



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abbès Laghrou Khenchela  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département d'Ecologie et Environnement

Réf : .....

## Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : *Ecologie et environnement*

Spécialité : *Ecologie fondamentale et appliquée*

# Thème

**Analyse écotoxicologique des effluents urbains  
étude de cas des villes: Khenchela, Oum El Bouaghi  
et Ain Beida**

*Présenté par : - Zeroual Amel.  
-Naili wided.*

**Soutenu publiquement le : 28/06/2017**

**Devant le jury :**

**Président : Mr.larbaa . M(MCB)**

**Encadreur : Mme.Dhib . D (MAA)**

**Examineur : Mr.Bouchama . K(MAA)**

**Université Abbes LAGHROUR –Khenchela**

**Université Abbes LAGHROUR -Khenchela**

**Université Abbes LAGHROUR -Khenchela**

**Juin 2017**

# *Dédicace*

Je dédie très sincèrement ce manuscrit de thèse  
À l'âme de ma mère qui malgré des conditions  
difficiles n'a ménagée aucun effort pour ma  
réussite; son amour, son encouragement ont  
toujours été sans faille. *Implorant Dieu tout  
puissant de l'accueillir en son vaste paradis.*

*Ame*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail à :*

*Mon mari qui m'a vraiment encouragé et à coté de mon bébé.*

*A mes très chers parents, longue vie à eux.*

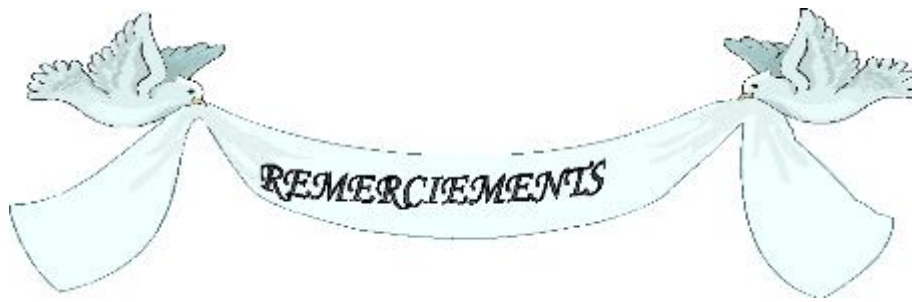
*Ma très chère mère BenadjiRabiaa et mon chère père Lakhmissi.*

*Ma très chère sœur: Nasrine en France et son mari Khatib Ben Amara et à leur cher garçon Ishak .*

*A mes chers frères: Zineddine et Yacine.*

*A toute ma famille et belle famille.*

*Wided*



*En premier lieu, nous tenons à manifester notre louange à Dieu par aisance et excellence de nous avoir donné la volonté et la santé pour pouvoir achever ce travail, veuille-t-Il nous guider toujours dans le droit chemin.*

*Nos plus profonds et sincères remerciements s'adressent à notre directrice de recherche Mme Dhib Dounia pour nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail, nous sommes très reconnaissantes pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils qui nous ont été précieuses, pour ses encouragements, sa compréhension, sa confiance et surtout le soutien permanent qu'elle nous a témoignée dans cette étude ainsi que ses compétences scientifiques et pédagogiques qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Une très grande reconnaissance va à Mme Ouannes .M pour l'honneur qu'elle nous fait de présider le jury de cette thèse et pour les remarques enrichissantes soulevées pendant la discussion.*

*Nous remercions chaleureusement Mr Bouchama.K d'avoir accepté de juger et examiner ce travail et pour l'attention qu'il a bien voulu lui porter.*

*Notre pensée va à tout le staff de la stations d'épuration de Ain Beida pour la sympathie qu'ils ont manifesté à notre égard et pour nous avoir accordée l'accès , cette pensée va également à l'équipe de l'ITCMI .*

*Nous remercions sincèrement Mr Khiari Abdelkader de nous avoir accueilli dans son laboratoire de recherche (RNAMS), d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation des bio-essais.*

*Nous n'omettrons jamais d'exprimer toutes nos gratitudes à Mme .Kadi Kenza, qui n'a épargné aucun effort pour nous aider.*

*Enfin à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

## Sommaire

|   |    |
|---|----|
| Liste des tableaux  |    |
| Liste des figures   |    |
| Liste des abréviations  |    |
| Première partie : Synthèse bibliographique.                     |    |
| Introduction  |    |
| Chapitre I : Généralités sur les eaux usées                     |    |
| 1. Définition des eaux usées .....                              | 01 |
| 2.Types des eaux usées.....                                     | 01 |
| 2.1. Les eaux usées domestiques.....                            | 01 |
| 2.2. Les eaux usées de ruissellement.....                       | 01 |
| 2.3. Les eaux usées agricoles.....                              | 02 |
| 2.4. Les eaux usées industrielles.....                          | 02 |
| 3. Les paramètres indicateurs de la qualité des eaux usées..... | 03 |
| 3.1. Les propriétés organoleptiques .....                       | 03 |
| 3.2. Les propriétés électrochimiques :.....                     | 03 |
| 3.2.1. Le pH .....  | 03 |
| 3.2.2 .La température.....                                      | 03 |
| 3.2.4. La conductivité électrique.....                          | 04 |
| 3.2.4. La salinité .....  | 04 |
| 3.2.5. La turbidité .....                                       | 04 |
| 3.2.6. Le potentiel d'oxydation- réduction .....                | 05 |
| 3.3. Paramètres physico-chimiques.....                          | 05 |
| 3.3.1. Demande biochimique en oxygène(DBO5).....                | 05 |
| 3.3.2. Demande chimique en oxygène(DCO).....                    | 05 |
| 3.3.3. L'oxygène dissous .....                                  | 05 |
| 3.3.4. Les matières en suspension .....                         | 06 |
| 3.3.5. Eléments traces .....                                    | 06 |
| 3.3.6. Les micropolluants organiques et inorganiques.....       | 07 |
| 3.3.7. Les substances nutritives .....                          | 08 |
| A. Azote et ses dérivés .....                                   | 09 |
| A.1. Azote KJELDAHL (NTK ).....                                 | 09 |
| A.2. Les nitrates .....   | 09 |
| B. Le phosphore .....   | 10 |
| C. Le potassium (K+) .....                                      | 10 |
| D. Chlore et sodium.....  | 10 |
| Chapitre II :Réutilisation des eaux usées                       |    |
| 1.. Les principales voies de réutilisation des eaux usées.....  | 12 |
| 1.1. La réutilisation industrielle.....                         | 13 |
| 1.2. La réutilisation en zone urbaine.....                      | 14 |
| 1.3. La production d'eau potable.....                           | 14 |
| 1.4. La recharge de nappe.....                                  | 15 |
| 1.5.. La réutilisation agricole.....                            | 16 |
| 2 .Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie..... | 17 |
| 2.1.Situation .....   | 17 |
| 2.2. Chiffres clés sur la réutilisation.....                    | 17 |
| 3. Liste des cultures autorisées .....                          | 18 |
| 4. Norme de réutilisation des eaux usées.....                   | 19 |
| Chapitre III : Généralités sur les tests écotoxicologiques      |    |
| 1. Ecotoxicologie et principaux concepts .....                  | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 2. Les bio-essais en écotoxicologie .....                                  | 20 |
| 3.Principaux tests écotoxicologiques .....                                 | 21 |
| 4. Intérêt écotoxicologique.....   | 22 |
| Deuxième partie : zone d'étude et matériels et méthodes                    |    |
| I . Présentation de la zone d'étude.....                                   | 24 |
| I.1.Situation géographique.....  | 24 |
| I.2. Données climatiques.....  | 24 |
| II. Prélèvement et conservation.....                                       | 26 |
| II.1. Nombre de stations de prélèvement.....                               | 26 |
| II.2. Conservation .....   | 27 |
| III. Test d'écotoxicité.....   | 28 |
| III.1. Principe .....  | 28 |
| III.2. Fiabilité et interférence .....                                     | 28 |
| IV . Appareillage .....  | 28 |
| IV.1. Matériel biologique (espèce et souche).....                          | 30 |
| A/ Hordeumvulgare (Orge) .....   | 30 |
| B / Hyoscyamusalbus L. (la Jusquiame blanche).....                         | 31 |
| IV.2.Matériels techniques .....  | 32 |
| - Réactifs et étalons.....   | 32 |
| - Toxique de référence.....  | 33 |
| - Sol .....  | 33 |
| V. Préparation des échantillons.....                                       | 35 |
| V.1. Conditions du test.....   | 35 |
| V.2. Échantillons solides.....   | 36 |
| V.3. Échantillons liquides.....  | 37 |
| V.4. Départ du test.....   | 39 |
| V.5. Mesures à la fin du test .....  | 39 |
| -Acceptabilité des résultats .....   | 40 |
| VI. Mesures physico-chimiques .....  |    |
| Troisième partie : Résultats et discussion                                 |    |
| 1. Caractéristiques organoleptiques .....                                  | 41 |
| 1.1. Couleur.....  | 41 |
| 1.2.Odeur.....   | 41 |
| II. Caractéristiques physico-chimique .....                                | 41 |
| II.1. Température .....  | 42 |
| II.2. pH.....  | 42 |
| II.3. Conductivité électrique.....   | 43 |
| II.4. Oxygène dissous .....  | 44 |
| II.5. DBO5, DCO et rapportDCO/DBO5.....                                    | 44 |
| II.6. Matières en suspensions.....   | 44 |
| II.7.Azote et phosphore.....   | 45 |
| 1.AzoteKjeldahl.....   | 45 |
| 2.Azote ammoniacal.....  | 46 |
| 3. Nitrates et Nitrites.....   | 46 |
| 4. Phosphore total.....  | 47 |
| II.8. Eléments traces métalliques .....                                    | 48 |
| III. Volet Écotoxicologique.....   | 48 |
| III.1. Résultats du test de germination de l'orge (stade germination)..... | 49 |
| - Les eaux usées brutes.....   | 49 |
| - Les eaux usées épurées.....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| III.2. Résultats du test de germination de l'orge (stade plantule)..... | 50 |
| - Les eaux usées brutes.....  | 50 |
| - Les eaux usées épurées.....   |    |
| III.3. Résultats du test de germination de la jusquiame blanche.....    | 51 |
| Analyse hiérarchique ascendante (CHA).....                              | 52 |
| Conclusions et perspectives   |    |
| Références bibliographiques   |    |
| Annexe.   |    |
| Résumé  |    |

## Liste des tableaux

**Tableau 1:** L'évolution de l'O<sub>2</sub> dissous avec la température.

**Tableau 2:** Sources industrielles et agricoles dans l'environnement du (Zn, Pb, Cu, Cd).

**Tableau 3:**Évaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages.

**Tableau 4:** Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

**Tableau 5 :** Tests d'écotoxicité appliqués aux substances chimiques.

**Tableau 6 :** caractéristiques de l'eau témoin.

**Tableau 7 :** Caractéristique du sol.

**Tableau 8 :** Conditions d'essai pour le test d'inhibition de la germination et de la croissance.

**Tableau 9 :** Statistiques descriptives des résultats

## Liste des figures

**Figure 1 :** Courbes dose/réponse schématiques des végétaux aux métaux

**Figure 2 :** Corrélation entre la croissance de l'usage des engrais azotés et la pollution par les nitrates d'une rivière qui draine les terres ainsi fertilisées.

**Figure 3 :** La réutilisation des eaux usées épurées.

**Figure 4:** Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines.

**Figure 5:** Exemple d'une courbe dose-réponse (concentration-effet) et valeurs remarquables NOEC, LOEC, CE50.

**Figure 6:** Zone d'étude et localisation des stations d'échantillonnage.

**Figure 7 :** point de prélèvement des eaux usées de la ville d'Oum El Bouaghi.

**Figure 8 :** points de prélèvement des eaux usées de la STEP de Ain Beida.

**Figure 9 :** L'orge (*Hordeum vulgare*) variété RIHANE.

**Figure 10 :** La jusquiame blanche en période de floraison et fructification.

**Figure 11 :** Fleur de Jusquiame blanche.

**Figure 12 :** Préparation des dilutions

**Figure 13 :** Préparation du sol.

**Figure 14 :** Préparation des graines de l'orge.

**Figure 15 :** Préparation des graines de jusquiame.

**Figure 16 :** Semée des graines de jusquiame.

**Figure 17 :** Variation du pH, conductivité et Oxygène dissous.

**Figure 18 :** Variation du DBO<sub>5</sub>, DCO, MES et rapport DCO/DBO<sub>5</sub>.

**Figure 19 :** Variation spatiale des teneurs en formes d'azote et de phosphore.

**Figure 20 :** Variation spatiale des ETM.

**Figure 21 :** Résultats de germination (stade germination) des graines de l'orge.

**Figure 22 :** Résultats de germination (stade plantule) des graines de l'orge.

**Figure 23 :** Résultats de germination des graines de la jusquiame blanche.

**Figure 24 :** Analyse hiérarchique ascendante.

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association Française de Normalisation.

**ANDI** : Agence Nationale de Développement et d'Investissement.

**CEN** : Comité Européen de Normalisation.

**CEE** : La Communauté Economique Européenne

**CEx** : Concentration Effective

**DBO<sub>5</sub>** : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours .

**DCO** : Demande chimique en oxygène .

**DDT** : Dichlorodiphényltrichloroéthane (pesticide ou insecticide chimique incolore utilisé pour détruire des insectes porteurs de maladies ou destructeurs de récoltes).

**ERU** : Effluents Résiduaires Urbaines .

**ETM** : Eléments Traces Métalliques.

**FAO** : Food and Agriculture Organisation.

**ISO** : International Organization for Standardization / Organisation internationale de normalisation

**K** : Potassium.

**K<sub>2</sub>O** : Oxyde de potassium.

**LOEC** : Lowest Observed Effect Concentration.

**Métaux:**

**Cd** : Cadmium.

**Cu** : Cuivre.

**Cr** : Chrome.

**Pb** : Plomb.

**Hg** : Mercure.

**Ni** : Nickel.

**Zn** : Zinc.

**MES** : Matières en Suspensions.

**MO** : Matière organique.

**N** : Azote.

**N<sub>2</sub>** : Azote moléculaire.

**NaCl** : Chlorure de sodium.

**NGL** : Azote total.

**NTK** : Azote kjeldahl.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : Azote ammoniacal.

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrite.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Nitrate.

**NOEC** : No Observed Effect Concentration

**OMS** : Organisation Mondiale de Santé.

**OCDE** : L'Organisation de coopération et de développement économiques.

**ONA** : Office National de l'Assainissement.

**P** : Phosphore.

**PH** : Potentiel d'hydrogène.

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** : Anydride phosphorique.

**PT** : Phosphore total.

**Rh** : Potentiel d'oxydation- réduction.

**REUE:** Réutilisation des eaux usées épurées.

**STEP :** Station d'Épuration des Eaux Usées.

### Introduction

L'eau est un élément vital et une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

La pollution des eaux de surface et souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et de pesticides en agriculture.

La politique environnementale du monde et le développement durable implique pour l'homme une maîtrise de ses rejets domestiques et urbains. En général, ces rejets sont identifiables mais lorsqu'ils se trouvent dans la nature sans traitement préalable, des accidents peuvent causer des pollutions aiguës entraînant une perturbation des conditions de vie de la flore et de la faune et compromettant l'utilisation de l'eau et l'équilibre du milieu récepteur.

La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en secteur agricole par le rejet dans la nature sans effet nocif sur les sols, les plants et l'être humain donc sur l'environnement.

Cette réutilisation n'est pas banale. En effet, ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes de santé publique, de conservation des sols et de protection de l'environnement, qui ne doivent être ni exagérés ni sous-estimés.

C'est ainsi que les pouvoirs publics algériens ont accordés un intérêt au traitement des eaux usées ,qui s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épurations qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation.

Au fur et à mesure que les préoccupations environnementales se sont étendues à d'autres compartiments, de nombreux tests biologiques se sont vus modifiés et adaptés afin de répondre rapidement aux besoins d'études et de connaissances de l'impact des toxiques dans les autres milieux tels que les sols et les cultures

Il est donc certain qu'une évaluation adéquate de la qualité de l'environnement nécessite de se doter de moyens d'évaluation de la toxicité à court et à long terme, des micropolluants et des rejets complexes sur les différents écosystèmes naturels.

L'utilisation de la réponse biologique globale par le biais des bio-tests, entre autres reflète les phénomènes d'interactions entre les micropolluants ainsi que leur réelle biodisponibilité dans les écosystèmes pollués.

## Introduction

---

Cette contribution a pour objectif d'apprécier la qualité des eaux usées brutes et épurées réutilisées pour l'irrigation et de mettre en évidence leur impact sur le comportement de quelques espèces végétales.

Dans ce contexte, notre étude s'intéressera particulièrement à l'effet de la réutilisation des eaux usées brutes et traitées des stations d'épuration de Ain Beida , de Khenchela et les eaux usées brutes de la ville de Oum El Bouaghi sur le comportement éco-physiologique de deux espèces végétales. L'évaluation de cet impact nécessite entre autre, la connaissance de la qualité de l'eau usée brute et traitée par des analyses physico-chimiques.

Afin d'appréhender ces différents objectifs que sont la situation et l'argumentation de l'intérêt des bio-essaisécotoxicologiques dans le domaine de l'évaluation du risque ce travail associe deux approches complémentaires :

- ✓ Une étude expérimentale qui a consisté en une caractérisation physico-chimique des effluents urbains bruts et traités de trois villes :Ain Beida ,Khenchela ,Oum El Bouaghi ,
- ✓ Une deuxième étude expérimentale basée essentiellement sur l'évaluation de l'écotoxicité de ces effluents en se basant sur les bio-essais conduits sur des organismes tests, largement adoptés au niveau international,à savoir (test d'inhibition de la germination chez deux espèces (*l'orge* et *la jusquiame blanche*)).

Ces objectifs et ces approches sont développés dans ce manuscrit de thèse qui s'articule en trois parties :

La première partie repose sur une "**synthèse bibliographique**" qui ne prétend pas être exhaustive, mais qui vise à donner un rappel sur les eaux usées, leurs origines et caractéristiques ainsi qu'un aperçu sur la situation de réutilisation des eaux usées en l'Algérie.Il décrit ensuite les caractéristiques physico-chimiques des effluents urbains bruts des villes de :Ain Beida ,Khenchela etOum El Bouaghi . Elle conclut avec un rappel sur les essais d'écotoxicité ainsi que la biodisponibilité et l'écotoxicité des eaux usées vis-à-vis de la flore et de la faune.

La seconde partie , "**Matériel et Méthodes**", décrit la zone d'étude en donnant un aperçu sur la situation géographique et climatologique . Cette description permet de comprendre la planification des campagnes de prélèvements et de justifier le choix de ces zones. Elle expose ensuite l'intégralité des méthodes et techniques utilisées au cours de cette étude, de l'échantillonnage à l'analyse pour atteindre les objectifs visés : préparation du matériel d'échantillonnage, les mesures au laboratoire, le protocole de réalisation des essais d'écotoxicité aigue. Enfin, sont décrits les traitements statistiques utilisés pour l'évaluation de

## Introduction

---

la qualité physico-chimique de ces eaux, ainsi que les méthodes d'évaluation des métaux lourds.

La troisième partie, "**Résultats et discussion**" s'attache aux résultats obtenus lors de l'étude de ces effluents. Seront présentés dans un premier temps, les résultats relatifs à la caractérisation physico-chimique des eaux (T, pH, CE, MES....) ainsi que les différents indices calculés permettant d'évaluer l'intensité de la contamination (germination, plantules) des effluents sur les espèces mises en expérimentation. Une fois les résultats bruts donnés, des discussions et des conclusions sont tirées par comparaison des résultats obtenus à des normes nationales et universelles.

