



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

Faculté des Sciences et Techniques

[www.fst-usmba.ac.ma](http://www.fst-usmba.ac.ma)



Année Universitaire : 2010-2011

Master Sciences et Techniques : CMBA

Chimie des Molécules Bio Actives



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

*Evaluation des paramètres physico-chimiques de l'eau potable et validation d'une technique de dosage du nitrite dans l'eau*

Présenté par:

Mlle. EL HATTABI Latifa

Encadré par:

Mr. A. EL OUALTI: LRDEHM

Mr. A. EL OUALI ALAMI: LRDEHM

Mr. J.E.HAZM : FST FES

Soutenu le 24 Juin 2011 devant le jury composé de:

Mr. J.E. HAZM

Mr. A. EL OUALI ALAMI

Mr. A. EL OUALTI

Mr. S. CHAKROUNE

Mr. M. OULMEKI

Stage effectué au: Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0)5 35 60 29 53 Fax : 212 (0)5 35 60 82 14

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*



*A mes parents*

*Qui m'ont donné beaucoup de soutien et d'encouragement, symbolisant pour moi le sacrifice et la source d'où naît la lumière qui éclaire ma vie, et pour qui aucune dédicace n'exprimera la profondeur de mon amour,*



*A mes frères et mes sœurs*

*Pour leur véritable et sincère amour. Je leur souhaite, une vie pleine de succès avec beaucoup de bonheur,*



*A mes formateurs*

*Qui m'ont dirigé vers le chemin de succès par leur compréhension et leur conseil. Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de mes profondes reconnaissances et ma grande estime.*



*A tous mes amis (e) et collègues*

*Pour les moments forts et agréables que nous avons passé ensemble, à tous ceux qui m'aiment et me souhaitent le bonheur et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et à l'élaboration de ce rapport.*

# Remerciements

Au terme de ce travail, j'ai le plaisir d'exprimer mes profonds remerciements et ma sincère gratitude à toutes les personnes qui m'ont soutenue à réaliser ce travail et envers qui je me sens reconnaissant de m'avoir appris tant de choses et m'ayant offert les conditions optimales de travail.

Je souhaite remercier Mr. EL OUALI ALAMI Abdelhakim, docteur chef du laboratoire « LRDEHM- Fès» de m'avoir offert l'occasion d'effectuer mon stage de fin d'études pour étudiante-master au sein du laboratoire.

Je tiens à remercier mon encadrant de stage Mr. EL OUALTI Abdelaziz pour la qualité de l'encadrement scientifique et méthodologique dont il m'a fait bénéficier avec un suivi d'une grande rigueur intellectuelle, je ne pourrais jamais cesser de lui dire merci.

Je remercie aussi mon encadrant de stage Mr. HAZM Jamal qui m'a encadré et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je tiens aussi à exprimer notre gratitude à mon Chef de Filière Mr. F.OUZZANI CHAHDI pour sa sympathie, son soutien et son aide pour que nos stages se déroulent dans des bonnes conditions.

Mes remerciements s'adressent également au jury :Mr. CHAKROUNE et Mr. OULMEKI d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens enfin à remercier tous les Membres du laboratoire « LRDEHM-Fès » qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de mon stage, aussi bien pour leur aide que pour leur convivialité.

Je suis très reconnaissante à votre aptitude.

Merci

## Liste des abréviations

Al : Aluminium	Mg: Magnésium
As: Arsenic	Mn: Manganèse
Ba: Barium	MY: Moulay Yacoub
BF: Borne fontaine	Na: Sodium
Ca: Calcium	NA: Nombre d'Analyses
Cd: Cadmium	NaCl: Chlorure de Sodium
Co: Cobalt	NE: Nombre d'Echantillons
Cr: Chrome	NED: N-(naphtyl-1) Diamino- 1,2 Ethane
Cu : Cuivre	NENC: Nombre d'Echantillon Non Conforme
Cu <sub>2</sub> O : Oxyde de cuivre	NC: Non Conforme
CURI : Centre Universitaire Régional d'Interface	NH <sup>4+</sup> : Ion ammonium
DPD : Diéthyl-Paraphénylène-Diamine	Ni: Nickel
Ecolp : Eau de colportage	NM: Norme Marocaine
EM : Eau Minérale	NO <sup>3-</sup> : Nitrate
EPT : Eau de Puits Traité	NO <sup>2-</sup> : Nitrite
EPNT : Eau de Puits Non Traité	OMS: Organisation Mondiale de la Santé
ER : Eau de Réseau	ONEP: Office National d'Eau Potable
ESO : Eau de Source Ordinaire	Pb: Plomb
Fe : Fer	pH: Potentiel Hydrogène
ICP : Induction Couplage à torche Plasma	RADEEF: Régie Autonome de Distribution d'Eau & Electricité de Fès
INSPQ : Institut National de Santé Public Québec	RE : Ressource en Eau
K : Potassium	R <sup>2</sup> : Coefficient de Corrélation
KCl : Chlorure de Potassium	S: L'écart Type
LCS: Limite de Contrôle Supérieure	S <sup>2</sup> : Variance
LCI: Limite de Contrôle Inférieure	Sensi : Sensibilité
Li: Lithium	SCEr: Somme des Carrés des Ecarts Résiduels
LD: Limite de Détection	SNIMA : Service de Normalisation Industrielle Marocaine
LQ: Limite de Quantification	S <sup>2</sup> <sub>r</sub> : Variance de Reproductibilité
LSI: Limite de Surveillance Inférieure	Ti: Titan
LSS: Limite de Surveillance Supérieure	Zn: Zinc

# Sommaire

<b>Présentation générale du laboratoire .....</b>	<b>1</b>
<b>Introduction générale .....</b>	<b>4</b>
<b>Revue bibliographique .....</b>	<b>6</b>
1. Approche théorique de la pollution des eaux.....	4
1.1. Pollution des eaux.....	4
1.1.1. Pollution organique biodégradable .....	4
1.1.2. Pollution organique non biodégradable .....	4
1.1.3. Pollution par les fertilisants.....	5
1.1.4. Pollution par les métaux.....	5
1.1.5. Pollution bactériologique .....	5
1.1.6. Les polluants radioactifs .....	6
2. Les différents types d'eau .....	6
2.1. Eaux météoriques .....	6
2.2. Eaux de surface.....	7
2.3. Eaux souterraines.....	8
3. Prétraitement et traitement des eaux .....	8
4. Paramètres physico-chimiques des eaux.....	11
4.1. Les paramètres physiques .....	11
4.1.1. Potentiel Hydrogène : pH.....	11
4.1.2. Conductivité .....	12
4.2. Les paramètres chimiques .....	12
4.2.1. Nitrates et nitrites .....	12
4.2.2. Cuivre.....	14
4.2.3. Métaux lourds.....	15
5. Induction Couplage Plasma et spectrophotomètre.....	17
5.1. Induction Couplage plasma ICP .....	17
5.1.1. Principe de fonctionnement.....	17
5.1.2. Le spectromètre .....	17

