



Licence Sciences et Techniques (LST)

Technique d'Analyse et Contrôle de Qualité  
« TACQ »

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

**Caractérisation et épuration des eaux usées  
de la ville de Meknès**

**Présenté par :**

◆ Sarah NASSIRI

**Encadré par :**

◆ Mr. Abdelaziz BOUHLAL (Société)  
◆ Pr. Khalid MISBAHI (FST)

**Soutenu Le 08 Juin 2017 devant le jury composé de:**

- Pr. Youssef KANDRI RODI  
- Pr. Fouad OUAZZANI CHAHDI  
- Pr. Khalid MISBAHI

**Stage effectué à l'ONEE/BE Meknès**

**Année Universitaire 2016 / 2017**

# *Remerciement*

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidé lors de la rédaction de ce rapport :

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à mon professeur, **Mr. Khalid MISBAHI** pour son encadrement, ses précieux conseils et son aide durant toute la période de travail.

Je tiens à remercier vivement mon encadrant de stage, **Mr. Abdelaziz BOUHLAL, responsable du service de contrôle de qualité au sein de l'office**, pour son accueil, son expérience qui m'a permis d'évoluer rapidement dans l'apprentissage dans le domaine du contrôle de la qualité et surtout pour sa confiance.

Je remercie également les membres du jury **Mr. Youssef KANDRI RODI** et **Mr. Fouad OUAZZANI CHAHDI** qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'examiner mon travail.

Je souhaite remercier aussi tout le personnel au sein de laboratoire **Mr Youssef ALAOUI, Mr Mohammed MAALAM, Mme Nada ELMIDAOUI** et **Mlle Zahra AMHAWECH** pour leur accueil, leurs renseignements, leur gentillesse, leur soutien et leur disponibilité.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont encouragé durant mon parcours : Mes parents, ma famille et mes chers amis.

*Merci*

# Sommaire

**Remerciement**

**Liste des abréviations**

**Introduction ..... 1**

**L'eau usée : généralité et traitement ..... 2**

**I. Généralité sur les eaux usées..... 2**

1. Définition ..... 2

2. Origines..... 2

3. Caractérisation..... 3

**II. Traitement et épuration des eaux usées ..... 6**

1. Prétraitement..... 6

2. Traitement primaire..... 8

3. Traitement secondaire..... 8

4. Traitement tertiaire..... 8

**Partie expérimentale ..... 11**

**I. Méthode et matériel..... 11**

**1. Paramètres de caractérisation des eaux usées ..... 11**

a. Température ..... 11

b. pH..... 11

c. Conductivité ..... 12

d. Turbidité ..... 13

e. Matière en suspension ..... 13

f. Demande chimique en oxygène ..... 14

g. Demande biochimique en oxygène ..... 16

h. L'oxydabilité ..... 17

i. L'oxygène dissous ..... 17

j. Les nitrates ..... 18

k. L'ammonium ..... 20

**2. Epuration des eaux usées ..... 21**

**II. Résultat et discussion..... 25**

**Conclusion..... 27**

**Webographie..... 28**

# *Liste des abréviations*

**ERU** : Eaux résiduaires urbaines

**MES** : Matière en suspension

**NTU**: Nephelometric turbidity unit

**DCO**: Demande chimique en oxygène

**DBO5** : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours

**STEP**: Station d'épuration

**NED**: N-(1-Naphtyl) éthylènediamine

**MR**: Matériel de référence

**DPD** : Diéthyl-*p*-phénylènediamine

# Introduction :

L'eau ne peut être considérée comme un produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégé, défendu, et traité comme tel.

Elle est une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

Après usage, l'eau se charge en polluants et est rejetée dans le milieu naturel, en détériorant les eaux de surfaces ainsi que les eaux souterraines.

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérés par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs. C'est pourquoi dans un souci de respect de ces différents milieux récepteurs, des traitements d'abattement ou d'élimination de ces polluants sont effectués dans tous les effluents urbains ou industriels.

La dépollution des eaux usées urbaines nécessite une succession des étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre, au minimum d'éliminer la majeure partie de pollution carbonée.

Alors quelle est la définition de ces eaux et quelles sont ses origines ? Comment peut-on les caractériser ? Et quelles sont les méthodes utilisées lors de son épuration ?

# L'eau usée : Généralité et Traitement

## I. Généralités sur les eaux usées :

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

### 1. Définition :

Les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

### 2. Origines :

#### ➤ Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques... et en eaux-vannes qui sont les rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

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

- 90 grammes de matières organiques ou minérales (en suspension dans l'eau sous forme de particules).
- 57 grammes de matières oxydables.
- 15 grammes de matières azotés.
- 4 grammes de phosphore (issus des détergents).
- 0,23 grammes de résidus de métaux lourds (**plomb**, cadmium, arsenic, mercure...).
- 0,05 grammes de composés (fluor, **chlore**, brome, iode...).
- 1 à 10 milliards de germes par 100 ml.

#### ➤ Les eaux usées industriels :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures... Certaines d'entre elles font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne

présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution.

#### ➤ Les eaux pluviales et de ruissellement :

Elles peuvent constituer une cause de dégradations importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. Les eaux de pluie ne sont pas exemptes de pollutions : au contact de l'air, elles se chargent d'impuretés (fumées industrielles, résidus de **pesticides**...), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus, métaux lourds...).