Une synthèse sous forme de **Conclusions** des aspects les plus marquants de la caractérisation physico-chimique et écotoxicologique clôturera le manuscrit.

Enfin, les différentes **Perspectives** concernant les pistes à suivre et à développer pour améliorer la compréhension des phénomènes liés à la contamination et l'écotoxicité des eaux usées sur les écosystèmes.

## 1. Définition

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique.

L'eau usée doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'elles ne soient pas polluées.

Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce que vous évacuez en tirant la chasse d'eau et lorsque vous utilisez vos éviers est considéré comme de l'eau usée.

Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées. (Bachi, 2010).

## 2. Types des eaux usées :

Les eaux usées sont réparties en 4 catégories : (Husson, Gobert, 2012).

**2.1. Les eaux usées domestiques :** sont énumérées comme étant notamment celles issues des installations sanitaires, des cuisines, du nettoyage des bâtiments, des lessives à domicile, de certains petits établissements et qui sont destinées à être déversées dans une station d'épuration.

Elles contiennent des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et des matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.) (Vaillant, 1974).

**La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :**

- de 70 à 90 grammes de matières en suspension
- de 60 à 70 grammes de matières organiques
- de 15 à 17 grammes de matières azotées
- 4 grammes de phosphore
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml (Adler, 2000).

## 2.2. Les eaux de ruissellement :

Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des boues, des silts, des sables, des déchets végétaux (herbes, pailles,

feuilles, graines, etc.) et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents, débris microscopique de caoutchouc . Plomb contenu dans l'essence, retombées diverses de l'atmosphère, provenant notamment des cheminées domestiques et des cheminées d'usines). (Desjardins, 1997).

**2.3. Les eaux usées agricoles :** sont des «eaux usées provenant d'établissements ou sont gardés ou élevés des animaux entraînant une charge polluante. Parmi ces eaux, il faut distinguer :

- ❖ Les eaux brunes: eaux issues des aires non couvertes de parcours ou d'attente des animaux, souillées régulièrement par ces animaux.
- ❖ Les eaux de cours: eaux issues des aires en dur, souillées occasionnellement par les animaux lors de leur passage et par les engins agricoles lors de leurs manœuvres, à l'exclusion de toute aire de stockage proprement dite.
- ❖ Les eaux vertes: eaux de lavage des sols de salles de traitement.
- ❖ Les eaux blanches: eaux usées issues du lavage des installations de traitement.

Ces eaux font l'objet d'un traitement particulier, et ne peuvent en aucun cas se retrouver à l'égout. Une exception existe toutefois pour les eaux blanches qui peuvent, exceptionnellement être envoyées à l'égout moyennant l'accord de l'organisme d'assainissement agréé. (Desjardins, 1997)

**2.4 . Les eaux usées industrielles :** qualifiés tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries.

Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, ou qui ont servi à retenir des poussières de fumées ; elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications. Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de

produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux (Edline, 1979).

### 3. Les paramètres indicateurs de la qualité des eaux usées.

#### 3.1. Les propriétés organoleptiques :

La couleur et l'odeur des eaux usées renseignent sur l'âge des déchets liquides.

Une eau usée domestique fraîche a un aspect grisâtre et dégage plutôt des odeurs tolérables. Ce qui n'est pas le cas pour les eaux plus vieilles. Ceci est dû à la formation des gaz ou à la prolifération de certains micro-organismes qui nuisent aux procédés conventionnels de traitement (INRP, 1999 ;in Zeroual 2004).

#### 3.2. Les propriétés électrochimiques :

##### 3.2.1. Le pH (potentiel hydrogène) :

Il indique la concentration en ions  $H^+$  présents dans l'eau. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Dans les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH. L'épuration biologique, est le résultat d'une activité microbienne aérobie et anaérobie qui demande une ambiance équilibrée chimiquement. Les bactéries aérobies tolèrent une gamme de pH allant de 5 à 6 avec un optimum de 6 à 8.
- Dans l'efficacité de certains procédés de traitement (tel que la précipitation et autres).

Le PH peut être directement relié à la nature des substrats traversés inférieur à 7 dans les régions granitiques, il dépasse cette valeur dans les régions calcaires.

Une activité de photosynthèse intense peut se traduire passagèrement par une élévation de pH jusqu'à 9 ou 10. C'est fréquemment le cas dans les eaux closes ou très lentes (étangs, canaux), au niveau desquelles se développent un abondant phytoplancton et d'importants herbiers (Rodier, 1996) .

##### 3.2.2 .La température (T) :

Il est établi que la solubilité d'ungaz diminue pour une augmentation de la température  
Tableau 1.

Aussi plus l'eau est chaude plus la concentration de saturation d'oxygène devra diminuer, ce qui conduit à la diminution de la réserve d'oxygène mis à la disposition des micro-organismes, dans les processus d'autoépuration et à l'accroissement la vitesse de sédimentation.

**Tableau 1** : l'évolution de l'O<sub>2</sub> dissous avec la température

|                            |       |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Température de l'eau en °C | 0     | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
| Oxygène de l'eau en ml/l   | 10,24 | 8,97 | 7,96 | 7,15 | 6,50 | 5,95 | 5,48 |

L'effet catalytique des enzymes en fonction de la température, passe par un maximum entre 33 et 35°C, mais toutes ces réactions consomment de l'oxygène, si leur importance augmente. Les réactions chimiques ralentissent avec la diminution de la température jusqu'à un seuil où elles s'arrêtent totalement (moins de 5°C). (**Potelon, 1998**).

### 3.2.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau (déplacements des ions) entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm<sup>2</sup> de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. Son unité est le Siemens par mètre (S/m). La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de son origine. Ainsi, plus la concentration ionique des sels dissous est grande et plus la conductivité est grande. La conductivité en tant que telle n'a pas d'effet sur la santé, puisqu'elle reflète la concentration de l'ensemble des minéraux dissous. (**Potelon, 1998**).

### 3.2.4. La salinité :

Le taux de salinité des eaux usées domestique est lié essentiellement à la minéralisation de l'eau du réseau; l'activité industrielle provoque au contraire très souvent une forte teneur en sels dissous des eaux du réseau. La minéralisation de l'eau entraîne selon les cas (variable selon la nature des sels présents) une accélération de la corrosion. Comme elle encourage des espèces et élimine d'autres. (**Potelon, 1998**).

### 3.2.5 . La turbidité :

La turbidité correspond à l'état d'un liquide trouble . Lorsque la turbidité est importante, l'eau est trouble, riche en boues et autres particules érodées. La turbidité est l'une des caractéristiques les plus voyante d'une eau; elle se présente sous forme de matières en suspension d'une quantité plus ou moins importante, finement divisées, d'origine minérale ou organique. Elle engendre une diminution de la teneur en oxygène dissous, due à la décomposition de la matière organique par les bactéries, les organismes aquatiques vont donc

en souffrir. L'oxygène dissous étant consommé, il ne reste place que pour la dégradation anaérobie, qui libère des gaz toxiques et nauséabonds. (Potelon, 1998).

### 3.2.6. Le potentiel d'oxydation- réduction :

Les eaux usées domestiques suffisamment fraîches ont un potentiel d'oxydoréduction de l'ordre de **100mv**, ce qui correspond pour un pH voisin de **7**, à un **rH** de **17** à **21**. Un potentiel à **+40mv** (soit **rH=15** à **pH=7**) ou négatif caractérise un milieu réducteur (eau septique, fermentation putrides, présence de réducteurs chimiques). Un potentiel supérieur à **300 mv** (soit **rH=24** à **pH=7**) révèle un milieu oxydant normal. La septicité de l'affluent conduit à la formation de sulfure ( $S^{2-}$ ) et provoque le dégagement de **H<sub>2</sub>S**.

La mesure du potentiel redox permet de caractériser le milieu, de suivre, notamment en absence d'oxygène, les évolutions de certaines substances, et l'activité microbienne qui y est toujours liée. Le potentiel redox est en fonction de l'équilibre des formes réduites et oxydées des composés chimiques, par exemple : le fer pur se présente sous différentes formes. (Degremont, 1989 ; in Zeroual 2004).

## 3.3. Paramètres physico-chimiques :

### 3.3.1. Demande biochimique en oxygène(DBO5):

Elle correspond à la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par une biomasse pour décomposer les matières organiques. Elle est mesurée à partir d'un DBO mètre, et exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/ l. L'échantillon est incubé dans l'enceinte thermostatée à 20°C en présence d'air. Les microorganismes présents, consomment l'oxygène en provenance du volume d'air situé au-dessus de l'échantillon. La mesure de cette perte en oxygène est effectuée durant cinq jours par le principe hydrostatique (changement de niveau de mercure). (Baumont, 1997)

### 3.3.2. Demande chimique en oxygène(DCO) :

Elle correspond à la consommation globale à chaud de l'oxygène du dichromate de potassium et est représentative de la majeure partie des composés organiques ainsi que les sels minéraux oxydables. Le rapport **DCO/DBO5** des *ERU* est le plus souvent compris entre 2 et 2,5 (Degremont, 1989 ; in Zeroual 2004,).

### 3.3.3. L'oxygène dissous :

L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>) est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques. (Degremont, 1989, in Zeroual 2004)

### 3.3.4. Matières en suspension (MES) :

Les MES faisant partie de la charge polluante des eaux usées urbaines, elles peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides **humiques** ou **fulviques** par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que les bactéries, plancton, algues, et virus. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures .

Les **MES** se subdivisent en deux catégories : les matières fixes et les matières volatiles c-à-d qu'une partie de MES se volatilise lorsqu'elles sont chauffées à haute température  $<550^{\circ}\text{C}>$ , cette partie constitue la fraction organique et les sels inorganiques volatiles.(Faby, 1997).

La teneur en matières en suspension dans l'eau (mg/l) est exprimée comme suit :

$$\frac{M1-M0}{V} \times 1000 \text{ (mg/l)}$$

soit: M0 : masse du papier filtre avant utilisation (mg) ;

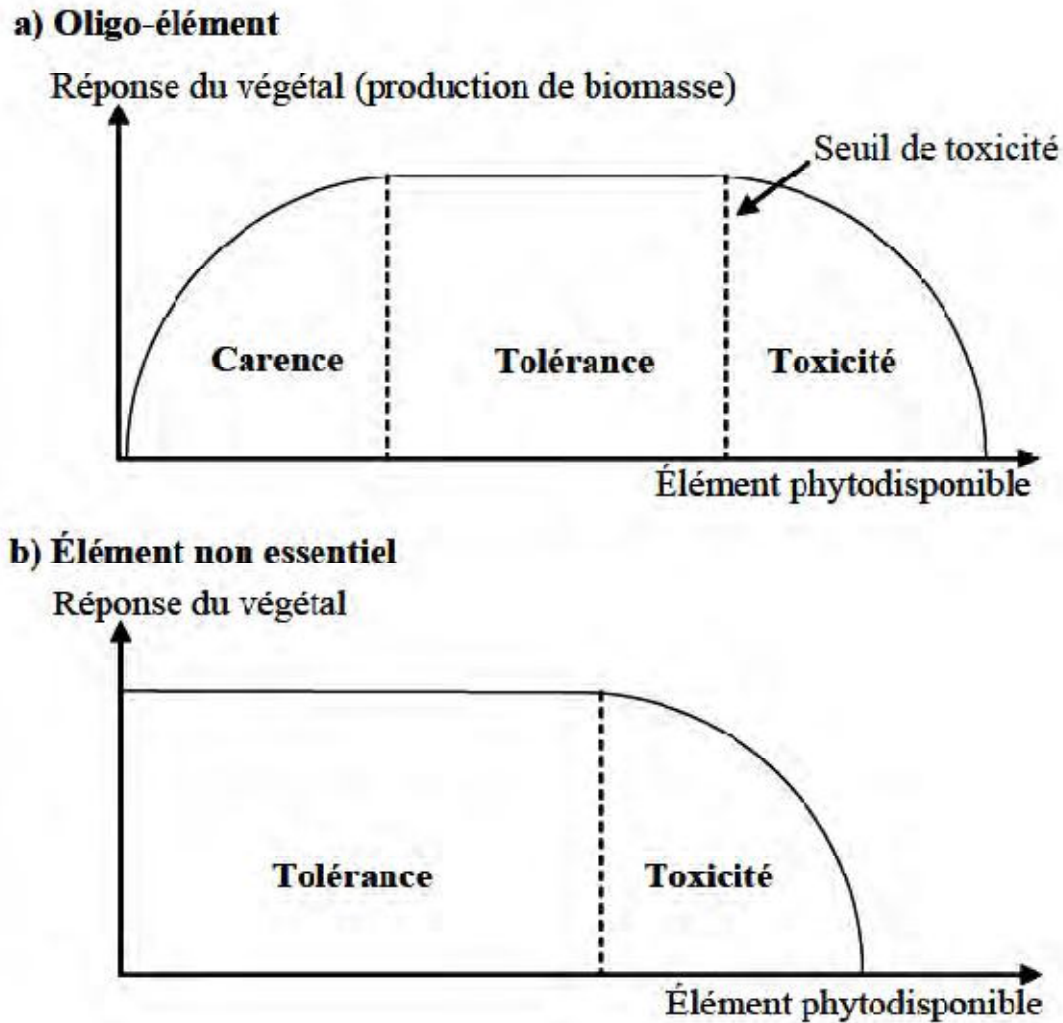
M1 : masse du papier filtre après utilisation (mg) ; et

V : volume de l'échantillon (l).

### 3.3.5. Eléments traces

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux; les plus abondants (de l'ordre de quelques  $\mu\text{g/l}$ ) sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » (Cauchi, 1996).

Certains éléments traces, peu nombreux, sont reconnus nécessaires (Fig.1), en très faibles quantités, au développement des végétaux : le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène. L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments (Faby, 1997).



**Figure 01.** Courbes dose/réponse schématiques des végétaux aux métaux.  
(a) oligoélément , (b) élément non essentiel . (d'après Baker et Brooks, 1989).

### 3.3.6. Les micropolluants organiques et inorganiques :

Les micropolluants sont des éléments présents en quantité infinitésimale dans les eaux usées. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion. C'est la contamination par voie indirecte qui est généralement préoccupante.

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales : eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc.

Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes) (**Xanthoulis, 1993, in Djeddi 2006**).

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont représentées par : les HAP, chlorophénols, phtalates... avec une concentration de l'ordre de 1 à 10 $\mu$ g/l dans les effluents. Dans le sol, ces micropolluants restent liés à la matière organique ou adsorbés sur les particules du sol. Cependant, quelques composés ioniques (pesticides organochlorés, solvants chlorés) peuvent être entraînés en profondeur.

Ainsi, certains micropolluants, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent s'accumuler dans les tissus des êtres vivants, et notamment dans les plantes cultivées. Il peut donc y avoir une contamination de la chaîne alimentaire et une concentration de ces polluants dans les organismes. (**Baumont et al., 2004**).

En raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues et c'est surtout lors de l'épandage de ces dernières que leurs teneurs devront être contrôlées (**Faby, 1997**).

Les pesticides sont les éléments traces les plus surveillés, et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché. Par contre, le danger représenté par tous les autres polluants organiques est encore mal apprécié actuellement. Les contrôles de routine ne permettent pas de repérer toutes les toxines.

Par ailleurs, on ne connaît rien de la toxicité des mélanges complexes qui peuvent se former par réaction entre les différents contaminants (**Baumont et al., 2004**).

### 3.3.7. Les substances nutritives :

L'azote, le phosphore, le potassium, et les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, indispensables à la vie des végétaux, se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables par rapport aux besoins de la végétation, dans les eaux usées épurées ou non. D'une façon générale, une lame d'eau résiduaire de 100 mm peut apporter à l'hectare :

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium. (**Faby, 1997**).

## A. Azote et ses dérivés :

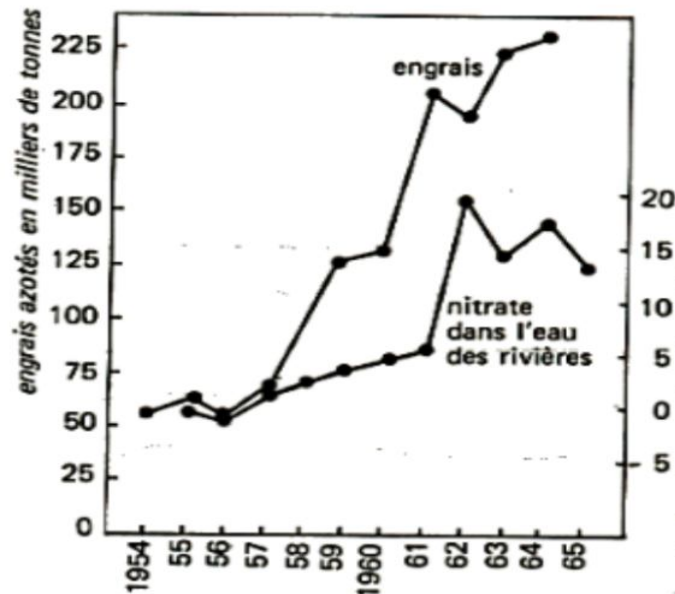
### A.1. Azote Kjeldahl (NTK) :

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène ( $O_2$ ) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous ( $NH_3$ ), en équilibre avec l'ion ammoniac ( $NH_4^+$ ). Assez rapidement cette espèce azotée se transforme en ammoniac ( $NH_3$ ) ou en sels d'ammonium ( $NH_4^+$ ), selon un processus bactériologiques appelé ammonisation ; le pH de l'eau détermine l'espèce ammoniacale formée. Une grande quantité d'azote ammoniacale dans une eau usée veut dire que la pollution est récente.

L'ensemble de ces deux formes d'azote (organique ou ammoniacal) est souvent appelé, à tort azote total et se dégrade progressivement dans une eau usée à mesure qu'elle vieillit. Les bactéries nitrifiantes des types *nitrosomonas* oxydent l'azote ammoniacal pour donner naissance aux nitrites ( $NO_2^-$ ), forme intermédiaire de l'azote. Par la suite, le relais est assuré par les bactéries nitrifiants du genre *Nitrobacter*, qui engendrent les nitrates ( $NO_3^-$ ), directement assimilables par les plantes. La nitrification s'opère en milieu aérobie et ne commence qu'après une dizaine de jours; la demande d'oxygène qu'elle exerce vient s'ajouter à la DBO ultime, d'où ce qu'on peut appeler la DBO totale, résultant à la fois de la minéralisation des matières organiques et de la nitrification de l'ammoniaque. Les formes oxydées de l'azote en addition avec l'azote Kjeldahl (NTK) forme l'azote global (NGL). Le manque d' $O_2$  peut provoquer le phénomène inverse, appelé dénitrification ; les nitrates  $NO_3^-$  sont alors transformés en nitrite  $NO_2^-$  ou en azote moléculaire  $N_2$ , la réduction des nitrates en azote ammoniacal est également possible en milieu anaérobie. (Martin, 1979).

### A.2. Les nitrates :

COMMONER a étudié les variations des quantités de nitrates rejetées au cours des 25 dernières années par les diverses sources susceptibles de contaminer l'environnement avec des sels minéraux. Si les taux contenus dans les effluents urbains n'ont crû que de 70%, les quantités rejetées par les moteurs à combustion interne se sont élevées de 300% tandis que l'usage des engrais azotés s'élevait de 1400 % pendant la même période. Ce même auteur a aussi mis en évidence une bonne corrélation entre l'augmentation de la consommation des nitrates par la céréaliculture et celle de la contamination des eaux superficielles par ces substances. (Ramade, 1982).



**Figure 02 :** Corrélation entre la croissance de l'usage des engrais azotés et la pollution par les nitrates d'une rivière qui draine les terres ainsi fertilisées.