5.1.3. Plasma .....	18
5.2. Spectrophotomètre.....	18
5.2.1. Principe de fonctionnement.....	18
6. Validation d'une méthode d'analyse chimique.....	19
6.1. Définition.....	19
6.2. Protocole de validation .....	20
6.2.1. Spécificité.....	20
6.2.2. Linéarité .....	20
6.2.3. Fidélité.....	20
6.2.4. Répétabilité .....	21
6.2.5. Reproductibilité.....	21
6.2.6. Justesse.....	21
6.2.7. Précision.....	21
6.2.8. Limite de détection.....	21
6.2.9. Limite de quantification .....	22
6.3. Carte de contrôle .....	22
<b>Matériels &amp; méthodes.....</b>	<b>24</b>
1. Echantillonnage.....	24
1.1. Prélèvements des eaux.....	24
1.2. Types d'analyses.....	24
1.2.1. Analyses bactériologiques.....	25
1.2.2. Analyses physico-chimiques.....	25
2. Matériels & méthodes .....	25
2.1. Paramètres physiques .....	25
2.1.1. Potentiel Hydrogène : pH.....	25
2.1.2. Conductivité .....	26
2.2. Paramètres chimiques .....	27
2.2.1. Nitrate.....	27
2.2.2. Nitrite .....	28
2.2.3. Cuivre .....	29
2.2.4. Chlore résiduel .....	29
2.3. Validation d'une technique analytique : dosage des nitrites dans l'eau .....	30
2.3.1. Principe .....	30
2.3.2. Interférences .....	30

2.3.3. Matériels.....	30
2.3.4. Réactifs.....	30
2.3.5. Mode opératoire .....	31
<b>Résultats &amp; discussions.....</b>	<b>34</b>
1. Evaluation de qualité hygiénique des eaux d'alimentation humaine.....	34
1.1. Répartition des échantillons selon la région et la nature de l'eau .....	34
1.1.1. Au niveau de la région de Fès .....	34
1.1.2. Au niveau de la région de Moulay Yacoub.....	35
1.1.3. Au niveau de la région de Sefrou .....	36
1.1.4. Total des résultats pour les trois régions .....	37
1.2. Résultats du suivi chronologique du pH et de la conductivité .....	38
1.3. Etude des paramètres physico-chimiques : non-conformité.....	40
1.3.1. La non-conformité selon les paramètres physico-chimiques.....	40
1.3.2. La non-conformité selon la région .....	41
1.3.3. La non-conformité selon la nature de l'eau.....	41
1.4. Résultats des analyses des métaux lourds.....	42
1.4.1. Paramètres toxiques (Annexe 2) .....	42
1.4.2. Paramètres bénéfiques pour la santé (Annexe 3) .....	42
2. Validation de la méthode du dosage des nitrites par spectrophotomètre.....	43
2.1. Spécificité .....	43
2.2. Linéarité.....	44
2.3. Fidélité .....	45
2.3.1. Répétabilité .....	45
2.3.2. Reproductibilité.....	46
2.4. Limite de détection et limite de quantification.....	46
2.5. Carte de contrôle.....	47
<b>Conclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>Recommandations et Perspectives.....</b>	<b>51</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>51</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>56</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Normales du cumul annuel de précipitations au Maroc .....	7
Figure 2 : Disparité spatiale des apports en eau de surface au Maroc .....	8
Figure 3 : Schéma du système d'introduction d'échantillon en ICP-AES .....	17
Figure 4 : Représentation graphique de la pente de la droite de régression linéaire .....	20
Figure 5 : Exemple d'une carte de contrôle .....	23
Figure 6 : Carte de contrôle de la conductivité .....	39
Figure 7 : Carte de contrôle du pH.....	39
Figure 8 : Représentation de la droite de régression de la linéarité .....	45
Figure 9 : Représentation des 10 séries des absorbances mesurés .....	45
Figure 10 : Carte de contrôle de la concentration 0,1 mg/l.....	47
Figure 11 : Carte de contrôle de la concentration 0,4 mg/l.....	47
Figure 12 : Carte de contrôle de la concentration 0,6 mg/l.....	48
Figure 13 : Carte de contrôle de la concentration 0,1 mg/l.....	48
Figure 14 : Carte de contrôle de la concentration 0,4 mg/l.....	49
Figure 15 : Carte de contrôle de la concentration 0,6 mg/l.....	49

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Préparation de la gamme d'étalonnage .....	31
Tableau 2 : Résultats du calcul des paramètres de la carte de contrôle .....	38
Tableau 3 : Non-conformité des paramètres physico-chimiques de l'eau .....	40
Tableau 4 : Résultats des paramètres toxiques selon la région.....	42
Tableau 5 : Résultats des paramètres bénéfiques selon la région .....	42
Tableau 6 : Résultats de l'étude de la linéarité.....	44
Tableau 7 : Résultats de l'étude de la répétabilité pour les trois contrôles.....	45
Tableau 8 : Résultats de l'étude de la reproductibilité pour trois contrôles .....	46
Tableau 9 : Résultats de détermination de la LD et LQ.....	46

## Liste des graphes

Graphe 1 : Evolution des NE et NA en fonction des mois – Fès.....	34
Graphe 2 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-Fès .....	35
Graphe 3 : Evolution des NE et NA en fonction des mois- MY .....	35
Graphe 4 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-MY .....	36
Graphe 5 : Evolution des NE et NA en fonction des mois- Sefrou .....	36
Graphe 6 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-Sefrou .....	37
Graphe 7 : Evolution des NE et NA selon la région.....	37
Graphe 8 : Evolution des NE analysés en fonction de la nature de l'eau par région ...	38
Graphe 9 : Pourcentage de non-conformité selon les paramètres physico-chimiques ..	40
Graphe 10 : Pourcentage des non conformités selon la région.....	41
Graphe 11 : Pourcentage des non conformités selon la nature de l'eau.....	41

## Liste des photos

Photo 1 : Photographie du plasma .....	18
Photo 2 : Spectrophotomètre de mode JENWAY .....	18
Photo 3 : Colorations obtenues de la gamme d'étalonnage .....	31
Photo 4 : Spectre d'adsorption du réactif recherché à 540 nm .....	43



# LABORATOIRE REGIONAL DE DIAGNOSTIC EPIDEMIOLOGIQUE ET D'HYGIENE DU MILIEU DE LA VILLE DE FES



## HISTORIQUE

En 1977 Le Ministère de la Santé a créé des laboratoires "à visée préventive" : les Laboratoires de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu (LDEHM). Ils constituent une structure d'appui indispensable pour la surveillance épidémiologique des maladies infectieuses et transmissibles et pour les programmes sanitaires du Ministère de la Santé dans le cadre de l'Hygiène de l'environnement.

