolutions de la population, et de faire des prévisions (98).

A partir du taux d'accroissement entre 1987 et 1998, estimé à 5,45. Les prévisions pour la population sont calculées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Population de la ville de Djelfa (1998-2029)

Période	1998	2004	2009	2014	2019	2024	2029
Pop ville	154094	211867	276246	360188	469637	612344	798413
Pop éparse	5581	7674	10006	13046	17010	22178	28917
Total	159675	219541	286252	373234	486647	634522	827330

Source : URBATIA (2006)

4.2. Activités industrielles

L'activité industrielle au sein de la ville de Djelfa est encore au stade embryonnaire, formée essentiellement d'industrie de transformation des peaux et cuirs, et d'industrie agroalimentaire illicite.

La principale unité générant des déchets industriels dangereux est la tannerie. La quantité de déchets stockés au niveau de l'unité est estimée à 60 tonnes. Les effluents liquides très toxiques d'un débit estimé à 145 m³/jour sont traités par la station d'épuration qui consiste en un traitement physique des eaux polluées (filtration, décantation et aération). Mais celle ci reste boiteuse et le traitement n'est toujours pas efficace. Les boues générées par le traitement soit 3 m³/j sont mises en décharges (99)

La localisation de la zone industrielle en amont de la ville pose un sérieux problème, car toutes les eaux polluées sont acheminées par l'oued Mellah.

Ces entreprises sont plus préoccupées par l'approvisionnement en matières premières et en pièces de rechange pour l'entretien des équipements, que par la protection de l'environnement.

4.3. Réseau d'assainissement

La quasi-totalité de la ville est dotée d'un réseau d'assainissement de nature unitaire, les conduites se présentent en deux formes : ovoïde, pour les grands collecteurs, et circulaire pour les conduites. Leurs dimensions varient entre 300 à 500 mm (91). Le réseau est en mauvais état et le taux de raccordement est de 86 % (99). Les quartiers périphériques tel que Chaaoua, et l'habitat précaire, estimé à 6225 habitations avec 50.000 habitants, sont dépourvus de réseau d'assainissement et d'approvisionnement d'eau potable.

Cette situation est alarmante et elle est à l'origine de contamination ; (foyers épidémiques non maîtrisables) et de forte propagation des maladies à transmission hydrique (choléra, hépatite virale et fièvre typhoïde). Cette contamination peut atteindre les eaux profondes (99).

Les rejets de la ville sont estimés à 32417,30 m³/jour.

Les eaux seraient, en principe, acheminées vers la station d'épuration, qui est à l'arrêt. Actuellement, les eaux usées se déversent directement dans l'oued Mellah.

4.4. Station d'épuration

La station d'épuration se trouve à la sortie Nord de la ville. Les traitements pratiqués sont biologiques. Depuis 1985, cette station est à l'arrêt, par manque de pièces de rechange et des problèmes de dimensions et de capacités. En principe, les eaux épurées étaient destinées à l'irrigation. Actuellement, ces eaux sont pompées de l'oued et utilisées dans l'irrigation sans aucun traitement (91).

4.5. Pollution des eaux

Les eaux usées de la ville de Djelfa, qu'elles soient d'origine industrielle ou domestique, se déversent sauvagement dans l'oued Mellah sans protection ni moyen de traitement.

Les nappes sources uniques d'alimentation en eau potable (la nappe du synclinal Nord) sont ainsi exposées dangereusement à la pollution due aux rejets non contrôlés des eaux usées domestiques, industrielles, des décharges sauvages et l'utilisation de fertilisants synthétiques et de pesticides dans l'agriculture, qui sont à l'origine de nombreux cas de maladie à transmission hydrique. D'autant plus que la seule station d'épuration de la ville de Djelfa qui ne reçoit qu'une partie des eaux usées n'est pas fonctionnelle.

Des cas de contamination de l'environnement dus à des accidents chimiques et bactériologiques ont été signalés dans la commune de Djelfa, il s'agit du forage « turonien » et des puits d'El Merdja (99).

A titre d'exemple, en février 2001, Djelfa a dénombré 81 cas de fièvre typhoïde (ANAT, 2002). Ceci est dû principalement aux problèmes d'absence de réseau d'assainissement et à la consommation d'eaux contaminées, notamment au niveau des habitats précaires.

Cette situation s'avère aggravée par un développement anarchique de l'urbanisme.

1. Introduction

Les constats faits sur la situation de l'environnement de la ville de Djelfa ; la croissance rapide de la population, l'urbanisme accéléré, l'industrie polluante, l'inefficacité du traitement des effluents industriels, et l'absence totale du traitement des rejets de la ville ; conduisent inéluctablement à une pollution des eaux, dont les signes sont visibles et alarmants ; disparition des poissons de l'oued Mellah, dégagements d'odeurs nauséabondes, couleur noirâtre des rejets.

Le risque est encore plus grave, car ces eaux sont utilisées dans l'irrigation et servent même à l'abreuvement des animaux.

Notre travail reste dans le cadre de la recherche ayant pour but la caractérisation et le suivi de la qualité des eaux de l'oued Mellah, tout en espérant que cette étude sera suivie afin de réaliser les objectifs de ce travail.

2. Objectifs :

L'objet de ce travail est d'analyser les eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Djelfa déversant dans l'oued Mellah, et faire une caractérisation approximative de la charge polluante de l'oued.

Le but de notre intervention est l'évaluation des paramètres physico-chimiques de la qualité des eaux, car celle-ci n'a pu être menée d'une façon exhaustive jusqu'à présent.

Les objectifs de ce travail seraient donc :

- La caractérisation des eaux résiduelles industrielles et domestiques de la ville de Djelfa déversées dans l'oued Mellah et déterminer le seuil de la pollution.
- Le suivi de la qualité physico-chimique de l'eau le long de l'oued sur une longueur d'environ 20 km, afin d'étudier les variations spatio-temporelle et saisonnière de la qualité des eaux dans le but de vérifier le phénomène d'autoépuration des eaux.
- L'analyse des rejets industriels afin d'étudier la pollution à sa source et l'impact de ces rejets sur le milieu récepteur.
- L'analyse des sédiments dans le but d'étudier l'infiltration et l'accumulation des polluants.

Ce travail est une ébauche qui donne un aperçu sur la pollution de l'oued Mellah dans l'intention d'alerter et sensibiliser les collectivités. Il serait intéressant voire primordial de continuer dans cet axe, afin de faire une banque de données concernant l'oued Mellah, dans le but de réhabiliter et redimensionner la station d'épuration.

3. Etudes antérieures :

Aucune donnée actuelle sur la qualité de l'eau de l'oued Mellah n'existe, et la surveillance du cours d'eau ne se fait pas.

Très peu de travaux ont été réalisés et nous ne disposons que des résultats d'un seul travail qui a été fait sur l'oued par Benkhelif (100), ingénieur agronome en 1979.

Cette étude a été effectuée dans le but d'estimer les apports en eau de l'oued Mellah et les rapports eau/habitant. C'est donc plus l'aspect quantitatif que qualitatif de l'eau qui y est abordé.

Les résultats apportés par cette étude révèlent que :

- La pollution de l'oued Mellah est assez importante. Sa charge était estimée en 1979 à 1274 Kg DBO₅/j, avec un débit de 4512 m³/j et une population de 50.000 habitants.
- La pollution urbaine est beaucoup plus importante que la pollution industrielle.
- La pollution urbaine est de nature organique, donc biodégradable, alors que la pollution industrielle est de nature inorganique et présente un degré de toxicité très important.

C'est sur la base des observations faites sur le terrain et le peu de données dont nous disposons que nous avons tracé notre protocole de travail, et qui devrait répondre à nos objectifs.

4. Localisation des points de prélèvement :

Le choix des points est fait sur la base de leur représentativité, leur accessibilité et leur proximité des habitations, afin d'inclure l'impact des rejets de celles ci sur l'oued.

Plusieurs cas d'occupation du sol sont présents sur les deux rives de l'oued, et qui sont soumis aux risques de contamination par des germes néfastes pour la santé humaine.

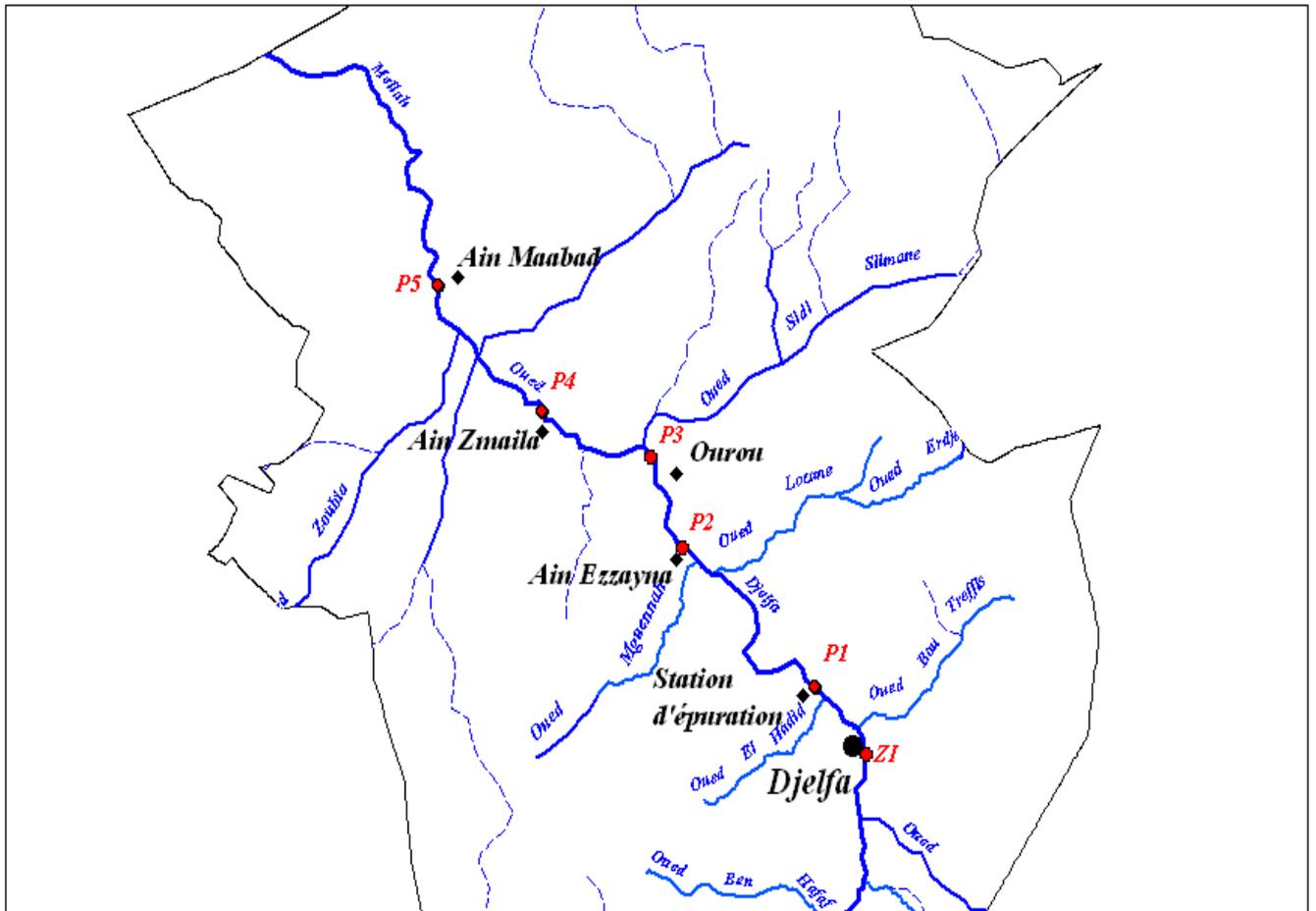
Les points pris à l'oued se trouvent tous en aval de la ville, dans le but d'avoir une idée d'ensemble sur la pollution des eaux de la ville.

La distance entre ces points est d'environ 3 km.

- Le premier point (P1) : est localisé juste à la sortie des eaux de la station d'épuration qui se trouve à la sortie de la ville.
- Le deuxième point (P2) : se trouve près du village « Ezzayna ».
- Le troisième point (P3) : se trouve près du village « Ourou. »
- Le quatrième point (P4) : se trouve dans la région dite « Zmayla »
- Le cinquième point (P5) : se trouve près du village « Ain Mâabad ».

Afin d'étudier la pollution à la source. Nous avons récolté et analysé les rejets industriels. Dans ce travail, on a pris essentiellement les eaux de rejets de la tannerie, du fait qu'elle soit la principale industrie polluante de la ville et qui se trouve en amont. On a appelé ce point (ZI).

Les sédiments sont prélevés sur les mêmes points de prélèvements des eaux.



Original

Figure 05 : Points de prélèvements

5. Echantillonnage

L'échantillonnage est réalisé pour répondre à nos objectifs, à savoir ; faire des prélèvements assez représentatifs de l'état de pollution, et qui devraient correspondre au temps et à la saison choisie.

C'est un échantillonnage systématique, établi le long de l'oued, et sur les cinq points choisis.

Les spécificités d'une zone semi-aride et le manque d'informations sur les débits des différents oueds, imposent un suivi de la qualité de l'eau au moins sur un cycle annuel (101).

Le programme des prélèvements, initialement prévu pour une campagne saisonnière sur une année, s'est vu limité à quatre campagnes au total, réparties en deux phases, sans respecter les saisons pour des raisons de moyens et de temps.

5.1. Prélèvement des eaux de l'oued

- **Première phase : étude préliminaire**

Cette phase est répartie en deux campagnes de prélèvements :

- **Première campagne** : Mise en évidence de la pollution.

Cette campagne est constituée d'un seul prélèvement effectué en saison sèche (le 08 mai 2004), sur les cinq points de l'oued (P1, P2, P3, P4, P5).

Le but était d'évaluer la pollution à un instant t, dans les conditions de sécheresse, afin de comparer nos résultats aux normes admises pour dire s'il y a vraiment pollution d'une part. Et d'autre part de voir par la suite s'il y a un gradient de pollution le long de l'oued qui peut refléter le phénomène d'autoépuration.

Les paramètres mesurés sont : T°, pH, conductivité, DBO, MES, MVS, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} et Cr.

- **Deuxième campagne** : Etude synchronique de la pollution.

Elle s'est déroulée après la période des crues (septembre), l'oued étant lavé des dépôts continus des rejets, l'information sur la charge polluante journalière des eaux serait plus ou moins réelle.

La campagne était menée durant toute la semaine du lundi 27 septembre 2004 au dimanche 03 octobre 2004, avec quatre prélèvements par jour (08h, 11h, 14h et 17h) sur tous les points de l'oued. On a mesuré le pH et la conductivité pour mettre en évidence une éventuelle variation spatio-temporelle de la qualité de l'eau le long de l'oued.

Sachant que les rejets déversés dans l'oued Mellah sont variables, notre intervention était dans le but de déterminer le jour le plus pollué de la semaine, et les variations de cette pollution dans les différents points de l'oued, afin de déterminer le point le plus pollué.

Les résultats de ces analyses seront traités statistiquement. Le test appliqué est l'analyse de la variance, pour étudier la signification de la variation de chaque paramètre mesuré.

Les résultats de cette phase vont orienter les prélèvements de la phase ultérieure.

- **Deuxième phase** : Caractérisation de la pollution et phénomène d'autoépuration.

Elle concerne l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux. Elle est effectuée de deux campagnes

- **La première campagne :**

A partir des résultats de la première phase, nous retiendrons les journées, où la pollution est remarquable (max et min) de la première phase, comme journée de prélèvements.

Six prélèvements sont effectués le long de l'oued en octobre 2004, sur les cinq points.

Cette phase est consacrée à l'évaluation de la pollution inorganique. Nous avons mesuré les paramètres suivants: nitrates, nitrites, sulfates, chlorures, phosphates, Na, Ca, Mg, K et CaCO₃.

- **La deuxième campagne**

Cette campagne est effectuée en octobre de l'année suivante (2005), afin de garder les mêmes conditions hydrologiques et climatiques que la première campagne.

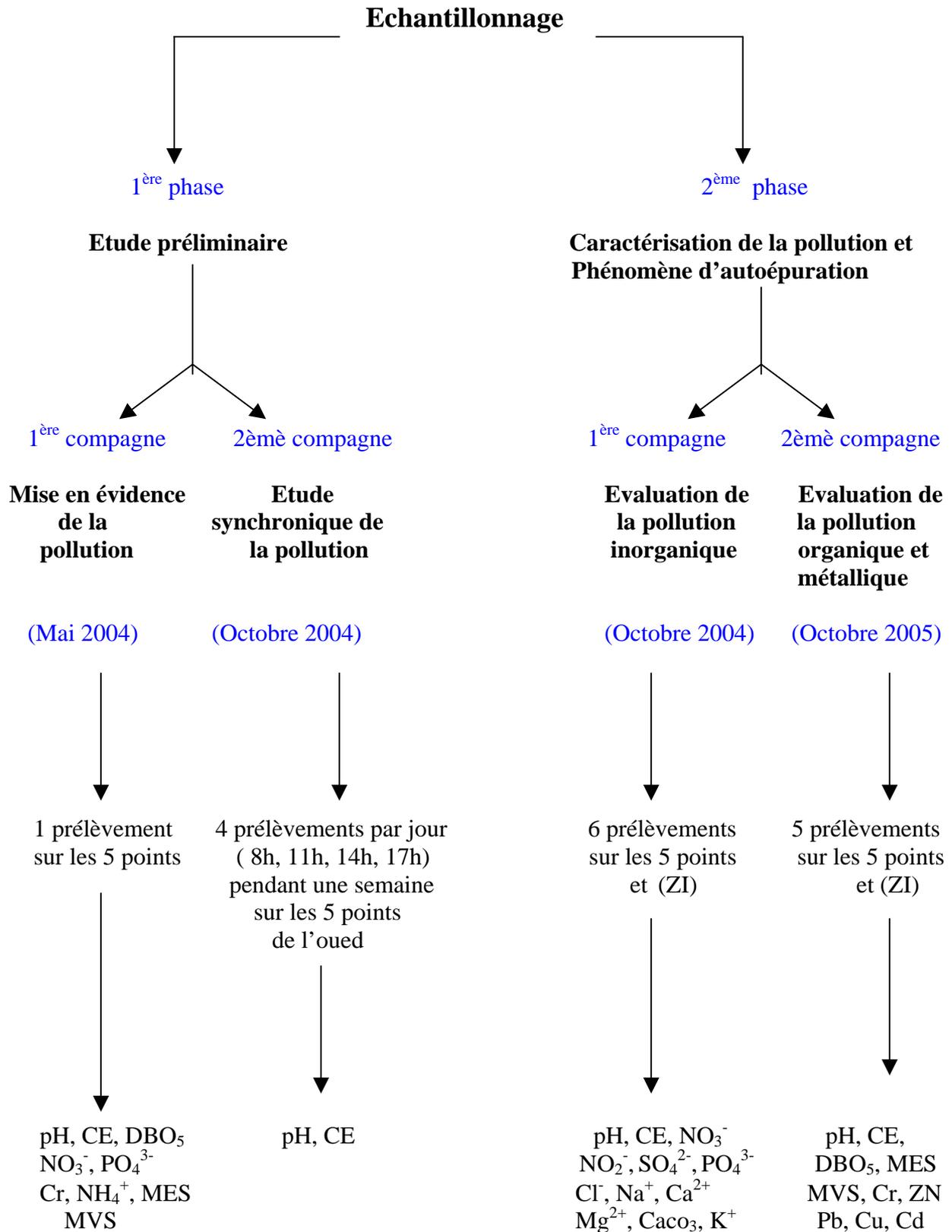
Cinq prélèvements seront faits sur tous les points de l'oued, durant les mêmes journées retenues pour les prélèvements de la première campagne.