### B. Le phosphore :

La concentration en phosphore dans les effluents secondaires varie de 6 à 15 mg/l (soit 15 à 35 mg/l en  $P_2O_5$ ). Cette quantité est en général trop faible pour modifier le rendement (FAO, 2003). Mais s'il y a excès, il est pour l'essentiel retenu dans le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation; cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes. On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore (Asano, 1998).

### C. Le potassium ( $K^+$ ) :

Le potassium est présent dans les effluents secondaires à hauteur de 10 à 30 mg/l (12 à 36 mg/l de  $K_2O$ ) et permet donc de répondre partiellement aux besoins (Faby, 1997).

Il faut noter cependant que, s'il existe, un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers, à une consommation de luxe pour les récoltes (FAO, 2002).

### D. Chlore et sodium :

Leur origine est :

- Naturelle (mer : 27g/l NaCl, et terrains salés)

- humaine (10 à 15g/l NaCl dans les urines/j).

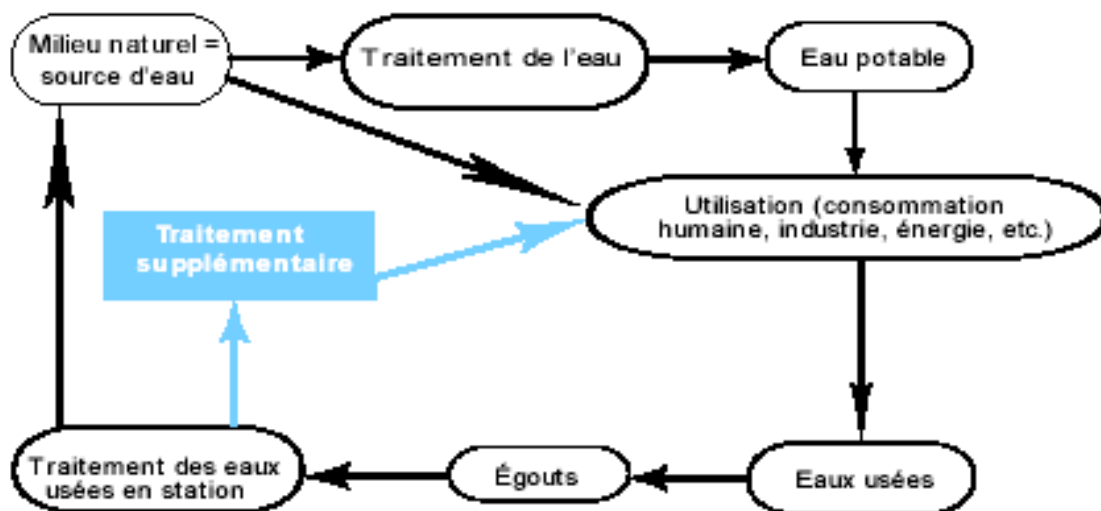
- industrielle (potasse, industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (**Gaujous,1995**).

Les chlorures et le sodium peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres (**Faby, 1997**).

### 1. Les principales voies de réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel,
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriels et urbains.

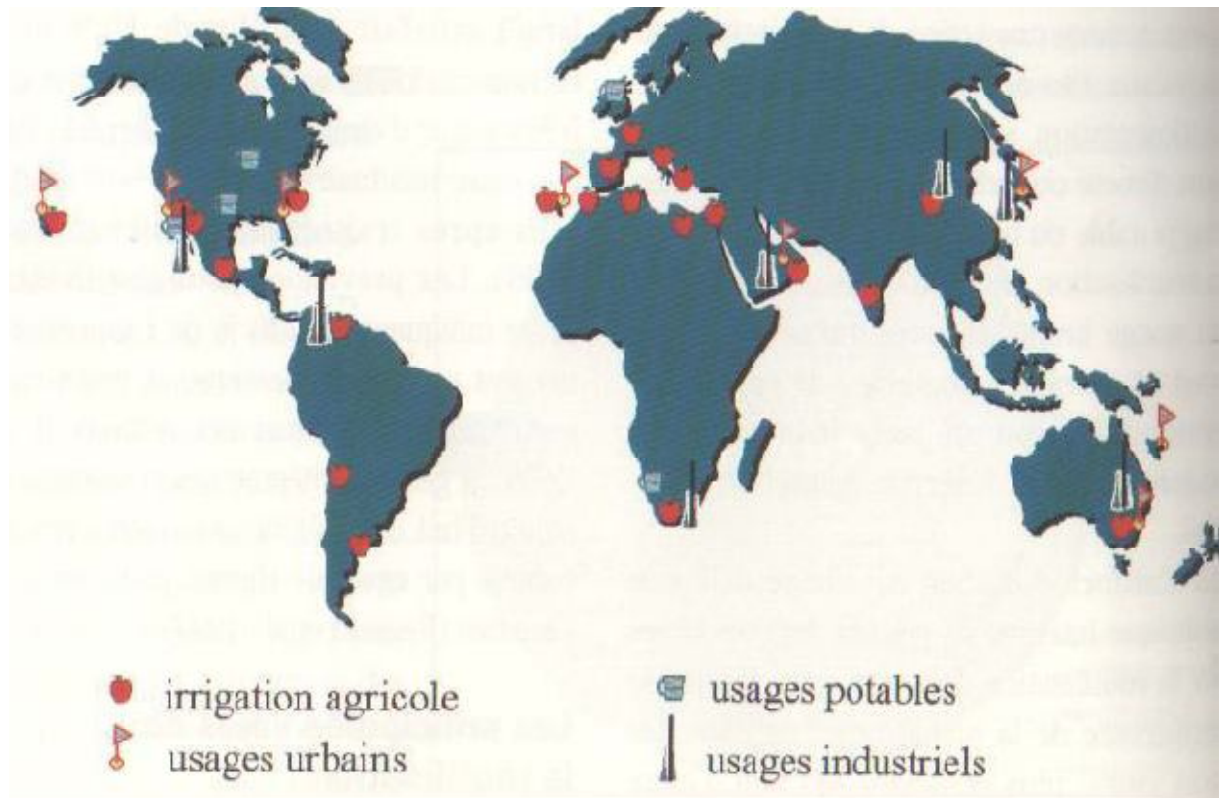


**Figure 03 :** La réutilisation des eaux usées épurées. (Source : Baumontet al. 2004)

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau.

La figure 3 résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis.

Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (Fig.04). (Ecosse, 2001).



**Figure 4:** Répartition des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines (Lazarova, 1998).

L'évolution de la réutilisation des eaux usées a connu et connaît encore à l'heure actuelle différentes phases en fonction des intérêts mis en jeu, qu'ils soient économiques, sanitaires, socioculturels ou environnementaux. Elle est liée aux développements de l'ingénierie des eaux usées, couplés aux pressions croissantes exercées sur les ressources en eau. Actuellement, les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges, quand la qualité est en adéquation avec l'usage (Bahri, 1998).

### 1.1. La réutilisation industrielle.

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage

interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau (**Ecosse, 2001**).

Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est de très loin le secteur qui prélève le plus d'eau dans le milieu. La REUE industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts. Les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc.

L'un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est fournie en eaux épurées depuis 1951. (**Asano, 1998**).

### **1.2. La réutilisation en zone urbaine.**

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance ;
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles ;
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendies, etc.

La qualité requise dans les projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) en zone urbaine a des exigences similaires aux autres réutilisations, avec quelques variantes :

La qualité esthétique est importante : la présence de mousse, d'algues, etc. est à éviter (mauvaise perception de la part du public). Il faut également réduire le développement d'insectes (moustiques...) ; la présence d'une faune concentrant des polluants (mercure, DDT, etc.) peut poser problème pour les activités de pêche.

Les pays à la pointe de la REUE en milieu urbain sont en majorité des pays développés et fortement urbanisés : États-Unis, Japon, Corée du Sud, Allemagne (**Ramade, 2000**).

### **1.3. La production d'eau potable.**

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « *pipe to pipe* »). L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (**Asano, 1998**).

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE.

La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. C'est le cas du comté d'Essex en Angleterre, où une ville de 140 000 habitants, Chelmsford, est alimentée en eau potable pendant l'été par des eaux épurées, après un passage dans la rivière Chelmer.

D'un point de vue sanitaire, il faut noter qu'aucune incidence sur la santé n'a été relevé, aussi bien à Windhoek, où la REUE existe depuis plus de 25 ans, qu'à Chelmsford (début du projet en 1996) (**Lunn, 2001**).

#### **1.4. La recharge de nappe**

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m<sup>3</sup> par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, éviter le stockage dans des lacs peu profonds, éviter de laisser l'eau stagner trop longtemps et couvrir les réservoirs. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase, d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation;

- par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. Chaque jour, 57 000 m<sup>3</sup> sont déversés dans la nappe (**Asano,1998**).

**Tableau 03:** Évaluation du risque (acceptable ou non) en fonction des traitements et des usages (Lunn, 2001).

|                                    | Désinfection tertiaire<br><b>I a</b> | Désinfection tertiaire<br><b>II b</b> | Désinfection<br>secondaire <b>c</b> |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Arrosage de golf                   | Acceptable                           | Acceptable                            | <b>Non acceptable</b>               |
| Irrigation de culture              | Acceptable                           | Acceptable                            | <b>Non acceptable</b>               |
| Bassin d'agrément sans restriction | <b>Non acceptable</b>                | <b>Non acceptable</b>                 | <b>Non acceptable</b>               |
| Recharge de nappe                  | Acceptable                           | Acceptable                            | Acceptable                          |

- (a) Filtration puis chloration directe
- (b) Chloration directe
- (c) Pas de chloration

### 1.5. La réutilisation agricole.

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est, de très loin, le mode le plus répandu de réutilisation des eaux usées urbaines (figure 4). C'est aussi, si on le compare aux autres modes de réutilisation, qu'il s'agisse du double réseau urbain, des usages industriels, ou des recharges d'aquifère, celui qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme (**Faby, 1997**).

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est économiquement intéressante pour les agriculteurs.

De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation.

La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose des engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux

fertilisants, qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (Asano,1998).

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double :

- au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais ;
- au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue (Baumontetal., 2004).

## **2 .Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie :**

### **2.1. Situation :**

Durant l'année 2016, plus de 1 134 Millions de mètres cubes d'eaux usées rejetées ont été collectées sur l'ensemble des 1 117 communes dont le service public assainissement est assuré par l'ONA cette quantité est estimée dépassera 1,5 milliards de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020.

Le réseau d'assainissement, en exploitation par les 269\* centres d'assainissement de l'ONA, représente un linéaire de 50 999 km, avec une population raccordée de plus de 26 millions d'habitants. Un linéaire de 7 673 km a été curé durant cet exercice ; soit un taux de curage cumulé de 14,96 %.(Voir annexe 1).(ONA . 2016).

### **2.2. Chiffres clés sur laréutilisation :**

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages.

Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale (Hannachi et al .2014).

La réutilisation pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle.

Sur l'ensemble des 136 stations d'épuration actuellement en exploitation par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les Départements, seules les 18 stations, citées ci-dessous, sont concernées par la réutilisation de leurs eaux usées épurées à des fins agricoles.

- Stations à boues activées de : Boumerdès, Ain Témouchent, Bordj Bou Arréridj, Ain El Hadjar, Guelma, Souk-Ahras, Tlemcen, Mascara.
- Stations de lagunage naturel de : Oued Taria, Tizi, Mohammadia Est, Froha, Khalouia.
- Stations de lagunage aéré de : Ouargla, Kouinine, Ghriss, Bouhanifia, Hacine.

Le volume total réutilisé a atteint, à fin 2016, près de 21 millions de mètres cubes, ayant permis l'irrigation de plus de 11 212 hectares de superficies agricoles.

Pour l'année 2016, le taux de la REUSE est estimé à 43% du volume épuré par les 18 STEP concernées et à 10% du volume total épuré par les 136 STEP en exploitation par l'ONA(ONA .2016).

**3 . Liste des cultures autorisées**

Une autre réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrête interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée (**Tab 4**).

**Tableau 04 :** Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

| <b>Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées</b> | <b>Liste des cultures</b>   |
|---|---|
| <b>Arbres fruitiers (*)</b>   | Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nèfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive. |
| <b>Agrumes</b>  | Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.   |
| <b>Cultures fourragères (**)</b>                                      | Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.  |
| <b>Culture industrielles</b>  | Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin                                   |
| <b>Cultures céréalières</b>   | Blé, orge, triticales et avoine.  |
| <b>Cultures de production de semences</b>                             | Pomme de terre, haricot et petit pois.  |
| <b>Arbustes fourragers</b>  | Acacia et atriplex.   |
| <b>Plantes florales à sécher ou à usage industriel</b>                | Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.  |

(\*) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire. (\*\*) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées épurées

est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs. **(Hannachi et al .2014).**

#### **4. Norme de réutilisation des eaux usées**

L'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est interdite. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée.

Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable. Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.(voir annexe). **(Hannachi et al .2014).**

### 1. Ecotoxicologie et principaux concepts :

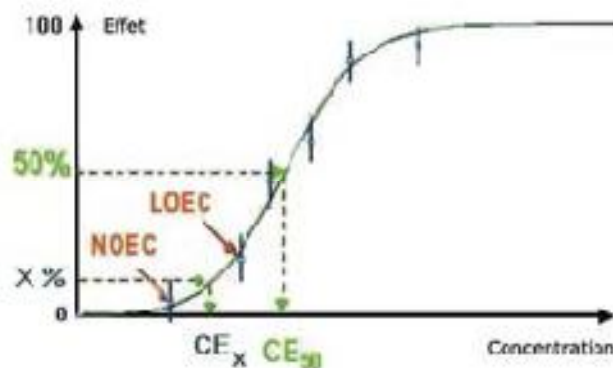
L'écotoxicologie peut se définir comme la science dont l'objet est l'étude des modalités de dispersion des agents polluants dans la biosphère et des mécanismes par lesquels s'effectue la contamination des divers écosystèmes .

L'écotoxicologie a donc deux préoccupations, d'abord connaître le devenir des polluants et leurs impacts sur l'environnement, ensuite développer des méthodes d'essais pour prédire, détecter et contrôler ces impacts.

L'évaluation de la toxicité des polluants se base sur plusieurs approches complémentaires : Les bio-essais , les biomarqueurs, les bio indicateurs mais également sur l'exploitation des études intégrées sur mésocosmes et in situ (**Ramade, 1977**).

### 2. Les bio-essais en écotoxicologie :

Le bio-essai est un test expérimental réalisé pour identifier le potentiel toxique d'une substance ou d'un mélange de substances par la réponse biologique de l'organisme test, et déterminer les concentrations avec effets ( $CE_x$ ,  $CE_{50}$ ,  $LOEC$ ...) ou sans effet ( $NOEC$ ).(**OECD, 2003**).



**Figure 05:** Exemple d'une courbe dose-réponse (concentration-effet ) et valeur remarquables  $NOEC$ ,  $LOEC$ ,  $CE_{50}$  (**Devez., 2004, d'après Forbes et Forbes., 1997**).

Les paramètres mesurés ou observés sont la survie, la taille, la croissance, le nombre de petits ou n'importe quel paramètre biochimique ou physiologique facilement quantifiable.

Les observations se font sur des temps d'exposition plus au moins importants. On distingue *les tests aigus* qui se font sur des temps d'exposition courts (quelques heures à quelques jours) et *les tests chroniques* qui nécessitent un temps d'exposition plus prolongé pouvant durer tout le cycle de vie de l'organisme et au delà.

Dans les tests aigus, la valeur recherchée est la CE50 (Concentration effective 50%) qui se définit comme la concentration en toxique qui engendre un effet de 50% par rapport aux témoins. Cependant les tests chroniques s'intéressent à deux valeurs : La NOEC (No Observed Effect Concentration) qui est la plus grande concentration dont l'effet sur les organismes n'est pas différent de celui des témoins, et la LOEC (Lowest observed effect concentration) qui est la plus faible concentration qui provoque un effet statistiquement différent des témoins. (Forbes et Forbes., 1997)

Parmi les tests les plus utilisés en écotoxicologie dans l'étude de la toxicité à court terme, existe le test d'inhibition de la germination chez l'orge. ce test est appliqué selon la norme ISO 112 63/1 est applicable pour déterminer la toxicité aiguë vis-à-vis de l'orge des substances chimiques solubles ou pouvant être maintenues en suspension ou en dispersion stable dans les conditions d'essai, des effluents industriels et urbains épurés ou non et des eaux de surface ou souterraines naturelles. (Forbes et Forbes., 1997)

### 3.Principaux tests écotoxicologiques :

Il est possible de différencier deux catégories principales de tests monospécifiques :

#### ✓ *Les tests d'écotoxicité aiguë.*

Ce sont des essais à court terme, au cours desquels les effets doivent se révéler sur une courte durée (de quelques heures à quelques jours en fonction du cycle de vie de l'animal, moins de 10 % de sa durée de vie) après l'exposition à une concentration d'une substance. L'écotoxicité aiguë se manifeste donc après exposition à un stimulus suffisamment important pour induire une réponse biologique rapide. Si aucun effet n'est observé, la substance n'a pas d'écotoxicité aiguë, dans les conditions de l'essai ; ce qui ne veut pas dire pour autant que cette substance ne présente pas d'écotoxicité chronique. Ces essais permettent d'établir une relation entre la concentration d'exposition et l'intensité de l'effet. Les résultats sont généralement exprimés par une CE50 (Concentration Efficace) qui est la concentration pour laquelle les effets sont observés pour 50 % des individus testés. Les effets peuvent être observés sur la survie ou encore la mobilité. (Triffault-Bouchet, 2004).

#### ✓ *Les tests d'écotoxicité chronique*

Ce sont des tests qui permettent de déterminer l'écotoxicité chronique (à moyen ou à long terme) de l'organisme d'essai. Le temps d'exposition correspond en principe à plus de 10 % de la durée de vie probable de l'organisme en dehors de facteurs de stress et doit intégrer plusieurs stades critiques de son cycle de vie. L'écotoxicité chronique s'exprime après

exposition unique (continue ou répétée) à un stimulus à faibles concentrations. En plus de la CE50, les essais à moyen et long terme permettent de déterminer aussi deux concentrations expérimentales : la *NOEC* ou No ObservedEffect Concentration pour laquelle aucun effet significatif par rapport au témoin n'est observé sur l'espèce étudiée dans les conditions de l'essai et la *LOEC* ou LowestObservedEffect Concentration pour laquelle un effet significatif par rapport au témoin est observé dans les mêmes conditions de l'essai. L'écotoxicité s'exprime à travers des critères d'effets sublétaux tels que la croissance, l'activité trophique et la reproduction. (Triffault-Bouchet, 2004).