#### ➤ Les eaux usées agricoles :

L'utilisation en agriculture des engrais chimiques de synthèse (engrais phosphatés et azotés), des pesticides ainsi que les effluents des élevages constituent des sources diffuses de pollution des eaux d'origine agricole à travers les sols (lessivage, percolation, lixiviation). Ces substances chimiques peuvent soit s'infiltrer dans le sol et atteindre la nappe phréatique, soit être lessivées par les eaux de pluie et drainées dans les eaux usées. Les engrais chimiques contiennent certains métaux et métalloïdes à l'état de trace, surtout le cas des superphosphates constituant ainsi une pollution du milieu récepteur.

### 3. Caractérisation des eaux usées :

La composition des eaux usées s'analyse par le biais de diverses mesures physiques, chimiques et biologiques. Les analyses les plus fréquentes comportent :

#### ➤ La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc.

#### ➤ Le potentiel Hydrogène (pH) :

Le pH permet d'exprimer le caractère acide ( $\text{pH} < 7$ ) ou basique ( $\text{pH} > 7$ ), sa valeur dépend des équilibres ioniques dans l'eau, il a une grande influence sur la répartition des métaux lourds dans l'eau. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique, il influence de nombreuses réactions physico-chimiques et la distribution des microorganismes impliqués dans la dégradation des matières organiques.

Le pH peut s'exprimer par la concentration en  $H_3O^+$  (noté  $H^+$  pour simplifier). De manière à faciliter cette expression ; on utilise le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ion  $H^+$  : c'est le pH.

$$pH = \log 1/[H^+]$$

### ➤ La Conductivité :

La conductivité électrique est la mesure de la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ions chargés électriquement, elle permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également en fonction de la température de l'eau ; elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Elle s'exprime en  $\mu S/cm$  (micro Siemens par centimètre).

### ➤ La matière en suspension (MES) :

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES).

Les MES représentent l'ensemble des matières solides, organiques ou minérales contenues dans une eau usée et pouvant être retenues par filtration ou centrifugation. Elles permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau. La plus grande partie des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées, est associée aux MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble et, souvent un mauvais goût et une mauvaise odeur. Les MES empêchent la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et représentent une surface d'attache pour les bactéries.

### ➤ La Turbidité :

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables : Unité JTU (Jackson



Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

### ➤ la demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La DBO5 représente la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pendant cinq jours pour décomposer la matière organique des eaux usées à une température de 20 °C, grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie, elle est utilisée pour tester la force des eaux usées municipales traitées et non traitées et celle des eaux industrielles biodégradables.

Ce paramètre exprimé en mg d'oxygène par litre (mg O<sub>2</sub>/l).

### ➤ la demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique en utilisant du bichromate dans une solution acide pour la transformer en dioxyde de carbone et en eau, elle est utilisée pour tester la force des eaux usées qui ne sont pas biodégradables, ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des microorganismes.

### ➤ Les nitrates :

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/an, voire 2 mg/l/an dans certaines régions.

### ➤ L'azote ammoniacal :

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et non ionisées (NH<sub>3</sub>) de cette forme d'azote. L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous

forme ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{NH}_4\text{OH} \longrightarrow \text{NH}_4^+ , \text{OH}^-$

## II. Traitement et épuration des eaux usées :

Le **traitement des eaux usées** est l'ensemble des procédés visant à dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation.

La station d'épuration (STEP) permet de traiter les eaux polluées de manière à réduire considérablement leur degré d'altération pour qu'elles puissent être réutilisées ou rejetées dans le milieu récepteur sans impacts. Les normes de rejet (tableau 1) précisent les caractéristiques de ces eaux selon l'usage ultérieur et imposent par conséquent le niveau d'épuration à atteindre.

Paramètre	Norme
DBO5	120 mg/L
DCO	250 mg/L
MES	150 mg/L

**Tableau 1 : Norme de Rejet**

Une station d'épuration comprend en général les étapes de traitement suivantes :

- Prétraitements
- Traitements primaires
- Traitements secondaires
- Traitements tertiaires

### 1. Prétraitement :

L'objectif principal de cette étape est de séparer de la phase liquide les matières solides grossières, parmi les étapes de prétraitements on peut citer : le dégrillage, le dessablage, déshuilage et le dégraissage.

#### ➤ Dégrillage

Il a pour but d'éliminer toutes les impuretés qui pourraient, par obstruction, provoquer dans les pompes des difficultés de fonctionnement, cette étape est très importante parce qu'elle permet de soumettre les eaux usées aux traitements ultérieurs sans trop de problèmes.



**Image 1 : Dégrilleur**

### ➤ Dessablage

Les dessableurs sont utilisés pour la sédimentation de particules minérales contenues dans les eaux usées et ayant une taille de 0,2 à 2 mm. Selon le principe de fonctionnement on distingue deux types de bassin de dessablage : Les dessableurs longitudinaux et les dessableurs circulaires.



**Image 2 : Dessableur longitudinal**



**Image 3 : Dessableur circulaire**

### ➤ Déshuilage et dégraissage

Des séparateurs d'huiles spéciaux ont été réalisés pour séparer l'huile minérale et les produits pétroliers provenant des eaux résiduaires des raffineries. La séparation des huiles se fait dans cette étape par flottation.