Cette phase est consacrée à l'évaluation de la pollution organique et métallique. Les paramètres mesurés sont : pH, conductivité, DBO, MES, MVS, et les métaux lourds (Cr, Pb, Cd, Cu et Zn).

5.2. Prélèvement des rejets industriels

Les rejets de la tannerie sont prélevés dans le bassin de mélange. Les prélèvements sont effectués durant les mêmes jours de prélèvement des eaux de l'oued pour pouvoir faire une comparaison. Nous avons mesuré les mêmes paramètres.

Il faut noter que les échantillons pris de cette unité n'étaient pas homogènes, selon que la station d'épuration était fonctionnelle ou non. Mais ils reflètent exactement ce qui est déversé dans l'oued.



5.3. Prélèvement des sédiments

Les sédiments de l'oued sont prélevés et analysés, dans le but d'étudier le rapport entre les deux phases (eau/sol) et les phénomènes d'infiltration et de sédimentation des polluants. Ainsi que le pouvoir d'adsorption et de rétention par les différentes particules du sol.

Les prélèvements sont faits sur les mêmes points de l'oued et à deux niveaux de profondeur (25 et 50 cm).

Les paramètres mesurés sont : pH, conductivité, nitrates, nitrites, sulfates, phosphates, chlorures, calcaire total, matière organique, Na, Ca, K, Mg, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn et granulométrie.

6. Conditions de prélèvement

Les échantillons d'eau sont prélevés manuellement au milieu de l'oued, en prenant le soin de mélanger l'eau, pour avoir un échantillon homogène. L'eau est prise dans des flacons en verre brun, rincés avec l'eau à prélever, et fermés hermétiquement à l'intérieur du cours d'eau pour éliminer toutes les bulles d'air. Ensuite ils seront transportés au laboratoire dans des glacières à une température de 4°C, pour éviter toute activité biologique et tout changement de la qualité de l'eau (102).

La température et le pH sont mesurés *in situ*, mais pour des raisons de précision, le pH est mesuré encore une fois au laboratoire.

Tous les autres paramètres sont mesurés au laboratoire.

Les échantillons des sédiments sont pris à l'aide d'une tarière. Ils sont transportés au laboratoire dans des sacs en papier, et mis à sécher avant d'être analysés (103, 104).

7. Laboratoires d'analyses

Les analyses sont faites dans trois différents laboratoires.

- Les analyses de la première campagne sont réalisées au laboratoire de Chimie de l'environnement à l'USTHB.
- Les métaux lourds, Na, K, Mg et Ca sont analysés au laboratoire d'agronomie au centre universitaire de Djelfa.
- Les autres paramètres ainsi que les analyses du sol sont effectués au laboratoire du HCDS de Djelfa.

8. Traitement et conservation des échantillons

Pour les analyses de conductivité, pH, DBO, MES, et MVS, il n'y a pas de traitement pour les échantillons, ils sont analysés directement le jour même du prélèvement ou du moins dans les 24h qui suivent le prélèvement (09).

Pour les nitrates et nitrites, les échantillons sont analysés dans les 48 heures qui suivent le prélèvement, sans traitement mais conservés à 4°C (09).

Les phosphates sont analysés dans les 48 heures qui suivent le prélèvement et conservés à 4°C avec de l'acide phosphorique (09).

Pour les sulfates les échantillons sont filtrés avant d'être analysés, et conservés une semaine à 4°C avec du chloroforme à 1ml/l (09).

Les chlorures peuvent être conservés 15 jours sans prétraitement ni additifs (09).

Pour les métaux lourds, les échantillons sont filtrés et conservés avec de l'acide nitrique pour éviter que les métaux s'adsorbent sur les parois. La durée de conservation est assez longue et elle peut aller jusqu'à 3 mois (105, 106, 107, 108).

9. Méthodes d'analyses

Les méthodes utilisées pour les analyses d'eau et des sédiments sont résumées dans le tableau 14.

Il nous a été impossible de mesurer les autres paramètres de pollution tel que (DCO, oxygène dissous, turbidité), faute de moyens et de temps.

Nous n'avons pu disposer d'aucune information concernant les débits moyens de l'oued, en raison de l'irrégularité de ces dernières à cause de la particularité du climat. De plus, l'eau qui arrive à la station d'épuration n'est qu'une partie des eaux déversées dans l'oued, l'autre partie étant déviée par les habitants des environs, pour être utilisée en irrigation. La mesure du débit s'est avérée donc impossible. Nous nous sommes trouvé donc obligés de mesurer les paramètres sans se référer à un volume moyen d'eau.

10. Traitement de données

Les données sont traitées par plusieurs logiciels :

- Excel et origin (pour le calcul des concentrations avec les corrélations, des moyennes et pour les graphes).
- STATISTICA : pour les traitements statistiques (ANOVA, comparaison de moyennes, tests de contraste et corrélations).

Tableau 14 : Méthodes d'analyses utilisées

Paramètre	Méthode utilisée	Appareils	Norme AFNOR
PH	Electrométrie	pH-mètre	NFT 90-008
Température (°C)	Thermométrie	Thermomètre	NFT 90-100
Conductivité (ms/Cm)	Electrométrie	Conductomètre	NFT 90-031
MES à 105°C (mg/l)	Filtration	Etuve	NFT 90-105
MVS à 625°C (mg/l)	Calcination	Four a moufle	NFT 90-105
DBO ₅ (mg d'O ₂ /l)	Manométrie	DBO-mètre	NFT 90-103
Ammoniac (mg/l)	Colorimétrie (NESSLER)	Spectromètre à UV	NFT 90-015
Nitrites (mg/l)	Colorimétrie (ZAMBELLI)	Spectromètre à UV	NFT 90-013
Nitrates (mg/l)	Colorimétrie (salicylate de sodium)	Spectromètre à UV	NFT 90-012
Phosphates (mg/l)	Colorimétrie (acide ascorbique)	Spectromètre à UV	NFT 90-023
Sulfates (mg/l)	Néphélométrie	Spectromètre à UV	-
Cl (mg/l)	Titrimétrie (Mohr)	Burette	-
K, Na (mg/l)	Spectrophotométrie de flamme	Spectrophotomètre à flamme	-
Mg, Ca, CaCO ₃ (mg/l)	Complexométrie (EDTA)	Burette	-
Métaux lourds mg/l	Absorption atomique	Spectromètre à absorption atomique	-
Calcaire total (%)	-	Calcimètre de Bernard	-
MO (%)	Méthode Anne	Burette	-
Granulométrie (%)	-	Pipette de Robinson	-

I. Analyse des eaux usées de l'oued Mellah

I.1. Première phase : Etude préliminaire

Cette phase est effectuée en deux campagnes de prélèvements :

La première a pour but de vérifier l'hypothèse de la pollution et du phénomène d'autoépuration.

La deuxième est effectuée dans le but d'étudier la variation spatio-temporelle des rejets.

I.1.1. Mise en évidence de la pollution

Les constats faits sur le terrain (odeurs nauséabondes, couleur noirâtre des rejets, existence d'usine de tannerie de cuir, grande consommatrice de produits chimiques, inexistence de traitement des eaux...) laissent supposer l'existence d'une pollution des eaux usées de l'oued Mellah. Nous avons donc jugé utile de tester dans un premier temps le niveau de pollution et le seuil de toxicité atteint.

Les résultats de ces analyses indiqués dans le tableau 15, semblent révélateurs de cette pollution.

Tableau 15 : Résultats du premier prélèvement

Elément	P1	P2	P3	P4	P5
T° air	14	15	15	15	17
T° eau	19	19	22	23	24
pH	8,12	8,05	8,9	9,5	7,7
Conductivité	4,7	4,5	4,2	4	4.1
DBO	380	150	80	20	50
MES	5800	1800	2300	100	2300
MVS	4020	1200	1500	68	1600
NO ₃ ⁻	0.675	0.357	0.78	0.568	0.023
NH ₄ ⁺	0,3267	0,2528	0,0576	0,0051	0,0014
PO ₄ ³⁻	0,612	0,486	0,485	0,003	0,007
Cr	1,136	0,756	0,213	0,014	0,008

Les analyses du premier prélèvement présentent les résultats suivants :

- pH :

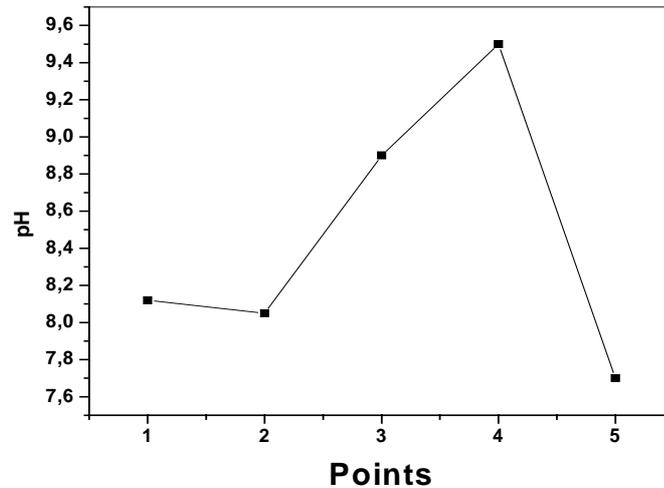


Figure 06 : Variation du pH dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- Les valeurs du pH sont comprises entre 7.7 et 9.5, les eaux sont alcalines surtout au point 4, il dépasse la norme admise comprise entre 6.5 et 8.5 (109, 110).

- Conductivité :

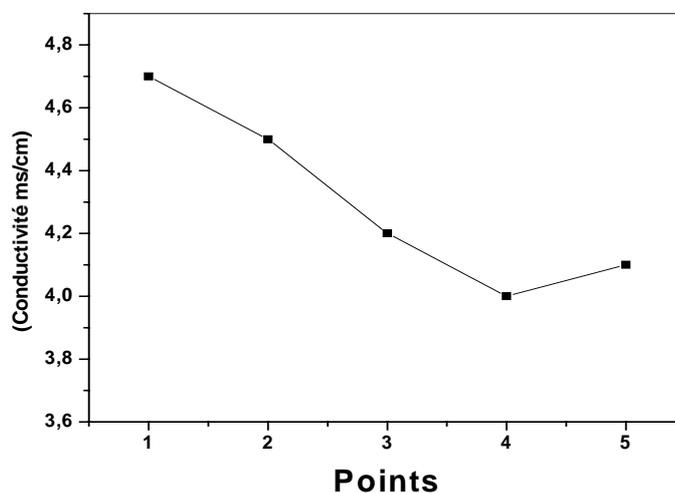


Figure 07 : Variation de la conductivité dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- La conductivité est rangée entre 4 et 4.7 ms/cm. Ces concentrations sont très importantes et dépassent de loin la norme de rejet admise, évaluée à 2.5 ms/cm (110). Le point1 est le plus chargé. Les concentrations diminuent le long de l'oued, mais elles augmentent légèrement au point5.

- DBO₅

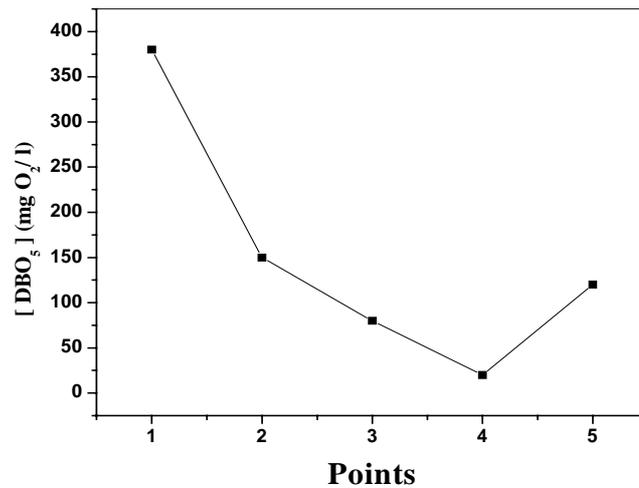


Figure 08 : Variation de la DBO dans l’oued (prélèvement mai 2004).

- Les valeurs de la DBO varient entre 20 et 380 mg/l. La plus grande concentration est observée au point 1 et la plus faible au point 4. Les points 1, 2 et 3 dépassent la norme de rejet estimée à 70 mg/l (110).
On observe qu’il y a un gradient décroissant de concentrations le long de l’oued, ce qui indique l’élimination des polluants organiques.

- MES / MVS :

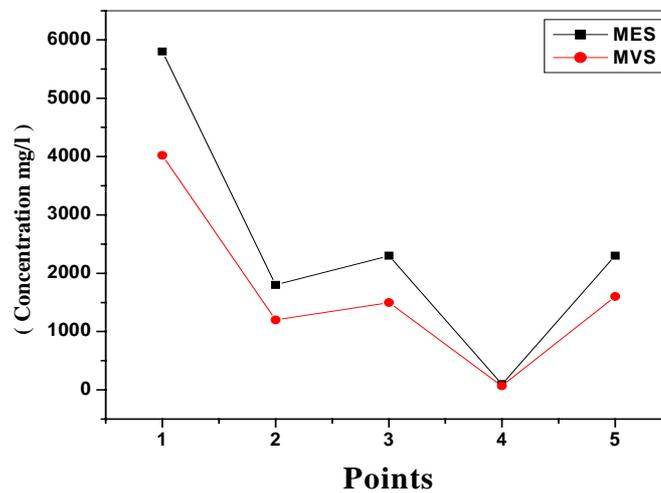


Figure 09 : Variation des MES et des MVS dans l’oued (prélèvement mai 2004).

- Les concentrations des MES et des MVS sont très importantes variant entre 100 et 5800 mg/l pour les MES et entre 68 et 4020 pour les MVS. Elles présentent une grande variation entre les points le long de l’oued. L’élimination est très importante mais ces concentrations restent élevées comparées à la norme de rejet admise, qui est de l’ordre de 50mg/l (110).

- Nitrates :

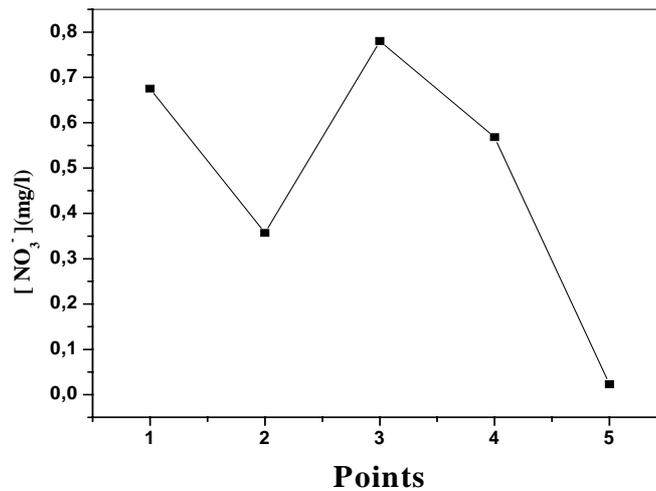


Figure 10 : Variation des nitrates dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- Les concentrations des nitrates sont assez importantes surtout au point 3, qui présente la plus grande concentration (0.78mg/l), et la plus faible est enregistrée au point 5 avec 0.023 mg/l. La variation de concentrations entre les points le long de l'oued est importante, mais elle ne suit pas une évolution linéaire.

- Ammoniac :

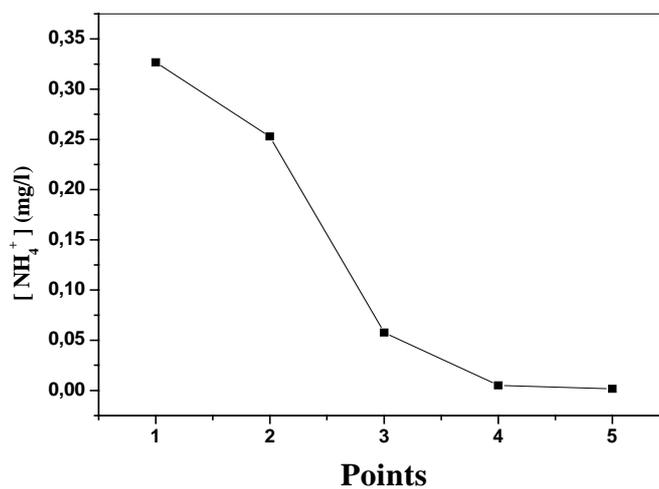


Figure 11 : Variation du NH₄⁺ dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- Les concentrations de l'azote ammoniacal sont décroissantes le long de l'oued. Le point 1 présente la plus grande valeur 0.3267 mg/l et la plus faible est enregistrée au point 5 avec 0.0014 mg/l. Son élimination est assez importante dans l'oued.

- Phosphates :

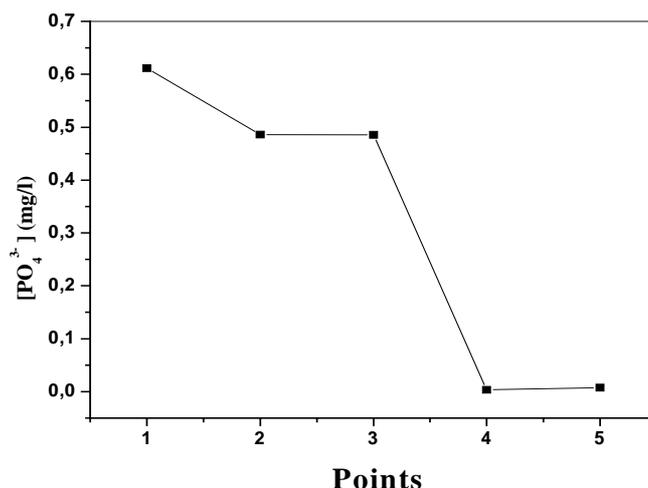


Figure 12 : Variation des PO₄³⁻ dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- Les concentrations des phosphates sont rangées entre 0.003 et 0.612 mg/l. Cette variation est très importante entre P1 et P4, ce qui indique l'importance de l'élimination des PO₄³⁻.

Les concentrations au P1, P2 et P3 sont supérieures à la norme de rejet admise estimée à 0,18 mg/l (111). Le P1 présente une concentration supérieure à 0.5 mg/l, considérée comme limite inférieure au risque d'eutrophisation (16).

- Chrome :

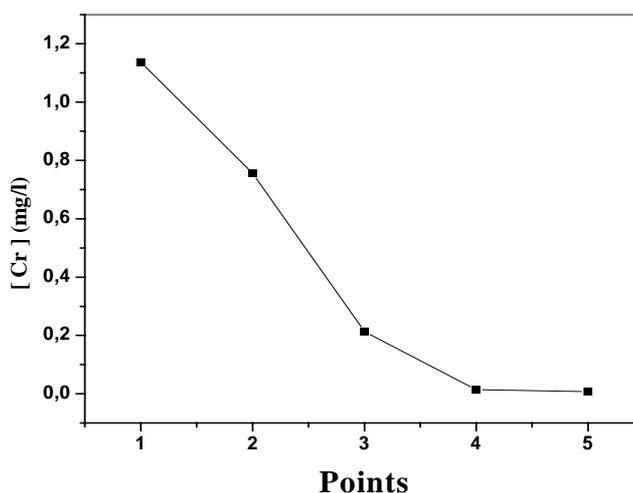


Figure 13 : variation du Cr dans l'oued (prélèvement mai 2004).