Actuellement il existe 42 LDEHM, Le laboratoire de Fès fait partie des 11 laboratoires régionaux qui ont vu le jour à partir des années 80. Il est implanté à l'Hôpital EL GHASSANI et est individualisé des Laboratoires d'analyses cliniques et de transfusion.

## SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE FES



## Organisation fonctionnelle du LRDEHM



### Mission du LRDEHM

- Soutien au programme de prévention et de lutte contre les maladies infectieuses et transmissibles,
- Appui technique (Diagnostic et confirmation des maladies) pour les structures de soins de santé de base (RSSB).

### Assurance qualité au LRDEHM

- Une politique d'assurance qualité est mise en œuvre par le LRDEHM pour obtenir et garantir la qualité des analyses.
- Un système statistique informatisé est mis en place par le LRDEHM pour le traitement des résultats des analyses.

### Rattachement du LRDEHM

Le LRDEHM est rattaché au SIAAP et à la Direction Régionale de la Santé de Fès. Il est également en étroite relation avec l'Institut National d'Hygiène et la Direction d'Epidémiologie et de Lutte contre les Maladies de Rabat.

### Clients du LRDEHM

Le LRDEHM couvre les besoins des délégations médicales des provinces et préfectures de la région Fès-Boulemane (régions de SUD, HOPITAL REGIONAL, HOPITAL PRINCIPAL CHIMIE DE MILIEU, Centre Régional de l'Hygiène) ainsi que ceux des Bureaux Communaux d'Hygiène, CHU Hassan II.

## Perspectives

- > Structurer la collaboration et la coopération du laboratoire avec son environnement
- > Développer et réaliser des études épidémiologiques en relation avec ses activités
- > Installer d'autres analyses:
  - Analyses toxicologiques de l'eau (recherches des pesticides et métaux lourds-)
  - Parasitologie des eaux
  - Sérologie et PCR du paludisme
  - Entomologie du moustique vecteur des leishmanioses

Plan de construction du Laboratoire Régional de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène de Milieu



# Introduction

---

La terre ou « planète bleue » est constituée à plus de 70% de terres immergées, 97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs), essentiellement sous forme d'océans mais l'eau est aussi présente sous forme gazeuse, liquide et solide.

L'eau constitue une ressource naturelle à la base de la vie et une denrée essentielle à la majeure partie des activités économiques de l'homme. Elle est également rare et constitue en fait une ressource dont la disponibilité est marquée par une irrégularité prononcée dans le temps et dans l'espace. Elle est enfin fortement vulnérable aux effets négatifs des activités humaines.

Le Maroc comme d'autres pays méditerranéens subit dans une grande partie de son territoire des changements climatiques qui entraînent un appauvrissement en ressources en eaux exploitées en tant qu'eau potable et en irrigation (EL Khokh Khalid, 2011) pour cela l'eau est aujourd'hui, dans notre pays, au cœur des débats politiques, médiatiques, associatifs... Elle est un sujet d'actualité au cœur de nos centres d'intérêts. Mais en ces temps de discussion autour de cet élément, il faut garder à l'esprit, que toute personne sur cette Terre ne possède pas un accès à l'eau potable...si la qualité de l'eau est le centre de préoccupations de nombreux pays en voie de développement, la question y est bien plus aiguë, l'eau y étant un vecteur de maladies graves voire mortelles (Thomas Château, 2005).

Les besoins en eau des populations varient considérablement en fonction de la situation de la ville mais aussi du niveau de développement. Toutes les activités de l'homme pour l'alimentation, l'hygiène corporelle, le linge, les vaisselles, l'habitat sont liées à l'eau. La qualité de cette eau pour chacun de ses usages a une incidence sur notre santé et peut causer plusieurs types de maladies (cutanées, visuelles, urinaires, intestinales...) (Hawa Samak, 2002).

L'histoire des maladies à transport hydrique montre nettement leur association à :

- la pollution imprévue de sources jusque-là considérées comme saines ;
- L'échec des procédés de traitement, par suite de défauts du matériel ou l'inefficacité des procédés de traitement ;
- La pollution secondaire de l'eau au cours de distribution.

C'est pour cela que les problèmes de l'eau sont inquiétants, non seulement, sur le plan quantitatif, mais aussi et surtout sur le plan qualitatif.

C'est pourquoi on doit se demander quels impacts ont les paramètres physico-chimiques d'une eau destinée à la consommation humaine sur la santé de l'homme.

Il est donc légitime de se poser la question pour savoir si l'eau distribuée par la RADEEF et consommée par les habitants de la région de Fès- Boulemane répond-elle aux valeurs limites et valeurs guides exigée par SNIMA.

Un premier objectif de ce travail était donc l'évaluation d'un certain nombre de paramètres caractérisant les propriétés physico-chimiques de l'eau destinée à la consommation humaine et ce afin de s'assurer que cette eau possède une bonne qualité hygiénique et qu'elle est exempte de toutes substances chimiques telles que : Nitrates, Nitrites, cuivre, Cadmium ...susceptibles de nuire à la santé humaine.

Le Deuxième objectif de ce travail consistait à valider une méthode d'analyse chimique à savoir l'analyse des nitrites en spectrophotomètre.

Ce présent travail sera subdivisé en trois grands chapitres :

- Revue bibliographie.
- Matériels et méthodes.
- Résultats et discussions.

## **1. Approche théorique de la pollution des eaux**

### **1.1. Pollution des eaux**

La pollution des eaux est liée au développement économique de notre société, elle a atteint aujourd'hui des niveaux intolérables. L'identification de la pollution est basée principalement sur des campagnes d'analyses au niveau de l'origine de cette pollution ou dans le milieu récepteur, entre l'amont et l'aval du point de rejet (O.N.E.P, 1998).