**Image 4 : Dégraisseur**

## 2. Traitement primaire

Dans l'épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation qui permet d'éliminer la majeure partie des matières en suspension. Cette étape permet d'éliminer 70% environ des matières minérales et organiques en suspension qui se déposent au fond du bassin où elles constituent les boues dites "primaires".

Les performances de la décantation peuvent être améliorées en cas des eaux potables par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) qui neutralisent les particules chargées, en augmentant ainsi la probabilité de collision entre les particules (coagulation, floculation), ainsi que la formation des floccs par la suite facilement décantables. Cette étape permet d'éliminer 90 % des matières colloïdales.

## 3. Traitement secondaire

Il consiste à utiliser les bactéries pour éliminer les polluants restants. Cette étape est accomplie en forçant le mélange entre les eaux usées, les bactéries et l'oxygène, l'oxygène aide les bactéries à éliminer plus rapidement les polluants. L'eau est ensuite acheminée dans d'autres réservoirs où les particules solides se déposent à nouveau dans le fond, le traitement secondaire élimine entre 90 et 95% des polluants, soit un abattement de 85 à 90% de la DBO5 et 90 à 99% des bactéries coliformes selon la réaction suivante :

**Eau usée + biomasse + oxygène → Eau épurée + accroissement de la biomasse + gaz**

## 4. Traitement tertiaire

L'expression «Traitement tertiaire» peut désigner plusieurs types de traitements ou différentes fonctions en vue d'atteindre un niveau de traitement de qualité supérieure à ce que l'on pourrait normalement atteindre d'un traitement secondaire. Le traitement tertiaire peut viser un enlèvement plus poussé pour des paramètres conventionnels comme les matières en suspension ou encore certains paramètres pour lesquels il y a peu d'élimination dans un traitement secondaire comme le phosphore, les nitrates ...etc.

**Exemple :** Station d'épuration de la ville d'Ain Taoujdate



**Image 6 :** Ouvrage d'arrivé (Déssableur et mesure de débit)



**Image 7 :** Bassin de traitement primaire



**Image 8 :** Bassin de traitement secondaire





**Image 9** : Rejet des eaux épurées

# Partie expérimentale :

## I. Méthodes et Matériels :

Notre travail sera axé sur la caractérisation des eaux usées de la ville de Meknès exactement dans la zone « Toulal » et l'épuration de ces eaux dans le but de diminuer leur charge polluante.



**Image 10 :** Rejet des eaux usées de la zone « Toulal »

### 1. Paramètres de Caractérisation :

#### a. La température :

La mesure de la température se fait à l'aide d'un thermomètre sur terrain, on mesure à la fois la température de l'eau et de l'air.

#### Résultats :

**T eau = 23°C**

**T air = 25°C**

#### b. Le potentiel Hydrogène (pH) :



**Image 11 :** pH mètre

La mesure de pH se fait par un pH-mètre à l'aide d'une électrode de verre sur place, elle est importante dans la détermination de l'agressivité d'une eau.

pH < 5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux
pH = 7	Eau neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines

**Tableau 2 :** Classification des eaux d'après leur pH

**N.B :** Le pH est une grandeur sans unité.

**Résultats :**

**pH = 7,44**

⇒ La valeur du pH se trouve aux limites d'acceptabilité qui se situe entre 6,5 et 8,5 donc il n'ya aucun dépassement.

**c. La conductivité :**

La mesure de la conductivité d'une solution s'effectue par un conductimètre en immergeant dans l'eau une cellule de mesure comportant deux électrodes de platine. Le conductimètre affiche directement une conductivité.



**Image 12 :** Conductimètre

⇒ La conductivité donne des informations sur la salinité de l'eau ; plus la conductivité est élevée plus l'eau est saline.



## Résultats :

**Cond. = 1281  $\mu\text{S}/\text{cm}$**  à  $T=20^\circ\text{C}$

⇒ La conductivité de cette eau est élevée, cela est due probablement à la quantité des minéraux dissous dans l'eau, mais elle ne dépasse pas la limite de la réglementation (2700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

### d. La turbidité :

On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (NTU) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau.



**Image 13 : Turbidimètre**

La turbidité peut être causée par :

- des particules organiques comme des matières animales ou végétales décomposées ou des organismes vivants (par exemple des algues).
- des particules inorganiques (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium).

## Résultats :

**Turb. = 291 NTU**

⇒ La turbidité de l'échantillon est très élevée ce qui signifie que cette eau contient des matières en suspension organiques ou inorganiques, cette valeur dépasse beaucoup la norme (5 NTU).

### e. La matière en suspension (MES) :

On détermine la MES en utilisant la méthode par filtration sur une membrane filtrante de diamètre de  $0,45 \mu\text{m}$  ; on pèse la membrane (M1) avant de filtrer 100 ml de l'échantillon à l'aide

d'une pompe à vide puis on la met dans l'étuve à 105°C pendant 2 heures pour la sécher et on la pèse à nouveau (M2).