- Le Cr est très élevé au point 1 avec une concentration de 1.136 mg/l, mais diminue le long de l'oued. La plus faible concentration est au P5 avec 0.008 mg/l. L'élimination du Cr est très importante le long de l'oued. Mais les points 1, 2 et 3 dépassent la limite admise de rejet qui est de 0.1 mg/l (110, 111).

A partir des résultats de ce premier prélèvement, il semble que :

- La pollution dans l'oued est très importante, les concentrations de polluants dépassent de beaucoup les normes de rejets surtout aux points 1, 2 et 3.
- Les points 4 et 5 ne sont pas considérés très pollués.
- L'augmentation de la concentration des polluants au point 5 est peut être due aux rejets d'eaux usées de la ville de Ain Maâbad dans l'oued.
- La pollution provient des rejets de la ville de Djelfa, seules les nitrates ont des apports extérieurs qui peuvent provenir du drainage des nitrates des fertilisants agricoles utilisés sur toutes les terres avoisinant l'oued.
- L'élimination des polluants surtout les polluants organiques est très importante le long de l'oued.

Dans la continuité de ce travail, et en vue de déterminer la variation spatiale de la pollution le long de l'oued et la variation temporelle journalière des rejets pour déterminer quel est le point de prélèvement le plus pollué et le jour le plus pollué. Une deuxième campagne de prélèvements synchroniques a été entreprise durant une semaine le long de l'oued.

I.1.2. Variation spatio-temporelle des rejets : Etude synchronique de la pollution

Les rejets sont étudiés selon deux axes :

- A partir des variations des valeurs moyennes de la CE et du pH en fonction des points de prélèvement.
- A partir des variations des moyennes journalières de la CE et du pH.

Ces variations spatio-temporelles nous amènent à faire des analyses statistiques pour déterminer s'il existe des différences significatives entre les points de prélèvements et entre les jours.

Deux analyses de la variance ont été faites dans le but d'estimer la signification des deux sources de variations (point et jour)

Le test est appliqué séparément pour les deux éléments (pH et CE), avec un niveau de probabilité de 95 %.

La comparaison des moyennes est faite par le test Scheffé. L'opportunité de ce choix se justifie par le fait que ce test est très sévère et permet d'exprimer des différences significatives entre les moyennes d'une façon très déterminante par rapport aux autres tests.

Les résultats de ces prélèvements sont listés dans les tableaux 16 et 17.

Jours	Lundi			Mardi			Mercredi			Jeudi			Vendredi			Samedi			Dimanche									
	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14							
heure	2,59	2,38	3,27	2,98	2,74	3,11	3,86	3,04	3,13	4,12	4,19	2,88	2,6	2,97	3,02	3,46	3,22	3,67	2,99	2,74	2,57	3,41	3,39	2,4	2,51	3,96	3,06	
p1	2,78	2,84	3,02	3,18	2,81	2,86	2,76	2,93	3	2,93	3,01	3,09	3,12	3,02	3,04	3,11	3	3,05	3,11	3,18	2,93	2,88	2,85	2,96	2,88	2,9	2,9	
p3	2,88	2,81	3,07	2,75	2,72	2,74	2,86	2,9	3,12	3,05	2,96	3,05	2,99	2,94	3	3,02	2,97	2,99	2,99	2,99	2,87	2,89	2,87	2,87	2,9	2,86	2,83	2,82
p4	2,95	3	3,16	2,96	2,91	2,88	2,9	2,89	3,15	3,1	3,1	3,09	3,15	3,13	3,17	3,14	3,16	3,16	3,16	3,16	3,01	3,03	2,97	3,01	2,82	3,07	3,05	3,06
p5	2,96	2,99	3,15	2,97	2,92	2,91	2,92	2,9	3,24	3,18	3,16	3,27	3,26	3,2	3,17	3,2	3,16	3,16	3,14	3,09	3,06	3,03	3,05	3,08	3,05	3,06	3,07	3,07

Tableau 16 : Résultats des analyses de la conductivité du deuxième prélèvement.

Jours	Lundi			Mardi			Mercredi			Jeudi			Vendredi			Samedi			Dimanche									
	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14	8	11	14							
heure	7,66	7,63	7,61	7,64	7,69	7,65	7,86	7,89	7,53	7,69	7,71	7,73	7,48	7,63	7,7	7,62	7,57	7,68	7,68	7,63	7,26	7,45	7,49	7,4	7,53	7,46	7,82	7,48
p1	7,7	7,9	8,01	7,84	7,75	7,98	8,01	8,03	7,67	7,75	7,91	7,94	7,58	7,78	7,92	8	7,73	7,98	8,02	7,99	7,53	7,6	7,74	7,7	7,76	7,78	8,18	7,82
p3	8,18	8,62	8,17	8,38	8,6	8,63	8,7	8,17	8,22	8,26	8,52	8,62	8,02	8,31	8,38	8,6	7,92	8,04	8,56	8,54	7,81	7,73	8,1	8,34	7,93	7,8	8,14	8,26
p4	8	8,22	8,31	8,21	8,545	8,35	8,47	8,34	8,04	8,19	8,36	8,31	7,95	8,18	8,28	8,3	7,96	8,1	8,23	8,18	7,78	7,9	7,81	8,06	7,96	7,92	8,11	8,07
p5	7,76	8,08	8,14	8,05	8,05	8,25	8,33	8,27	7,91	8,05	8,16	8,13	7,93	8,1	8,28	8,16	7,91	7,94	8,1	8,06	7,75	7,87	7,75	7,89	7,72	7,53	7,8	7,88

Tableau 17 : Résultats des analyses du pH du deuxième prélèvement.

ANOVA :

La signification est observée à partir de $p = 0,05$.

On étudie chaque paramètre à part. Le pH est mesuré à titre indicatif seulement pour vérifier sa variation dans l'oued, mais il ne donne pas une appréciation réelle de la pollution, contrairement à la CE qui exprime la charge des eaux.

L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

- La CE

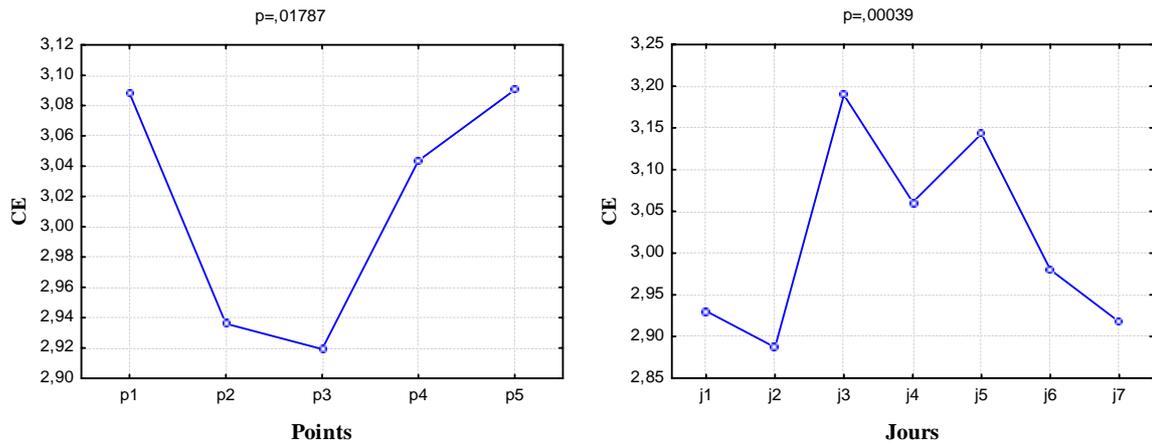


Figure 15 : Analyse de la variance de la CE en fonction des points et des jours.

- pH :

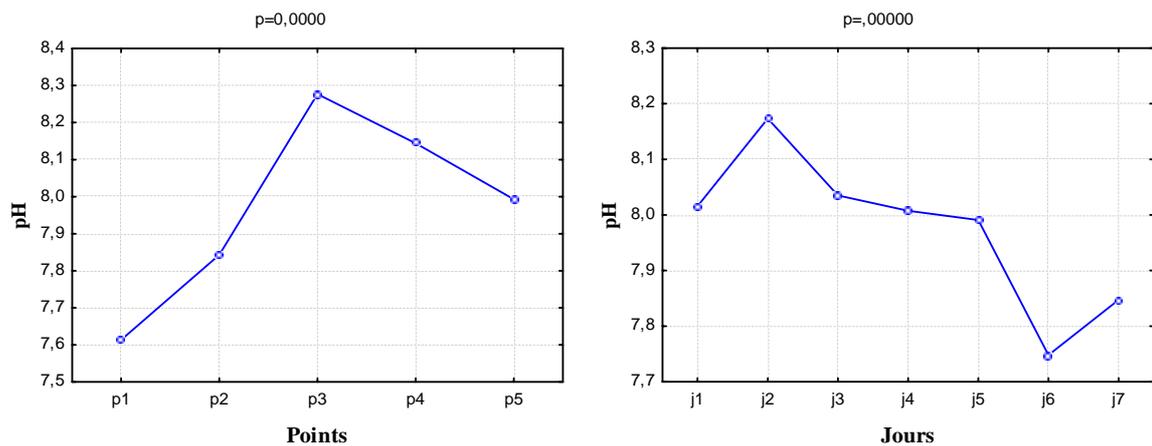


Figure 16 : Analyse de la variance du pH en fonction des points et des jours.

Interprétation

- L'analyse de la variance pour la conductivité montre qu'il y a une différence significative entre les points de l'oued ($p = 0,017$). Néanmoins, la comparaison des moyennes de la CE ne montre pas un point significativement plus important que les autres.

Une différence très significative existe entre les jours ($p = 0.0003$). La comparaison des moyennes de la CE entre les jours a montré que c'est mercredi (j3) qui enregistre la plus grande moyenne avec 3,19 et la plus faible de 2,88 est enregistrée le mardi (j2).

- Pour le pH, l'ANOVA montre une différence très hautement significative entre les points ($p = 0.0000$), ainsi qu'entre les jours ($p = 0.00000$).

La comparaison des moyennes montre qu'il existe une différence significative entre tous les points, excepté entre le point 03 et le point 04.

Pour la comparaison des moyennes des jours, la plus grande différence significative est marquée entre mardi (j2) qui enregistre la plus grande moyenne 8,17 et samedi (j6) qui enregistre la plus faible moyenne 7,74.

Ces résultats sont difficiles à interpréter, vu que les fluctuations du pH mettent en relation tous les éléments chimiques. Nous tiendrons donc compte, pour l'interprétation de nos résultats et le choix des jours de prélèvements, des résultats de la CE.

Les deux campagnes de prélèvements effectuées en mai et en octobre 2004, montrent trois faits importants :

- La pollution de l'oued Mellah est très importante, et les seuils de toxicité sont très élevés.
- La variation des polluants le long de l'oued laisse supposer l'existence d'un processus de dégradation par le phénomène d'autoépuration.
- La différence de la qualité des eaux entre les jours de la semaine montre une variation journalière importante des rejets. Le pic de pollution est observé le mercredi, tandis que la plus faible charge est observée le mardi, d'où le choix délibéré de ces deux jours pour les prélèvements de la deuxième phase destinés à la caractérisation de la pollution.

I.2. Deuxième phase : Caractérisation de la pollution

Les objectifs de cette phase sont :

- L'évaluation de la charge polluante :
- La détermination de la provenance des polluants et mise en évidence de l'autoépuration.
- L'estimation de la variation saisonnière de la pollution et de l'autoépuration.

1.2.1. Evaluation de la charge polluante :

L'analyse des paramètres physico-chimique de la pollution permet de mieux connaître la qualité des eaux de l'oued Mellah. Deux campagnes de prélèvements ont été mises en œuvre en octobre 2004 et octobre 2005.

Les résultats des deux prélèvements sont résumés dans le tableau 18.

Dans le but de vérifier le phénomène de l'autoépuration dans l'oued, ainsi que la provenance des différents polluants, nous avons effectué des traitements statistiques avec les données issues des analyses de ces prélèvements.

1.2.2. Provenance des polluants et mise en évidence de l'autoépuration.

Deux traitements statistiques sont faits : (ANOVA et Corrélations)

- **ANOVA**

L'analyse de la variance a été faite dans le but d'estimer la signification de la source de variations (espace : point)

Le test est appliqué séparément pour tous les éléments, avec un niveau de probabilité de 95 %. La signification est obtenue à partir de 0,05, quand p est inférieur à cette valeur (F : valeur obtenue de la table), l'effet est caractérisé comme significatif. Il est marqué sur la table avec le symbole (+), (++) très significatif et (+++) hautement significatif, quand il n'est pas significatif, il est marqué avec le symbole (-). Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau (19)

La comparaison des moyennes est faite par le test Scheffé, pour déterminer quel est le point qui enregistre les plus grandes concentrations de polluants.

Les tests des contrastes sont appliqués dans le but de déterminer le terme et la tendance de la variation (linéaire, quadratique ou cubique).

Les résultats sont indiqués dans le tableau 20.

Points Elément	P1			P2			P3			P4			P5		
	min.	max.	Moy.	min.	max.	Moy.	min.	max.	Moy.	min.	max.	Moy.	min.	max.	Moy.
pH	7,15	7,46	7,3	7,65	8,12	7,87	7,56	8,32	8,02	7,53	8,37	8,01	7,35	8,64	7,98
Conductivité	2,81	3,82	3,2	2,58	3,16	2,95	2,83	3,63	3,28	2,57	3,88	3,32	2,65	3,77	3,25
SO ₄ ²⁻	430,52	496,13	460	427,6	451,8	443,4	408,92	441,85	421,78	375,7	438,7	405,5	369,13	436,84	401,36
NO ₃ ⁻	0,091	0,58	0,28	0,074	4,72	2,12	1,53	14,37	7,01	0,23	6,645	3,085	0,57	9,67	2,93
NO ₂ ⁻	0,29	0,41	0,35	0,092	0,701	0,323	0,063	3,229	0,654	0,014	0,119	0,038	0,002	0,022	0,015
Cl ⁻	73,48	350,38	171,52	94,78	368,13	192,88	86,26	385,8	199,33	119,28	332,63	184,42	119,28	332,64	184,42
PO ₄ ³⁻	0,685	1,188	0,923	0,404	2,117	0,901	0,385	0,744	0,496	0,096	0,27	0,173	0,031	0,11	0,062
Na ⁺	14634	19026	17272,2	4121,2	14165,6	10263,4	4973,2	17013,2	13442,4	5654,8	23162	16936,6	4802,8	15494	9936,72
K ⁺	112,51	153,78	130,85	84,99	112,51	97,38	78,12	128,56	96	68,95	137,73	89,58	55,19	135,44	79,03
Ca ²⁺	346,29	420,04	380,28	371,94	429,66	402,08	379,64	436,07	409,65	384,77	418,11	399,52	378,65	401,65	392,79
CaCO ₃	1140,8	1388,8	1286,08	1267,2	1392	1346,24	1264	1395,2	1347,84	1274	1452,8	1330	1200	1483,2	1342,72
Mg ²⁺	61,04	111,97	81,96	64,15	101,08	83,36	69,98	88,65	79,16	62,21	99,53	80,48	58,32	104,97	82,58
DBO	120	270	218	20	100	48	0	50	28	0	20	6	0	30	18
MES	1000	2400	1780	700	1700	1260	700	1700	1080	200	1800	980	200	900	620
MYS	700	2000	1440	500	1400	1000	500	1200	780	150	1500	690	100	500	340
Cr	0,339	0,786	0,61	0,062	0,154	0,09	0,006	0,038	0,022	0,0004	0,006	0,003	0,0003	0,0025	0,0016
Pb	0,256	0,481	0,366	0,119	0,426	0,241	0,133	0,384	0,28	0,261	0,623	0,423	0,275	0,632	0,368
Zn	0,249	0,525	0,448	0,059	0,267	0,186	0,098	0,249	0,187	0,238	9,358	2,26	0,393	0,489	0,414

Remarque : Le Cd et le Cu étaient au dessous du seuil de détection et ne sont pas présentés dans le tableau

Tableau 18 : Résultats des analyses physico-chimiques de la deuxième phase.

Tableau 19 : Résultats des ANOVA des différents éléments.

Variabiles	SC Modèle	dl Modèle	MC Modèle	SC Résidu	dl Résidu	MC Résidu	F	p	Signification
CE	0,76286	4	0,19071	9,53220	20	0,070608	2,76158	0,0357236	+
pH	2	4	0	0	20	0	20,29158	0,000001	+++
Cl ₋	4212	4	1053	226720	20	11336	0,09289	0,9836	-
PO ₄ ³⁻	4	4	1	2	20	0	8,80391	0,000287	++
SO ₄ ²⁻	14175	4	3544	9116	20	456	7,77493	0,000598	++
NO ₃ ⁻	165	4	41	166	20	8	4,94794	0,006146	++
NO ₂ ⁻	2	4	0	8	20	0	1,1366	0,367786	-
CaCO ₃	13356	4	3339	128162	20	6408	0,52104	0,721319	-
Ca ₂₊	2410	4	602	8437	20	422	1,42804	0,261204	-
Mg ₂₊	57	4	14	5030	20	252	0,0564	0,9936	-
Na ₊	2,46E+08	4	61488987	4,79E+08	20	23964338	2,56585	0,069778	-
K ₊	7563	4	1891	10415	20	521	3,63073	0,022171	+
Pb	0	4	0	0	20	0	1,64662	0,20181	-
Zn	16	4	4	63	20	3	1,22753	0,330723	-
Cr	1	4	0	0	20	0	44,7191	0	+++
DBO	153736	4	38434	19640	20	982	39,13849	0	+++
MES	3617600	4	904400	5184000	20	259200	3,4892	0,025673	+

Tableau 20 : Résultats des tests de contraste des différents éléments

Contrastes	P (contraste1) terme linéaire	P (contraste2) terme quadratique	P (contraste3) terme cubique
CE	0,11593	0,041963	0,78802
pH	0,01886	0,00017	0,00000
K ⁺	0,00826	0,17220	0,16665
PO ₄ ³⁻	0,00003	0,02211	0,97068
SO ₄ ²⁻	0,00012	0,01073	0,43599
NO ₃ ⁻	0,51804	0,02291	0,00246
Cr	0,00000	0,00000	0,00002
DBO	0,00000	0,00001	0,00022
MES	0,00382	0,28676	0,22302

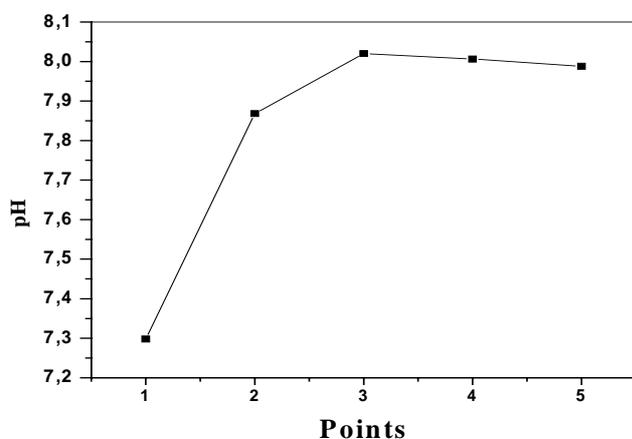
Interprétation :

Figure 17 : Variation du pH dans l'oued (Prélèvement octobre 2005).