La pollution des eaux suscite une inquiétude croissante. Celle-ci est liée d'une part à la relative rareté de l'eau comme matière première indispensable à la boisson, souillée par les utilisations humaines qui l'ont trop longtemps considérée comme un vecteur d'élimination bien commode car « inusable », et d'autre part aux progrès des connaissances scientifiques, qui conduisent à suspecter, outre les pathologies aiguës ou chroniques bien classiques liées à une transmission hydrique, des effets peut-être plus pernicieux pour la vie, tels par exemple ceux des molécules à effet perturbateur endocrinien.

La classification des pollutions peut être établie soit en fonction de l'origine de cette pollution (pollution urbaine, industrielle, agricole...) soit en fonction de la nature de cette pollution (M.T.P.F.C, 1996).

#### **1.1.1. Pollution organique biodégradable**

Ces déchets sont des substances qui provoquent la diminution de la concentration d'oxygène dans l'eau. En effet, introduits dans l'eau, ces composés sont dégradés par les micro-organismes présents dans l'eau en utilisant l'oxygène dissous nécessaire pour la faune et la flore aquatiques. Aussi, toute demande artificielle d'oxygène se traduit par des perturbations de l'équilibre du système aquatique naturel. Ces déchets proviennent principalement des eaux usées domestiques, des industries agro-alimentaires, de fabrication de la pâte à papier, ... (M.I.C.N.T, 2007).

#### **1.1.2. Pollution organique non biodégradable**

Les déchets provenant des produits synthétiques et des produits pétroliers constituent la plus grande partie de cette pollution. Ces déchets organiques n'ont pas d'effet sur la teneur en oxygène mais ils peuvent polluer les ressources en eau. Les plus importants polluants organiques synthétiques sont les pesticides et les détergents. Cette catégorie comporte aussi

les hydrocarbures chlorés qui peuvent se former lors d'un traitement au chlore d'effluents contenant des hydrocarbures. (M.I.C.N.T, 2007).

### **1.1.3. Pollution par les fertilisants**

Celle-ci est caractérisée par des fortes teneurs en produits azotés et phosphorés. Elle active la prolifération des algues et par conséquent une détérioration de la qualité de l'eau.

La source principale de cette pollution est l'agriculture par l'utilisation des engrais et les pesticides. Cependant, les autres activités humaines peuvent également y contribuer (rejets urbains ou industriels). Le processus de remède à ce type de pollution fait appel soit à des techniques biologiques, exemple de la dénitrification par des bactéries appropriées, soit à des techniques se basant sur des transformations chimiques de ces éléments (Diallo, 1996).

### **1.1.4. Pollution par les métaux**

Les métaux lourds, plus particulièrement le Plomb, le Zinc et le Cuivre, font partie des cas de pollution représentant un problème environnemental majeur. Ils peuvent migrer dans les eaux souterraines, s'accumuler dans la chaîne alimentaire et présenter des risques pour la santé humaine (Jourdan B, 2005).

Les origines des métaux sont diverses : dans le charbon et le fioul, des combustions, dans l'industrie du traitement de surface et dans la plupart des constituants des déchets urbains tels que les piles (Hg, Zn, Pb, Cd), les peintures (Cr, Cd, Pb), les plastiques (Cd, Ni), les papiers cartons (Pb)... (Miquel, 2001; Aloueimine, 2006).

### **1.1.5. Pollution bactériologique**

L'eau à l'état naturel contient des germes et des microorganismes vivants, et constitue pour ceux-ci un milieu de reproduction. En effet, des réactions chimiques d'échange entre les cellules des micro-organismes et l'eau ont lieu. Elles sont de diverses natures, la plus connue étant la photosynthèse.

L'eau peut être le siège de développement d'organismes du monde végétal (moisissure, algue, phytoplancton) ou du monde animal (amibe, parasite, virus, bactérie). Comme pour les substances organiques solubles, les risques de contamination dépendent du point de puisage de l'eau potable (eau de surface, nappe phréatique ou forage) (D.Abdelaziz, 2000).

### **1.1.6. Les polluants radioactifs**

La pollution des eaux de surface par des substances radioactives pose un problème de plus en plus grave, imputable au fonctionnement des réacteurs, à l'utilisation des isotopes radioactifs en médecine, dans l'industrie et dans diverses autres branches d'activité civile. On s'efforce actuellement par tous les moyens de prévenir la pénétration de déchets concentrés dans les eaux de surface, mais les eaux de refroidissement des réacteurs entraînent de faibles quantités de matières radioactives (Hawa Samake, 2002).

Les émetteurs de rayonnement alpha ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ..) sont généralement d'origine naturelle et susceptible d'être présents dans les eaux souterraines des certaines zones géologiques déterminées. (P. Hartemann, 2004).

## **2. Les différents types d'eau**

En fonction de leur origine sur le globe, les eaux peuvent être classées en trois grands groupes : les eaux météoriques, les eaux de surface, les eaux souterraines :

### **2.1.Eaux météoriques**

Alimentées par la pluie, la grêle, la neige, les nuages, les brouillards, elles sont importantes pour le renouvellement des nappes profondes.

Au Maroc le régime pluviométrique est caractérisé par une forte variabilité spatiale. Les précipitations moyennes annuelles se répartissent comme suit :

- Supérieures à 800 mm dans la région la plus arrosée du nord ;
- Entre 400 à 600 mm dans la région du Centre;
- Entre 200 et 400 mm dans la région de l'Oriental et du Souss;
- Entre 50 et 200 mm dans les zones sud-atlasiques;
- Et moins de 50 mm dans les bassins de Sakia El Hamra et Oued Eddahab. (A.Zyad, 2009).