**Image 14 :** Les étapes de la filtration de la matière en suspension

Le calcul de la MES (matière en suspension) dans un litre d'eau est déterminée par la relation :

$$\text{MES} = \frac{(M2 - M1) \times 10^6}{V}$$

V : Volume en millilitre de l'échantillon

M1 : Masse en g du filtre sèche avant utilisation

M2 : Masse en g du filtre+MES après séchage

#### Résultats :

$$\text{MES} = \frac{(20,1038 - 20,0989) \times 10^6}{100} = 49 \text{ mg/L}$$

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

La demande chimique en oxygène (DCO) est un paramètre utilisé dans le contrôle des eaux usées et les études de pollution. C'est la mesure de la quantité équivalente d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la majeure partie de la matière organique et de certains ions inorganiques oxydables ( $S^{2-}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , etc.).

La méthode utilise des tubes jetables avec réactifs intégrés et repose sur le principe qui consiste à oxyder la matière organique avec une solution étalon de bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. Le bichromate de potassium est préféré à d'autres oxydants à cause de son pouvoir oxydant puissant.

### Etalonnage :

Les étalons : On transfère, à l'aide d'une pipette, 3 ml, 5 ml, 20 ml, 35 ml et 50 ml de l'étalon de DCO de 1000 mg/l O<sub>2</sub> dans des fioles de 50 ml, on complète au trait de jauge avec de l'eau. Les concentrations respectives de ces étalons seront de 60, 100, 400, 700 et 1000 mg/l O<sub>2</sub>.

Le blanc de la méthode : Dans un tube on met 2 ml d'eau distillé.

L'ajout dosé : À l'aide d'une pipette on prélève un volume de 1 ml d'échantillon et on ajoute 1 ml d'étalon.

Le duplicata : On pipete un volume d'échantillon identique au volume pipeté pour l'échantillon auquel le duplicata est rattaché.

### Le mode opératoire :

On préchauffe le bloc chauffant à 150°C et on prélève à l'aide d'une pipette 2,0 ml d'un étalon d'étalonnage et on le transfère dans le tube correspondant, de même on prélève 2,0 ml d'échantillon et on le transfère dans le tube approprié puis on place les tubes dans le bloc chauffant équilibré à 150°C et on le laisse a cette température pendant deux heures et on arrête le chauffage du bloc, On le laisse se refroidir pendant 30 min, ensuite on mesure l'absorbance des divers éléments de contrôle de qualité ainsi que des échantillons.



**Image 15 :** préparation des étalons de la DCO

**Remarque :** La mesure de l'absorbance s'effectue à 620,0 nm, et les résultats sont exprimés en mg/l O<sub>2</sub> et sont affichés directement sur le spectrophotomètre.

### Résultats :

**Absorbance** = 0,224 A

**Concentration** = 638,64 mg/L O<sub>2</sub>

### g. La demande Biochimique en oxygène (DBO5) :

La mesure de la DBO5 est faite selon la méthode manométrique basée sur le principe du respiromètre de WARBURG au cours duquel la respiration de la biomasse est directement mesurée par un appareil. Un volume d'échantillon est placé dans des flacons à bouchon rodé.

#### Le mode opératoire :

On mesure la quantité désirée (selon le tableau ci-dessous), on le verse dans la bouteille propre et on introduit l'agitateur magnétique dans chaque bouteille, ensuite on ajoute une pincée de l'allyle thio-urée et on met 2 pastilles d'hydroxyde de potassium dans chaque bouchon intérieur (noir) avec deux pincettes. On le met sur le système d'agitation à 20 °C, et on le laisse s'établir l'équilibre pendant 30 mn, puis on ferme hermétiquement le bouchon, et on relève les valeurs après 5 jours.

La demande biochimique en oxygène pour une analyse dépend de la charge en substances organiques. La mesure de la DBO5 peut être évaluée à environ 80 % de la DCO.

Valeur de DCO	Quantité	Facteur : f
0 – 40	432 ml	1
0 – 80	365 ml	2
0 – 200	250 ml	5
0 – 400	164 ml	10
0 – 800	97 ml	20
0 – 2000	43.5 ml	50
0 – 4000	22.7 ml	100

**Tableau 3 :** Facteur de conversion de la DBO5 en fonction du volume de prise

**Remarques :** - L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO<sub>2</sub> qui sera piégé par une solution de KOH. Ainsi, une dépression se développe dans la bouteille.

- L'addition d'allylethiourée : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>S permet d'inhiber la nitrification car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène.

**La valeur réelle est calculée comme suit :**

$$DBO5 (mgO_2/l) = \text{Valeur lue} \times f$$

Avec f=Facteur

#### Résultats :

**Concentration = 378 mg/L O<sub>2</sub>**

⇒ La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO5, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement.

#### h. L'oxydabilité :

L'oxydabilité consiste à déterminer la quantité d'oxygène exprimée en mg/l cédée par l'ion permanganate et consommée par les matières oxydables contenues dans l'eau.

Son principe est basé sur un chauffage de l'échantillon dans un bain chauffant en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et dans un milieu acide pendant une période donnée, ensuite par la réduction d'une partie de permanganate par les matières oxydables de l'échantillon et la détermination de l'excès de permanganate par addition d'un excès d'une solution d'oxalate de sodium, suivie par tirage de l'oxalate en excès par le permanganate. Il s'agit d'un dosage en retour.