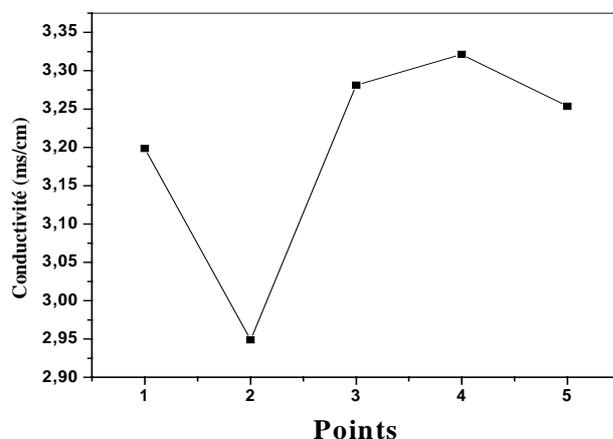


Figure 18 : Variation de la CE dans l'oued (Prélèvement octobre 2005).

- pH :

Les valeurs du pH présentent une variation remarquable entre les différents points de l'oued.

Le P1 présente le pH le moins élevé avec une moyenne (7,3) et la plus grande moyenne est enregistrée au P3 (8,02). Le pH des eaux est neutre à alcalin, il est favorable pour l'activité biologique (01, 05). Cette alcalinité conduit à la précipitation des métaux, des sulfates et des phosphates (20, 37, 112)

Cette variation est hautement significative, mais il n'existe pas de différence entre les moyennes. Le test des contrastes est significatif et la variation est cubique, le pH augmente le long de l'oued, et se termine par un palier. Cette élévation du pH est peut être en rapport avec l'augmentation de la concentration des CaCO_3 . La valeur faible du pH au P1 est peut être due à la présence des PO_4^{3-} (113).

- Conductivité :

La conductivité présente une variation importante entre les points. La concentration diminue de façon remarquable au P2 qui enregistre la plus faible moyenne avec (2,95 ms/cm). mais elle augmente à partir du P3 et la plus grande charge est enregistrée au P4 avec une moyenne de (3,3 ms/cm). Ces valeurs révèlent l'importance de la salinité des eaux de l'oued, qui peut interférer sur la dégradation des éléments minéraux (51).

La variation est significative, les tests de contraste montre une tendance quadratique de cette variation. Elle semble indiquer que les rejets de la ville ne sont pas la seule source des concentrations élevées, qui peuvent être dues à la présence des CaCO_3 et la formation des $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ provenant des calcaires, qui affleurent le long de l'oued, ou à la forte concentration des cations, provenant de la décomposition des roches salines (16).

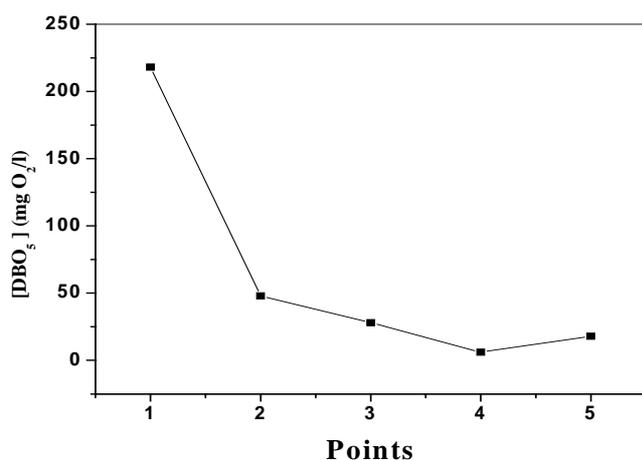


Figure 19 : Variation de la DBO dans l'oued (Prélèvement octobre 2005).

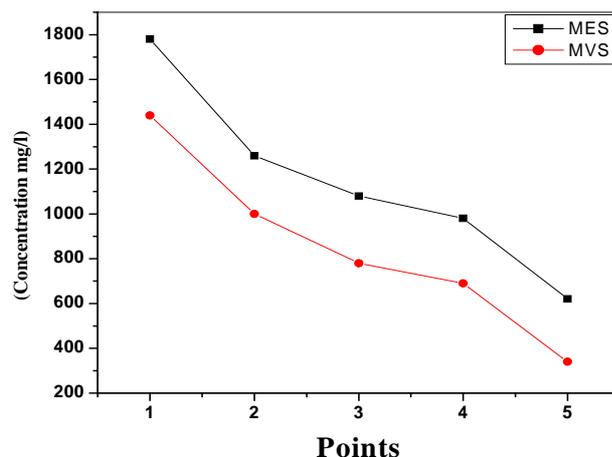


Figure 20 : Variation des MES et des MVS dans l'oued (Prélèvement octobre 2005).

- DBO₅ :

Les valeurs moyennes de la DBO sont rangées entre 6 et 218 mg/l. Sa variation est hautement significative, la comparaison des moyennes montre que c'est le point 1 qui a la plus grande concentration (218 mg/l), et la plus faible (6 mg/l) est attribuée au P4. Ceci indique que les polluants organiques proviennent principalement des rejets de la ville.

On observe qu'il y a un gradient décroissant de concentrations le long de l'oued. Ceci est appuyé par le test des contrastes qui montre une tendance linéaire de la variation. La dégradation est estimée à 78 % entre P1 et P2, et jusqu'à 97 % au P4.

Ceci indique que l'élimination de la matière organique est très importante le long de l'oued. Seul le point 1 dépasse la norme de rejet estimée à 70 mg/l (110).

- MES / MVS

Les concentrations des MES et des MVS sont très importantes, elles varient significativement entre les points, et les moyennes sont décroissantes le long de l'oued. La variation est linéaire. Le point 1 est le plus significativement concentré, il enregistre 1780 mg/l pour les MES et 1440 mg/l pour les MVS. Le point 5 a la moyenne la plus significativement faible avec 620 mg/l pour les MES et 340 mg/l pour les MVS.

L'élimination est très importante le long de l'oued, elle est de 80 %, mais ces concentrations restent élevées comparées à la norme de rejet admise qui est de l'ordre de 50 mg/l (110).

Les MVS représentent environ 70 % des MES. ces résultats concordent avec ceux de la bibliographie (07) et indiquent que la pollution organique est plus importante que la pollution inorganique (07)

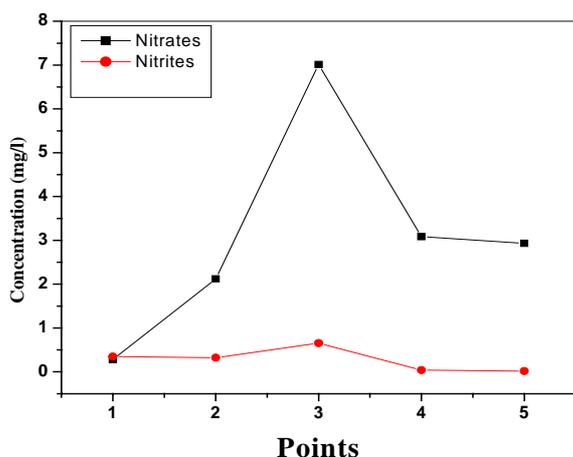


Figure21 : Variation des NO_3^- et des NO_2^- dans l'oued (Prélèvement octobre 2004).

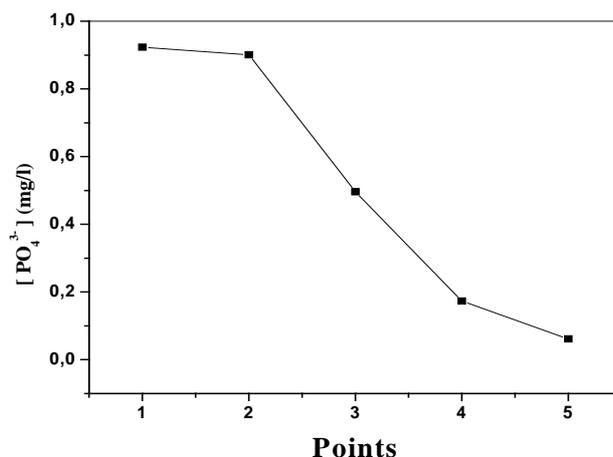


Figure22 : Variation des PO_4^{3-} dans l'oued (Prélèvement octobre 2004).

- Nitrates / Nitrites

Les concentrations des nitrates sont assez élevées variant entre 0,27 et 7 mg/l. Elles varient significativement entre les points, avec une tendance cubique, la concentration la plus significativement grande est observée au P3 avec une moyenne de 7,011 mg/l et la plus faible au P1 avec une moyenne de 0,279 mg/l.

Ces pics sont probablement le résultat du drainage des nitrates contenus dans les fertilisants agricoles, absorbés dans le sol et lessivés en temps de pluies (16). En effet, les terres avoisinant l'oued dans cette région sont toutes occupées par l'agriculture et sont irriguées par les eaux de l'oued. Les concentrations élevées, associées à une faible DBO à ce niveau, peuvent être aussi le résultat d'une bonne nitrification (54).

Il n'existe pas de différence significative pour la variation des nitrites, les concentrations sont plus faibles que les nitrates à partir du P2. La plus grande concentration est observée au P3 avec une moyenne de 0,65 mg/l, et la plus faible au P5 avec une moyenne de 0,015 mg/l.

- Phosphates :

Les concentrations des phosphates sont assez importantes et sont supérieures à la norme de rejet (0,18 mg/l) (111). Elles varient très significativement entre les points et leur tendance est linéaire.

Les valeurs sont décroissantes le long de l'oued. La comparaison des moyennes montre que la plus grande concentration est observée au P1 avec 0,92 mg/l et la plus faible au P5 avec 0,06 mg/l. Ceci indique que les phosphates proviennent essentiellement des rejets de la ville. Ils sont utilisés dans les détergents domestiques et industriels, ainsi que dans certains fertilisants agricoles (16).

La diminution de la concentration est très importante le long de l'oued, elle est estimée à 93 %. Cette diminution est peut être en rapport avec le pH, les phosphates précipitent en conditions de pH basique (76, 114).

Les concentrations aux P1, P2 et P3 sont supérieures à la limite d'eutrophisation qui est de 0,5 mg/l (16).

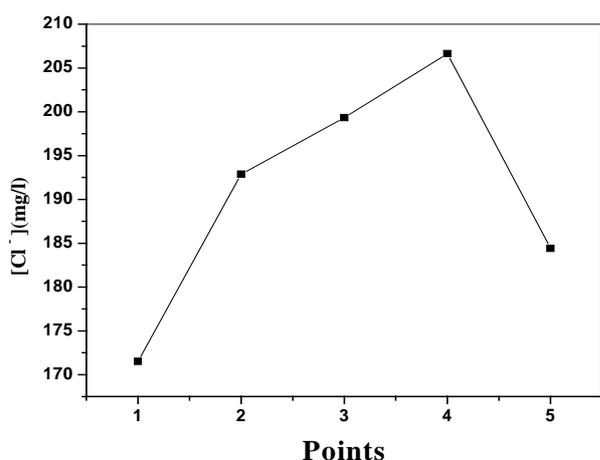


Figure 23 : Variation des Cl⁻ dans l'oued (prélèvement octobre 2004).

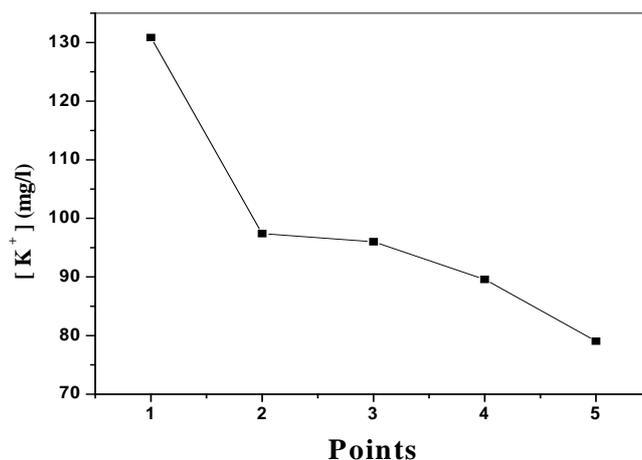


Figure 24 : Variation du K⁺ dans l'oued (prélèvement octobre 2004).

- Chlorures :

Les concentrations des chlorures sont très importantes dans tous les points de l'oued, dépassant les normes de rejets estimées entre 35 et 45 mg/l (111).

Les chlorures ne montre pas de différence significative entre les points de prélèvements.

Les moyennes de concentrations varient entre 171,52 mg/l et 206,64 mg/l. Le P1 présente la plus faible concentration et la plus grande est enregistrée au P4.

Ceci indique que les rejets de la ville ne sont pas la seule source des chlorures. Ils peuvent provenir aussi bien des fertilisants agricoles, que de la décomposition des roches salines qui contaminent les eaux de l'oued (24).

Néanmoins, ces valeurs pourraient ne pas correspondre réellement aux vraies concentrations, Plusieurs études ont remarqué que les sulfates, quand ils sont présents en fortes concentrations ont tendance à masquer les chlorures (09).

De plus, à cause du phénomène de saturation des solutions, à partir duquel les chlorures précipitent et leurs concentrations dans l'eau diminuent (115).

- Potassium :

Le potassium présente une variation significative entre les points. Les concentrations présentent une allure décroissante le long de l'oued. Les contrastes montrent une tendance linéaire de la variation. Les moyennes varient entre 130,85 et 79,03 mg/l. Le point 1 a la moyenne la plus significativement grande, ce qui indique que le potassium provient principalement des rejets de la ville.

La diminution de la concentration le long de l'oued est assez importante, surtout entre P1 et P2, Elle est estimée à 40 %. Ceci est le résultat d'une importante diminution de l'activité chimique de l'ion, par le pouvoir épurateur (17).

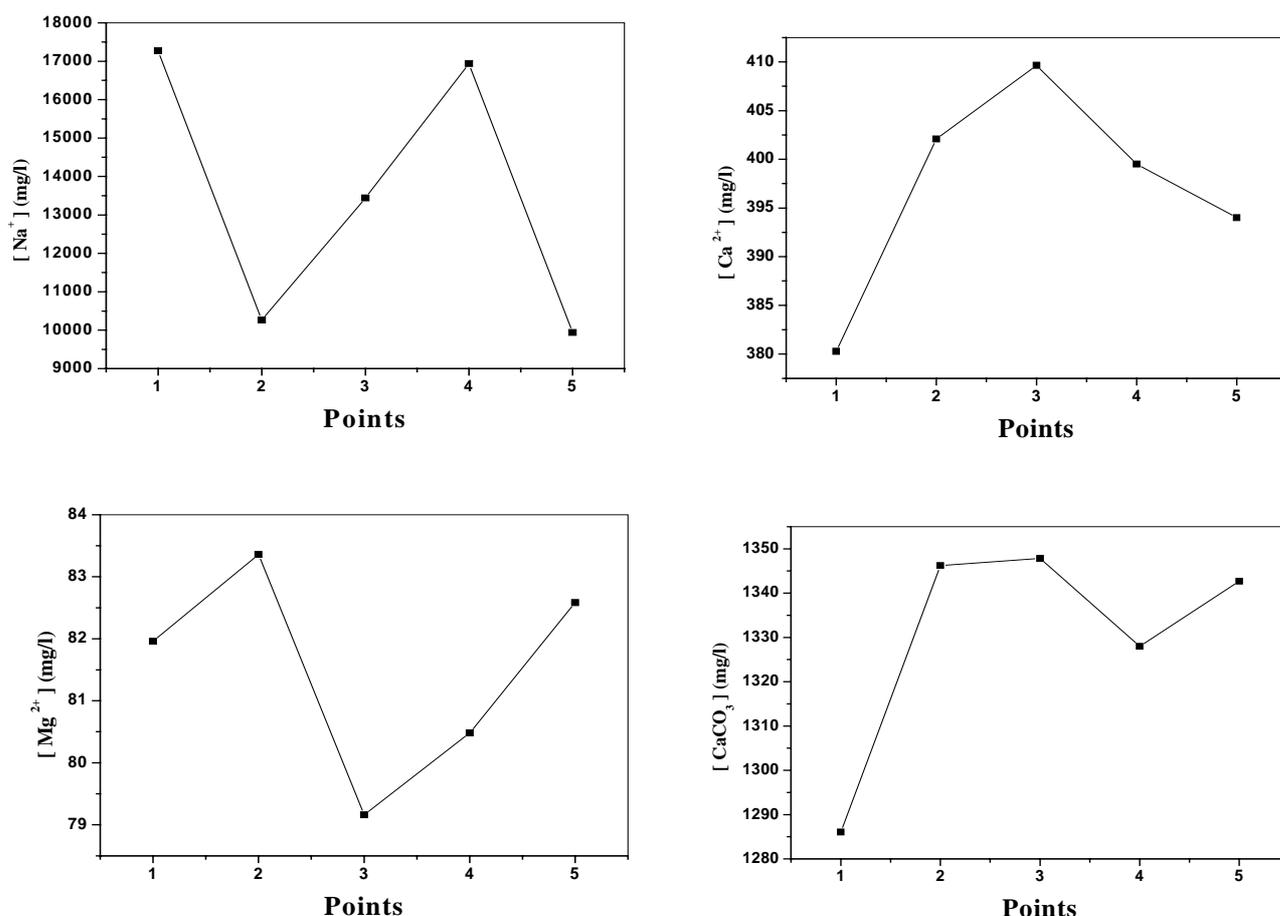


Figure 25 : Variation du Na⁺, du Ca²⁺, au Mg²⁺ et des CaCO₃ dans l'oued (Prélèvement octobre 2004).

- Sodium :

Le sodium est présent dans l'oued avec des concentrations très élevées variant entre 17272 mg/l au P1 et 9936 mg/l au P5. La variation entre les points est très importante. La concentration diminue au P2, elle augmente aux P3 et P4 qui enregistrent des moyennes très élevées, puis elle diminue au P5.

- Magnésium :

Le Mg²⁺ ne présente pas une grande variation de concentrations entre les points. Ces concentrations varient entre 79,16 et 83,36 mg/l, dépassant la norme de rejet estimée à 30 mg/l (116). On observe une augmentation de la concentration au P2, qui enregistre la plus grande moyenne, elle diminue au P3 qui contient la plus faible moyenne, et augmente ensuite à partir du P4.

- Calcium :

Le Ca²⁺ présente de grandes variations entre les points. Les concentrations sont très importantes le long de l'oued, P1 enregistre la plus faible moyenne avec 380,28 mg/l, elles augmentent ensuite au P2 et au P3 qui enregistre la plus grande concentration (409,65 mg/l), puis diminuent à partir de P4.

Ces valeurs dépassent la norme de rejet, qui est de 75 mg/l (116).

- Carbonates de calcium :

Les valeurs des carbonates de calcium sont très importantes et varient considérablement entre les points. La variation ressemble à celle des Ca^{2+} . Les plus faibles concentrations sont observées au P1 avec une moyenne de 1286 mg/l, cette concentration augmente au P2 et au P3 où on observe la plus grande moyenne 1347,84 mg/l. Elle diminue au P4 ensuite augmente au P5.

Les variations des concentrations des cations Ca^{2+} , Mg^{2+} et Na^+ , et des CaCO_3 ne sont pas significatives. Leur source n'est pas uniquement les rejets de la ville, ils peuvent provenir de la dissolution des carbonates du sol et de la roche mère (16). Ils peuvent aussi provenir du sel qui provient du Trias et qui est une source très importante de Na, de Ca et du chlore.

Ces contaminations le long de l'oued ont tendance à interférer sur l'élimination de ces éléments (24).