#### 4. Intérêt écotoxicologique :

L'utilisation d'un organisme dans les tests d'écotoxicologie pour l'évaluation de la qualité de l'environnement suppose qu'il répond à certains critères;

- (1) la pertinence écologique ;
- (2) la sensibilité aux contaminants ;
- (3) la facilité de manipulation au laboratoire ;
- (4) la description détaillée de sa taxonomie ;
- (5) la durée du cycle de reproduction qui doit être courte ;
- (6) le potentiel de développer des biomarqueurs ;

Compte tenu de la grande diversité des espèces animales et végétales dans les écosystèmes aquatiques et terrestres, les essais d'écotoxicité ont été développés vis-à-vis d'organismes représentant différents niveaux trophiques : (décomposeurs, producteurs, consommateurs primaires et secondaires)(Tab. 05).(Eric, Veronique,1996 )

Tableau 05 : Tests d'écotoxicité appliqués aux substances chimiques.

| Niveaux trophiques        | Organismes                | OCDE                | ISO                                    | CEE                           | AFNOR   | CEN            |
|---------------------------|---------------------------|---------------------|--|-------------------------------|---|----------------|
| Producteurs primaires     | Algues                    | 201<br>Juin 1984    | ISO 8692<br>Dec.1990                   | C3<br>JO L 383 A<br>Dec. 1993 | NF ISO 8692<br>Dec.1990   | NF EN<br>28692 |
|                           | Plantes terrestres        | 208<br>Avril 1998   | ISO 112<br>69/1                        |                               | X31201<br>Oct. 1982<br>X 31 202<br>Sept. 1986<br>X 31 203<br>Mai 1994 |                |
| Consommateurs primaires   | Daphnies                  | 202<br>Avril 1984   | ISO 63 41<br>1983                      | C2<br>SOL 383A                | T 90 301<br>Janv. 1983  |                |
|                           | Vers de terre             | 207<br>Avril 1984   | ISO<br>11268/1                         | 87/302<br>Mai 1988            | X31251<br>Mai 1994  |                |
| Consommateurs secondaires | Poissons                  | 203<br>Juillet 1992 | ISO 7346/1<br>7342/2<br>7346/3<br>1984 | CI<br>JO L 383 A<br>Dec.1993  | T 90 303<br>T 90 305<br>T 90 307<br>Juin 1995                         |                |
| Décomposeurs              | Flore de boues activées   |                     | ISO 8192<br>1986                       | 87/302/CEE<br>Mai 1988        | T 90 340<br>Sept. 1986  |                |
|                           | <i>Pseudomonas putida</i> |                     | ISO - DIS<br>10712-2<br>1995           |                               |   |                |

## I. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### I.1.Situation géographique :

Les eaux usées ont été collectées depuis les trois points de rejets représentant les villes de :  
\* Oum El Bouaghi qui se situe au nord de l'Algérie dans la région des Hauts plateaux constantinois au centre des wilayas de l'Est Algérien et s'étend sur une superficie de 432,31 km<sup>2</sup>

Elle est limitée par les latitudes 35 ° et 30 ° au Nord de l'équateur et entre longitude 6° 3' et 7° 9' Est ; (ANDI 2013).

\* Ain Beida qui se situe à 35° 47' 47" au Nord de Latitude et à 7° 23' 34" Est de Longitude;

\* Khenchela qui est une région à vocation agro - pastorale, du point de vue géographique elle est limitée par les latitudes 35° 25' et 35° 26' au Nord, et les longitudes 7°7' et 7°10' Est

( Ahmed.B, 2006) ;

Elle se distingue par ses milieux physiques et naturels très diversifiés et à facettes multiples, alliant entre :

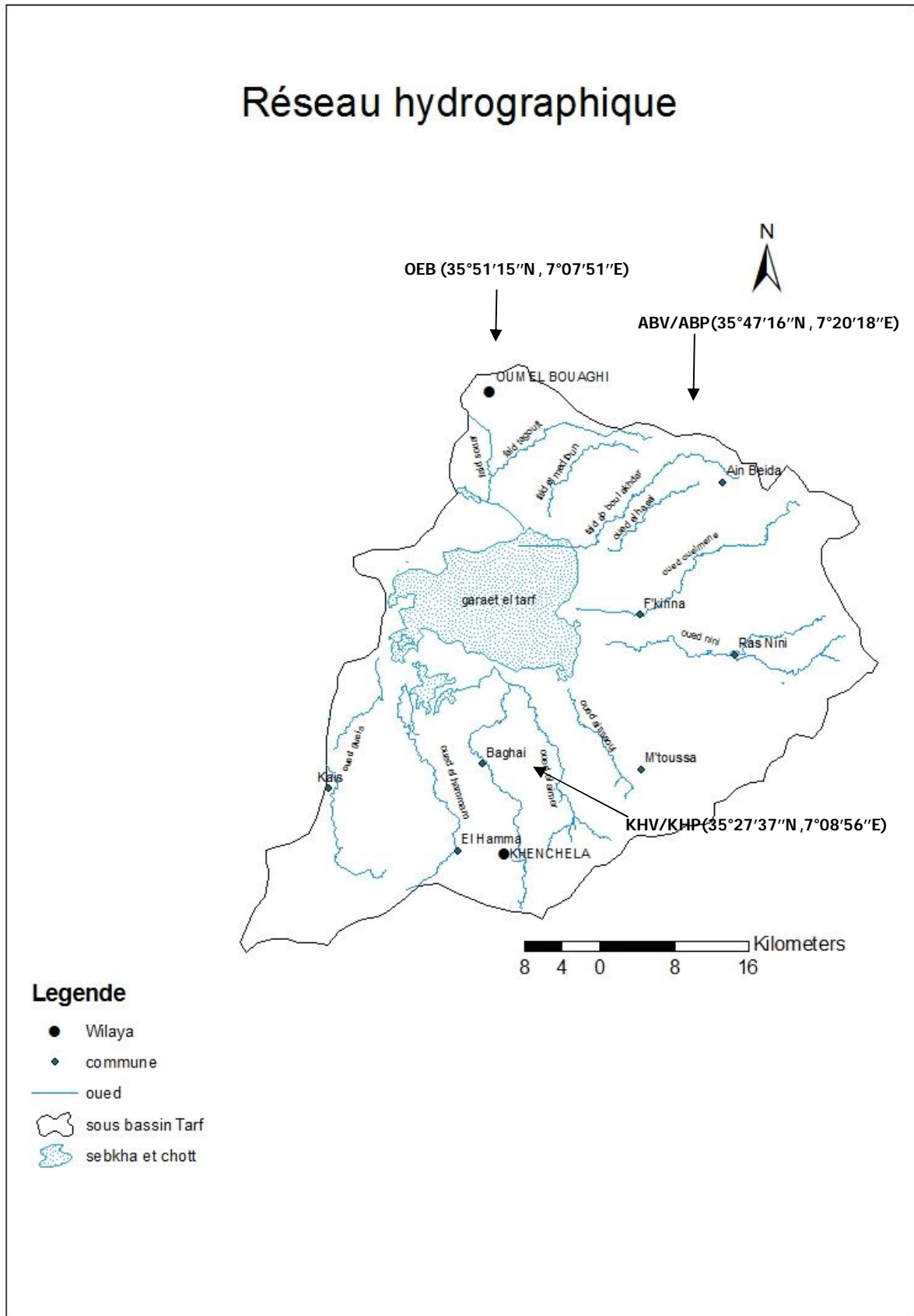
- Paysages telliens (zones de haute montagne, bien arrosées et bien boisées à paysages verdoyants) : Monts des Aurès occupant la partie ouest de la wilaya ;
- Paysages de hautes plaines (hautes plaines céréalières semi-arides) pour la partie Nord de la wilaya ;
- Paysages steppiques et sahariens composés : de monts totalement dénudés et érodés (monts des Némenchas à l'Est), d'oasis (Siar, Khirane et El Ouldja) et de basses plaines (El Meita et Ouazerne). Elle est caractérisée par sa vocation agrosylvopastorale ou la superficie agricole représente 22%, les forêts, 12% et la steppe représente 49% de la superficie totale.

### I.2.Données climatiques :

La zone étudiée subit, en général, un climat continental semi-aride caractérisé par Une saison froide et plus ou moins pluvieuse durant l'hiver dont le cumul annuel ne dépassant pas les 500mm (entre 350 et 500mm) et une saison chaude et sèche

Les autres saisons, plus clémentes (Automne et Printemps), sont de trop courte durée. (ANDI ,2013).

## Réseau hydrographique



## II .PRELEVEMENT ET CONSERVATION

### II.1.Nombre de stations de prélèvement :

Compte tenu de la nature des eaux résiduaires, il est difficile de définir une technique de prélèvement satisfaisante en toutes circonstances.

Cependant, le but à atteindre consiste essentiellement à obtenir des prélèvements représentatifs du rejet, du point de vue quantitatif et qualitatif en préservant le plus possible les caractéristiques des échantillons, de façon à minimiser leurs modification physico-chimique. À cet égard, les guides d'échantillonnage présentant les techniques de prélèvement appropriées doivent être suivis.

Nous avons opté pour un choix des stations suivantes :

#### Point 1 :

**OEB** : Rejet à l'air libre ; correspond à l'arrivée des eaux usées de l'exutoire du réseau d'assainissement de la ville de Oum El Bouaghi où les eaux sont exploitées en production céréalière et maraîchère ;**Fig.07 (a)** ;

**Point 2** :Représente les eaux usées brutes et épurées de la ville de Ain Beida désigné par :

**AB V** : Eaux usées brutes qui proviennent de la Station d'épuration de Ain Beida. Elle est d'origine urbaine et industrielle**Fig.08(a)** ;

**AB P** : Eaux usées traitées : provenant de la Station d'épuration de Ain Beida ; eaux récupérées à la sortie de la Station après les traitements .**Fig.08(b)** ;

**Point 3** : Représente les eaux usées brutes et épurées de la ville de Khenchela désigné par :

**Kh V**: Eaux usées brutes qui proviennent de la Station d'épuration de Khenchela. Elle est d'origine urbaine et industrielle ;

**Kh P** : Eaux usées traitéesprovenant de la Station d'épuration de Khenchela ;eaux récupérées à la sortie de la Station après les traitements .



**Figure 07 :** Point de prélèvement des eaux usées de la ville d'Oum El Bouaghi.



(a)



(b)

**Figure 08 :** Points de prélèvement des eaux usées de la STEP de Ain Beida

(a : eau usée brute, b : eau usée traitée)

## II.2. Conservation :

Les échantillons doivent être entreposés à l'obscurité à 4 °C. Aucun agent de préservation ne doit être ajouté et les échantillons ne doivent pas être congelés.

Il est recommandé de procéder aux tests de toxicité le plus rapidement possible après l'échantillonnage. Pour les échantillons liquides (les eaux usées) en général, le délai de conservation est de cinq jours.

### III .TEST D'ECOTOXICITE

#### III.1.Principe :

Le test d'écotoxicité a été réalisé au laboratoire de recherche Ressources Naturelles et Aménagement des Milieux Sensibles (*RNAMS*) de l'université Larbi Ben M'Hidi Oum El Bouaghi.

Ce test consiste à déterminer l'effet inhibiteur d'échantillons liquides contaminés sur le potentiel de germination et de croissance de l'orge et de la jusquiame blanche . L'effet inhibiteur des contaminants est établi en comparant les groupes tests à des groupes de contrôle.

Pour les échantillons solides, un sol de composition standardisée est utilisé. Le test est réalisé avec une série de dilutions (test concentrations-réponses).

#### III.2.Fiabilité et interférence :

La réalisation d'un test de toxicité nécessite des conditions environnementales optimales au cours de la période d'exposition, lesquelles sont adaptées spécifiquement à l'organisme biologique utilisé. Il est fréquent que les échantillons présentent des écarts significatifs par rapport à ces conditions optimales et que des ajustements soient nécessaires afin d'éviter de fausses réponses. Les modifications apportées à l'échantillon peuvent interférer avec l'équilibre physico-chimique des contaminants et entraîner un masquage ou une augmentation de la réponse toxique. L'usage de groupes de contrôle permet de déterminer en partie l'incidence de ces modifications.

Dans certains cas, les propriétés physiques du sol peuvent interférer directement avec la réalisation du test. Les sols argileux contenant un excès de fines particules entraînent une compaction et une augmentation de la densité du sol, laquelle peut être inappropriée au test. L'excès ou le manque d'humidité, les pH extrêmes ou l'hétérogénéité granulométrique peuvent également créer de l'interférence et nécessiter un prétraitement de l'échantillon qui en modifie l'intégrité initiale. Par exemple, la réduction de la compaction par l'ajout de sable de silice contribue à augmenter la porosité, laquelle peut modifier la volatilisation de certains contaminants ainsi que leur biodisponibilité. Ainsi, la silice accroît la perméabilité du sol et l'écoulement de l'eau, ce qui peut faciliter la solubilisation des contaminants.

La fidélité de la méthode analytique est déterminée en effectuant régulièrement des essais avec un toxique de référence. Dans le cas présent, cinq essais ont été effectués avec les eaux

usées brutes et traitées de la ville de Khenchela ,Ain Beida ainsi que celles brutes de la ville d'Oum El Bouaghi.

## IV. APPAREILLAGE

### IV.1 .Matériel biologique (espèce et souche ) :

Des essais d'écotoxicité développés consistent à étudier l'inhibition de la germination des semences et à déterminer la concentration inhibant la germination dans une population de graines mise en expérimentation de l'orge et d'une population de la jusquiame blanche.

#### A/ *Hordeumvulgare* (Orge) :variété RIHANE.

Une monocotylédone de la famille des graminées. La variété orge rond est utilisée et présente un taux de germination supérieur à 90 %. La variété Chapais est également adéquate. Les semences sont achetées commercialement d'un même lot. Elles ne doivent pas être traitées aux fongicides ni aux insecticides et elles doivent être homogènes en taille. Le pourcentage de germination garantie devrait être connu et égal ou supérieur à 90 %. Les semences sont entreposées à 4 °C et elles sont conservées pour une durée maximale de un an.(Fig09).

#### Classificationde l'espèce *Hordeumvulgare*

**Règne** Végétal

**Embranchement** Anthophytes

**Classe** Monocotylédones

**Sous-classe** Commelinidae

**Ordre** Cyperales

**Famille** Poaceae

**Genre** *H ordeum*



**Figure 09:**L'orge(*Hordeumvulgare*) VariétéRIHANE

**B / *Hyoscyamus albus* L. (la Jusquiame blanche) :**

Le nom générique de l'espèce *Hyoscyamus albus* L. est dérivé du grec Hyos (le cochon) et Kiamos (haricot) et le nom de l'espèce du (albus) blanc (Lee, 2006).

*Hyoscyamus albus* est une plante annuelle ou bisannuelle de la famille des solanacées, qui mesure de 30 à 90 cm de hauteur, à port dressé, à des feuilles molles plus petites que la jusquiame noire (5 à 10 cm de long), elles sont larges, ovales, collantes et de couleur vert clair. Au printemps, la floraison, donne des fleurs de 1 à 3 cm de long, bilabiées, irrégulièrement lobées, triangulaires-aigus, de couleur vert pâle, corolle irrégulière, capsule peu renflée à la base (Fig.10). (Mahmood et al., 2001).

Elle pousse sur tous les types de terrain mais demande une exposition ensoleillée. La jusquiame blanche est originaire d'Asie et d'Europe du sud, elle est cultivée pour ces propriétés thérapeutiques. La jusquiame possède divers alcaloïdes tropaniques car elle est très riche en atropine, l'hyoscyamine et la scopolamine.

La jusquiame blanche a une odeur vireuse, nauséabonde et presque aussi forte que celle de la jusquiame noire, la saveur de ses feuilles est herbacée, très peu acre. L'odeur nauséabonde caractéristique du genre *Hyoscyamus* est due aux composés tetrahydropyridines qui rappellent celui de la chair en décomposition et qui probablement attirent les insectes pollinisateurs (Lee, 2006).

Les noms communs de *H. albus* sont : en arabe : sakaran, en Chaoui: Guinguith, en français : Jusquiame, en anglais : White Henbane



**Figure 10:** La jusquiame blanche en période de floraison et fructification

**Règne :** Plantae

**Phylum:** Phanerogammas

**Sub phylum:** Angiospermes

**Classe:** Dicotylédone

**Division:** Métachlamydée

**Raio :** Sympetole

**Ordre:** Tubiflorae

**Famille :** Solanaceae

**Genre :** *Hyoscyamus*



**Espèce:** *Hyoscyamus albus* (TREAS et al, 1978) ; (DOMINIQUE, 1872)

**Figure 11:** Fleur de Jusquiame blanche

#### **IV.2 .Matériels techniques :**

Le matériel utilisé doit être exempt de toute trace de contaminant organique, inorganique ou biologique. Une procédure de lavage adéquate doit être appliquée avant l'utilisation du matériel.

\*. Incubateur, chambre environnementale ou toute autre installation en mesure de fournir une température de  $24 \pm 2$  °C et une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité

\* Balance.

\* Pince.

\* Bechers .

\* Boîtes de 7×7 mm.

\* tamis à 2 mm.

\* pilon.

#### **-Réactifs et étalons :**

L'eau utilisée comme témoin est de l'eau minérale aux caractéristiques suivantes :

**Tableau06** : caractéristiques de l'eau témoin.

| Désignation          | COMPOSITION(mg /L) |
|----------------------|--------------------|
| Calcium              | 78                 |
| Magnésium            | 37                 |
| Sodium               | 29                 |
| Potassium            | 02                 |
| Sulfates             | 95                 |
| Chlorures            | 40                 |
| Nitrates             | 4,5                |
| Nitrites             | <0 ,01             |
| Ph                   | 7,35               |
| Résidus secs à 180°C | 564                |

**-Toxique de référence**

– Eau usée

Une série de dilution est préparée à des concentrations de l'ordre de  $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{4}{4}$  avec de l'eau distillée. Ces solutions ne peuvent être conservées afin de conserver leurs caractéristiques

**- Sol :**

Le sol utilisé est obtenu depuis Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles Oum El Bouaghi (ITCMI).

Tableau 07: Caractéristiques du sol.

| Désignation                              | Résultats | Méthode d'analyse                               |
|--|-----------|---|
| <b>pH</b>                                | 8.08      | pH mètre  |
| <b>Conductivité électrique CE (ds/m)</b> | 0.38      | Conductimètre                                   |
| <b>Calcaire total(%)</b>                 | 15        | Méthode gazométrique                            |
| <b>Calcaire actif(%)</b>                 | 10        | Druano et Galpe                                 |
| <b>Carbone (%)</b>                       | 2.66      | Walkely-black                                   |
| <b>Matière organique(%)</b>              | 4.57      | /   |
| <b>Azote total%</b>                      | 0.98      | Kdjeldahl                                       |
| <b>C/N</b>                               | 2.71      | /   |
| <b>Phosphore assimilable (ppm)</b>       | 153.33    | Jorrey Hébert                                   |
| <b>Potassium assimilable (mg/100g)</b>   | 76.05     | /   |
| <b>C.E.C(méq/100g)</b>                   | 48.8      | Méthode internationale par centrifugation       |
| <b>Bases échangeable (meq/100g) :</b>    |           |   |
| K+                                       | 0.24      | Spectrophotomètre à flamme                      |
| Na+                                      | 00        |   |
| Ca++                                     | 40.30     | Spectrophotomètre                               |
| Mg++                                     | 5.49      | à absorption atomique                           |
| <b>Granulométrie :</b>                   |           |   |
| Argile(%)                                | 40        | Méthode internationale<br>(pipette de robinson) |
| Limon fin(%)                             | 44        |   |
| Limon grossier(%)                        | -         |   |
| Sable fin(%)                             | -         |   |
| Sable grossier(%)                        | 16        |   |

## V .PREPARATION DES ECHANTILLONS

### V.1. Conditions du test

**Tableau 08** : Conditions d'essai pour le test d'inhibition de la germination et de la croissance :

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Espèce                               | <i>HordeumvulgareetHyoscyamusalbus</i> L   |
| Température d'incubation             | 24 ± 2 °C  |
| Luminosité                           | photopériode 16 h lumière/8 h obscurité  |
| Sol                                  | Argile( <b>40%</b> )<br>Limon fin ( <b>44 %</b> )<br>Sable grossier ( <b>16 %</b> )                              |
| Hydratation et % d'humidité          | 83 % du taux maximal de rétention en eau pour les échantillons solides   |
| Type de contenant de test            | Boîtes de 7x7  |
| Masse de sol par replicat            | 20 g humide  |
| Nombre de graines/boîtes             | 4  |
| Nombre de boîte/groupes (par espèce) | 20 /5  |
| Nombre de replicat (par espèce)      | 5 × 4 graines pour test avec échantillon<br>100 %,75%,50%,25%<br>5 × 4 graines pour test avec échantillon témoin |
| Durée du test                        | 21 jours   |
| Mesures biologiques                  | % de germination après 7 jours d'exposition ;<br>stade plantule après 15 jours d'exposition                      |
| Paramètres de mesure                 | % de germination ou d'inhibition<br>nombre de graines germées  |
| Critères d'acceptabilité             | Critères des témoins<br>- Germination : ≥ 90 %<br>- Mesures de croissance<br>Toxique de référence : eaux usées   |

**V.2. Préparation des échantillons solides :**

Le sol doit être broyé, bien homogénéisé et tamisé à 2 mm. Le pH et le pourcentage d'humidité sont déterminés et le taux d'humidité est ajusté à 83 % de la capacité maximale de rétention en eau (cette valeur peut varier selon la texture du sol). Pour le sol de référence utilisé dans ce protocole, cette valeur équivaut à un taux d'humidité de 81 %.