#### Le mode opératoire :

Dans un ballon on met 100 ml de l'échantillon, on ajoute 2 ml d'acide sulfurique et on le plonge dans un bain à 120°C pendant 10 min, ensuite on ajoute 10 ml de permanganate de potassium (coloration violet) et on le remet dans le bain-marie pendant 10 min, puis on ajoute 10 ml d'acide oxalique en agitant jusqu'à incoloration et on réalise le titrage en retour par les permanganates de potassium.

#### **Expression des résultats :**

$$\text{Oxydabilité} = \text{Volume} \times 0,8$$

#### i. L'oxygène dissout :

Il consiste à la détermination de la concentration de l'oxygène dissout dans l'eau. Son principe repose sur l'oxydation de l'hydroxyde manganéux dans une solution fortement alcaline. Par acidification en présence de l'iodure, l'hydroxyde manganique formé est alors dissous, et il se dégage de l'iode libre en quantité équivalente à celle de l'oxygène initialement dissous dans l'échantillon. Cet iode libre est titré au moyen d'une solution de thiosulfate de sodium en se servant d'amidon comme indicateur coloré, après avoir réduit la plus grande partie d'iode

#### Le mode opératoire :

On met 250 ml d'eau dans un flacon et on ajoute 1 ml de la solution Iodure alcalin (KI+NaOH) et 1 ml de sulfate de manganèse et 5 ml d'acide sulfurique concentré (coloration jaune). On prélève 100 ml de la solution préparé dans un erlenmeyer puis on réalise le titrage avec la solution de thiosulfate de sodium jusqu'à incoloration

## Expression des résultats :

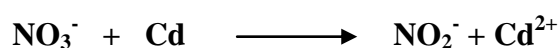
$$O_2 = \text{Volum} \times 1,6$$

### Remarque :

Puisque la charge polluante des eaux est très élevée on n'a pas pu déterminer les valeurs de l'oxydabilité ou bien l'oxygène dissous.

### j. Les nitrates :

Les nitrates sont d'abord réduits en nitrites par passage dans une colonne de chromatographie contenant des grains de cadmium recouverts de cuivre selon la réaction :

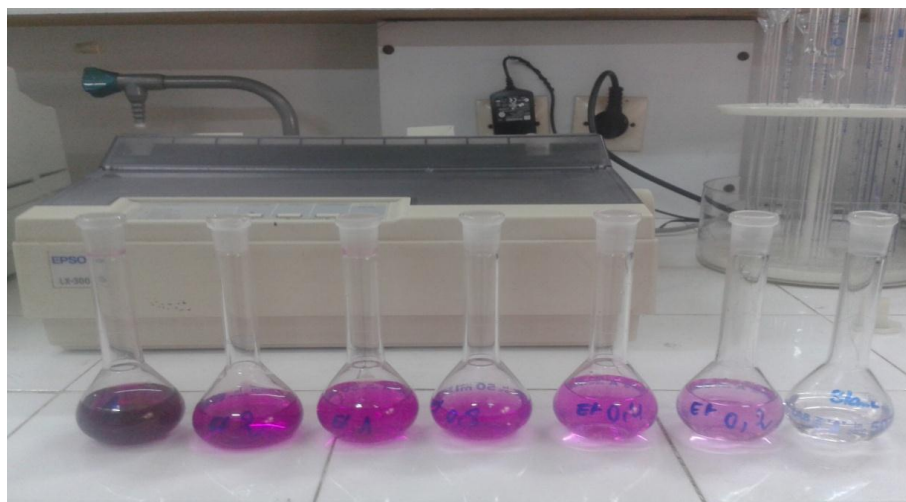


Les nitrites ainsi produits réagissent avec l' amino-4-benzène sulfonamide pour former un composé diazoïque, qui réagit avec le NED (N-(1-Naphtyl)éthylènediamine) pour former un composé rose-violet dont l'absorbance à 540 nm est proportionnelle à la concentration des nitrites.

### Préparation de la gamme d'étalonnage :

Les étalons : A partir d'une solution étalon mère de nitrates de concentration 1g/L on prépare des étalons de concentration de : 0 – 0,2 – 0,4 – 0,8 et 2 mg/L.

Le matériel de référence (MR) : A partir d'une solution MR de nitrates de concentration de 1g/L on prépare un MR de concentration 0,2 mg/L.



**Image 16 :** préparation des étalons pour le dosage des nitrates

### Le mode opératoire :

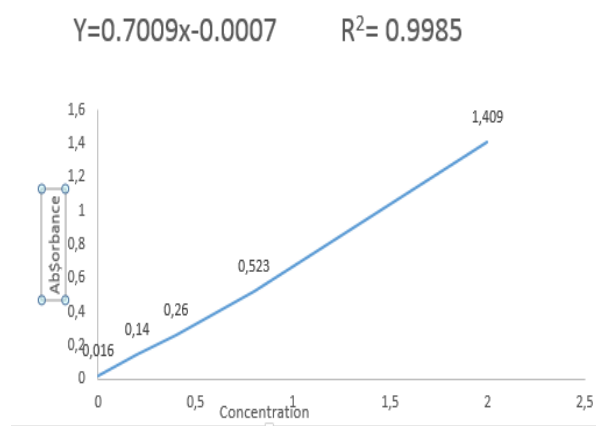
Dans des fioles de 50 ml on introduit 50 ml de l'échantillon et on ajoute 1,25 ml de la solution **tampon concentrée**. On fait passer ce mélange ainsi résultant dans **la colonne de réduction**, on verse les premiers 25 ml et on garde les 25 ml derniers, ensuite on ajoute 1 ml de la solution **AS** (5 g d'amide sulfanilique + 50 ml de HCl concentré dans 500 ml d'eau distillée) à ces 25 ml gardés et 1 ml de la solution **NED** (500 mg de NED dans 500 ml d'eau distillé) puis on les laisse reposer pendant une durée de 20 min à 2h maximum. Finalement on mesure l'absorbance à 540 nm et on trace la courbe d'étalonnage pour qu'on puisse déduire la concentration des échantillons.