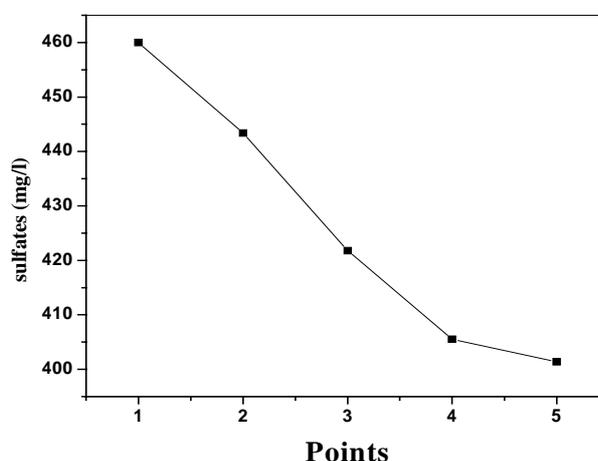


Figure 26 : Variation des SO_4^{2-} dans l'oued (prélèvement octobre 2004).

Sulfates :

Les sulfates montrent une variation hautement significative entre les points, le terme de cette variation est linéaire. Les concentrations sont décroissantes le long de l'oued, variant entre 460 à 400 mg/l. La comparaison des moyennes montre que la moyenne la plus significativement grande est enregistrée au P1 et la plus faible au P5. Ceci indique que les sulfates proviennent essentiellement des rejets de la ville.

La dégradation n'est pas très importante, seulement 13 % de la concentration est éliminée le long de l'oued. Les concentrations restent aussi élevées, et dépassent de loin la norme de rejet estimée à 100 mg/l (116).

Cette forte concentration dans l'oued est peut être due à d'autres apports naturels en rapport avec la constitution géochimique de l'oued. Ils peuvent provenir des gypses, de la réaction du CaCO_3 avec les composés sulfurés de l'atmosphère, et du H_2SO_4 formé par oxydation du SO_2 , du CaSO_4 provenant des matières de construction (117).

- Métaux lourds :

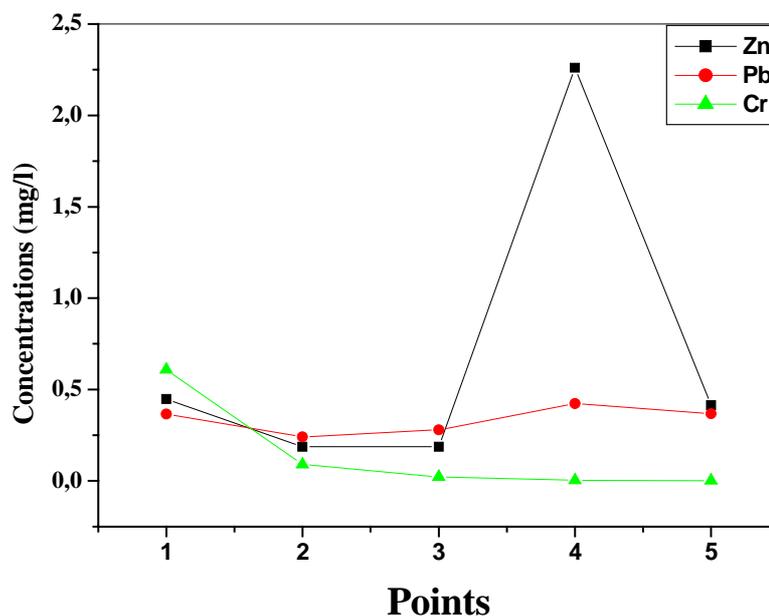


Figure 27 : Variation des métaux lourds dans l'oued (Prélèvement octobre 2005).

- Le chrome :

Le Cr présente une variation très hautement significative avec les points de prélèvement, les tests de contraste montre une variation linéaire le long de l'oued. Le premier point enregistre la plus grande moyenne significative avec 0,61 mg/l. Cette concentration est très importante comparée à la norme de rejet qui est de 0,1 mg/l (110). Puis elle diminue le long de l'oued.

Ceci indique que le Cr provient des rejets de la ville et son élimination est très importante le long de l'oued surtout entre le P1 et le P2, environ 85,25 % de la concentration du Cr est éliminée, et on arrive à 99,7 % d'élimination au P5, qui enregistre la plus faible concentration avec une moyenne de 0,0016 mg/l.

Cette diminution de la concentration est probablement le résultat de la précipitation du métal, en effet le Cr et le Zn précipitent avec les carbonates et les sulfates sous les conditions de pH élevé (112).

Comme ils peuvent s'adsorber aux MES, aux sédiments et aux matières carbonatées sous l'effet de la présence des Fe_3SO_4 (22).

Elle peut être également le résultat de la dilution et les déplacements du métal par coagulation précipitation et formation de fines particules (33, 51, 55, 56)

- Le zinc :

Le zinc ne varie pas significativement entre les points de prélèvement de l'oued. Il est présent avec des concentrations très élevées. Les plus faibles concentrations (0,186 et 0,187 mg/l) sont observées au P2 et P3. Elles augmentent ensuite au P4 qui enregistre le maximum de concentration (2,26 mg/l). Cette concentration est très importante et dépasse la norme de rejet qui est de 0,5 mg/l (111).

Comme le témoigne la concentration élevée au P4, l'unique source de zinc n'est donc pas les rejets de la ville, ce métal provient de plusieurs sources : Du fumier, des fertilisants et des pesticides agricoles (22). Il peut avoir une origine géochimique (22, 119, 120), et provenir du sel, qui est une source non seulement de Na, de Ca et du chlore mais aussi d'une grande concentration du Zn et du Cd (118).

- Le plomb :

Les concentrations du plomb sont au dessous de la limite de rejet estimée à 0,5 mg/l (111).

Il n'y a pas une différence significative dans la distribution du Pb. Il provient des rejets de la ville, il peut avoir d'autres sources : des fertilisants et des pesticides utilisés en agriculture. Ainsi qu'une origine géochimique ou atmosphérique provenant des véhicules (21).

Les concentrations du plomb diminuent entre P1 et P2, qui contient la plus faible concentration avec 0,241 mg/l.

Cette diminution est le résultat de la précipitation du métal en présence de chlorures et des phosphates dans les conditions de salinité (51), il peut s'associer aux phosphore pour former des orthophosphates (113), ou avec la matière organique (121, 122). Ces particules sont insolubles dans l'eau, elles précipitent dans les conditions d'alcalinité (123).

La concentration augmente au P3, et la plus grande moyenne est enregistrée au P4 avec 0.423 mg/l, puis diminue au P5.

• Corrélations

Les résultats des corrélations entre les éléments deux à deux sont listés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Résultats des corrélations entre les différents éléments.

Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=25 (Observations à VM ignorées)																	
	CE	pH	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	CaCO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Pb	Zn	Cr	DBO	MES
CE		0,07	0,54	-0,38	-0,58	0,03	-0,22	-0,36	0,08	-0,53	-0,28	-0,29	-0,06	0,02	-0,44	-0,36	0,05
pH	0,07		0,24	-0,49	-0,46	0,47	0,22	0,28	0,31	0,09	-0,12	-0,59	-0,08	-0,05	-0,63	-0,61	-0,44
Cl ⁻	0,54	0,24		-0,14	-0,21	-0,08	0,35	-0,37	-0,25	-0,25	-0,23	-0,27	-0,16	-0,17	-0,22	-0,19	0,26
PO ₄ ³⁻	-0,38	-0,49	-0,14		0,63	-0,22	0,11	-0,11	-0,18	0,02	0,03	0,50	-0,34	-0,14	0,50	0,48	0,44
SO ₄ ²⁻	-0,58	-0,46	-0,21	0,63		-0,34	0,06	0,25	-0,13	0,45	0,29	0,52	-0,10	-0,14	0,68	0,67	0,43
NO ₃ ⁻	0,03	0,47	-0,08	-0,22	-0,34		-0,10	0,15	0,45	-0,20	-0,18	-0,12	-0,09	-0,02	-0,44	-0,43	-0,24
NO ₂ ⁻	-0,22	0,22	0,35	0,11	0,06	-0,10		-0,21	-0,19	-0,10	0,09	0,04	-0,01	-0,11	0,03	0,09	0,06
CaCO ₃	-0,36	0,28	-0,37	-0,11	0,25	0,15	-0,21		0,64	0,72	-0,08	-0,38	-0,34	-0,17	-0,18	-0,14	-0,32
Ca ²⁺	0,08	0,31	-0,25	-0,18	-0,13	0,45	-0,19	0,64		-0,07	-0,02	-0,25	-0,22	0,02	-0,35	-0,32	-0,27
Mg ²⁺	-0,53	0,09	-0,25	0,02	0,45	-0,20	-0,10	0,72	-0,07		-0,09	-0,28	-0,26	-0,26	0,08	0,11	-0,17
Na ⁺	-0,28	-0,12	-0,23	0,03	0,29	-0,18	0,09	-0,08	-0,02	-0,09		0,50	0,42	0,38	0,33	0,27	0,38
K ⁺	-0,29	-0,59	-0,27	0,50	0,52	-0,12	0,04	-0,38	-0,25	-0,28	0,50		0,33	0,29	0,53	0,62	0,52
Pb	-0,06	-0,08	-0,16	-0,34	-0,10	-0,09	-0,01	-0,34	-0,22	-0,26	0,42	0,33		0,47	0,16	0,10	-0,24
Zn	0,02	-0,05	-0,17	-0,14	-0,14	-0,02	-0,11	-0,17	0,02	-0,26	0,38	0,29	0,47		-0,09	-0,14	0,01
Cr	-0,44	-0,63	-0,22	0,50	0,68	-0,44	0,03	-0,18	-0,35	0,08	0,33	0,53	0,16	-0,09		0,88	0,41
DBO	-0,36	-0,61	-0,19	0,48	0,67	-0,43	0,09	-0,14	-0,32	0,11	0,27	0,62	0,10	-0,14	0,88		0,46
MES	0,05	-0,44	0,26	0,44	0,43	-0,24	0,06	-0,32	-0,27	-0,17	0,38	0,52	-0,24	0,01	0,41	0,46	

Remarque : les valeurs en gras sont les plus significatives.

- Le Cr est en bonne corrélation avec les sulfates. Plusieurs études ont trouvé de grandes corrélations entre les sulfates et les métaux lourds, surtout le Cr. ce ci peut s'expliquer par le fait que les sulfates, quand ils sont présents à grandes concentrations interfèrent l'adsorption du Cr, et il précipite (59).
- Une bonne corrélation négative existe entre le Cr et le pH. Les métaux précipitent en milieu basique (pH élevé), alors qu'en milieu acide ils sont à l'état soluble et donc leur concentration est plus élevée (113).
- Le K⁺ est en corrélation positive avec la DBO, car ils suivent la même évolution le long de l'oued. Et il est en corrélation négative avec le pH.
- La DBO est en corrélation négative avec le pH. Plus le pH augmente et plus la DBO diminue. Ce qui peut s'expliquer par le fait que la dégradation de la matière organique se fait dans les conditions de pH basique (01).
- Une bonne corrélation existe entre la DBO et les sulfates, entre la DBO et le Cr et entre les sulfates et les phosphates. tous ces éléments suivent la même évolution le long de l'oued. Ceci pourrait révéler leur source commune qui est les rejets de la ville.
- Il n'existe pas de corrélation entre le Cr et les autres métaux lourds. Son unique source est industrielle, contrairement au Zn et Pb, qui peuvent provenir de plusieurs sources ; des

activités anthropiques : fumier, pesticides, fertilisants inorganiques, mines et de l'atmosphère (22), ou avoir une origine naturelle géochimique (21).

- Une petite corrélation existe entre le Pb et le Zn, ceci peut révéler leur source commune et leur interaction. Plusieurs études ont trouvé que l'effet d'un seul métal est occasionnel dans la nature. Ils ont un effet conjugué et leur interaction crée un effet toxique différent comparé à celui d'un seul polluant (124, 125).

1.2.3. Variation saisonnière

Une petite comparaison entre les prélèvements de mai et ceux d'octobre, a permis de faire les remarques suivantes :

Tableau 22 : Comparaison des résultats d'analyses entre les prélèvements de mai et d'octobre.

Points	P1		P2		P3		P4		P5	
	<i>mai</i>	<i>octobre</i>								
pH	8,12	7,3	8,05	7,87	8,9	8,02	9,5	8,01	7,7	798
Conductivité	4,7	3,2	4,5	2,95	4,2	3,28	4	3,32	4,1	3,25
DBO	380	218	150	48	80	28	20	6	50	18
MES	5800	1780	1800	1260	2300	1080	100	980	2300	620
MVS	4020	1440	1200	1000	1500	780	68	690	1600	340
NO₃⁻	0,675	0,28	0,357	2,12	0,78	7,01	0,568	3,085	0,023	2,93
PO₄³⁻	0,612	0,923	0,486	0,901	0,485	0,496	0,003	0,173	0,007	0,062
Cr	1,136	0,61	0,756	0,09	0,213	0,022	0,014	0,003	0,008	0,0016

- La pollution est plus importante en mai (été) qu'en octobre (automne). Ceci est peut être en relation avec le volume d'eau. Les concentrations des polluants augmentent, quand le débit d'eau est faible (39, 40). En mai l'évaporation est très importante et le débit d'eau se trouve très faible.
- La pollution organique (DBO, MES et MVS) est beaucoup plus importante en mai qu'en octobre, et sa dégradation est plus faible. L'autoépuration est meilleure en hiver et au printemps (en temps de pluies, il y a dilution des polluants) (16). Toutefois, la décantation des MES est meilleure en mai. Ceci est peut être en rapport avec la vitesse du débit. Les eaux stagnantes se décantent plus rapidement.
- La concentration du Cr est plus importante en mai qu'en octobre. Cette variation est probablement due aux processus physico-chimiques qui sont en fonction des variations du pH et de la température ainsi que des variations du débit des eaux. En effet, les polluants sont plus concentrés en mai, car il n'y a pas de dilution (16).

II. Analyse des rejets industriels : Source de pollution

Dans le but d'estimer la contribution des rejets industriels dans la pollution de l'oued, nous avons analysé ces derniers, afin d'évaluer les niveaux de pollution et les comparer avec les rejets de la ville qui sont le résultat du mélange de tous les rejets urbains et industriels

Les prélèvements des rejets industriels sont effectués dans la même période que les prélèvements de la deuxième phase, afin de pouvoir les comparer.

Les résultats d'analyses des rejets industriels (ZI) et tous les rejets de la ville correspondant au P1 sont illustrés dans le tableau ci-dessous

Tableau 23 : Résultats d'analyses de rejets industriels (ZI) et du point 1 (P1).

Points	P1			ZI		
	min.	max.	Moy.	min.	max.	Moy.
pH	7,15	7,46	7,3	6,96	8,58	7,85
Conductivité	2,81	3,82	3,2	23,28	17,68	20,34
SO ₄ ²⁻	430,52	496,13	460	1668,23	1811,26	1720
NO ₃ ⁻	0,091	0,58	0,28	1,96	3,15	2,53
NO ₂ ⁻	0,29	0,41	0,35	2	3,13	2,65
Cl ⁻	73,48	350,38	171,52	3155,74	3293,5	3204,63
PO ₄ ³⁻	0,685	1,188	0,923	0,81	1,33	1,09
Na ⁺	14634	19026	17272,24	13790	73880	35402,16
K ⁺	112,51	153,78	130,85	68,95	140,02	101,96
Ca ²⁺	346,29	420,04	380,28	391,18	461,72	432,22
CaCO ₃	1140,8	1388,8	1286,08	1224	1568	1392,5
Mg ²⁺	61,04	111,97	81,96	60,26	108,86	83,44
DBO	120	270	218	470	800	572
MES	1000	2400	1780	3100	15000	6740
MVS	700	2000	1440	800	8600	2720
Cr	0,339	0,786	0,61	1,41	3,75	2,84
Pb	0,256	0,481	0,366	0,44	0,62	0,54
Zn	0,249	0,525	0,448	0,64	0,73	0,68

Ces résultats nous amènent à faire les remarques suivantes :

- Les rejets industriels sont très chargés, la conductivité varie entre 17,68 et 23,28 ms/cm, cette concentration est très importante comparée à la norme de rejet qui est de 2,5 ms/cm.
- Le pH varie entre 6,96 et 8,58, ces valeurs restent proches de la norme (6,5 – 8,5).
- Les valeurs de la DBO sont très élevées, variant entre 470 et 800 mg/l, ces concentrations dépassent de 10 fois la norme de rejets.

- Les concentrations des MES sont très élevées, elles sont 135 fois supérieures à la norme de rejet. La moyenne est de 6740 mg/l.
- Les MVS sont aussi très importantes, la moyenne est de 2720 mg/l, mais elles représentent 40 % seulement des MES, ceci indique que la matière minérale est supérieure à la matière organique.
- Les concentrations des sulfates sont très importantes dans les rejets industriels avec une moyenne de 1720 mg/l, cette concentration est 17 fois supérieure à la norme de rejet. Les sulfates sont utilisés avec de fortes doses pour le traitement des peaux.
- Les chlorures et le sodium sont aussi très abondants, ils sont utilisés surtout dans les détergents avec des concentrations moyennes de 3204.63 mg/l pour les Cl^- et 35402.16 mg/l pour le Na^+ .
- Les concentrations du Zn et du Pb sont à la limite de la norme de rejets, mais le Cr est présent avec de très fortes concentrations allant de 1,41 à 3,75 mg/l. C'est le produit principal utilisé dans la tannerie pour le traitement des peaux et sa concentration moyenne est presque 30 fois supérieure à la norme admise (0,1 mg/l).
- Les autres éléments sont présents avec des concentrations élevées mais ils ne rentrent pas particulièrement dans les produits de base de cette unité de traitement.

La comparaison entre les concentrations des rejets industriels et celles du P1 qui correspond aux rejets de la ville donne les résultats suivants :

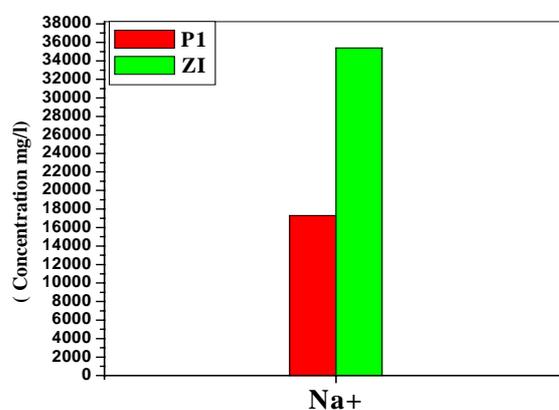
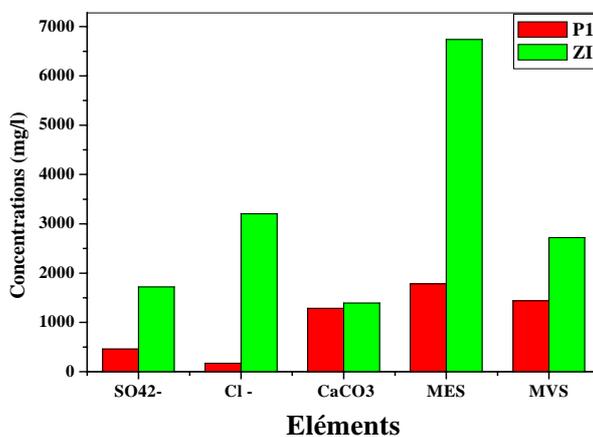
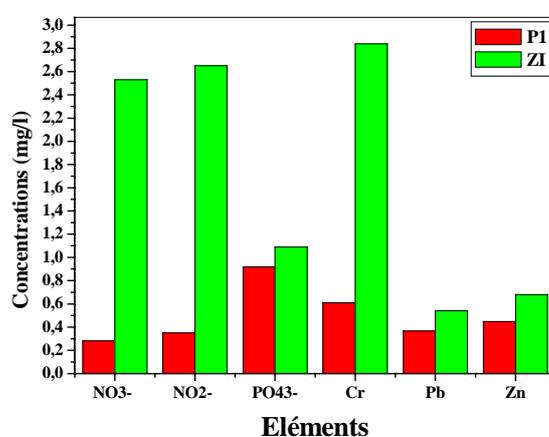
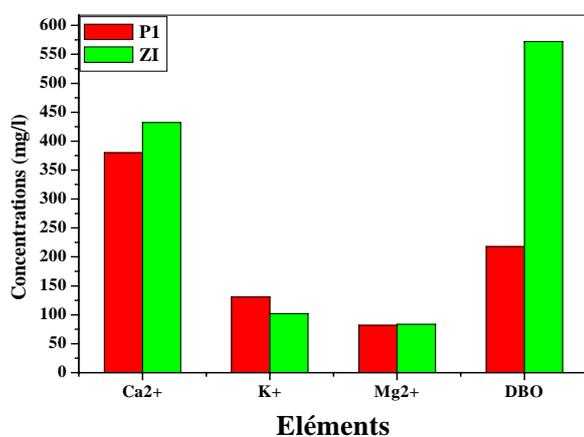


Figure 28 : Comparaison des concentrations des polluants entre les rejets industriels (ZI) et les rejets de la ville (P1).