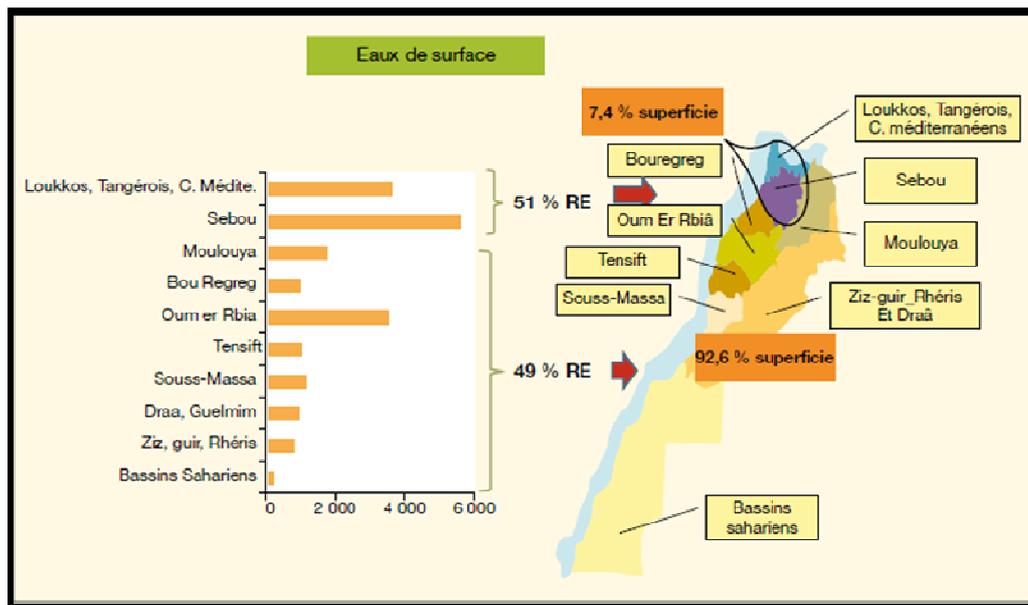


Figure 2: Disparité spatiale des apports en eau de surface au Maroc

### 2.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, prises dans leur ensemble, sont généralement perçues par l'homme comme un milieu contraignant. (L. Danielopol, 1997)

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car elles répondent 'en général' aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

## 3. Prétraitement et traitement des eaux

Il existe plusieurs filières de traitement selon la nature de l'eau à traiter et selon sa composition, dont l'objectif final est d'avoir une eau qui répond aux exigences de la norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine (NM : 03.7.001).

### 3.1. Prétraitement des eaux

Le prétraitement consacré aux eaux de surface est constitué de plusieurs étapes principales qui permettent d'éliminer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes du traitement.

### **3.1.1. Dégrillage**

Au cours du dégrillage, l'eau passe à travers d'une grille dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants.

Le dégrillage permet de protéger la station contre l'arrivée intempestive des gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Les éléments retenus sont, ensuite, éliminés avec les odeurs ménagères (Degremont, 1978).

### **3.1.2. Dessablage**

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants. L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage (Degremont, 1978).

### **3.1.3. Débourage**

Le débourage consiste à éliminer la boue, en laissant dans l'eau prétraitée une charge en matière en suspension à 100mg/l l'opération se réalise selon le principe suivant : les eaux chargées de boues pénètrent dans le débourbeur et se dirigent naturellement vers le bas et les boues sont piégées au fond de l'appareil.

## **3.2. Traitement des eaux**

### **3.2.1. Pré-chlorations**

Cette étape permet d'éliminer l'ammoniaque et de réduire la concentration des microorganismes (les bactéries fécales et les organismes pathogènes), détruire la vie animale et les algues, et oxyder l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse de façon à faciliter leur élimination. (Hawa Samake, 2002).

### **3.2.2. Coagulation – Flocculation**

Le traitement classique coagulation flocculation est aujourd'hui une technique particulièrement adaptée aux eaux de surface chargées en matières en suspension. (J.L Colin ;

1983). La coagulation consiste à ajouter des produits chimiques (sulfate d'aluminium, sulfate ferrique ...) pour neutraliser les charges présentes sur les particules et faciliter leur agrégation lorsque l'eau est lentement mélangée dans l'étape de floculation.

La littérature indique que le rendement optimal d'élimination de la matière organique par coagulation-floculation avec l'aluminium ou le fer, est obtenu pour des pH de 4,5 à 5,5 (E. Lefebvre et B. Legube ; 1988). Le floc ainsi formé co-précipite avec les particules de colorants naturels et de substances minérales qu'il adsorbe et emprisonne, ce qui entraîne une réduction marquée de la turbidité et du nombre de protozoaires, de bactéries et de virus. (Hawa Samake ; 2002).

### **3.2.3. Décantation**

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des matières en suspension MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation – floculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur (Dr. R. Salghi) lors de la décantation seule les particules qui ont une densité supérieure à celle de l'eau vont décanter et vont s'accumuler au fond du bassin.

### **3.2.4. Filtration**

La filtration permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes, elle est réalisée sur des matériaux classiques (sable) ou sur membranes. La plus répandue est la filtration sur lit de sable: une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée. Une meilleure filtration à sable permis:

- ✓ Une bonne correction de la turbidité;
- ✓ Une conductivité demeure indifférente; (A. Maazouzi ; 2006).

### **3.2.5. Désinfection**

Cette étape, commune à tous les traitements, est la plus importante. Pendant de nombreuses années, les traitements de désinfections étaient essentiellement des traitements biocides qui avaient pour seul but d'inactiver, de tuer les microorganismes. Les traitements mis en œuvre étaient soit chimiques : chlore, bioxyde de chlore, eau de javel ; soit physiques : rayonnement ultraviolet, filtration sur membrane. (A. Montiel ; 2004). L'eau traitée obtenue est récupérée dans des réservoirs pour la distribution.

## **4. Paramètres physico-chimiques des eaux**

### **4.1. Les paramètres physiques**

#### **4.1.1. Potentiel Hydrogène : pH**

##### **4.1.1.1. Définition**

Le pH d'une solution est le logarithme décimal négatif de l'activité des ions hydrogènes  $H^+$  :  $pH = -\log [H^+]$  ; il est considéré comme étant l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux. C'est un paramètre qui nous permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau. (Gomella et Guerree, 1978).

##### **4.1.1.2. Impact sur la santé**

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature géologique des terrains traversés il n'a pas d'effet direct sur la santé mais il présente certains inconvénients parmi eux :

- Une augmentation du pH, en présence de matière organique, peut favoriser la formation de trihalométhanes THM qui présentent plusieurs effets sur la santé comme des retards de la croissance fœtale, des avortements spontanés et des malformations congénitales... (Dodds et King, 2001; Mills et al, 1998)
- Pour un pH alcalin de 9,6 et dans une solution contenant 6,5 % de NaCl, les entérocoques : sont des bactéries qui se présentent sous forme de coques en courtes chaînes et se classe parmi les causes principales des infections nosocomiales (Facklam et al, 1999; Hancock et Gilmore, 2000) ont la capacité de croître à une température entre 10 et 45 °C.
- Pour des eaux dont le pH est inférieur à 6,5 environ, on a affaire à une eau agressive, qui a un effet corrosif sur les canalisations et peut conduire à la dissolution de métaux toxiques tel le plomb et par conséquent avoir des effets néfastes sur la santé. Pour des pH supérieurs à 8,5 environ on a les problèmes d'incrustation et d'entartrage aussi bien diminution de l'efficacité de désinfection du chlore (Schock et Gardels, 1983) chose qui peut provoquer des irritations oculaires et une aggravation des affections cutanées...etc.