Déterminer le pourcentage d'humidité du sol en faisant sécher une fraction de 10 g à 105 °C pendant 24 heures et peser de nouveau. Déterminer le pourcentage d'humidité de la façon suivante :

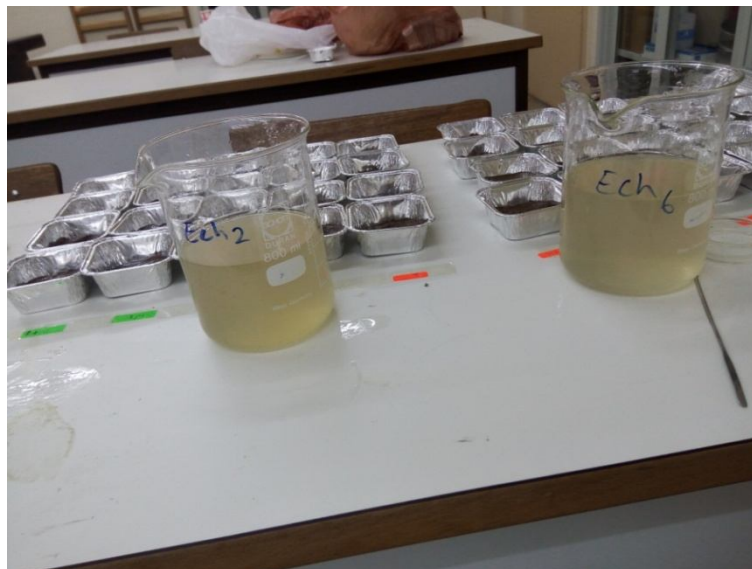
$$\frac{\text{poids humide} - \text{poids sec}}{\text{poids sec}} \times 100$$

La capacité maximale de rétention est calculée comme suit :

$$\frac{\text{poids humide} - \text{poids sec}}{\text{poids sec}}$$

**V.3. Échantillons liquides**

Un nombre de quatre réplicats est alors utilisé avec une gamme de concentrations relativement étendue.



**Figure 12 :**Préparation des dilutions.

#### V.4. Départ du test :

Les semences de l'orge doivent être examinées et sélectionnées. Les graines décolorées, endommagées ou anormalement petites sont mises de côté.

Déposer 20 g de sol dans chacun des boîtes à germination. À l'aide de pinces de laboratoire, insérer la graine à 1,0 cm de profondeur. Recouvrir légèrement la graine.

Quatre réplicas témoins et quatre réplicas de chacune des quatre concentrations choisies sont utilisés.

Chacun des réplicas contient 4 graines soit 20 graines pour le témoin et 20 graines pour les échantillons à 25% ,50% , 75% ,100 % .

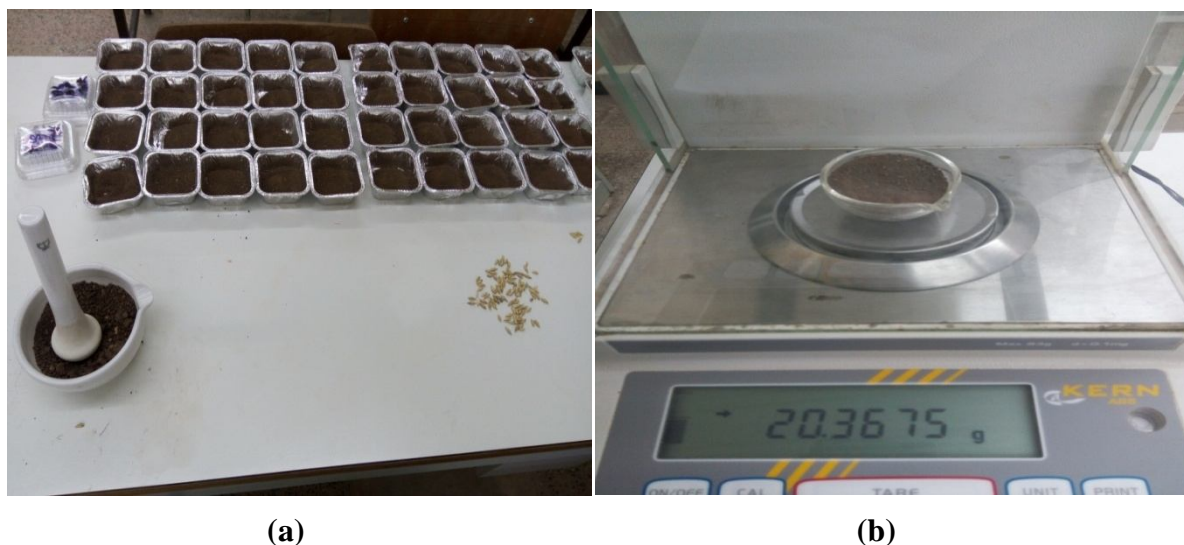
Il en est de même pour les graines de *jusquiame blanche*:

Semez vos graines de jusquiame blanche dans des caissettes, recouvrir de 1 cm puis pulvérisez de l'eau dessus, laissez germer vos semences d'*Hyoscyamus albus* de 2 à 3 semaines.

Les boîtes sont déposées par groupe de cinq dans une chambre de croissance pour une période de sept jours à une température de  $24 \pm 2$  °C, elles sont irriguées par les échantillons préparés et soumis à une photopériode de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Aucune mesure n'est effectuée pendant la période d'exposition et les boîtes ne doivent pas être ouvertes.

L'utilisation d'une seule concentration est insuffisante en raison des écarts de sensibilité des différents processus biologiques de la plante. Les mesures biologiques du test se limiteront à la germination et au développement de plantules.

#### Schéma expérimental



**Figure 13 :**Préparation du sol (a) broyage et tamissage , (b ) pesée



(a) (b)

**Figure 14 :** Préparation des graines de l'orge.

(a) :Tri , (b) :semée.



**Figure 15:**Préparation des graines de jusquiame.



**Figure 16 :** Semée des graines de jusquiame.

#### **V.5. Mesures à la fin du test :**

À la fin de la période de sept jours d'exposition, une observation générale de l'état des graines est effectuée et notée.

Il s'agit de déterminer le succès de germination pour chacun des réplicas, des groupes tests et du témoin. Le critère de germination est l'ouverture de la graine et l'émergence d'une tige de 3 mm. Noter les renseignements relatifs au succès de germination sur la feuille de travail.

On procède ensuite après 15 jours à la mesure du taux de développement des plantules.

Les réponses moyennes du témoin et des quatre réplicas des groupes tests sont calculées pour les mesures biologiques et sont rapportées sur des diagrammes de contrôle.

#### **-Acceptabilité des résultats :**

Les résultats du test sont acceptables si :

- le pourcentage de germination dans les contrôles est supérieur ou égal à 90 % ;
- les conditions d'application du test (température, luminosité, etc.) ont été respectées.

#### IV .MESURES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour mesurer la qualité des eaux usées, nous avons fait des prélèvements dans les différents regards, en l'occurrence *AB V*, *AB P*, *OEB*, *Kh V* et *Kh P*. L'analyse des prélèvements a été confiée au laboratoire LACIP (laboratoire d'analyse physico chimique des matériaux Ain M'lila)

Tous les échantillons ont été analysés dans un délai de temps court afin de minimiser les phénomènes de floculation, précipitation, transformation, recombinaison et essayer d'éviter d'éventuels changements (qualitativement et quantitativement) des compositions en agents polluants car ces derniers peuvent produire des réactivités importantes.

Les analyses ont été effectuées suivant les normes préconisées pour chaque paramètre ;à savoir :

- **Le pH**, **la température**, **le potentiel redox** ,**la conductivité électrique**, **l'oxygène dissous** sont déterminés sur place (in-situ) à l'aide d'un multi-paramètre analyser Type HACH LANGE.

-**La DBO<sub>5</sub>** est déterminée par la méthode respiratoire à l'aide d'un DBO-mètre marque Aqualytique selon la technique décrite par la norme.

-**La DCO** est déterminé par l'oxydation en milieu acide par l'excès de dichromate de potassium à la température de 150°C des matières oxydables dans les conditions de l'essai en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure .

- **Les matières en suspension** sont déterminées par filtration d'un volume d'eau usée sur filtre cellulose (de 0,45 µm).

- **Les Orthophosphates** sont déterminés par la méthode colorimétrique par complexophosphomolybdique.

- **Les Nitrates** sont dosés par la méthode photométrique avec 2,6 - diméthylphénol, la détermination des Nitrites a été effectuée par la méthode photométrique décrite.

- **Les métaux lourds** sont déterminées par spectrophotomètre à absorption atomique SAA de marque Perkin Elmer A700 après étalonnage de chaque paramètre par des solutions étalons de marque Merck.

## 1. Caractéristiques organoleptiques

### 1.1. Couleur :

L'observation à l'œil nu de l'eau à la sortie des stations d'épuration montre qu'elles sont plus claires, moins claires au milieu et plus turbides (noires) à l'entrée. Ces observations indiquent la diminution des MES au niveau des bassins. Les valeurs enregistrées sont conformes aux normes algériennes de rejet (couleur claire) ce qui confirme l'efficacité du traitement dans l'élimination de la pollution particulaire.

### 1.2. Odeur :

L'odeur des échantillons d'eaux des cinq prélèvements était désagréable mais à différents degrés. Ainsi l'odeur la plus désagréable était au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi. Cette mauvaise odeur est due à l'existence soit de produits chimiques ou de matières organiques en décomposition, ou de bactéries clostridiennes qui dégagent le H<sub>2</sub>S (source de mauvaises odeurs) (Rodier, 1996).

## II. Caractéristiques physico-chimiques :

L'évaluation de la pollution des eaux usées brutes ou épurées se fait d'après la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques dont on les a jugés nécessaires et primordiales pour faire une bonne caractérisation des effluents en question.

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes et traitées des STEP de Khenchela, Ain Beida et de la ville d'Oum El Bouaghi sont présentés dans le tableau (voir annexe).

### II.1. Température :

La mesure de la température est très importante, car elle conditionne les autres paramètres, tels que la conductivité électrique, l'oxygène dissous et le pH, ainsi que les réactions de dégradation et minéralisation de la matière organique. L'élévation de la température s'accompagne toujours d'une modification des propriétés de l'eau, la densité et la viscosité qui favorisent l'auto-épuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration (Rodier *et al.*, 2005).

La valeur de la température enregistrée dans tous les prélèvements est autour de 20,5°C et est considérée comme valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation.

## II.2.pH :

Selon Rodier, le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Le pH, indique la présence d'une faible alcalinité de ces eaux usées qui proviennent généralement des rejets domestiques (eau du savon, fèces, urine et ordures), son rôle est capital pour la croissance des microorganismes. Dans le cas d'une station d'épuration des eaux usées, une eau acide aura tendance à corroder ou à user l'équipement alors qu'une eau alcaline occasionnera des dépôts de tartre dans les conduites.

La plage de pH acceptable dans le cas des eaux usées et une eau d'irrigation est de 6,5 à 8,5.

Dans notre cas le pH des eaux usées prélevées est relativement neutre il varie entre 7,3 à l'entrée et 7,4 à la sortie au niveau des stations d'épuration de Ain Beida et Khenchela et une valeur de 7,22 pour les eaux de l'exutoire de la ville d'Oum El Bouaghi .mais ces valeurs restent conformes avec les normes de rejet algériennes ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) et par la suite sont acceptables pour une eau en voie de traitement et pour sa réutilisation en irrigation.(Fig 17).

## II.3. La conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est définie comme étant la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1 \text{ cm}^2$ , elle s'exprime en microsiemens/cm.

Sa mesure permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution.

L'analyse de la figure 17 montre des valeurs de conductivité électrique varient entre  $1265 \mu\text{S/cm}$  (à l'entrée) et  $1271 \mu\text{S/cm}$  (à la sortie) au sein de la STEP d'Ain Beida et entre  $1924 \mu\text{S/cm}$  (à l'entrée) et  $1724 \mu\text{S/cm}$  (à la sortie) de la STEP de Khenchela quant à celle enregistrée au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi est de  $1878 \mu\text{S/cm}$ .

Ces valeurs élevées traduisent une variation plus ou moins importante de la minéralisation exprimée en conductivité moyenne. Ces résultats pourraient être expliqués d'une part par le rejet des eaux usées résiduelles riches en fertilisants artificiels par le biais de l'utilisation des engrais(NPK) et d'autre part au rejet des déchets des battoires ainsi que d'autre rejet municipaux fortement minéralisés raccordés au collecteur de la ville de Oum El Bouaghi , quant à la diminution des valeurs de l'entrée vers la sortie au niveau de la STEP de Khenchela est probablement due au traitement biologique effectué sur l'eau usée. A signaler que des valeurs  $1924 \mu\text{S/cm}$  et  $1878 \mu\text{S/cm}$ , mettent en évidence une forte minéralisation.

La conductivité électrique est l'un des critères de choix pour juger l'aptitude d'une eau à un usage agricole. En générale, jusqu'à  $750\mu\text{S}/\text{cm}$ , l'eau est considérée comme étant de bonne qualité. Au-delà de  $1500\mu\text{S}/\text{cm}$  l'eau est difficilement utilisable pour l'irrigation. Les eaux dont la CE  $25^\circ\text{C}$  dépassent  $20000\mu\text{S}/\text{cm}$  sont inutilisables pour l'irrigation. (Rodier et al., 2005).

La comparaison des valeurs de la conductivité électrique au niveau des eaux usées brute et traitées de la ville de kenchela ainsi que celles brutes de la ville de Oum El Bouaghi avec les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation permet de déduire que ces eaux usées ne sont pas acceptables pour l'irrigation des cultures.

#### II.4.Oxygène dissous :

Selon la figure 17 , l'état d'oxygénation des eaux usées prélevées montre des teneurs dérisoires de l'oxygène dissous de l'ordre de  $0,93\text{ mg/l}$  enregistrées au niveau du collecteur urbain de la ville d'Oum El Bouaghi et autres oscillent entre  $1,1\text{mg/l}$  (entrée) et  $1,89\text{ mg/l}$  (sortie) au sein de la Step de Ain Beida et entre  $1,04\text{ mg/l}$  (entrée) et  $1,23\text{ mg/l}$  (sortie) au sein de la Step de Khenchela. (Fig17).

Ces résultats expriment une forte pollution organique des eaux usées prélevées. Plusieurs phénomènes permettent d'expliquer cette diminution : l'augmentation pendant la journée de la température, les mouvements de l'eau qui engendrent un brassage continu des eaux usées et par conséquent un enrichissement en la matière organique.

A l'entrée des STEP et au niveau du collecteur de la ville d'Oum El Bouaghi ,la perturbation due à un déversement des eaux usées pouvant contribuer à une perte considérable et continue de l'oxygène dissous utilisé par les micro-organismes pour leur métabolisme.

A la sortie des STEP l'eau y est aérée et proche de la saturation en oxygène. L'escalade de la teneur en oxygène en est significative.

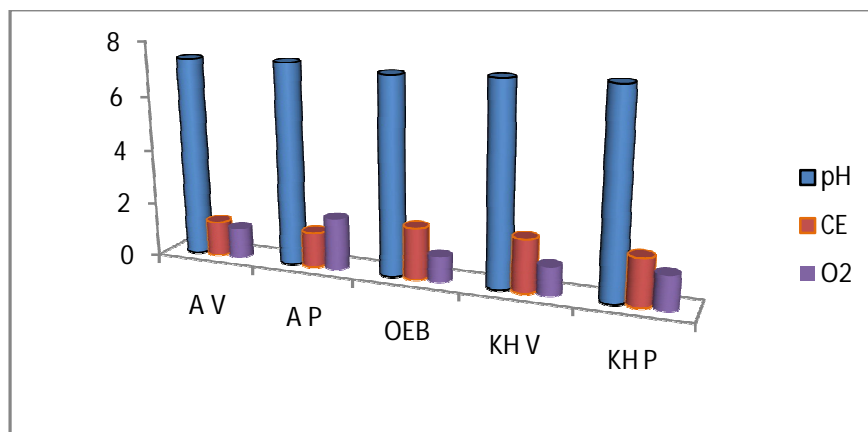


Figure 17 : Variation du pH , conductivité et Oxygène dissous des 5 points de prélèvement.

### II.5. DBO<sub>5</sub>, DCO et rapport DCO/DBO<sub>5</sub> :

Contrairement aux valeurs d'oxygène dissous la pollution organique exprimée en DBO<sub>5</sub> présente des variations importantes entre les différents prélèvements. Les valeurs de DBO<sub>5</sub> enregistrées étant de l'ordre de 412 mg/L (à l'entrée) et 186 mg/l (à la sortie) de la STEP de Ain Beida et de 308 mg/ (à l'entrée) et 190 mg/l (à la sortie) de la STEP de Khenchela et de l'ordre de **401mg/l** enregistrées au niveau du collecteur urbain de la ville d'Oum El Bouaghi. **(Fig18)**.

Les valeurs de la DCO présentent au cours de la campagne d'étude une variation plus au moins proportionnelle à la DBO<sub>5</sub>. Les valeurs varient entre 577 mg/L (à l'entrée) et 361mg/l (à la sortie) de la STEP de Ain Beida et de 517mg/ (à l'entrée) et 359 mg/l (à la sortie) de la STEP de Khenchela et de l'ordre de 689 mg/l enregistrées au niveau du collecteur urbain de la ville d'Oum El Bouaghi. **(Fig18)**.

Les valeurs élevées de la DBO<sub>5</sub> à l'entrée des stations d'épuration et celle du collecteur urbain de Oum El Bouaghi sont tout à fait compréhensibles, et pourraient être expliquées par l'abondance de la matière organique biodégradables dans les eaux usées domestiques. Cependant les valeurs minimales enregistrées à la sortie des stations d'épuration indiquent que le traitement biologique effectué sur l'eau usée est très acceptable.

Les valeurs de la DCO présentent une variation non négligeable. Selon **Asia et Akporhonor (2007)** le potentiel élevé de pollution des eaux usées, telle que mesurée par la DCO , est l'un des plus importants critères utilisés dans la conception d'un traitement des eaux usées avant leurs rejet dans l'environnement.

Pour une meilleure appréciation de l'origine des eaux usées de ces effluents étudiés, le calcul du rapport DCO/DBO<sub>5</sub>, présente un intérêt très important en ce qui concerne la biodégradabilité des effluents.

Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est compris entre 1,65 et 1,94 au niveau des cinq prélèvements ce qui indique que la charge polluante de ces eaux est facilement biodégradable.Ce rapport renseigne également sur l'origine domestique des effluents (rapport compris entre 1.5 et 2. **(Fig18)**.