**Image 17 :** Dosage des nitrates par spectrophotométrie

### Résultats :

Concentration	Absorbance
Blanc : 0 mg/L	0.016
Etalon 1 : 0,2 mg/L	0.14
Etalon 2 : 0,4 mg/L	0.26
Etalon 3 : 0,8 mg/l	0.523
Etalon 4 : 2 mg/L	1.409
MR : 0,2mg/L	0.288



**Tableau 4 :** Valeurs des absorbances des étalons

**Figure 1 :** Courbe d'étalonnage des nitrates

**Absorbance d'échantillon = 0,099 A ; Concentration × Facteur de dilution = 0,686 mg/L**

Avec facteur de dilution = 10

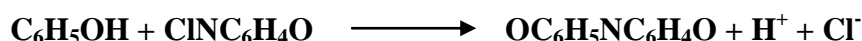
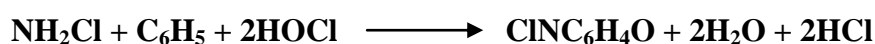
⇒ **La concentration des nitrates dans l'eau est faible, cela est dû probablement à la transformation de ces nitrates en ammonium**



### k. L'ammonium :

En milieu alcalin, l'ammoniaque réagit avec l'hypochlorite et donne une monochloramine, selon la réaction :  $\text{NH}_3 + \text{HOCl} \longrightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$

Le monochloramine forme avec du phénol, en présence de nitroprussiate et un excès d'hypochlorite, du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 630nm, suivant les réactions :



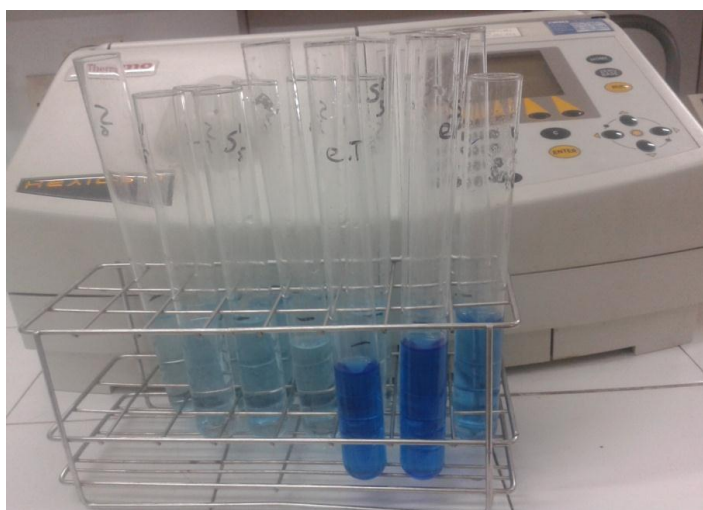
#### Préparation de la gamme d'étalonnage :

Les étalons : A partir d'une solution étalon mère de  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) de concentration 100 mg/L on prépare des étalons de concentration de : 0 – 0,05 – 0,1 – 0,2 – 0,5 et 1 mg/L.

Le matériel de référence (MR) : A partir d'une solution MR de  $\text{NH}_4^+$  de concentration de 1g/L on prépare un MR de concentration 0,5 mg/L.

#### Le mode opératoire :

On introduit 25 ml d'échantillon dans des tubes stériles, on ajoute 1 ml de **citrate** de sodium pour fixer le pH, 1 ml de **réactif A** (13,5 g de phénol + 0,15 g de nitroprussiate dans 500 ml d'eau distillée) et 1 ml de **réactif B** (0,1 g de dichloroisocyanurique + 50 ml de lessive de la soude), et on les laisse reposer pendant une durée de 4h à 24h. On mesure l'absorbance par la suite à une longueur d'onde de 630 nm, puis on trace la courbe d'étalonnage pour en déduire les concentrations des échantillons.