SNIMA préconise pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH compris entre 6,5 et 8,5 (Norme Marocaine 03.7.001 : Annexe 1).

## **4.1.2. Conductivité**

### **4.1.2.1. Définition**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m). (Loi n° 200-01)

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique ce mesure permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et d'en suivre l'évolution. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée et elle varie également en fonction de la température. (Hawa Samake, 2002). sur

### **4.1.2.2. Impact la santé**

Une eau dont la conductivité < 180 µS/cm (faiblement minéralisée) peut être corrosive pour les canalisations et elle peut entraîner une dissolution des métaux toxiques comme le plomb.

Une eau dont la conductivité > 1 000 µS /cm (minéralisation trop importante) peut être à l'origine de dépôts (entartrage lorsque les sels de calcium sont en excès), mais n'a pas de conséquences importantes sur la santé. Cependant des valeurs excessives de la conductivité (minéralisation) peuvent avoir chez l'homme des effets laxatifs.

## **4.2. Les paramètres chimiques**

### **4.2.1. Nitrates et nitrites**

#### **4.2.1.1. Description & origine:**

Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont des substances chimiques naturelles qui entrent dans le cycle de l'azote. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre Nitrosomonas, puis en nitrates par les bactéries du genre Nitrobacter (Santé Canada, 1992).

En outre les nitrates sont susceptibles de se transformer en nitrites par réduction et en nitrosamines par action des amines sur les nitrates.

#### **4.2.1.2. Voie d'absorption**

Les nitrates et les nitrites sont présents dans l'environnement sous forme ionique, non volatils; il est donc très peu probable qu'ils soient absorbés par inhalation. Concernant l'absorption par voie cutanée, aucune information à ce sujet n'a été trouvée dans la littérature. Par conséquent, la principale voie d'absorption de ces substances, lorsqu'elles sont présentes dans l'eau de consommation, est l'ingestion. (INSPQ ; 2003).

#### **4.2.1.3. Pharmacocinétique et métabolisme**

Une fois ingérés, les nitrates sont rapidement absorbés au niveau de l'intestin grêle proximal puis distribués dans tout l'organisme (Bartholomew et Hill, 1984). Une partie des nitrates absorbés, soit environ 25 %, est sécrétée dans la salive (Spiegelhalder et al. 1976). La microflore buccale contribue à transformer environ 20 % des nitrates sécrétés dans la salive en nitrites. La réduction bactérienne des nitrates en nitrites peut également survenir au niveau des voies urinaires et du vagin à la suite d'une infection bactérienne (Gangolli et al. 1994) et plus rarement, dans l'estomac lorsque le pH y est élevé (> 5) (Hartman, 1983).

Les nitrites, formés par la réduction des nitrates, une fois absorbés, sont responsables de la formation de la méthémoglobine (Shuval et Gruener, 1972). Les nitrites sont également reconnus pour réagir, au niveau gastrique, avec des composés nitrosés tels que les amines et les amides pour former des composés N-nitrosés (Broitman et al. 1981).

#### **4.2.1.4. Impact sur la santé**

##### **4.2.1.4.1. Risque de méthémoglobinémie**

La méthémoglobinémie c'est une maladie qui résulte de la réduction des nitrates en nitrites par les microorganismes du système digestif, suivie de l'oxydation par les nitrites du fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ) de l'hémoglobine en fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ), qui engendre la méthémoglobine.

La méthémoglobine, contrairement à l'hémoglobine, est incapable de fixer l'oxygène, ce qui contribue à réduire le transport de l'oxygène des poumons vers les tissus (Fan et al., 1987). L'organisme humain d'un adulte est capable de lutter contre cette agression car il est équipé d'un système enzymatique (méthémoglobine réductase) apte à effectuer la réaction inverse, c'est à dire, transformer la méthémoglobine en hémoglobine réduite. Par contre l'organisme du nourrisson ne possède pas cet équipement enzymatique et les risques d'intoxications graves sont alors beaucoup plus grands.

Elle survient principalement chez les enfants de moins de trois mois exposés à des concentrations de nitrates qui excèdent 20 mg/l dans l'eau utilisée pour la préparation des biberons (California Environmental Protection Agency, 1997; Santé Canada, 1992), et entraîne des symptômes tels que l'essoufflement et une couleur bleue autour de la bouche dénommée syndrome du bébé bleu (Méthémoglobinémie).

#### 4.2.1.4.2. Risques cancérigènes

Les nitrates sont susceptibles de présenter un risque lié à leur transformation en nitrites et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif. Les propriétés cancérigènes de ces substances ont été découvertes il y a un demi-siècle (Magee et Barnes, 1956 ; Magee et Barnes, 1967).

Différents types de tumeurs cancéreuses (ex. : foie, rein, poumon...) ont également été observés lorsque des nitrites et des amines ont été administrés simultanément (Kitano et al. 1997; Fan et Steinberg, 1996; National Research Council, 1995). La présence de ces tumeurs serait attribuable à la réaction, dans l'estomac, des nitrites avec les amines secondaires et tertiaires et à la formation de composés N-nitrosés potentiellement cancérigènes (National Research Council, 1995).

Certains auteurs ont observé des associations avec l'exposition aux nitrates par l'eau de consommation mais non par l'ingestion d'aliments (Weyer et al. 2001; Ward et al. 1996).

Globalement, il est actuellement impossible de conclure sur le risque de cancer dû à l'ingestion d'eau contaminée par les nitrates.

### **4.2.2. Cuivre**

#### **4.2.2.1. Description & origine**

Le cuivre est une substance très commune qui est naturellement présente dans la nature sous forme de métal et sous forme de minéraux, surtout de cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) et de malachite ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ). Les principaux minerais de cuivre sont les sulfures, les oxydes et les carbonates. (Wood ; 1976).

#### **4.2.2.2. Impact sur santé**

Le cuivre est un élément essentiel de l'alimentation des mammifères ou la carence en cuivre (moins de 2 mg/jour) s'accompagne d'anémie mais l'ingestion de plus de 15 mg de cuivre s'est révélée toxique pour les humains (Burch, R.E; 1975), cette toxicité aiguë du

cuivre se manifeste surtout dans des cas d'ingestion accidentelle; ses symptômes sont les suivants : goût métallique dans la bouche, nausée, vomissement, douleur épigastrique, diarrhée, jaunisse, hémolyse, hémoglobinurie, hématurie et oligurie.

Dans les cas graves, les selles et la salive peuvent prendre une couleur verte ou bleue; dans la phase terminale, il y a anurie, hypotension et coma précédant la mort. (Piscator, M. Copper ; 1979).