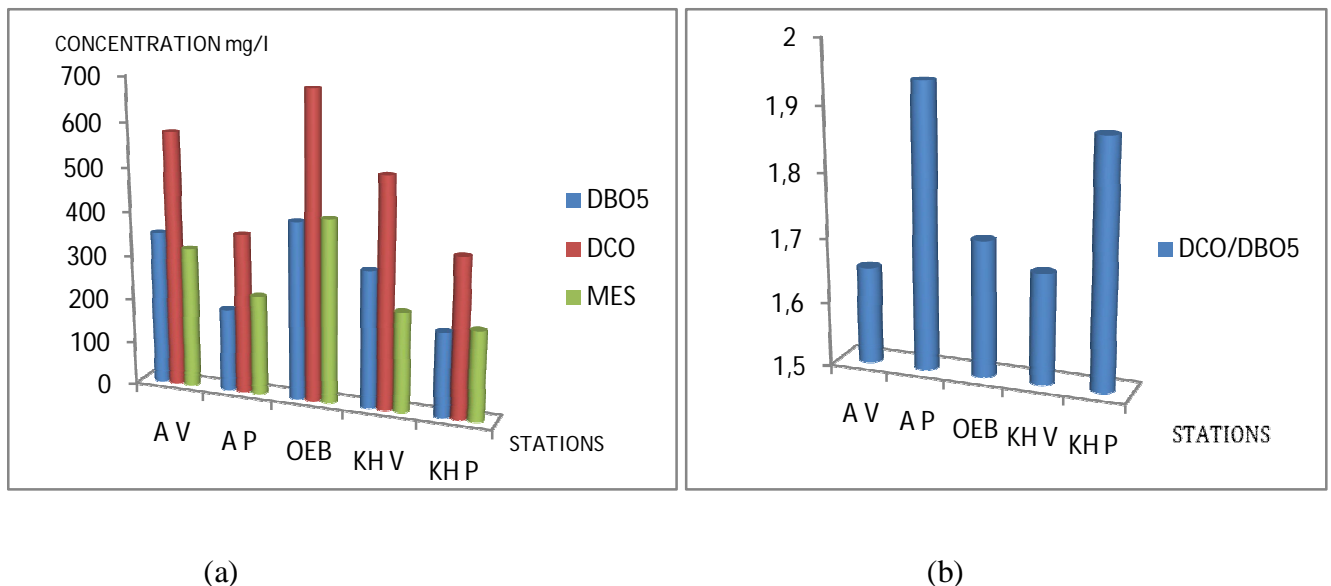
### II.6. Matières en suspensions (MES)

L'analyse de la variation de MES dans la figure 18 Révèle une diminution importante des valeurs de l'entrée vers la sortie des stations d'épuration de Ain Beida et de Khenchela

respectivement 317,1mg/L à 224,3mg/l et 223,4 mg/l à 201,2mg/l et une valeur de 412,5 mg/l enregistrée au niveau du collecteur urbain de la ville d'Oum El Bouaghi.

L'accroissement des taux de MES à l'entrée mettent en évidence la nature urbaine des rejets tandis que la diminution à la sortie est due au traitement d'épuration qu'a subie l'eau usée.

D'une manière générale, les MES interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'adsorption aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les microorganismes. D'après les résultats, on note que les eaux usées des villes étudiées ont les mêmes charges que les eaux usées urbaines algérienne en générale pour lesquelles les concentrations en MES se situent entre 250 et 700 mg/L.



**Figure 18** : Variation du **DBO<sub>5</sub>**, **DCO**, **MES** en(a), **rapport DCO/DBO<sub>5</sub>** en(b).

## II.7. L'Azote :

L'azote présent dans l'eau usée peut avoir un caractère organique ou minéral.

L'azote organique est principalement un constituant des protéines, des polypeptides, des acides aminés et de l'urée. L'azote minéral qui comprend l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), les Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constitue la majeure partie de l'azote total.

### 1. Azote Kjeldahl

Les résultats obtenus indiquent une teneur en azote Kjeldahl qui augmente de l'entrée (49,2 mg/l) vers la sortie (30,3 mg/l) de la station d'épuration de Ain Beida et de 60,3 mg/l de

l'entrée vers la sortie (56,65 mg/l) de la station d'épuration de kenchela et une valeur de 56,6 mg/l au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi. (Fig 19).

En effet l'azote Kjeldhal comporte l'azote présent sous les formes organiques et ammoniacales, à l'exclusion des formes nitreuses et nitriques. Il comprend donc en plus de l'ammoniac l'azote contenu dans les protéines, les polypeptides, les acides aminés et certains composés tels l'urée ou l'hydrazine en particulier. L'origine de l'azote organique peut être :

- La décomposition des déchets organiques (protéines).
- Les rejets organique humains ou animaux (urée).
- Les rejets industriels et notamment fabrique d'engrais azotés.

### 2. Azote ammoniacal :

L'analyse de la figure19, montre qu'au niveau de la station d'épuration les teneurs en azote ammoniacal diminuent de l'entrée (52,6mg/l) vers la sortie (44,2mg/l) de la station d'épuration de Ain Beida et de 51,3 mg/l de l'entrée vers la sortie (50,52 mg/l) de la station d'épuration de Khenchela, on note cependant une valeur de 57,2 mg/l au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi.

Ce décroissement au niveau des STEP est le fait du processus d'épuration biologique par boues activées qui permet de diminuer la charge polluante en  $\text{NH}_4^+$ . Cette baisse est mise en oeuvre par une réaction chimique dite nitrification autotrophique qui fait appel à des bactéries nitrifiantes (ex : *Nitrosomonas europaea*; *Nitrobacter*), et cette nitrification présente un grand intérêt en raison de la moindre toxicité de la forme nitrique par rapport aux formes ammoniacales et nitreuses.

### 3. Les Nitrates et Nitrites :

Les Nitrates comme les autres formes azotés évoluent très rapidement dans le milieu naturel selon le cycle d'azote. Les valeurs de Nitrates enregistrées au niveau des rejets présentent des variations spatiales considérables.

Les teneurs en Nitrates des effluents augmentent de l'entrée (3,14 mg/l) vers la sortie (4,31mg/l) de la station d'épuration de Ain Beida et de 3,18 mg/l de l'entrée vers la sortie (3,22mg/l) de la station d'épuration de kenchela ,on note cependant une valeur de 3,77mg/l au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi (Fig 19).

Ces teneurs peuvent provenir des effluents riches en NPK et en éléments fertilisants issues des épandages agricoles ou bien d'autres sources.

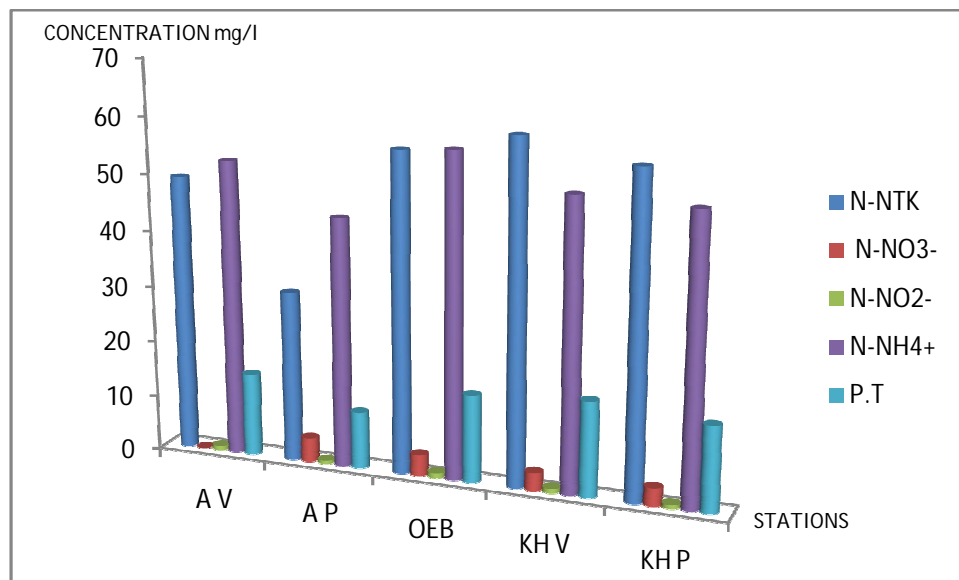
Pour les Nitrites, qui constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés, ils s'insèrent aussi dans le cycle d'azote entre l'ammonium et les nitrates. Les Nitrites

proviennent généralement soit d'une dégradation incomplète d'Ammoniac soit d'une réduction des Nitrates, ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et facilement oxydés en nitrates (par voie chimique ou bactérienne).

Les faibles concentrations en Nitrites rencontrées au niveau des eaux usées étudiées qui oscillent entre 0,772 mg/l et 0,551 mg/l pour la STEP de Ain Beida et entre 0,795 mg/l et 0,711 mg/l pour la STEP de Khenchela et de l'ordre de 0,879 mg/l au niveau de l'exutoire de Oum El Bouaghi (Fig 19), pourraient être expliquées par le fait que l'ion Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium. La comparaison des concentrations moyennes en Nitrates dans les eaux usées analysées avec la norme de qualité des eaux destinées à l'irrigation montre que, ces concentrations sont inférieures à 50mg/L, ce qui permet de déduire que ces effluents sont acceptables pour l'irrigation des cultures.

#### 4. Le Phosphore total :

De même que l'azote ammoniacal, l'évolution des concentrations en phosphore a montré que les effluents bruts sont très concentrés et les valeurs varient entre 14,74 mg/L pour la STEP de Ain Beida et 16,88 mg/l pour la STEP de Khenchela ce qui traduit la nature domestique des rejets. La diminution des teneurs en phosphore à la sortie des STEP est due à sa consommation par les bactéries au cours du processus d'épuration. (Fig 19)



**Figure 19 :** Variation spatiale des teneurs en formes d'azote et de phosphore.

### II.8. Eléments traces métalliques :

La figure 20 montre les variations des concentrations des principaux éléments traces métalliques présents dans les rejets (*Zn, Pb, Cd, Cr T, Cu, Ni*). Les résultats montrent que les quantités de substances sont fortement variables, et ceci quel que soit le rejet. Il y a donc une forte variabilité dans les résultats tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. A signaler que la plus faible concentration est celle du cadmium entre 7-8 mg/l.

Malgré les traitements physico-chimiques, la contamination métallique résiduelle est toujours présente dans les rejets. Cette variation constatée pour les rejets n'est pas maîtrisable car elle dépend des aléas des productions industrielles et de lessivage des chaussées pendant les périodes de crues.

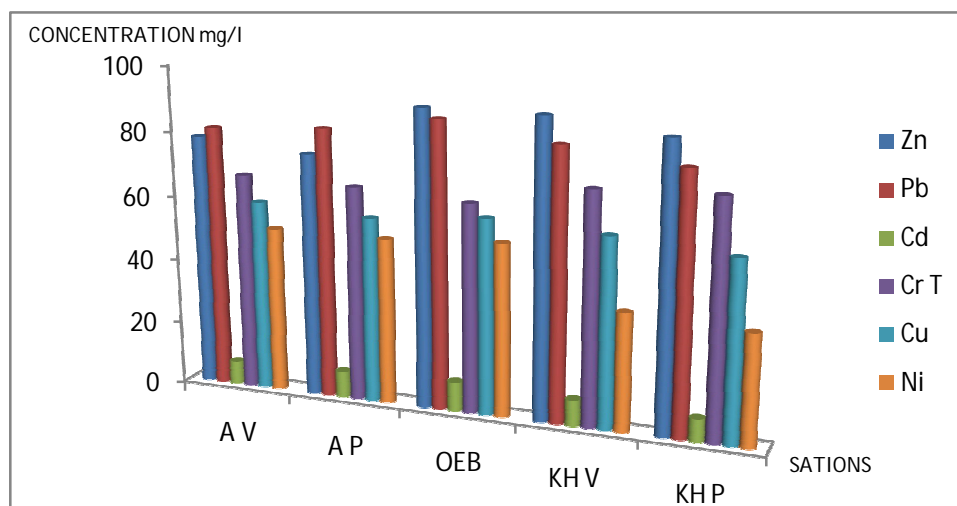


Figure 20 : Variation spatiale des ETM

### III. Volet Écotoxicologique

Afin d'évaluer l'impact des rejets, nous avons procédé à un test biologique normalisé simple en utilisant des végétaux terrestres : *Hordeum vulgare* (orge) et *Hyoscyamus albus L.* (jusquiame blanche). Le pourcentage de germination attendu des semences témoins des deux espèces varie entre 90 et 100 %. Également, le pourcentage de la germination ou de l'inhibition est exprimé sur la totalité des graines sans égard aux réplicas.

Le nombre de graines ayant germé dans le témoin et les concentrations tests sont calculées et sont utilisées pour exprimer le pourcentage de germination par rapport au témoin.

Les Figures 21, 22 et 23 représentent les variations spatio-temporelles du taux de germination et de l'évolution du stade plantule des graines de l'orge et de la jusquiame blanche mises en expérimentation pour les 5 prélèvements. L'utilisation d'une seule concentration est

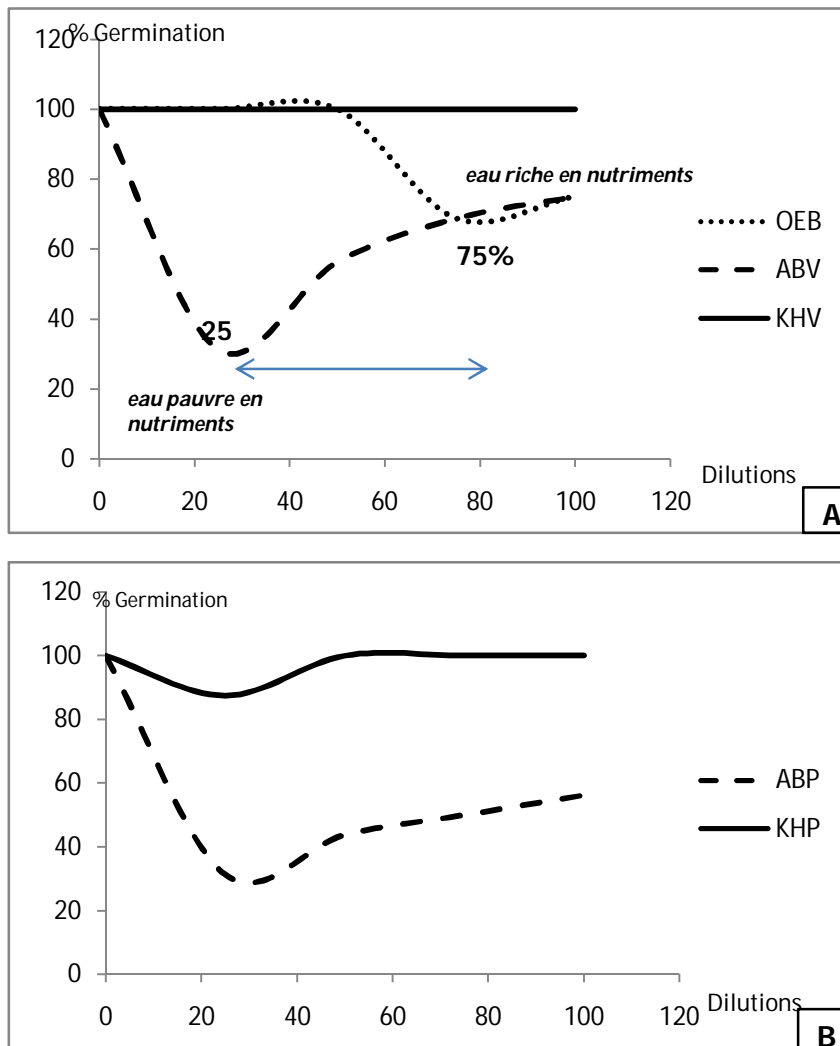
insuffisante en raison des écarts de sensibilité des Différents processus biologiques de la plante.

**Tableau 9 :** Statistiques descriptives des résultats :

| Dilutions                 | 0       | 0,25    | 0,5     | 0,75   | 1      |
|---------------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| Nb. d'observations        | 15 (*4) | 15(*4)  | 15(*4)  | 15(*4) | 15(*4) |
| Minimum                   | 75,00   | 12,50   | 0,00    | 6,25   | 6,25   |
| Maximum                   | 100,00  | 100,00  | 100,00  | 100,00 | 100,00 |
| 1 <sup>er</sup> Quartile  | 75,00   | 31,25   | 37,50   | 43,75  | 56,25  |
| Médiane                   | 100,00  | 31,25   | 56,25   | 68,75  | 75,00  |
| 3 <sup>ème</sup> Quartile | 100,00  | 93,75   | 100,00  | 84,38  | 87,50  |
| Moyenne                   | 91,67   | 56,25   | 60,83   | 60,83  | 66,25  |
| Variance (n-1)            | 148,81  | 1244,42 | 1347,47 | 973,59 | 953,13 |
| Ecart-type (n-1)          | 12,20   | 35,28   | 36,71   | 31,20  | 30,87  |

### **III.1. Résultats du test de germination de l'orge (stade germination)**

- **Les eaux usées brutes :** A travers les trois stations, on remarque une nette variabilité de l'effet des différentes dilutions sur la germination des graines. Au niveau des deux stations (AV et OEB) Une baisse du taux de germination par rapport au témoin a été observée pour la dilution 25% et 75% respectivement. Ce décalage sur la courbe de l'effet des deux stations est du très probablement aux variations significatives de la composition chimique de ces eaux. D'après ces deux dernières observations et on se référant aux teneurs en MES et des valeurs de DBO<sub>5</sub> on peut conclure que les graines de l'orge sont sensibles à la variation de la teneur des eaux d'irrigation en matières organique. Rappelons – nous que les matières en suspension contiennent d'autres éléments indésirables adsorbés donc une augmentation de leur taux indique l'accroissement de la charge toxique. Le résultat obtenu pour les eaux brutes de la station de Khenchela est complètement différent des autres stations. Le taux de germination était de 100% pour tous les dilutions et répétitions. Notons ici que les eaux sont moins chargées en MES et leur valeur de DBO<sub>5</sub> étant la valeur minimale parmi les autres prélèvements.



**Figure 21 :** Résultats de germination des graines de l'orge.

(A) graines irriguées à l'eau brute.

(B) graines irriguées à l'eau épurée.

- **Les eaux usées épurées :**

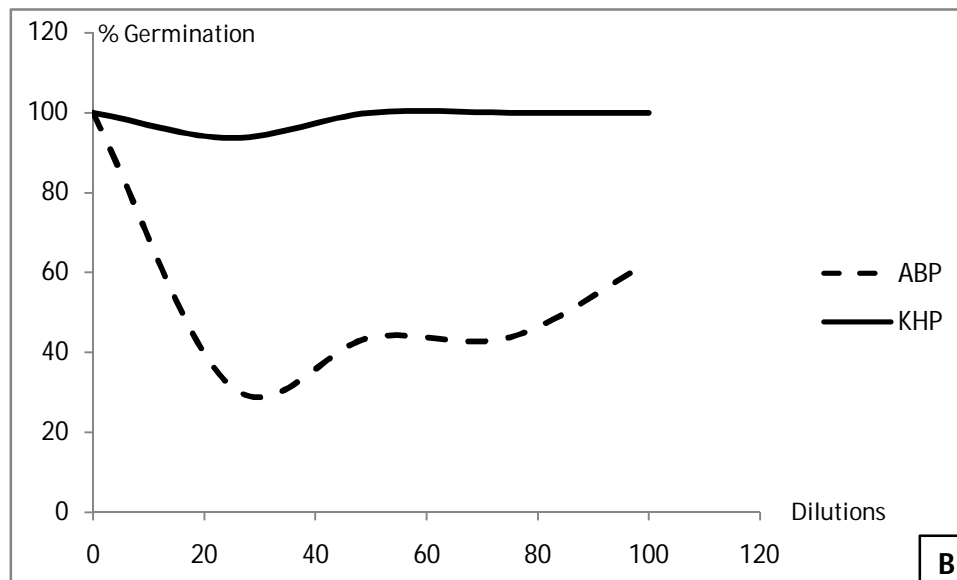
L'analyse de la figure 21 (B) montre une diminution sensible du taux de germination au niveau des deux stations (ABP et KHP). En général, le taux de germination reste toujours au voisin de 100% pour les essais irrigués à l'eau traitée de la STEP de Khenchela cela est dû à l'inefficacité du traitement.