Discussion :

Les concentrations des polluants dans les rejets industriels sont très importantes dépassant de loin les normes de rejets, elles sont pour la majorité des éléments supérieures aux concentrations du P1.

- Les concentrations des éléments Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , CaCO_3 , Pb , et du Zn sont importantes, elles dépassent les concentrations du point 1, mais cette différence n'est pas très importante, elle est peut être due seulement à la différence du débit de chaque rejet.
- La part de la pollution organique est très importante. En effet les concentrations de la DBO et des MES des rejets industriels sont trois fois supérieures à celles du P1, mais cette forte charge n'est pas la seule source, les rejets domestiques contiennent aussi de très fortes concentrations de matière organique.
- Les nitrates, nitrites et les phosphates sont plus élevés dans les rejets industriels, que dans les rejets de la ville. L'industrie est une source importante, mais elle n'est pas la seule car ces éléments proviennent aussi des fertilisants agricoles.
- Les chlorures et le sodium sont très élevés dans les rejets industriels, ils dépassent beaucoup les concentrations du P1. L'apport est donc très important, mais il faut noter que ces deux éléments sont les produits de base de tous les détergents utilisés en grandes quantités dans les ménages.
- Les concentrations des sulfates et du Cr sont très importantes et la différence avec les rejets de la ville est très marquée, ces deux éléments sont les produits de base utilisés dans la tannerie. L'usine est considérée comme la source polluante de ces éléments, car à notre connaissance ils ne sont pas utilisés ailleurs surtout le Cr, qui a une origine strictement industrielle (21).

Ces résultats peuvent nous conduire à faire les constats suivants :

- La pollution des rejets industriels est très prononcée. Elle atteint des niveaux de toxicité très élevés.
- La part de contribution de l'industrie dans la pollution des eaux de l'oued Mellah est très importante, cette contribution est principalement minérale.
- Il semble que les sulfates et le Cr proviennent essentiellement des rejets industriels. Ces deux éléments sont très toxiques et nécessitent un traitement.

III. Analyses des sédiments

Dans le but de déterminer le taux d'infiltration des polluants dans les sédiments.

Les mêmes paramètres mesurés dans les eaux, sont analysés dans les sédiments, à deux profondeurs.

Les résultats d'analyses des différents points de prélèvement sont listés dans le tableau 24.

Tableau 24 : Répartition des éléments dans les sédiments des différents points de l'oued.

Points	P1		P2		P3		P4		P5	
	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm	25 cm	50 cm
Conductivité	4,15	3,6	3,28	3,88	2,56	2,21	2,02	2,2	1,95	2,26
pH	7,83	7,87	7,83	7,77	7,7	7,68	7,64	7,57	7,71	7,57
NO ₃ ⁻	15,51	40,08	7,3	4,73	82,57	71,8	10,34	4,33	11,6	11,47
NO ₂ ⁻	20,64	20,2	4,96	5,99	3,48	3,64	9,16	5,52	9,11	3,57
SO ₄ ²⁻	15010	14483	12765	13534	11669	11827	11458	11785	10330	10668
PO ₄ ³⁻	29,29	8,75	10,6	2,87	13,82	19,46	6,45	5,73	6,6	13,72
Cl ⁻	674,5	568	641,5	475,7	369,2	497	362,1	383,4	560,9	468,6
Na ⁺	52307	27516	23427	22064	24000	31606	65686	28198	3712	6144
K ⁺	294,8	1083,5	441,5	331,5	588	735	735	496,5	1138,5	570
Mg ²⁺	933	551	560	373	622	311	373	435,5	404	528,7
Ca ²⁺	2565	1026	1282	1040	770	1016	2052	923	1040	1000
CaCO ₃ %	35,6	37,3	30,1	36,5	17,1	26,6	11,8	16	15,2	21,9
MO %	4,73	4,13	3,58	3,9	2,36	2,23	1,89	1,95	1,72	1,9
Zn	1249,1	2147,5	2318,8	784,5	1126,8	317,8	580,5	1813,5	914,1	8866,3
Pb	1398,8	1158,4	1142,4	1188,2	693,7	879,1	684,7	844,8	849,3	895,2
Cr	338,1	362	301,6	225,2	119,2	103,5	362,8	126,2	127,7	109,9
Fraction fine %	92,5	88,5	75	76,2	52,8	56,8	51,5	55,8	54,7	60

Deux aspects sont étudiés dans cette partie :

- L'accumulation des polluants dans les sédiments.
- L'infiltration (migration) des polluants dans les couches sous-jacentes.

Ces deux phénomènes sont conditionnés par plusieurs facteurs :

- La texture et la taille des sédiments (24)
- Le pourcentage de la fraction fine et des argiles (126, 127, 128).
- La minéralogie et la composition totale des éléments (20)
- La quantité de la matière organique (49, 79, 83, 85).
- Le pourcentage des CaCO₃ dans les sédiments (127, 129, 130, 131, 132)
- La conductivité et le pH et des conditions redox (133, 134).

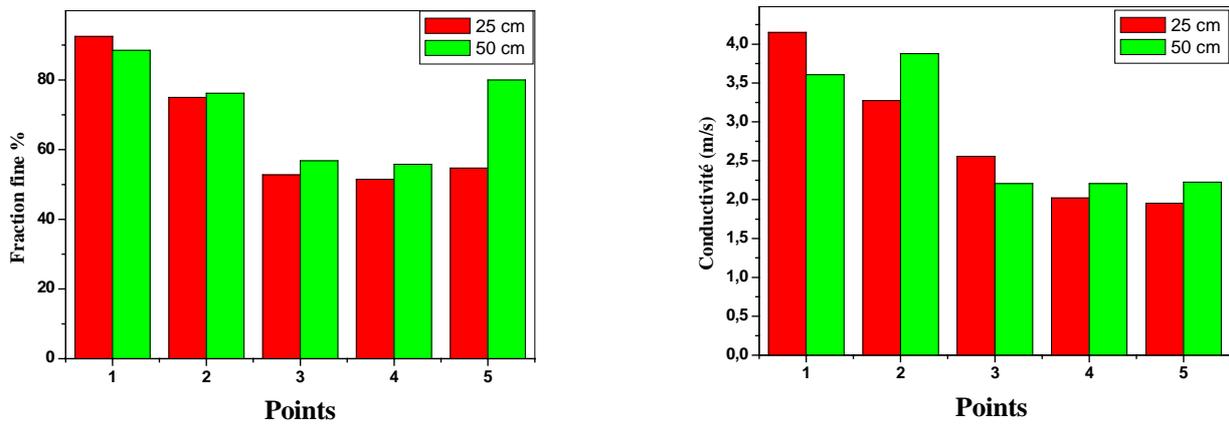


Figure 29 : Variation de la fraction fine et de la CE dans les sédiments de l'oued.

L'allure générale de ces paramètres est décroissante le long de l'oued. Les valeurs entre les deux niveaux de profondeurs sont variables, mais la tendance générale indique que les polluants sont plus concentrés dans la majorité des points entre 25 et 50 cm.

- Le pH des sédiments ne varie presque pas, il est neutre à tendance alcaline. Cette alcalinité favorise l'accumulation des polluants et réduit leur lessivage (21, 134)
- Le pourcentage de la fraction fine est très important dans tous les points, surtout le point 1.
Cette fraction est importante car la majorité des contaminants sont associés à la fraction fine du sol (135, 136, 137).
- La conductivité des sédiments est très élevée, surtout au P1 et P2 et diminue le long de l'oued. Cette concentration provient des eaux de l'oued. La différence entre les deux profondeurs est variable. Cette conductivité élevée favorise la précipitation des éléments chimiques (112).

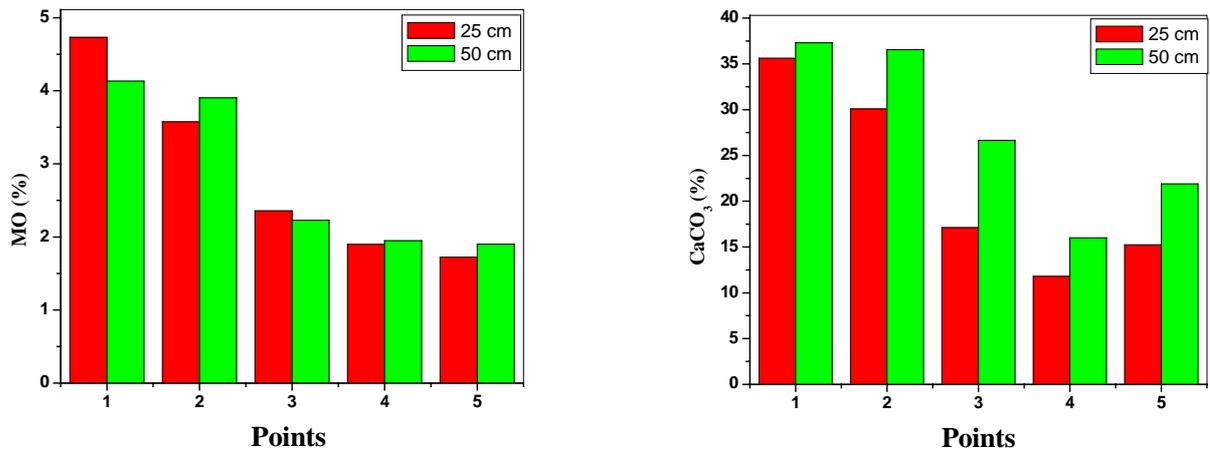


Figure 30 : Variation de la MO et des CaCO₃ dans les sédiments de l'oued.

- Les sédiments sont riches en matière organique, surtout au P1 et P2. Cette accumulation est le résultat de la précipitation des particules organiques associées avec d'autres polluants, notamment les métaux lourds (83, 85, 133).
- La concentration des CaCO₃ est très importante dans les sédiments. C'est le résultat de la précipitation des CaCO₃ provenant des eaux de l'oued, car ce sont de grosses molécules capables de sédimenter et d'augmenter la capacité de rétention des sédiments (127, 137). Cette forte concentration est aussi due à la nature géochimique des eaux et des sols de l'oued Mellah.

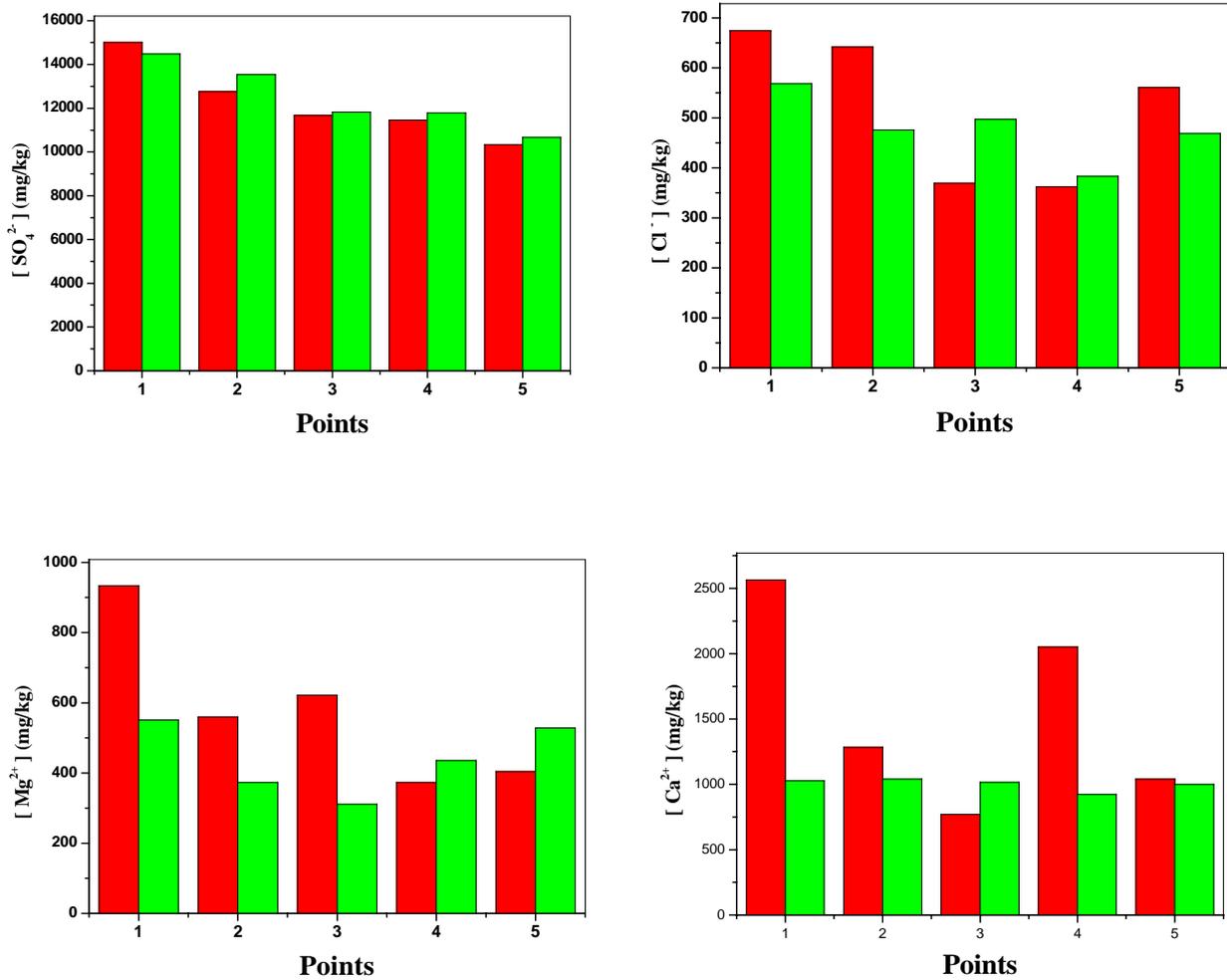


Figure 31 : Variation des SO₄³⁻, des Cl⁻, du Mg²⁺ et du Ca²⁺. dans les sédiments de l'oued.

- L'accumulation des sulfates dans les sédiments est très importante. Les concentrations sont décroissantes et proviennent des eaux de l'oued. Comme ils peuvent provenir des gypses (24, 117), dont l'affleurement au niveau de l'oued Mellah est très repérable.
- Les chlorures, le calcium et le magnésium sont très importants dans les sédiments. Leur distribution est très variable, en longueur et en profondeur. L'accumulation est très importante, elle a pour origine les eaux de l'oued et la nature des géologiques des sédiments de la région (16, 24).

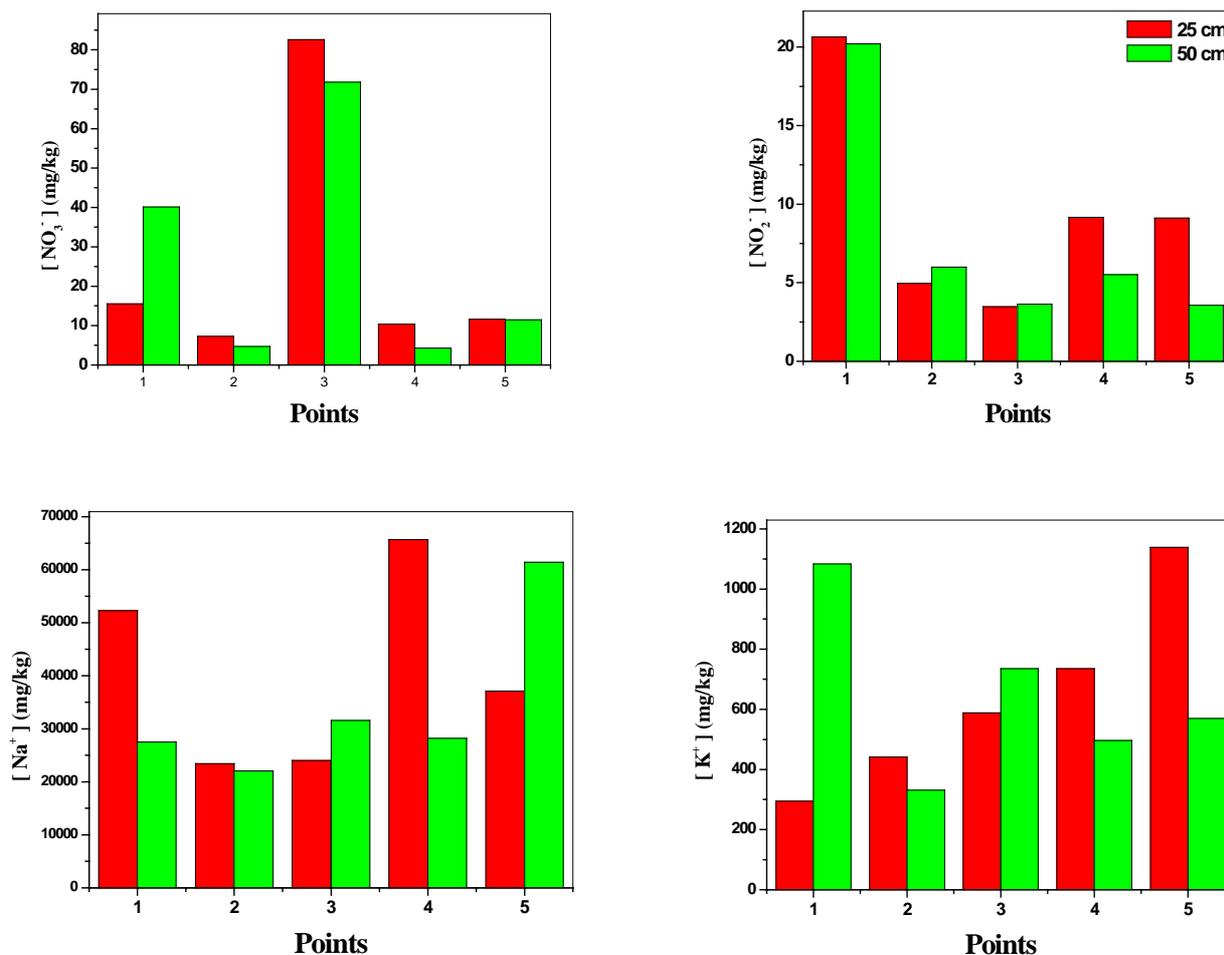


Figure 32 : Variation des NO_3^- , des NO_2^- , du Na^+ et du K^+ dans les sédiments de l'oued.