#### **4.2.2.3. Autres considérations**

La présence de cuivre dans les canalisations d'eau domestique provoque l'apparition de taches vertes sur la lessive et sur les accessoires de plomberie à des concentrations de seulement 1,0 mg/L. (OMS ; 1984).Le cuivre dissous peut aussi avoir un effet néfaste sur les produits galvanisés puisqu'il favorise la corrosion de l'aluminium et du zinc. Il donne également un goût amer indésirable à l'eau.

#### **4.2.3. Métaux lourds**

##### **4.2.3.1.1. Définition**

On appelle métaux lourds les éléments métalliques, naturellement présents dans l'environnement ils sont caractérisés par une masse volumique supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup> et une densité élevée. Une des caractéristiques importantes des métaux est qu'ils sont susceptibles de perdre un ou plusieurs électrons pour donner des cations qui vont réagir avec les matériels biologiques pouvant ainsi exercer des effets délétères. (J.P. Goullé ; 2009)

##### **4.2.3.1.2. Impact sur la santé**

Les métaux lourds se trouvent présents dans de nombreux milieux qui sont à notre portée et qui nous entourent : eau, air, sol, aliments, amalgames. La toxicité des principaux métaux (Pb, Hg, Cd, As, Al, Li, Co, Cr, Cu, Ni, Se, V et Zn) est décrite en insistant sur leur action à long terme, la plupart d'entre eux étant des poisons cumulatifs, parmi les effets de ces métaux on trouve :

➤ **Intoxication aigue :**

- ✓ Un syndrome pseudo grippal associant une fièvre transitoire habituellement entre 39 et 40 °C, une sensation de malaise général, avec parfois des frissons, des céphalées, des vomissements souvent sanglants associés à des douleurs

abdominales intenses des diarrhées et des myalgies dans le cas de Cadmium. (P. Andujar, 2010)

✓ Des douleurs abdominales (coliques), l'anorexie et la constipation le cas de Plomb, il présente aussi un effet neurotoxique qui peut se traduire par une encéphalopathie convulsivante pouvant aller jusqu'au décès et il bloque plusieurs enzymes nécessaires à la synthèse de l'hémoglobine ce qui aboutira à une anémie (INSPQ, 2004).

✓ Une irritation des voies respiratoires, des troubles nerveux, digestifs (tardifs), une cyanose de la face et une conjonctivite sont l'une des effets produits par l'arsenic. (J.Poey a & C.Philibert, 2000)

✓ Hyperthermie, céphalées, nausées, fatigabilité dans le cas de cadmium et une gastro-entérite hémorragique, une nécrose des tissus, un état de choc avec anurie, une pneumonie chimique et une insuffisance respiratoire avec mort possible en 24 heures dans le cas de Mercure. (J.Poey a & C.Philibert, 2000)

➤ Intoxication chronique :

✓ Atteinte rénal, osseuse, respiratoire, dentaire et cancer de la prostate lors d'exposition à un excès de Cadmium. (P. Andujar, 2010)

✓ Des lésions cutanées et des muqueuses multiformes avec souvent une irritation des extrémités des doigts des mains et des pieds, aussi bien une action cancérogène dont certains dérivés arsenicaux peuvent augmenter fortement la prévalence de cancers cutanés ou pulmonaires, plus rarement hépatiques. (J.Poey & C.Philibert, 2000)

✓ Troubles cutanés, fièvre de fondeurs, des douleurs articulaires et thoraciques dans le cas du Zinc. (J.Poey a & C.Philibert, 2000)

✓ Une atteinte rénale, une atteinte osseuse et une atteinte respiratoire assez précoce : emphysème caractérise l'intoxication chronique par le Cadmium. (J.Poey & C.Philibert, 2000).

## 5. Induction Couplage Plasma et spectrophotomètre

### 5.1. Induction Couplage plasma ICP

Durant les deux dernières décades, à l'analyse élémentaire chimique par voie humide s'est progressivement substituée l'analyse physico-chimique. En fonction des impératifs de rapidité, de sensibilité et de précision, la spectrométrie d'émission par ICP (Inductively Coupled Plasma) est une technique qui s'est progressivement implantée et imposée dans les différents laboratoires d'analyse de contrôle industriel ou de recherche.

#### 5.1.1. Principe de fonctionnement

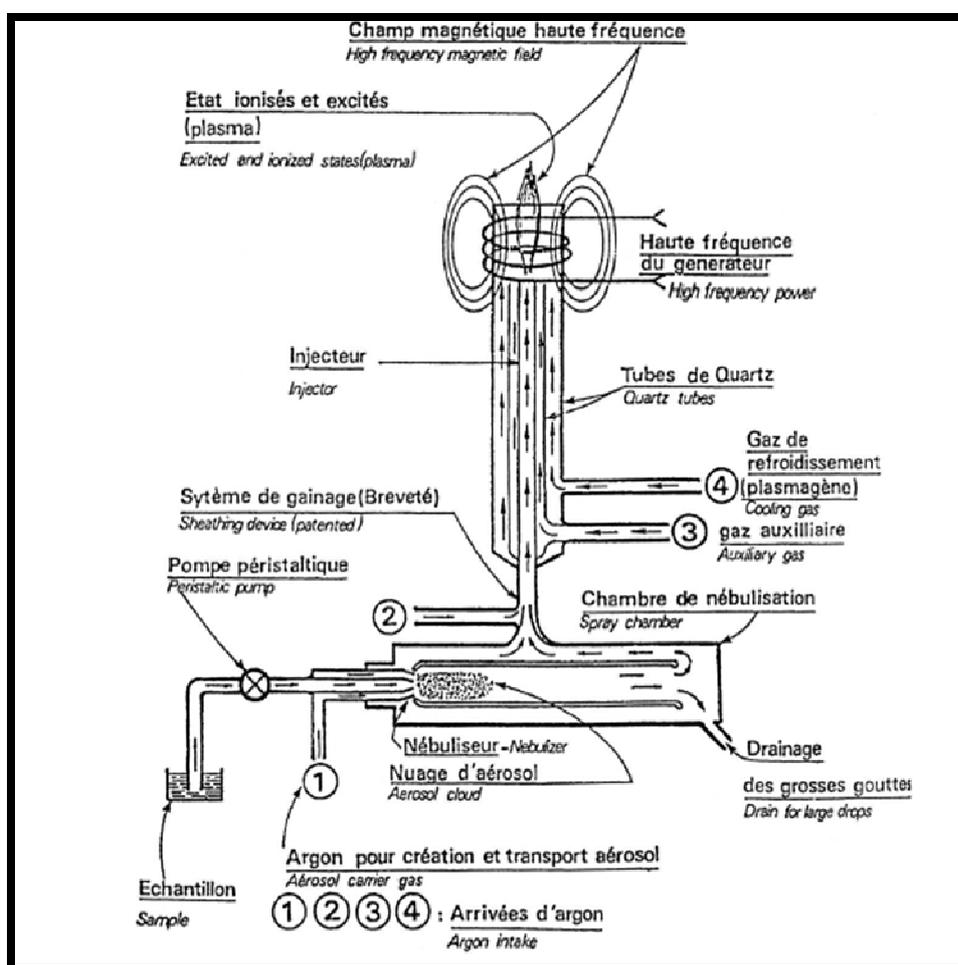


Figure 3 : Schéma du système d'introduction d'échantillon en ICP-AES

#### 5.1.2. Le spectromètre

Le spectromètre utilisé est constitué de cinq parties :