**III.2. Résultats du test de germination de l'orge (stade plantule).**

- **Les eaux usées brutes :**

Les résultats du test après 15 jours (stade plantule) ont montré les mêmes observations que celles obtenues lors du stade de germination à l'exception d'un échec enregistré au niveau de

la station d'Oum El Bouaghi estimé de 5% parmi les 100% de graines germées. Cela est probablement traduit par l'effet des conditions du test ou des variations physiologiques au sein des individus de l'espèce. Les mêmes résultats ont été obtenus pour les eaux usées épurées.



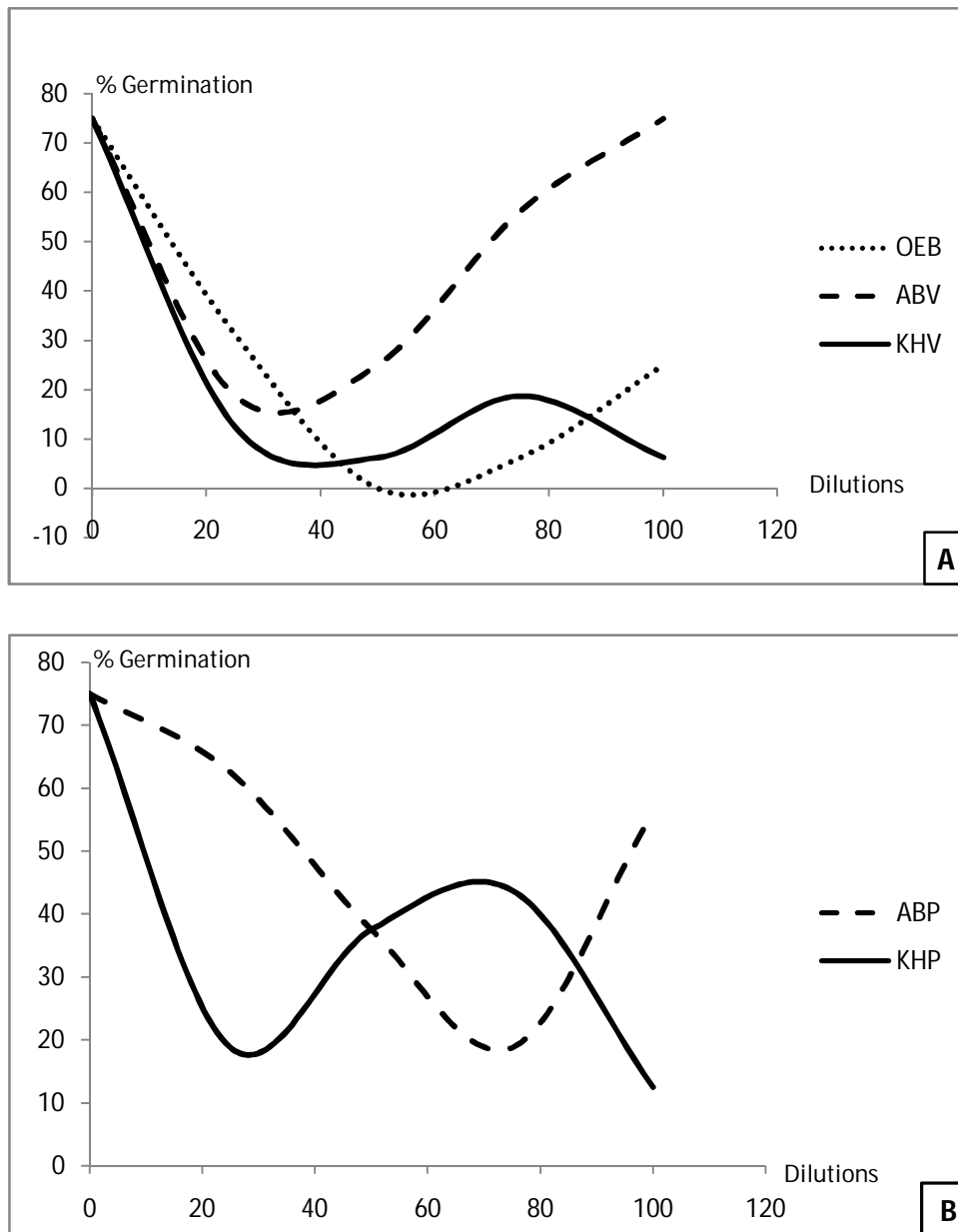
**Figure 22** : Résultats de germination (stade plantule) des graines de l'orge.

(B) graines irriguées à l'eau épurée

### III.3. Résultats du test de germination de la jusquiame blanche :

Contrairement à l'orge, la jusquiame blanche présente des intervalles de tolérance dans les 3/5 des cas. L'espèce est sensible à la diminution de la teneur en nutriments des eaux due à leur dilution. L'irrigation à l'eau brute de la ville d'Ain Beida donne le même taux de germination que celui du témoin.

En ce qui concerne les eaux épurées, la figure 22( B) donnent moins de rendement au niveau de la station d'Ain Beida ce qui confirme la sensibilité de la jusquiame au manque de la matière organique.



**Figure 23** : Résultats de germination des graines de la jusquiame blanche.

(A) graines irriguées à l'eau brute.

(B) graines irriguées à l'eau épurée.

### Analyse hiérarchique ascendante (CHA)

L'analyse en classification hiérarchique ascendante a été effectuée pour l'ensemble des variables qui représentent les dilutions des eaux usées (0, 25, 50, 75 et 100%). L'analyse de la figure 24(A) a mis en évidence 3 regroupements de variables :

- le premier est constitué du témoin.
- le deuxième inclut la dilution 25% dont les eaux sont pauvres en nutriments.

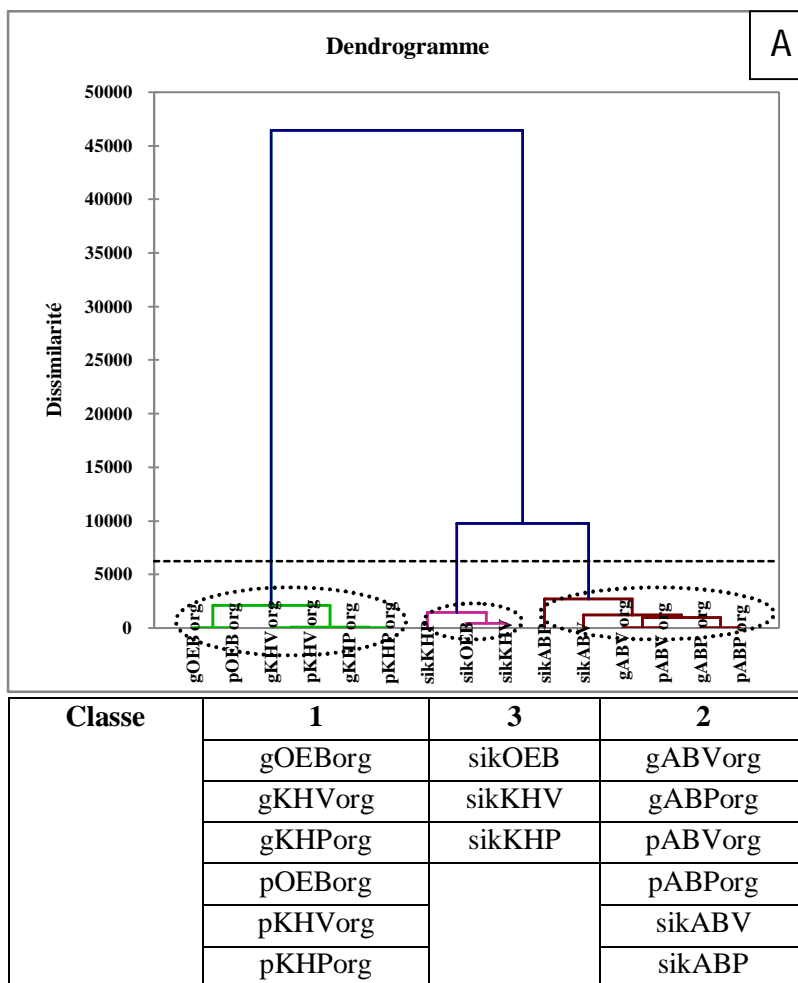
- le troisième associe les dilutions 50, 75, et 100% c'est le profil dominant par rapports aux autres classes il détermine les eaux plus riches en nutriments et en polluants.

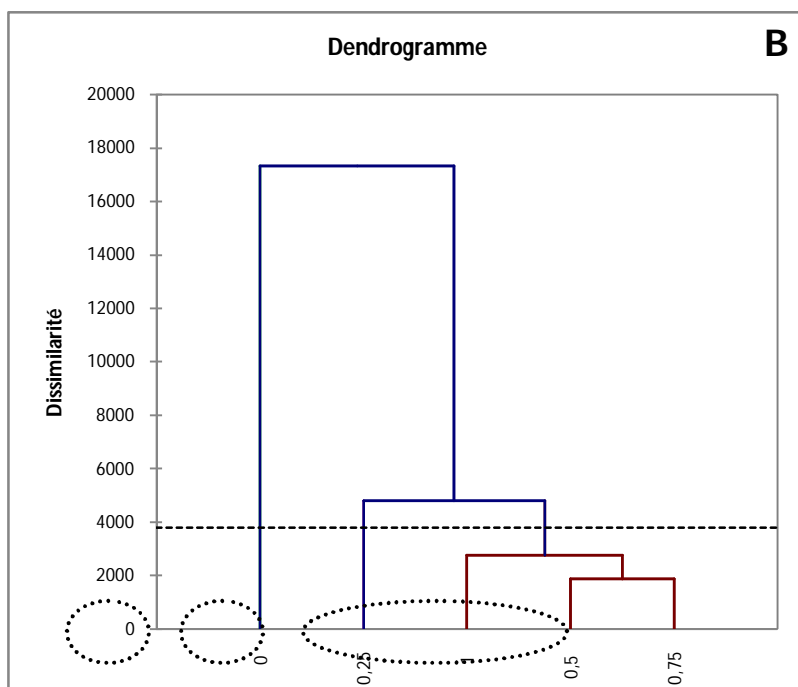
Les classes des échantillons d'eau ont été ainsi déterminées depuis l'analyse du dendrogramme sur la figure 24 (B) à mentionner qu'une analyse de la variance ANOVA sur l'ensemble des sites a démontré une variation significative entre les eaux des trois agglomérations. Trois classes ont été mises en évidence :

La classe 1 : représente uniquement les échantillons de graines d'orge irriguées à l'eau usée brute et épurée des villes d'Oum el Bouaghi et Khenchela. ce sont les semences qui ont réussi d'accéder à un taux de germination élevé, soit 100% pour la ville de Khenchela.

La classe 2 : regroupe les graines d'orge et de sikrane irriguées exclusivement à l'eau brute et épurée de la ville d'Ain Beida. C'est le groupe qui présente le taux le plus bas de germination des deux espèces.

La classe 3 : regroupe les semences du sikrane irriguées aux eaux usées de la ville d'Oum el Bouaghi et Khenchela. Le taux de germination étant le plus bas ce qui indique la sensibilité de cette espèce à la pollution de l'eau par rapport à l'orge.





**Figure 24** : Analyse hiérarchique ascendante..

**(A)** :Dilutions.

**(B)** :Stations.

## Conclusion

---

### Conclusion

Cette étude s'inscrit dans une optique du développement durable, de matériaux recyclables et de protection des milieux naturels récepteurs. Elle a pour objectif principal la caractérisation physico-chimique et écotoxicologique des effluents urbains bruts et traités des villes de Ain Beida, Khenchela et Oum El Bouaghi en vue de leur valorisation agricole. Pour cela nous avons opté pour le choix de deux espèces *L'orge* (*Hordeum vulgare*) et la *Jusquiame blanche* (*Hyoscyamus albus* L.) en raison de leur sensibilité, dominance, facilité et leur cycle qui est mis à profit pour le test de germination de 21 jours.

Les différents paramètres mesurés pour l'eau usée brute indiquent évidemment une pollution importante. Cette eau usée présente une température moyenne de 20°C et un pH légèrement basique favorable à un traitement biologique. Elle se caractérise par une conductivité excessive, une DBO5 élevée ainsi que des fortes teneurs en azote organique. L'ensemble de ces paramètres rend compte d'une pollution importante, situation attendue pour une eau usée.

Après le traitement biologique (eau usée traitée), la température et le pH ne varient pratiquement pas. Mais par contre on note une diminution de la conductivité électrique. Les paramètres relatifs à la pollution organique (turbidité, matières en suspension et demande biochimique en oxygène) diminuent de façon flagrante entre les eaux usées brutes (où enregistrent les valeurs les plus élevées) et les eaux usées traitées (où on enregistre les valeurs les plus faibles).

Pour l'azote, l'évolution de l'entrée à la sortie de la station d'épuration se traduit également par une oxydation de l'azote ammoniacal. Les teneurs des nitrites, nitrates augmentent de l'entrée vers la sortie à cause du processus de nitrification qui transforme l'azote ammoniacal (d'où sa diminution) en nitrates (d'où leur augmentation). Les valeurs d'ammoniaque sont incluses dans la gamme habituelle d'une eau destinée à l'irrigation (0-5 mg/l)

Les phosphates des effluents bruts sont utilisés, durant le traitement biologique, dans le métabolisme bactérien, ce qui provoque la diminution des teneurs en phosphates de l'entrée à la sortie de la station d'épuration.

Les paramètres de pollution des eaux usées traitées déterminés, Matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène: (DBO<sub>5</sub>), les formes d'azote : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et le phosphore (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), montrent que les valeurs de ces paramètres ne présentent aucun danger quant à leur réutilisation en agriculture.,

Quant aux métaux lourds, les résultats ont montré que les concentrations en cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), plomb (Pb), nickel (Ni), et le zinc (Zn) sont inférieures aux normes

## Conclusion

---

requis. Par conséquent elles ne présentent aucune limite ou nuisance pour une utilisation agricole.

Donc les résultats obtenus indiquent que la qualité physico-chimique des effluents ne répond pas toujours aux critères en vigueur. La classification selon le système d'évaluation des critères de qualité des rejets (**J.O Algérien N°26/2006**), a permis de conclure que les eaux brutes de la zone étudiée sont de très mauvaise qualité en ce qui concerne les MES, DBO5, DCO, azote, phosphore.

Concernant l'impact de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation, les résultats des bio-essais menés sur les deux espèces expérimentées ont montré que leur effet a été très hautement significatif sur la quasi-totalité des stades physiologiques (germination, plantules) car elles sont aptes à s'adapter avec cette contrainte en accumulant les éléments nutritifs donc peuvent être utilisées sans danger pour l'irrigation.

### Perspectives

La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

Dans le cadre d'un travail futur, il serait souhaitable que ce travail soit poursuivi et élargi à d'autres espèces de la région.

D'irrigation des cultures avec des eaux usées dans une approche intégrée d'étude de la protection des milieux récepteurs et des systèmes d'assainissement ; il comprend le traitement, le stockage et la valorisation des sous-produits "eau et éléments fertilisants".

Il est à signaler que la mise au point et la validation d'outils et de modèles écotoxicologiques d'évaluation et de prédiction des effets répondent, tout d'abord, aux préoccupations de la communauté scientifique mais également aux attentes des industriels et des autorités et instances chargées de la réglementation et du contrôle.

## *Références bibliographiques*

### (A)

**Adler. L.S.2000.** The ecological significance of toxic nectar. OIKOS Vol.91:3, Copenhagen 2000.412p.

**Ahmed B. S . 2006.** Diagnostic réseau d'assainissement de la ville de Khenchela. Université d'Oum El Bouaghi. <http://www.memoireonline.com/02/13/7025/m>.

**ANDI.2013.** Invest in Algeria .wilaya d'Oum El Bouaghi.4-9 p

**Asano T ,1998.** Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library,1475 p.

**Asia, I.O. et Akporhonor, E.E, 2007.** Characterization and physicochemical treatment of waste water from rubber processing factory. *International Journal of Physical Sciences*, 2(3): 61-67p.

### (B)

**Bachi, O.E.K, 2010 :** mémoire présenté en vue de L'obtention du diplôme de magister thème diagnostic sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux ksar Témacin.Ouargla, 105p

**Bahri A. 1998.,** Wastewater reclamation and reuse in Tunisia, In: Wastewater Quality Management Library, Vol. 10, Ed. T. Asano, Technomic Publishing Co, 877-916.

**Bahri A.1998,** Fertilizing value and polluting load of reclaimed water in Tunisia. *Water. Reserch.* Elsevier Science Ltd ;Vol. 32, n° 11. 3484-3489 p

**Baker, A. J. M., Brooks, R. R. (1989 .** Terrestrial higher plants which accumulate metal elements - a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*, vol 1. 81-126.

**Baumont S., 1997.** Réutilisation des eaux usées épurées : risque sanitaire et faisabilité en île de France .Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France., 222p.

**Baumont S, et al .2004.** Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

### (C)

**Cauchiet al. 1996.** Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, vol 2 : 81-118 p.

(D)

**Desjardins R. 1997.** Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Ecole polytechnique de Montréal, Canada, 303 p.

**Devez A. 2004.** Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse. ENGREF. Montpellier.36p

**Dhib.D.2017.**

**Djeddi. H,2006.** Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines ;Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement .uni .Mentouri Constantine.7 p.

(E)

**Ecosse D, 2001.** Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde.*Mém.D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau »*, Fac. Sciences, Amiens, 62 p.

**Edline F, 1979.** L'épuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.

**Eric T, 1996.** Véronique Petit .Méthodes d'étude de l'écotoxicité : application a l'évaluation de l'impact potentiel des eaux résiduaires d'incendie sur les écosystèmes aquatiques .Journée de l'AFITE "Risques technologiques et pollution de l'environnement quels outils pour les prévoir et les maitriser", Lyon, France.5-18 p.

(F)

**Faby J.A, Brissaud F., 1997.,** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 p.

**FAO, 2002,** The use of treatedwaste water in forest plantations in the neareastregionNeareastforestry commission (15<sup>th</sup> session), 5 p.

**Forbes V.E. &ForbesT.L. 1997.** Ecotoxicologie: Théorie et applications. INRA. Paris.EditionsQuae.256 p.

(G)

**Gaujous D, 1995.** La pollution des milieux aquatiques ; aide mémoire.Ed. Techniques et documentations. Lavoisier.Paris, 220 p.

(H)

**Hannachi .A et al, 2014.**Larhyss Journal ISSN 1112-3680, n°19, 51-62p.

**Husson. R, Gobert. J, 2012** : Guide pratique à l'usage des communes et relatif à l'assainissement eaux usées. 97 p.

(J)

**Journal officiel de la république algérienne** N° 26 du 24 rabie el aouel 1427 ; 23 avril 2006. 5 p

**Journal officiel de la république algérienne** N° 36 du 27 jourmadaethania 1430 ; 21 juin 2009. 17 p

(K)

**Kessira.M,2013.** Valorisation des eaux usées épurées en irrigation Algérie.Synthèse Internationale du Projet "Sécurité d'utilisation des eaux usées en agriculture" Téhéran, Iran, 26-28 Juni 2013. 2p.

(L)

**Lazarova V,1998.** Rôle de la réutilisation des eaux usées pour la gestion intégrée des ressources. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, N° 227, 147 – 157 p.