- Les nitrates présentent les mêmes variations enregistrées dans les eaux. Le point 3 accumule la plus grande concentration qui provient des eaux de l'oued et du lessivage des nitrates contenus dans les fertilisants agricoles (16).
- La distribution des nitrites est très variable dans les sédiments et ne ressemble pas à celle rencontrée dans l'eau. Les concentrations sont très importantes dans le point 1. Les Points 4 et 5 contiennent aussi des concentrations assez importantes de nitrites. Ceci est peut être du à la présence du Zn qui inhibe la nitrification (46). Par ailleurs le P3 enregistre la plus faible concentration en nitrites et la plus grande en nitrates, ceci pourrait révéler une bonne nitrification (11).
- Le sodium et le potassium sont fortement accumulés dans les sédiments. Leur distribution est variable, car ils proviennent de plusieurs sources : des eaux de l'oued, ainsi que de la décompositions des sels solubles (16, 24) contenus dans les roches évaporites triasiques qui affleurent dans la région.

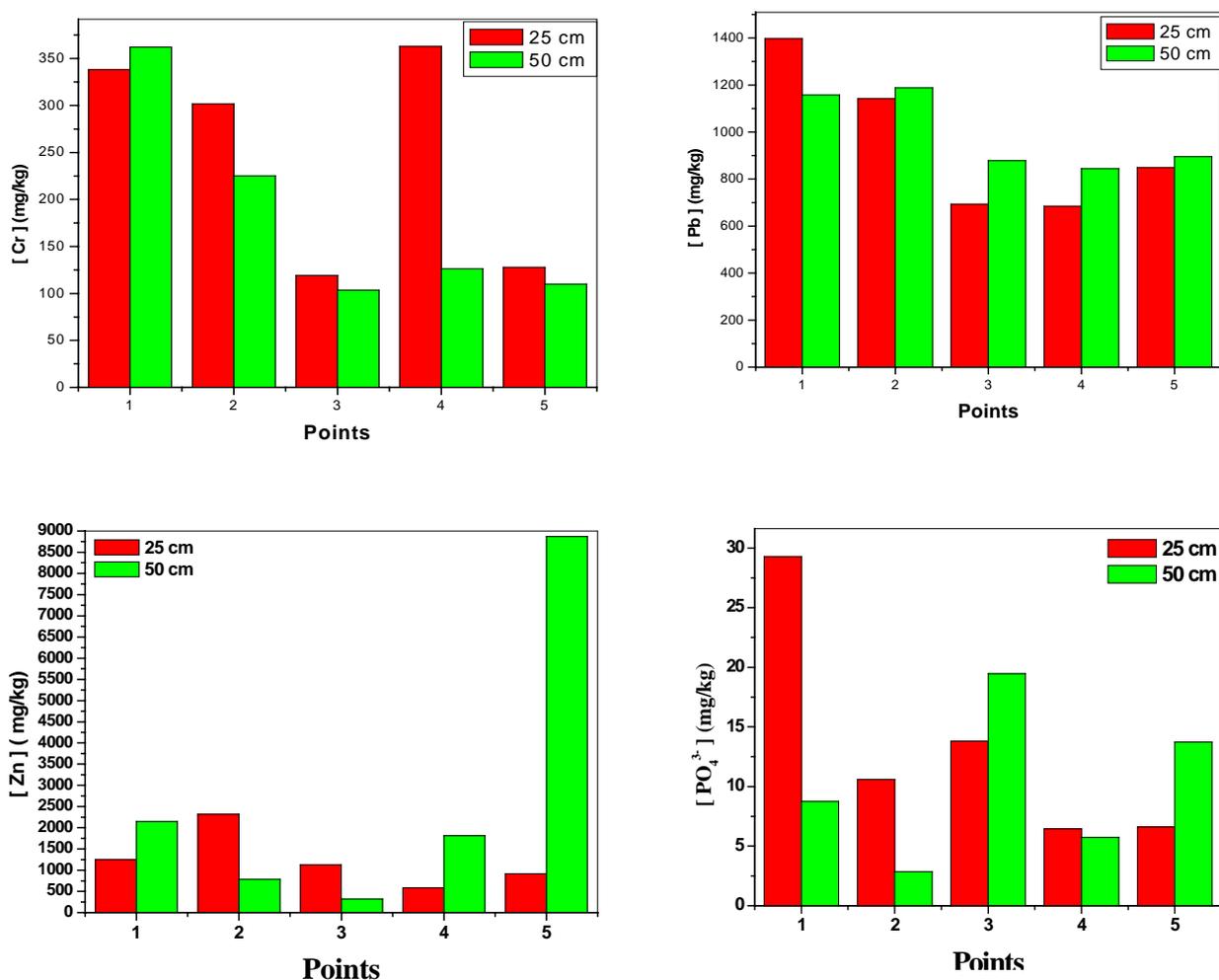


Figure 33 : Variation du Cr, du Pb, du Zn et des PO₄³⁻ dans les sédiments de l'oued.

- Les phosphates sont très importants dans le point 1, surtout entre 0 et 25 cm. Leur distribution dans les sédiments est différente de celle des eaux. Ils proviennent des eaux de l'oued par précipitation. Au point 3, la forte accumulation est peut être due au lessivage des fertilisants phosphorés utilisés dans la région (60).
- Les concentrations du Pb sont très importantes dans les sédiments. Elles varient entre 684,7 et 1398,8 mg/kg. Ces valeurs sont énormes comparées aux concentrations des sédiments non pollués, estimées à 23 mg/kg (20). Ces fortes accumulations sont le résultat de la précipitation du Pb avec les composés phosphorés et les particules organiques. Ses sources sont multiples/
Il provient essentiellement des eaux de l'oued, des engrais, et des pesticides (21, 24), comme il peut avoir une origine géochimique (20, 22).

- Le Zn est présent avec des concentrations très élevées et très variables dans les sédiments. Ses concentrations varient entre 317,8 et 8866,3 mg/kg. Sachant que la norme des sédiments non pollués, est de 106 mg/kg (131). Une très forte accumulation est enregistrée au P5, elle est peut être en rapport avec une pollution historique due à la fonte du zinc ou un excès d'utilisation du fumier liquide. Il peut aussi provenir du sel triasique (21).
- L'accumulation du Cr est assez importante, elle est supérieure à celle rencontrée dans les sédiments non pollués (150 mg/kg) (20). La distribution du Cr dans les sédiments est différente de celle observée dans les eaux. Il provient des eaux de l'oued et a une origine souvent industrielle (21). Une forte accumulation est enregistrée au P3, qui peut être en rapport avec l'utilisation des engrais phosphorés (60). Le Cr est accumulé, dans la majorité des points dans le niveau 0 -25 cm. Des études ont trouvés qu'il s'accumule surtout à 10 cm (60), et ce à cause de sa faible mobilité, due à sa faible association avec les carbonates et les phases échangeables (138).

Si on analyse la distribution des polluants dans les deux niveaux de profondeur (0-25 et 25-50 cm), il apparaît que cette distribution est très variable.

Les polluants dans les sédiments de l'oued Mellah sont plus accumulés entre 25 et 50 cm. Néanmoins, de nombreuses études ont montré que les polluants s'accumulent fortement dans la couche superficielle des sédiments et des sols (104, 130, 139). Ceci s'explique par le fait que les éléments ont un faible mouvement descendant, à cause de leur grande affinité pour la phase solide du sol (139, 140). Mais ils peuvent contaminer les couches profondes (141).

L'infiltration de ces polluants est donc très importante et le risque de contamination des eaux profondes est assez élevé.

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé sur deux années (2004 – 2005). L'objectif principal est de caractériser la pollution des eaux de l'oued Mellah et de mettre en évidence le mécanisme de l'autoépuration.

Compte tenu de la variabilité des rejets journaliers et de la variation saisonnière, l'échantillonnage a été étalé sur plusieurs campagnes (mai 2004 et octobre 2004 et 2005). Les prélèvements ont été réalisés selon un gradient réparti en cinq points sur une distance d'environ 25 km.

Au terme de ce travail, les principaux résultats auxquels nous avons aboutis se résument comme suit :

- La pollution des eaux de l'oued Mellah est très importante, elle a atteint des seuils dépassant de loin les normes de rejets admises.
- L'analyse de la variance a montré que les rejets journaliers sont significativement différents durant la semaine, le jour le plus pollué étant mercredi et le jour le moins pollué est mardi.
- Les tests statistiques ont montré des variations significatives des polluants en fonction des points de prélèvement, révélant deux faits importants :
 - La provenance des polluants:
 - Les polluants organiques proviennent exclusivement des rejets de la ville.
 - Les chlorures, le sodium, le potassium, le calcium et les carbonates de calcium proviennent aussi des rejets de la ville mais ils ont d'autres apports qui peuvent être naturels et qui sont en relation avec la composition géochimique.
 - Les métaux lourds ont des sources différentes, le Chrome provient exclusivement des rejets de la ville, le plomb et le zinc proviennent des rejets de la ville mais ils ont d'autres sources anthropiques et naturelles. Toutefois, la contribution des sources anthropiques dans la pollution par les métaux est supérieure à celle des sources naturelles.
 - Les nitrates proviennent des rejets de la ville, mais les fortes concentrations dans les eaux de l'oued pourraient provenir des fertilisants agricoles utilisés dans toute la région.
 - La dégradation des polluants le long de l'oued par l'autoépuration
 - L'effet de la variation saisonnière est marquant sur la charge de la pollution et sur le processus de l'autoépuration.
 - La dégradation des matières organiques est très importante, estimée à 94 % en période sèche et à 97 % en période humide.

- La décantation des matières en suspension est très importante estimée à 98 % en temps sec et à 65 % en temps humide.
- La diminution de la concentration des phosphates par précipitation est très importante, elle est de l'ordre de 99 % en temps sec et 93 % en temps humide.
- La dégradation des matières azotées est assez importante, mais elle est interférée par l'apport excessif des nitrates provenant des engrais.
- Les sulfates sont éliminés par précipitation mais leurs concentrations restent élevées, ils peuvent avoir d'autres ressources qui peuvent contaminer l'oued.
- L'élimination du Cr par précipitation est très importante, et estimée à plus de 99%.
- Les autres polluants ne sont pas éliminés du fait de leurs fortes concentrations et de leurs diverses sources dans le l'oued.
- L'autoépuration est donc plus importante pour la pollution organique et métallique que minérale.

L'analyse des rejets industriels a révélé les constats suivants :

- La pollution des rejets industriels est très prononcée. Elle atteint des niveaux de toxicité très élevés.
- La part de contribution de l'industrie dans la pollution des eaux de l'oued Mellah est très importante, cette contribution est principalement minérale.
- Il semble que les sulfates et le Cr proviennent essentiellement des rejets industriels. Ces deux éléments sont très toxiques et nécessitent un traitement.

L'analyse des sédiments de l'oued a montré que :

- L'accumulation des polluants est très importante. Ils proviennent essentiellement des eaux de l'oued.
- Les chlorures, le sodium, le potassium, le calcium et les carbonates de calcium proviennent aussi des contaminations par les roches salines constituant les formations géologiques de la région.
- Les polluants dans les sédiments de l'oued Mellah sont plus accumulés entre 25 et 50 cm. L'infiltration de ces polluants est donc très importante et le risque de contamination des eaux profondes est assez élevé.

Ce travail rentre dans le cadre d'un projet à long terme, dont le but est de mesurer l'impact des rejets de la ville de Djelfa sur la pollution de l'oued Mellah et son environnement. Et les possibilités de remédier pour limiter cette pollution avant d'arriver aux seuils d'irréversibilité.

Bibliographie

- 01 : H. Dahmane.** «Application du lagunage naturel dans l'épuration des eaux usées en zone semi aride, étude sur pilote in situ ». Thèse de magister, Batna, 1995.
- 02 : S. Belahneche et H. Madoui.** « Traitement biologique des eaux urbaines de la commune de Zeralda par lagunage ». Thèse d'ingénieur, Génie des procédés, USTHB, Alger, 2001.
- 03 : W.W. Echenfelder.** « Gestion des eaux urbaines et industrielles », Paris, 1982.
- 04 : M.Benyelles.** « Essai d'épuration d'une eau usée urbaine par lagunage aéré ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 1999.
- 05 : S. Yahiaoui et Z. Baghdali.** « Evaluation de la charge polluante et traitement biologique des eaux usées de la commune de Zeralda ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 2000.
- 06 : N. Amarache et Y. Benaissa.** « Traitement biologique d'un effluent urbain par une plante épuratrice ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 1999
- 07 : J.P. Bechac, P. Boutin, B. Mercier, P. Nuer.** « Traitement des eaux usées ». Eyrolles, Paris, 1984.
- 08 : A.Chaib et A. Amouli.** «Optimisation du rendement du bassin biologique de la station d'épuration de Staouali». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 1999.
- 09 : J. Rodier.** «Analyses de l'eau, 7^{ème} édition ». Paris, 1984.
- 10 : A.Gaid.** «Epuraton biologique des eaux usées urbaines». Tome 1 et 2, Edition OPU, Alger, 1984
- 11 : A.Atmania et A.Safarbatl.** « Evaluation de la charge polluante et traitement biologique des eaux de séparation de la lévurerie de Oued Smar ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 1995.
- 12 : J. Suarez et J. Puertas.** « Determination of COD, BOD and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchment in Spain ».. *Ecological Engineering, Elsevier*. Vol **24** : 201-219, 2005.
- 13 : Z.Benkhenouf et H. Dahmani.** « Traitement des eaux usées par les micro-algues ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 1990.
- 14 : A. Ikem, N. O. Egiebor et K. Nyavor.** « Trace elements in water, fish hand sediments from Tuskegee lake, Southeastern, USA ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol **149** : 51-75, 2003

- 15 : S. Himrane et L. Khenich.** « Traitement complet d'une eau usée urbaine en vue de sa réalisation en irrigation par lagunage naturel ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 2000.
- 16 : K. Fytianos, A. Siumka, G. A. Zachariadis et S. Beltsios.** « Assessment of the quality characteristics of Pinios river, Greece ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol 136 : 317-329, 2002.
- 17 : A. Elmi, A. Mdamni, R. Gordon, P. Macdonald et G. W. Stratton.** « Nitrate nitrogen in the soil profile and drainage water in influenced by manure and meniral fertilizer, application in Barley – Carrot production system ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : 160, 119-132, 2005.
- 18 : P. Soldan.** «Toxic risk of surface water pollution- six years of experience ». *Environment International*. Vol : 28, 677-682, 2003.
- 19 : I. Berkani et N. Benarfa.** « Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigations des zones semi-arides cas de la région de Deldoul- Djelfa ». Thèse de PFE , CUD Djelfa. 2005.
- 20 : M. Singh, G. Muller et I. B. Singh.** « Heavy metals in freshely deposites stream sediments of rivers associated with urbanisation of the Ganga plain, India ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : 141, 35-54, 2002.
- 21 : L. De Temmerman, L. Vanongeval, W. Boon, M. Hoenig et M. Geypens.** « Heavy metal content of arable soils in Northern Belgium ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : 148, 61-762, 2003.
- 22 : W. Haiyan et A. O. Stuanes.** « Heavy metal pollution en air-water-plant system of ZhuZhou city, Hunan provence, China ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : 147, 79-107, 2003.
- 23 : C.Abdelouahab.** « Elimination sur quelques argiles bentonitiques algériennes de métaux lourds présents dans les eaux résiduaires industrielles, cas du Cd et Zn ». Thèse de magister, USTHB, Alger, 1987.
- 24 : G. Mangani, A. Berloni, F. Bellucci, F. Tatano et M. Maione.** « Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : 160, 213-228, 2005.
- 25 : A.B.A. Boxall et L. Maltby.** « The characterization and toxicity of sediment contaminated with road runoff ». *Water Reserch*. Vol : 29/9, 2043-2050, 1995.
- 26 : L. Maltby, A. B. A. Boxall, D. M. Forrow, P. Callow et C. L. Betton.** « The effects of mororway runoff on freshwater ecosystem : 2. Identifiying major toxicants ». *Environment. Toxicologie. Chemistry*. Vol : 14/6, 1093-1101, 1995b.
- 27 : K. Perdikaki et C. F. Madson.** « Impact of road runoff on receiving streams in eastern England ». *Water Reserch*. Vol : 33/7, 1627-1633, 1999.

- 28 : J. Arrar.** « Contribution à l'étude de la pollution de l'oued Reghaia par les métaux lourds ». Thèse de magister, ENP, Alger, 1992.
- 29 : Y. K. Chau et K. L. Chan.** « Determination of labile and strongly bound metals in lake water ». *Water Reserch.* Vol : **8**, 383-388, 1973.
- 30 : T. M. Florence.** « Electrochemical approaches to trace element speciation in waters ». *Analyse, Chemistry.* Vol : **111**, 489-505, 1986.
- 31 : G. Luther, W. Zbigniew, R. Ryans et L. Meyerson.** « On the speciation of metals in the water column of a polluted estuary ». *Mar. Pollut. Bull.* Vol : **17/12**, 535-542, 1986.
- 32 : F. Muller et D. Kester.** « Voltammetric determination of the complexation parameters of zinc in marine and estuarine waters ». *Marine. Chemistry.* Vol : **33**, 71-90, 1991.
- 33 : M. Scoullou et A. Pavlidou.** « Metal speciation studies in brackish/marine interface system ». *Global Nest.* Vol : **2/3**, 255-264, 2000.
- 34 : E. Fjeld et S. Rognerrud.** « Trace element contamination of Norwegian Lake sediments ». *Ambio.* Vol : **30**, 11-19, 2001.
- 35 : U. Forstner.** « Metal speciation : general concepts and applications ». *Environment. Analyse. Chemistry.* Vol : **51**, 5-23, 1992.
- 36 : PH. Quevauviller, A. Ure, H. Muntau et B. Griepink.** « Improvement of analytical measurements within the BCR-programme, single and sequential extraction procedures applied to soil sediment analysis ». *Environment. Analyse. Chemistry.* Vol : **51**, 129-134, 1992.
- 37 : N. Calace, L. Campanella, R. Palombo, B.M. Petronio et A. Pupella.** « Soil characteristics studied by electrophoresis in stabilized medium ». *the Science of the Total Environment.* Vol : **219**, 7-12, 1998.
- 38 : V. Ikonnikov.** « Pollution of sediments in the Lake Ladoga catchment-area and in the Gulf of Finland- influencing factors and processes ». *Land Degradation and Rehabilitatio.* Vol : **4**, 297-306, 1993.
- 39 : D.J. Pain, A. Merharg, G. Sinclair, N. Powell, J. Finnie, R. Williams et G. Hilton.** « Levels of cadmium and zinc in soils and plants following the toxic spill from a pyrite mine, Aznalco' llar, Spain ». *Ambio.* Vol : **32**, 52-57, 2003.
- 40 : M. Olias, J.C. Ceron, F. Moral, F. Ruiz.** « Water quality of the Guadiamar River after the Aznalcollar spill (SW Spain) ». *Chemosphere.* Vol : **62**, 213-225, 2006.
- 41 : D.Belkheiri.** « Contribution à l'étude de l'adsorption de métaux lourds sur un charbon actif d'origine végétale : le grignon d'olive ». Thèse de magister. USTHB, Alger, 2005.