**Image 18 :** les échantillons et les étalons de dosage d'ion d'ammonium



## Résultats :

Concentration	Absorbance
Blanc : 0 mg/L	0,02
Etalon 1 : 0,05 mg/L	0,059
Etalon 2 : 0,1 mg/L	0,108
Etalon 3 : 0,2 mg/L	0,184
Etalon 4 : 0,5 mg/L	0,446
Etalon 5 : 1 mg/L	0,892
MR : 0,2 mg/L	0,199

Tableau 5 : valeurs des absorbances des étalons

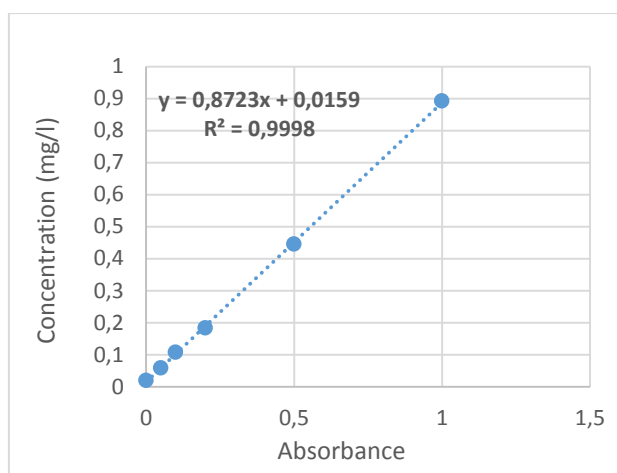


Figure 2 : Courbe d'étalonnage d'ammonium

**Absorbance d'échantillon = 0,680 A ; Concentration × Facteur de dilution = 60,9 mg/L**

Avec facteur de dilution = 100

⇒ La concentration d'ion ammonium est très élevée dans cet échantillon, elle est peut être due soit à des détergents et des désinfectants qui contiennent une quantité remarquable d'ammonium, soit à des engrais utilisés dans le domaine agricole.

## 2. Epuration des eaux usées :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petits, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentrations et très stable, ces derniers n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation-floculation.

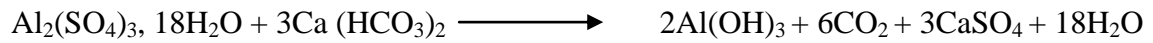
Ce traitement physico-chimique consiste à transformer chimiquement, à l'aide de réactifs, les éléments polluants non biodégradables. Il est mis en œuvre pour répondre à des enjeux particuliers (recherche de performances très élevées), ou lorsque le traitement biologique n'est pas possible (contraintes de place ou de température, variations subites de charge polluante).

### Les étapes de cette épuration :

#### a. Coagulation :

Elle a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, par la neutralisation de leurs charges négatives en leurs fixant des cations, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques, avec une vitesse de 120 tr/min pendant 2 min.

Le coagulant le plus utilisé dans cette manipulation est : Le Sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$  qui réagit avec l'eau selon la réaction suivante :



**Image 19 :** Eau usée Brute



**Image 20 :** Coagulation

#### b. Flocculation :

Elle a pour but de favoriser, à l'aide de l'ajout d'un **poly électrolyte** et d'un mélange lent, avec une vitesse de 40 tr/min pendant 20 min, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qui pourra être facilement éliminé par décantation.



**Image 21 :** Flocculation

- ✓ La détermination de la quantité de réactifs coagulant et floculant a été effectuée par ajout des doses croissantes de ces derniers à un litre d'eau
- ✓ Les doses qu'on a choisies sont regroupées dans le tableau suivant :

La dose de coagulant	La dose de floculant	La turbidité
40 mg/L	0,2 mg/L	3,99 NTU
60 mg/L	0,4 mg/L	2,3 NTU
80 mg/L	0,5 mg/L	3,1 NTU

**Tableau 6** : les valeurs de la turbidité par rapport aux doses de coagulant-floculant

- ✓ Après avoir effectué ces ajouts dosés, on a trouvé que le meilleur résultat est celui du couple coagulant-floculant : **60mg/L - 0,4 mg/L**

#### c. Filtration :

On effectue une simple filtration à l'aide d'un papier filtre pour éliminer les floccs formés dans l'étape de la floculation.



**Image 22** : Filtration

#### d. Addition de charbon actif :

Le but dans cette étape est d'éliminer les odeurs indésirables. On ajoute Une quantité de charbon actif et on le laisse sous agitation pendant quelques minutes puis on le filtre à nouveau. On remarque que l'eau devient sans odeur et même la couleur devient plus claire.



**Image 23 :** Addition de charbon actif

e. Désinfection par le chlore :

Les eaux usées nécessitent un traitement supplémentaire pour éliminer les micro-organismes qui pourraient poser des problèmes sanitaires. On a réalisé ce traitement par l'ajout du chlore qui est un oxydant puissant, il réagit à la fois avec les micro-organismes et avec les molécules réduites et organiques. Pour choisir la quantité du chlore nécessaire on suit la méthode de « **la demande en chlore** » ; Cette manipulation consiste à introduire dans un échantillon d'eau des doses croissantes de chlore, et de mesurer au bout d'une demi-heure le chlore résiduel, et à partir de la courbe on détermine **le break point** ou **le point de rupture**.