**Lee M.R, 2006.** Solanaceae III: henbane, hags and Hawley Harvey Crippen. *J R CollPhysicians Edinb*,36: 366–373 p.

**Lunn M. (2001).**, The deliberate indirect wastewaterreusescheme at Essex & Suffolk Water. *Colloque de Noirmoutier*, 4 p.

(M)

**Mahmood U., Yogendra S., Raghunath S., Thakur R, 2001.**2,3-dimethylnonacosane and tropanealkaloidsfrom*Hyoscyamusalbus*.*Phytochemistry*; vol 24(7):1618-1619.

(O)

**ONA .Bilan d'Exploitation de l'Année 2016.**54 p.

**OECD,2003.**Guidelines for Testing of Chemicals: Daphnia magna Reproduction. Test. Procedure 211. Paris, France.21p.

(P)

**Potelon J. L. 1998** .Le guide des analyses de l'eau potable ,univ de l'Isère. Ed.la lettre du cadre territorial. 81-85p.

(R)

**Rodier J, 1996** .L'analyse de l'eau(eaux naturelles résiduaires eaux de mer).Tome II,199-238p.

**Ramade F, 1977**, Ecotoxicologie, éd Masson, Paris, 214p .

**Ramade F.1982** éléments d'écologie appliquée, l'institut national agronomique de paris. 3<sup>ème</sup>Ed. McGraw-Hill, Paris564 p.

**Ramade F, 2000**. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscienceinternational,Paris, 689p.

(T)

**Triffault-Bouchet G, 2004**. Effets sur les écosystèmes aquatiques lenticques des émissions de polluants provenant de différents modes de valorisation/élimination de déchets-Application à des mâchefers d'UIOM et à des boues de dragage de canaux. Thèse. Spécialité : Biologie et Biochimie Appliquées.Chambéry,Vaux en Velin:Université de Savoie et LSE de l'ENTPE,309 p.

(V)

**Vaillant J.R. 1974**. Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413 p.

(Y)

**Yamina .K.2014**. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'uneeau uséeépurée par un lit de plante .Mémoire en vue de l'obtention d'un master professionnel domaine : sciences techniques,56p.

(Z)

**Zeroual.A.2004**.Caractérisation des eaux des oueds el Kleb et Boumerzoug et leurs impact sur l'environnement. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Ecologie et Environnement .uni .Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.67 p.

**Annexe 1 : Evolution par trimestre des indicateurs d'exploitation durant l'année 2016**

| Paramètres d'exploitation                       | Période               |                           |                        |                           |
|---|-----------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|
|   | 1er trimestre<br>2016 | 2ème<br>trimestre<br>2016 | 3ème trimestre<br>2016 | 4ème<br>trimestre<br>2016 |
| <b>Epuration</b>                                |                       |                           |                        |                           |
| Nombre de STEP                                  | 129                   | 130                       | 130                    | 136                       |
| Capacité installée (Eq.h)                       | 8 904 294             | 8 984 294                 | 8 984 294              | 9 064 753                 |
| Volume cumulé des eaux à épurer(m3)             | 47 241 751            | 95 378                    | 142 104 329            | 207 388                   |
| Taux d'utilisation des capacités (%)            | 42                    | 804                       | 40                     | 418                       |
|   |                       | 43                        |                        | 39                        |
| <b>Collecte</b>                                 |                       |                           |                        |                           |
| Nombre de communes transférées                  | 068                   | 1 096                     | 1 097                  | 1 117                     |
| Nombre de centres                               | 262                   | 264                       | 264                    | 269                       |
| Population raccordée (habitants)                | 25 188 232            | 25 602                    | 25 821 180             | 26 024                    |
| Volume cumulé des eaux rejetées (m3)            | 278 380 309           | 728                       | 842 364 786            | 923                       |
| Linéaire géré (km)                              | 48 827                | 554 920                   | 50 101                 | 1 134 564                 |
| Linéaire curé cumulé (km)                       | 1 993                 | 885                       | 5 705                  | 166                       |
| Taux de curage cumulé (%)                       | 4,08                  | 49 735                    | 11,39                  | 50 999                    |
|   |                       | 3 932                     |                        | 7 629                     |
|   |                       | 7,91                      |                        | 14,96                     |
| <b>Relevage</b>                                 |                       |                           |                        |                           |
| Nombre de SR                                    | 439                   | 440                       | 441                    | 447                       |
| Volume cumulé des eaux relevées (m3)            | 67 026 983            | 138                       | 205 508 603            | 276 733                   |
|   |                       | 404 964                   |                        | 487                       |
| <b>Réutilisation des eaux usées épurées</b>     |                       |                           |                        |                           |
| Nombre de STEP concernées                       | 17                    | 17                        | 18                     | 18                        |
| Superficie totale irriguée (Ha)                 | 11 076                | 11 076                    | 11 212                 | 11 212                    |
| Volume cumulé des eaux épurées réutilisées (m3) | 5 215 959             | 10                        | 16 123 869             | 20 867                    |
|   |                       | 641 308                   |                        | 029                       |

**Source :( ONA . 2016)**

**Annexe 2 :** Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration .

| <b>PARAMETRES</b>                                  | <b>VALEURS LIMITES</b>      |
|--|-----------------------------|
| Azote global                                       | 150                         |
| Aluminium  | 5                           |
| Argent   | 0,1                         |
| Arsenic  | 0,1                         |
| Bérylium   | 0,05                        |
| Cadmium  | 0,1                         |
| Chlore   | 3                           |
| Chrome trivalent                                   | 2                           |
| Chrome hexavalent                                  | 0,1                         |
| Chromates  | 2                           |
| Cuivre   | 1                           |
| Cobalt   | 2                           |
| Cyanure  | 0,1                         |
| Demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> ) | 500                         |
| Demande chimique en oxygène (DCO)                  | 1000                        |
| Etain  | 0,1                         |
| Fer  | 1                           |
| Fluorures  | 10                          |
| Hydrocarbures totaux                               | 10                          |
| Matières en suspension                             | 600                         |
| Magnésium  | 300                         |
| Mercure  | 0,01                        |
| Nickel   | 2                           |
| Nitrites   | 0,1                         |
| Phosphore total                                    | 50                          |
| Phénol   | 1                           |
| Plomb  | 0,5                         |
| Sulfures   | 1                           |
| Sulfates   | 400                         |
| Zinc et composés                                   | 2                           |
| Température  | inférieure ou égale à 30 °C |
| PH :   | compris entre 5,5 et 8,5    |

**Source :J.O Algérien N°36/2009**

**Annexe 3 : Valeurs limites des paramètres de rejets dans un milieu récepteur.**

| Paramètres                          | Unité | Valeurs limites | Tolérances aux valeurs limites anciennes installations |
|-------------------------------------|-------|-----------------|--|
| Température                         | °C    | 30              | 30   |
| PH                                  | -     | 6,5 - 8,5       | 6,5 - 8,5  |
| MES                                 | mg/l  | 35              | 40   |
| Azote Kjeldahl                      | "     | 30              | 40   |
| Phosphore total                     | "     | 10              | 15   |
| DCO                                 | "     | 120             | 130  |
| DBO <sub>5</sub>                    | "     | 35              | 40   |
| Aluminium                           | "     | 3               | 5  |
| Substances toxiques bioaccumulables | "     | 0,005           | 0,01   |
| Cyanures                            | "     | 0,1             | 0,15   |
| Fluor et composés                   | "     | 15              | 20   |
| Indice de phénols                   | "     | 0,3             | 0,5  |
| Hydrocarbures totaux                | "     | 10              | 15   |
| Huiles et graisses                  | "     | 20              | 30   |
| Cadmium                             | "     | 0,2             | 0,25   |
| Cuivre total                        | "     | 0,5             | 1  |
| Mercuré total                       | "     | 0,01            | 0,05   |
| Plomb total                         | "     | 0,5             | 0,75   |
| Chrome Total                        | "     | 0,5             | 0,75   |
| Etain total                         | "     | 2               | 2,5  |
| Manganèse                           | "     | 1               | 1,5  |
| Nickel total                        | "     | 0,5             | 0,75   |
| Zinc total                          | "     | 3               | 5  |
| Fer                                 | "     | 3               | 5  |
| Composés organiques chlorés         | "     | 5               | 7  |

**Source :J.O Algérien N°26/2006**

**Annexe 4 :**Les Normes Algériennes de rejets des eaux usées.

| Caractéristiques        | Normes utilisées (algériennes ) |
|-------------------------|---------------------------------|
| Turbidité               | Couleur claire                  |
| Odeur                   | Inexistante                     |
| PH                      | 6,5<PH<8,5                      |
| Conductivité électrique | -                               |
| Température             | 30°C                            |
| DBO <sub>5</sub>        | 40 mg/l                         |
| DCO                     | 120 mg/l                        |
| MES                     | 30 mg/l                         |
| Phosphore total PT      | 2 mg/l                          |

(Yamina. K.2014)

**Annexe 5:**Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé respective pour les eaux usées.

| Caractéristiques              | Normes utilisées (OMS) |
|-------------------------------|------------------------|
| PH                            | 6,5-8,5                |
| DBO <sub>5</sub>              | <30 mg/l               |
| DCO                           | <90 mg/l               |
| MES                           | <20 mg/l               |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | <0,5 mg/l              |
| NO <sub>2</sub>               | 1 mg/l                 |
| NO <sub>3</sub>               | <1 mg/l                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | <2 mg/l                |
| Température T                 | <30°C                  |
| Couleur                       | Incolore               |
| Odeur                         | Inodore                |

(Yamina. K.2014)

**Annexe 6:**Les Normes européennes des rejets des eaux usée

| Caractéristiques   | Normes utilisées (européennes ) |
|--------------------|---------------------------------|
| DBO <sub>5</sub>   | 25 mg/l                         |
| DCO                | 125 mg/l                        |
| MES                | 35 mg/l                         |
| Azote total NT     | 15 mg/l                         |
| Phosphore total PT | 2 mg/l                          |

(Yamina. K.2014)

**Annexe 7:** Les normes de rejet des effluents en matière des paramètres de qualité des effluents traités (normes guides),

| Caractéristiques | Normes  |
|------------------|---|
| PH               | 5,5-8,5   |
| Température      | < 30 ° C  |
| DBO <sub>5</sub> | - pour l'effluent non décanté : 100 mg/l si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 30 kg/j,<br>- 30 mg/l au-delà.   |
| DCO              | - 150 mg/l Pour effluent non décanté,<br>- 300 mg/l si le flux journalier maximal autorisé n'excède pas 100 kg/j,<br>- 125 mg/l au-delà   |
| MES              | - 100 mg/l si le (flux) journalier maximal autorisé par l'arrêté n'excède pas 15 kg/j,<br>- 35mg/l au-delà,<br>- 150 mg/l pour une station d'épuration de lagunage.   |
| NG               | -Azote global, comprenant l'azote organique, l'azote ammoniacal et l'azote oxydé : 15 mg/l en concentration moyenne mensuelle lorsque le flux journalier maximal autorisé est égal ou supérieur à 150 kg/j,<br>-Elle est de 10 mg/l en concentration moyenne mensuelle lorsque le flux journalier maximal autorisé est égal ou supérieur à 300 kg/j |
| PT               | -Phosphore total : 2 mg/l en concentration moyenne mensuelle lorsque le flux journalier maximal autorisé est égal ou supérieur à 40 kg/j,<br>-Elle est de 1 mg/l en concentration moyenne mensuelle lorsque le flux journalier maximal autorisé est supérieur à 80 kg/j.  |

**Source :(Faby et Brissaud, 1997).**

**Annexe 8 : Résultats d'analyse physico-chimique :**

| <b>Paramètres</b>  | <b>Normes</b>             | <b>prélèvement<br/>ABV</b> | <b>prélèvement<br/>t ABP</b> | <b>prélèvement<br/>ent OEB</b> | <b>prélèvement<br/>ent<br/>Kh V</b> | <b>prélèvement<br/>ent<br/>Kh P</b> |
|--|---------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| pH   | NFT90-008 Février 01      | 7.334                      | 7,416                        | 7,221                          | 7,347                               | 7,404                               |
| Conductivité en<br>$\mu\text{s}/\text{cm}$                 | NF EN 27888               | 1265                       | 1271                         | 1878                           | 1924                                | 1724                                |
| Température en °C  | -                         | 20.5                       | 20,5                         | 20,5                           | 20,5                                | 205                                 |
| Oxygène dissous en<br>mg/l d'O <sub>2</sub>                | ISO 5813 : 1983           | 1.10                       | 1,89                         | 0,93                           | 1,04                                | 1,23                                |
| DBO <sub>5</sub> en mg/l d'O <sub>2</sub>                  | NF EN 1899-1 Mai 98       | 348                        | 186                          | 401                            | 308                                 | 190                                 |
| DCO en mg/l d'O <sub>2</sub>                               | NF T90-101 Février<br>01  | 577                        | 361                          | 689                            | 517                                 | 359                                 |
| MES en mg/l  | NF EN 872 Juin 05         | 317.1                      | 224,3                        | 412,5                          | 223,4                               | 201,2                               |
| Azote de kjeldahl<br>(N-NTK) en mg/l                       | NF EN 25663 Janvier<br>94 | 49.2                       | 30,3                         | 56,6                           | 60,3                                | 56,65                               |
| Nitrates N-NO <sub>3</sub> en<br>mg/l                      | ISO7890-<br>3:Décembre88  | 3.14                       | 4,31                         | 3,77                           | 3,18                                | 3,22                                |
| Nitrites N-NO <sub>2</sub> en<br>mg/l                      | ISO 6777: Août 84         | 0.772                      | 0,551                        | 0,879                          | 0,795                               | 0,711                               |
| Azote ammoniacal<br>N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en mg/l | NF T90-015-2Janvier 00    | 52.6                       | 44,2                         | 57,2                           | 51,3                                | 50,52                               |
| Phosphore total<br>P.T en mg/l                             | NF EN ISO 6878 Avril 05   | 14.74                      | 10,10                        | 15,56                          | 16,88                               | 15,13                               |
| Zn en $\mu\text{g}/\text{l}$                               | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 78                         | 75                           | 91                             | 91                                  | 87                                  |
| Pb en $\mu\text{g}/\text{l}$                               | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 81                         | 83                           | 88                             | 83                                  | 79                                  |
| Cd en $\mu\text{g}/\text{l}$                               | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 7                          | 8                            | 9                              | 8                                   | 7                                   |
| Cr total en $\mu\text{g}/\text{l}$                         | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 67                         | 66                           | 64                             | 71                                  | 72                                  |
| Cu en $\mu\text{g}/\text{l}$                               | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 59                         | 57                           | 60                             | 58                                  | 55                                  |
| Ni en $\mu\text{g}/\text{l}$                               | NF EN ISO 15586 Mai<br>04 | 51                         | 51                           | 53                             | 36                                  | 34                                  |

## ملخص

أدت مشاكل نقص وتدهور نوعية المياه إلى زيادة الاهتمام بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في كثير من دول العالم. تهدف هذه الدراسة إلى استعراض تأثير هذه الممارسات على البيئة وعلى وجه الخصوص في المجال الحيوي.

تم تحليل المعايير الفيزيوكيميائية (الناقلية الكهربائية ، درجة الحموضة، الطلب البيولوجي و الكيمائي للأكسجين ،المغذيات الجزئية والكلية والمعادن الثقيلة)لعينات مياه الصرف الصحي المأخوذة من نقاط التفريغ لثلاثة تجمعات : أم البواقي، خنشلة وعين البيضاء. أظهرت النتائج تفاوتاً واضحاً في تركيبة هذه المياه .

تعتبر مياه الصرف الصحي مصدراً هاماً جداً لإنتاج المحاصيل على سبيل المثال،(الشعير (*Hordeumvulgare L.*) بسبب نقص مياه السقي في منطقة السهول المرتفعة وخاصة حوض الطارف.

تكشف الاختبارات الحيوية عن الآثار المترتبة عن السقي بمياه الصرف الصحي المعالجة (ABP / KHP) وغير المعالجة (OEB ABV / KHV) بتخفيفات مختلفة على مردود النباتات للشعير و السكران الأبيض (نبات ذو خاصية علاجية). لم تظهر النتائج أي تأثير لمياه الصرف المعالجة وغير المعالجة لمدينة خنشلة على إنبات الشعير مقارنة بتأثيرها على إنبات بذور السكران (بين 6.25% و 18.75% نامية) بالنسبة للمياه غير المعالجة و (بين 12.5% و 43.75% نامية) بالنسبة للمياه المعالجة . فيما أظهرت مياه الصرف الخاصة بمدينة عين البيضاء أن لديها تأثير أكبر على إنبات بذور الشعير (بين 31.25% و 75% نامية) مقارنة بباقي المحطات.

**الكلمات المفتاحية :** مياه الصرف الصحي، تجارب حيوية ،الشعير ،السكران الأبيض ،السقي ،الإنبات.

## Résumé.

Les problèmes de pénurie et détérioration la qualité de l'eau, ont conduit à un intérêt accru pour la réutilisation des eaux usées traitées dans de nombreux pays du monde. Cette étude a pour objectif l'examen de l'effet de telles pratiques sur l'environnement et précisément sur le domaine biotique. Les échantillons d'eaux usées collectées depuis les points de rejets des trois agglomérations : Oum El Bouaghi, Khenchela et Ain Beida ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimique : (CE, pH, DBO et DCO), micro et macro – nutriments et des métaux lourds. Les résultats ont démontré des variations significatives entre la composition de ces eaux. Les eaux usées sont considérée comme une très importante source pour produire des cultures (par exemple, de l'orge (*Hordeumvulgare L.*) en raison de la pénurie d'eau d'irrigation dans la région des hautes plaines algériennes en particulier du bassin de Tarf. Les bio-essais réalisés devaient enquêter sur les effets de l'irrigation avec les eaux usées traitées (ABP/ KhP) et brutes (OEB/ ABV/ KhV) à différentes dilutions sur le rendement de germination de l'orge et la jusquiame blanche (plante à intérêt thérapeutique). Les résultats ne démontrent aucun effet des eaux brutes et épurées de la ville de Khenchela sur la germination de l'orge par rapport à leur effet sur la germination de la jusquiame (entre 6.25% et 18.75% germées) pour les eaux brutes et (entre 12.5% et 43.75% germées) pour les eaux traitées. Les eaux de la ville d'Ain Beida semblent avoir plus d'effet sur la germination de l'orge (entre 31.25% et 75% germées) parmi les autres stations.

**Mots clés :** *eau usée, bio-essai, orge, jusquiame blanche, irrigation, germination.*

## Summary.

Shortage problems and deteriorating quality of water, have led to increased interest in the reuse of treated wastewater in many countries of the world. The purpose of this study is to examine the effect of such practices on the environment and specifically on the biotic domain. The wastewater samples collected from the discharge points of the three cities Oum el Bouaghi, Khenchela and Ain Beida have been characterized : (EC, pH, BOD and COD), micro and macro - nutrients and heavy metals. The results showed significant variations in the composition of these waters. Wastewater is considered to be a very important source for producing crops (eg barley (*Hordeum vulgare L.*) due to the shortage of irrigation water in the Algerian High Plains region and especially the Tarf basin. The bioassays were to investigate the effect of irrigation with treated wastewater (ABP / KhP) and not treated (OEB/ ABV / KhV) at different dilutions on germination of barley yield and white henbane (plant of Therapeutic interest). The results show no effect of the raw and purified waters of the town of Khenchela on the germination of barley compared to their effect on the germination of the white henbane (between 6.25% and 18.75% germinated) for the raw water and (between 12.5% and 43.75% germinated) for treated water. The waters of the town of Ain Beida seem to have more effect on the germination of barley (between 31.25% and 75% germinated) among the other stations.

**Keywords:** *wastewater, bioassay, barley, white henbane, irrigation, germination.*