- 42 : M. Legret et C. Pagotto.** «Evaluation of pollutant loading in the runoff waters from major rural highway». *the Science of the Total Environment*. Vol : **235**, 143-150, 1999.
- 43 : K. Anoup Krishnan et TS. Anirudhan.** «Removal of CdII from aqueous solution by steam activated sulphurised carbon prepared from sugar-cane bagasse bith : kinetics and equilibrium studies». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **29**, 212-225, 2003.
- 44 : R.T. Snowdon.** “The geochemistry of soils in the iron cove catchment“. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **109**, 217-227, 2001.
- 45 : G.F. Birch et R.T. Snowdon.** “ The use of size normalization techniques in interpretation of soil contaminant distributions”. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **157**, 1-12, 2004.
- 46 : S. Cela et M. Sumner.** « Soil zinc fractions determine inhibition of nitrification ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **141**, 91-104, 2002.
- 47 : D.G. Kinniburgh et M.L. Jackson.** « Concentration and pH dependance of calcium and zinc adsorption by iron oxide gel ». *Soil. Sci. Soc. Am.* Vol : **46/1**, 56-61, 1982.
- 48 : M. Sadiq.** « Solubility and speciation of zinc in calcareous soil ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **57-58**, 411-421, 1991.
- 49 : P. Bhattacharya, A.B. Mukherjee, G. Jacks et S. Nordqvist.** « Metal contamination at a wood preservation site: characterisation and experimental studies on remediation ». *the Science of the Total Environment*. Vol : **290**, 165-180, 2002.
- 50 : M.J. Ellwood et C.M.G. Van Den Berg.** « Zinc speciation in the northestearn Atlantic ocean ». *Marine Chemistry*. Vol : **68**, 295-306, 2000.
- 51 : M. Scoullou et A. Pavlidou.** « Determination of the lability characteristics of lead, cadmium and zinc in a polluted mediterranean Brackishh-marine interface system ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **147**, 203-227, 2003.
- 52 : JO. Nriagu.** « A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals ». *Nature*. Vol : **333**, 47-9, 1989.
- 53 : K. Loska, D. Wiechuta, I. Korus.** « Metal contamination of farming soils affected by industry ». *Environment International*. Vol : **44**, 154-163, 2003.
- 54 : J.R. Vaillant.** « Protection de la qualité des eaux et maîtrise de la pollution ». *Editions Eyrolles*, Paris, 1973.
- 55 : E.R. Sholkovitz.** «Floculation of dissolved organic and inorganic matter during mixing of river water and seawater». *Geochim. Cosmochim.* Vol : **40**, 831-845, 1976.
- 56 : M. Dassenakis, M. Scoullou et A. Gaittis.** «Trace metal transport and behaviour in the mediterranean estuary of Acheloos river ». *Mar. Poll. Bull.* Vol : **34/2**, 103-111, 1996.

- 57 : B.J Alloway et A.K. Ayres.** « *Chemical principles of environmental pollution* ». 2^{ème} édition. p. 214. 1997.
- 58 : S.E. Fendorf.** « Surface reactions of chromium in soils and waters ». *Geoderma*. Vol : **67**, 55-71, 1995.
- 59 : F. Strrech.** « Drinking water standards ». *Scavengers*. Vol : **8**, 7-19, 1978.
- 60 : T. Becquer, C. Quantin, M. Sicot et J.P. Boudot.** «Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia ». *the Science of the Total Environment*. Vol : **301**, 251-261, 2003.
- 61 : L.E. Eary et D. Rai.** «Kinetics of chromium III oxidation to chromium VI by reaction with manganese dioxide ». *Environ. Sci. Technol.* Vol : **21**, 1178-1193, 1988.
- 62 : R. M. Sass et D. Rai.** « Solubility of amorphous chromium III-ironIII hydroxide acid solutions ». *Inorganic Chemistry*. Vol : **26**, 2228-2232, 1987.
- 63 : D.L. Kaplan et T.J. Gilmore.** «Zero-valent iron removal rates of aqueous CrVI measures under flow conditions». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **155**, 21-33, 2004.
- 64 : K.J. Cantrell, D.L. Kaplan et T.W. Wietzma.** «Zero-valent iron for the *in situ* remediation of selected metals in groundwater ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **42**, 201-212, 1995.
- 65 : R.M. Powell, R.W. Puls, S.K. Hightower et D.A. Sabatini.** «Coupled iron corrosion and chromate reduction : mechanisms for subsurface remediation ». *Environ. Sci. Technol.* Vol : **29**, 1913-1922, 1995.
- 66 : A. Sawada, K. Mori et K. Tatsumi.** « Removal of CrVI from contaminated soil by electrokinetic remediation ». *Waste Management*. Vol : **24**, 483-490, 2004.
- 67 : U.C. Ghosh, M. Dasgupta et S. Debnath.** « Studies on management of CrVI contaminated industrial waste effluent using hydrous titanium oxide ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **143**, 2451-256, 2003.
- 68 : D. Bousbaa.** « Traitement d'une eau usée secondaire urbaine avec le procédé (adsorption- coagulation) ». Thèse de PFE, USTHB, Alger, 2000.
- 69 : R. Maire.** « *Comportement du karst vis à vis des substances polluantes* ». p 101-108, Belgique, 1979.
- 70 : J.R. Vaillant.** « Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires, eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles ». *Eyroles*, Paris, 1974.
- 71 : R. Maachou.** « Evaluation de la charge polluante et traitement par lagunage des rejets la lévurerie de Oued Smar ». Thèse de magister. USTHB, Alger, 2005.

- 72 : N. Hammou.** « Le stockage sédimentaire dans les lagunes d'épuration d'eaux usées, sans incidence sur les composés azotés et les métaux lourds ». Thèse de doctorat USTHB, Alger, 1991.
- 73 : Z. Salem.** « Evaluation de la charge polluante de la ville d'Alger et traitement par boues activées ». Thèse de magister, USTHB, Alger, 1989.
- 74 : R.A. Poduska et J.F.Andrews.** "Dynamics of nitrification in the activated sludge process". *Water. Chem. Poll. Environ.* Vol : **11**, 1599-1611, 1975.
- 75 : A. Haandel et C. Van.** "The activated sludge process- 3. Single sludge denitrification". *Water. Res.* Vol : **15**, 1135-1152, 1981.
- 76 : M.C. Wentzel, G.A. Ekama, P.L Doldet G. Marais.** "Biological excess phosphorus removal. Steady state process design". *Water, Air and Soil Pollution.* Vol : **16**, 29-42. 1990
- 77 : A Meziane et Ait Oubelli.** « Epuration des eaux résiduaires de l'agglomération de Zéralda ». Thèse de PFE, ENP, Alger, 1984.
- 78 : René Scriban.** « *Biotechnologie. 5^{ème} édition* », Paris, 1999.
- 79 : M. Ajmal, M.A. Khan et A.A. Nomani.** « Distribution of heavy metals in water and sediments of selected sites of Ymuna river, India ». *Environ. Mont. Assess.* Vol : **5**, 361-367, 1985b.
- 80 : U. Forstner et G. Muller.** « Concentration of heavy metals and PHB in river sediments : geochemical background, man's influence and environmental impact». *Geochemistry.* Vol : **5/5**, 417-432, 1981.
- 81 : G. Uehara et G. Gilman.** «The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays ». *Westview Press, Boulder, CO.* 1981.
- 82 : J.O. Agbenin et V.R. Bernardo.** « Rate processes of calcium, magnesium and potassium desorption from variable-charge soils by mixed ion-exchange resin ». *Geoderma.* Vol : **93**, 141-157, 1999.
- 83 : M. Sager.** « Chemical speciation and environmental mobility of heavy metals in sediments and soils ». *Environ. Sci. Technol.* Vol : **18**, 175-190, 1992.
- 84 : M. Salomons.** « Biochemical processes affecting metal concentrations in lake sediments, Ijsserlmeer, Netherlands ». *Sci. Total Environ.* Vol : **16**, 217-229, 1980.
- 85 : J. Schoer.** « Iron-oxo-hydroxides and their significance to the behavior of heavy metals in estuaries ». *Environ. Technol. Lett.* Vol : **6**, 189-201, 1985.
- 86 : A. Kabata-Pendias et H. Pendias.** « Trace elements in soil and plants, 3^{ème} édition ». *Boca Raton, FL : CRC Press,* p. 413, 200.

- 87 : D. Rai, L.E. Eary et J.M Zachara.** « Environmental chemistry of Chromium ». *Sci. Total Environ.* Vol : **86**, 15-23, 1989.
- 88 : M.B. McBride et J.J. Blasiak.** « Zinc and copper sorption solubility as a function of pH in an acid soil ». *Soil Sci. Soc. Amer.* Vol : **43**, 866-870, 1979.
- 89 : S. Kuo et A.S. Baker. « Sorption of copper, zinc and cadmium by some acid soils ». *Soil Sci. Soc. Amer.* Vol : **44**, 969-74, 1980.
- 90 : I.D. Atanassova.** « Adsorption and desorption of Cu at high equilibrium concentrations by soil and clay samples from Bulgaria ». *Environ. Pollu.* Vol : **87**, 17-21, 1995.
- 91 : ANAT.** « Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme, commune de Djelfa : phase I : monographie » 1996.
- 92 : J. Trayssac.** « Etude géomorphologique du bassin versant de l'oued Djelfa Mellah ». Thèse de doctorat 3^{ème} cycle, Université de Poitiers, 1980.
- 93 : NEE (Nationale, Eau et Environnement).** « Etude de recalibrage de l'oued Mellah à l'endroit du pont situé au centre de la ville de Djelfa : étude hydrologique »
- 94 : H. Kulke.** « Le rocher de sel de Djelfa, Géologie et morphologie ». Géolosches Institut de Rubr. Universität Postfach, 1978.
- 95 : M. Pouget.** « Les relations sols - végétation dans les steppes sud – algéroises ». Thèse de doctorat, Université Aix – Marseille. 555p, 1980.
- 96 : F. Bagnouls et H. Gaussen.** « Saison sèche et indice xéothermique ». *Bull. Soc. Hist. Nat.* Toulouse, Vol : **88**, 143-239, 1952.
- 97 : L. Emberger.** « Une classification biogéographique des climats ». *Revu. Trav. Lab. Bot. Heo. Zool.* Univ. Montpellier, Fasc. **07**, 1-43, 1962.
- 98 : URBATIA.** « Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme, commune de Djelfa : Phase II : Aménagement et perspective de développement », 2005.
- 99 : ANAT.** « Prospective territoriale pour un développement durable et intègre de la wilaya de Djelfa : phase I : monographie », 2002.
- 100 : T. Benkhelif.** « Contribution à l'étude de la pollution de l'oued Mellah – Djelfa ». Thèse d'ingénieur, INA, Alger, 1979.
- 101 : A. Oumadjbeur.** « Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux du bassin versant du barrage de Guenitra, Skikda ». Thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry, 1986.
- 102 : I. Oudart.** « Epuration biologique aérobie fixée dans une conduite d'évacuation d'eaux résiduaires traitées ». Thèse de doctorat Université Paris 7, Paris, 1988.

- 103 : D. Deakin et L.J. West.** « Leaching behaviour of a chromium smelter waste heap ». *Waste Management*. Vol : **21**, 265-270, 2001.
- 104 : A.J. Lawlor, et E. Tipping.** « Metals in bulk deposition and surface waters at two upland locations in northern England ». *Environ. Pollut.* Vol : **121**, 153-167, 2002.
- 105 : Recueil des Normes Françaises :** Analyse, Normes fondamentales, AFNOR, 1988, Tome I.
- 106 : J. D. Winefordnes.** « Chemical Analysis : A series of monographs on analytical chemistry and its applications ». Vol : **119**, *John Wiley & Sons*. New York, p 243, 1991.
- 107 : J. Kurby et W. Maher.** « Se, Cd, Zn and Pb concentrations in sediments and mullet from the southern basin of Lake Macquarie, Australia ». *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol : **40**, 246-256, 2001.
- 108 : J.N. Berk, G.J. Ramelow et R.S. Thompson.** « Heavy metal content of sediments in the Calcasieu river/Lake complex. Louisiana ». *Hydrobiologia*. Vol : **192**, 149-165, 1990.
- 109 : A.R Khwaja, R. Singh, S.N. Tandon.** «Monitoring of Ganga water and sediments vis-a-vis tannery pollution at Kanpur (India): a case study ». *Environ. Monit. Assess.* Vol : **68**, 19-35, 2000.
- 110 : K.P. Singh, D. Mohan, V.K. Singh et A. Malik.** « Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments—a tributary of the Ganges, India ». *Hydrology*. Vol : **312**, 14-27, 2005.
- 111 : K.A. Natarajan, S. Subramanian et J.J. Braun.** « Environmental impact of metal mining-biotechnological aspects of water pollution and remediation—an Indian experience ». *Geochem. Explorat.* 2005.
- 112 : J.A. Davies.** « Complexation of trace metals by adsorbed natural organic matter ». *Géochim. Cosmochim.* Vol : **48**, 679-691, 1984.
- 113 : J.C. Zwonitzer et G.M. Pierzynski.** « Effects of phosphorus additions on Pb, Cd and Zn bioavailabilities in a metal contaminated soil ». *Water, Air and Soil Pollution*. Vol : **143**, 193-209. 2003.
- 114 : H.Y. Zhou, K.M. Chan et M.H. Wong.** «Metal concentration in sediments and Tilapia collected from inland waters of Hong Kong». *Water Res.* Vol : **32**, 3331-3340, 1998.
- 115 : A. Oumedjbeur.** «Etude de l'influence du rejet des eaux usées épurées du chambérien sur la qualité des eaux du Rhône». Thèse DEA, Chimie de la pollution, Université Paris 7, 19 p, 1983.

- 116 : V.R Reddy, B. Behera.** « Impact of water pollution on rural communities: An economic analysis ». *Ecolog. Econom. Analy.* 2005.
- 117 : S. Hournart, H.V. Malderen et R.V. Grieken.** « Gypsum and other calcium rich aerosol particles above the North Sea ». *Environ. Sci. Technol.*
Vol : **30**, 1515-1520, 1996.
- 118 : B. Bauske et D. Goetz.** « Effects of de-icing salts on heavy metal mobility ». *Hydrochim. Hydrobiol.* Vol : **21**, 38-42, 1993.
- 119 : M.A. Kashem et B.R Singh.** « Heavy metal contamination of soil and vegetation in the vicinity of industries in Bangladesh ». *Water, Air and Soil Pollution.*
Vol : **115**, 347-361, 1999.
- 120 : E. Steinnes et R.O. Allen.** « Evidence of large scale heavy metal contamination of natural surface soils in Norway from long range atmospheric transport ». *Sci. Total Environ.* Vol : **205**, 255-266, 1997.
- 121 : Q.Y. Ma et S.J. Traina.** « Effects of NO_3^- , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} and CO_3^{2-} on Pb^{2+} immobilization by hydroxyapatite ». *Environ. Sci. Technol.* Vol : **28**, 408-418, 1994a.
- 122 : J. Boisson, A. Ruttens et M. Mench.** « Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils ». *Environ. Pollut.*
Vol : **104**, 225-233, 1999.
- 123 : C.A. Garrabrantq et D.S. Kosson.** « Use of chelating agent to determine the metal availability for leaching from soils and wastes ». *Waste Management.*
Vol : **20**, 155-165, 2000.
- 124 : Y. Wu, X. Wang et Y. Ma.** « Compounded pollution of Cd, Pb, Cu, Zn and As in plant-soil system and its remediation ». *Water, Air and Soil Pollution.*
Vol : **33**, 367-375, 1995.
- 125 : J.O. Nriagu et J.M. Pacyna.** « Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals » *Nature.* Vol : **333**, 134 - 9, 1988.
- 126 : F. Ackermann.** « A procedure for correcting the grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments » *Environ. Technol. Lett.*
Vol : **1**, 518-527, 1980.
- 127 : G. Muller et G. Irion.** « Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the Lacustrine environment ». *Naturwissenschaften.* Vol : **59**, 158-164, 1972.
- 128 : A.A. Ansari J.B. Singh et H.J. Tobschall.** « Role of monsoon rain on concentration and dispersion patterns of metal pollutants in sediments and soils of the Ganga plain, India ». *Environ. Geol.* Vol : **39 (3-4)**, 221-237, 2000.
- 129 : B.J. Alloway.** « Heavy metals in soils ». Blackie Academic and Professional Publishers. London, 368pp. 1995.

- 130 : G.S. Banuelos et H.A. Ajwa.** “ Trace elements in soils and plants: An overview”. *Environ. Sci. Health.* Vol : **34/4**, 951-974, 1999.
- 131 : M.J. McLaughlin et B.R. Singh.** “Cadmium in soils and plants”. *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, Vol : **85**, 271 pp, 1999.
- 132 : R.P. Narwal et B.R. Singh.** “Effect of organic materials on partitioning extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil”. *Water, Air and Soil Pollution.* Vol : **103**, 405-421, 1998.
- 133 : N.K. Baruah et K.G. Bhattacharyya.** “Metal speciation in Jhanjii river sediments”. *Sci. Total Environ.* Vol : **193**, 1-12, 1996.
- 134 : F. Barbier, G. Duc, M. Petit-Ramel.** “ Adsorption of Pb et Cd ions from aqueous solution to the montmorillonite/water interface”. *Colloids and Surfaces.* Vol : **166**, 153-159, 2000.
- 135 : E.J. Brook et J.N. Moore.** “Practicle – size and chemical control of As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn in bed sediment from the Clark Fork River, Montana, USA”. *Sci. Total Environ.* Vol : **76**, 247-266, 1988.
- 136 : J.M. Bubb, T. Rudd et J.N Lester.** “Distribution of heavy metal in the river Yare and its associated broads, Pb and Zn” *Sci. Total Environ.* Vol : **102**, 89-208, 1991.
- 137 : A. Barbanti et M. Bothner.** “A procedure for parttioning bulk sediments into distinct grain size fractions for geochemical analysis”. *Environ. Geol.* Vol : **21**, 3-13, 1993.
- 138 : N. Calace et M. Pietroletti.** “Municipal landfill leachate-soil interactions : a kinetic approach”. *Chemosphere.* Vol : **44**, 1025-1031, 2001.
- 139 : A. Chlopecka et J.R. Bacon.** “ Forms of Cd, Pb and Zn in contaminated soils from southern Poland”. *Environ. Qual.* Vol : **25**, 69-79, 1996.
- 140 : T. Sterkman et N. Priox.** “Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France”. *Environ. Pollut.* Vol : **107**, 377-389, 2000.
- 141 : E. Tipping, J. Rieuwerts et G. Pan** “The solid-solution partitioning of heavy metals Cu, Pb, Cd, Zn, in upland soils of England and Waales”. *Environ. pollut.* Vol : **125**, 213-225, 2003.

Résumé

Ce travail a pour objectif l'étude de la pollution et de l'autoépuration des eaux de l'oued Mellah (Djelfa).

Les résultats trouvés révèlent l'existence d'une pollution chimique et organique assez marquée. Néanmoins, le mécanisme de l'autoépuration est mis en évidence dans l'oued surtout pour la pollution organique.

La contribution des rejets industriels dans la pollution de l'oued Mellah est très importante.

L'infiltration des polluants dans les sédiments risque de poser un problème de contamination des eaux sous-terraines.

Abstract.

This work aims to study the pollution and the autoepuration of oued Mellah waters "Djelfa". The results found show the availability of an important chemical and organic pollution. Nevertheless, the autoepuration mecanism is showen up in oued Mellah, particularly for the organic pollution.

The contribution of industrie in the pollution of oued Mellah is very important. the infiltration of pollutants in sediments risks to put a serious problem for the contamination of ground-waters.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التلوث و التنقية الذاتية لمياه واد ملاح (مياه الصرف لمدينة الجلفة). نتائج هذا البحث أظهرت وجود تلوث كيميائي و عضوي هام في واد ملاح.

و لكن التنقية الذاتية للمياه في هذا الوادي هامة و خاصة بالنسبة للمواد العضوية

مياه الصرف الصناعية لها دور كبير في تلوث مياه الوادي.

تسرب المياه الملوثة في التربة قد يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.