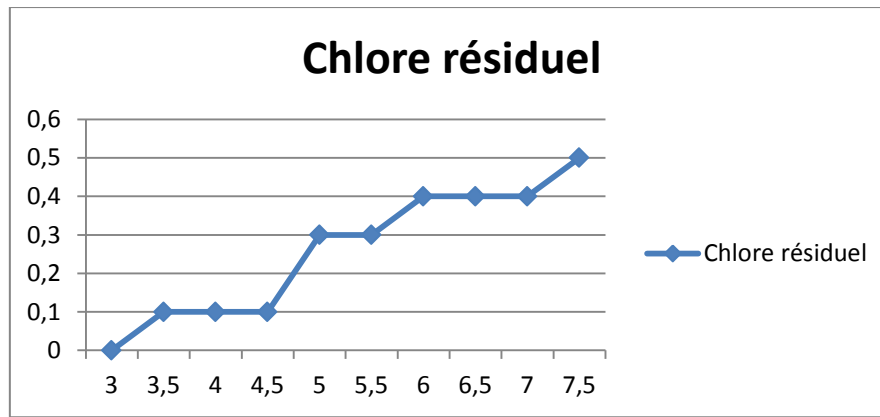
Le mode opératoire :

On dilue la solution d'eau de javel avec de l'eau distillée de façon à avoir une solution à 0,1g/l, on prépare 11 flacons, dans chacun d'entre eux on introduit 100ml d'eau avec des doses croissantes de chlore et on laisse ces flacons à l'obscurité pendant 30min, par la suite on mesure le chlore résiduel avec le comparateur par introduction des réactifs colorimétriques habituels (l'orthotolidine ou DPD).

Résultats :

Flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Chlore introduit	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Chlore résiduel	0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5

**Tableau 7 :** Valeurs du chlore résiduel pour les différentes concentrations du chlore ajoutées



**Figure 3 :** Courbe du chlore résiduel

⇒ D'après la courbe le point de rupture est 5,5 donc on doit ajouter 5,5 ml de chlore de concentration 0,1 g/l.

## II. Résultats et discussion :

Après avoir traité cette eau on a réalisé des analyses sur l'échantillon pour s'assurer que sa charge polluante a diminué.

Les résultats trouvés sont regroupés dans le tableau suivant :

Paramètre	Unité	Résultat	Normes
Température	°C	25	Acceptable
pH	Sans unité	6,98	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	925	$\leq 2700$
Turbidité	NTU	2,3	$\leq 5$
Ammonium	mg/l	61,34	$\leq 0,5$
Nitrates	mg/l	1,114	$\leq 50$
Oxygène dissous	mg/l	5,2	$5 \leq \text{O}_2 \leq 8$
Oxydabilité	mg O <sub>2</sub> /l	2,56	$\leq 5$
Chlore résiduel	mg/l	0,3	$0,1 \leq \text{Cl} \leq 1$

**Tableau 8 :** Résultats des analyses physico-chimique d'eau traitée en comparaison avec les normes

### Remarque :

Pour les eaux traitées la valeur de la DCO et de DBO5 sont nulles, dans ce cas l'oxydabilité et l'oxygène dissout sont suffisants.

### Interprétations :

Les valeurs des paramètres de pollution de l'eau traitée qui ont été réalisés pendant une durée de 15 jours montrent que cette eau est convenable pour la réutilisation puisque tous les paramètres sont à l'intérieur des limites des normes marocaines à l'exception de la valeur de l'ion ammonium qui est très élevée.

L'acidification du pH du à l'ajout du coagulant « sulfate d'alumine » a introduit une diminution de l'alcalinité de l'échantillon.

La conductivité a été diminuée par conséquence la salinité de l'eau et la quantité des minéraux dissouts a diminué.

Pour diminuer la quantité de l'ammonium cet échantillon doit subir un traitement plus poussé c'est la nitrification-dénitrification (**Nitrification** : transformation de l'ion ammonium  $\text{NH}_4^+$  en ion nitrite  $\text{NO}_2^-$  puis en ion nitrate  $\text{NO}_3^-$ , grâce à des bactéries. **Dénitrification** : retour de l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire  $\text{N}_2$ , avec comme produits secondaires du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  et de l'oxyde d'azote  $\text{N}_2\text{O}$ ).

La chute de la valeur de la turbidité nous a permis de dire que la matière en suspension et la charge polluante ont été diminuées avec une quantité acceptable pour confirmer, enfin, que notre but a été atteint.

## Conclusion :

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce travail d'une part, les origines et caractéristiques des eaux usées, et d'autre part, la méthode utilisée pour leur épuration.

Les eaux usées sont très concentrées en polluants, leurs réutilisations brutes présentent des risques sanitaires élevées. Actuellement, il existe des traitements suffisamment puissants qui permettent d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable, notre traitement nous a aussi permis d'avoir une eau de qualité acceptable, surtout au niveau de la protection de l'environnement.

A travers ce travail on peut dire qu'à partir d'une eau usée et grâce aux procédés de traitements, il est possible d'obtenir toute une gamme d'eaux de qualités différentes, à chacune de ces qualités peut correspondre un usage particulier. Il est clair que les traitements qui existent peuvent réduire les concentrations des polluants à des niveaux qui sont actuellement considérés comme non dangereux.

# *Webographie*

- Centre d'information sur l'eau, eaux usées, 18 février 2014, [www.cieau.com](http://www.cieau.com).
- Chap1, les eaux usées, [thesis.univbiskra.dz](http://thesis.univbiskra.dz).
- Maribia origine et composition des eaux usées 8 mars 2009, [maribia.wordpress.com](http://maribia.wordpress.com).
- Henri Aussel, Graziella Dornier : Le traitement des eaux usées (Institut nationale de recherche et de la sécurité), Novembre 2004, [www.esst-inrs.fr](http://www.esst-inrs.fr).
- Fondation de l'eau potable sûre, traitement des eaux usées, [safewater.org](http://safewater.org).