- ✓ Un système d'introduction d'échantillon qui amène l'échantillon dans le plasma;

- ✓ Le générateur électrique qui apporte l'énergie au plasma ;
- ✓ Un système optique qui analyse le spectre émis par le plasma ;
- ✓ Un système de traitement du signal qui permet l'analyse qualitative et quantitative à partir du rayonnement émis ;
- ✓ Un système informatique qui réalise l'interface avec l'utilisateur.

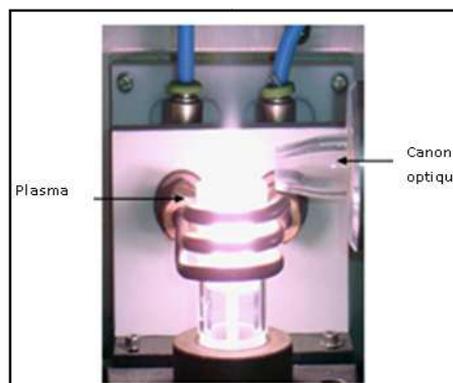


Photo 1 : Photographie du plasma

### 5.1.3. Plasma

Le Plasma représente le quatrième état de la matière c'est un gaz plus ou moins ionisé, électriquement neutre. La création du plasma dans l'ICP s'effectue à l'aide d'un gaz d'argon, elle peut atteindre 10000°C de température.

C'est dans le plasma qu'ont lieu les phénomènes d'émission et lors de l'échauffement thermique, ce sont les ions d'argon qui transfèrent l'énergie aux atomes des solutions que l'on va analyser. (Perrier G. ; 2004).

## 5.2.Spectrophotomètre

Un spectrophotomètre est un appareil qui mesure l'absorbance  $A_\lambda$  d'une solution colorée, pour une longueur d'onde  $\lambda$  donnée.

Le spectrophotomètre utilisé au laboratoire LDEHM est de modèle 7300 dispose des modes de mesure pour l'absorbance et la concentration. Ce modèle couvre une gamme de longueurs d'onde de 320 à 1000nm avec une porte d'échantillons automatique contenant 8 cuves.



Photo 2 : Spectrophotomètre de mode JENWAY

### 5.2.1. Principe de fonctionnement

Une source de lumière traverse un monochromateur qui sélectionne une radiation de longueur d'onde  $\lambda$ . Le faisceau de lumière monochromatique traverse alors une solution

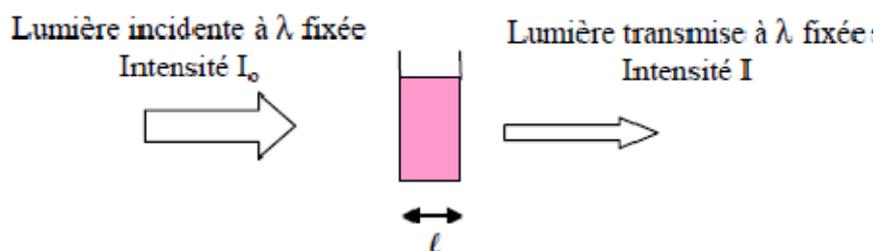
colorée. Un photocapteur convertit l'intensité lumineuse transmise en un signal électrique. Enfin un analyseur traite le signal électrique et affiche la valeur de l'absorbance.

Sur un spectrophotomètre monofaisceau, il faut faire le réglage du zéro ou réaliser "un blanc». Cela consiste à faire une mesure de l'absorbance de l'ensemble {cuve, solvant} sans l'espèce colorée puis à régler le zéro d'absorbance sur la valeur correspondante.

L'absorbance  $A_\lambda$  est la capacité d'une espèce chimique colorée à absorber une radiation de longueur d'onde  $\lambda$ , c'est une grandeur logarithmique définie par :  $A_\lambda = \log \left( \frac{I_0}{I} \right)$

Ou bien par la relation  $A_\lambda = \epsilon \lambda \times l \times C$  : Selon la loi de **BEER-LAMBERT**

- $\epsilon \lambda$ : coefficient d'extinction molaire dépend de la longueur d'onde  $l$  et de l'espèce colorée.
- $l$  : l'épaisseur de solution traversée par le faisceau lumineux.
- $C$  : Concentration d'espèce colorée en solution.



## 6. Validation d'une méthode d'analyse chimique

### 6.1. Définition

La validation d'une méthode est le procédé par lequel on confirme que la procédure analytique employée pour mener un test en particulier répond aux exigences de l'usage auquel elle est destinée. Toute méthode analytique doit être validée avant d'être utilisée et les résultats de la validation de méthodes peuvent être utilisés pour juger la qualité, la fiabilité et la cohérence des résultats analytiques. Ce procédé fait partie intégrante de toute bonne pratique analytique (Ludwig Huber ; 2007).

## 6.2. Protocole de validation

La validation d'une méthode d'analyse entraîne la détermination de plusieurs paramètres : la limite de détection (LD), la limite de quantification (LQ), la linéarité, la fidélité (répétabilité et reproductibilité), la justesse et finalement les chartes de contrôle.

### 6.2.1. Spécificité

Capacité d'une méthode d'analyse de convenir exclusivement à la détermination de la grandeur de l'analyte considéré, avec la garantie que le signal mesuré provient seulement de l'analyte (AFNOR XP T90-210 Décembre 1999).

### 6.2.2. Linéarité

Capacité d'une méthode d'analyse, à l'intérieur d'un certain intervalle, à fournir une valeur d'information ou des résultats proportionnels à la quantité en analyte à doser dans l'échantillon pour le laboratoire (AFNOR XP T90-210 ; 1999). Elle permet de donner des informations sur la sensibilité.

La sensibilité est définie comme étant la pente moyenne d'un minimum deux courbes :

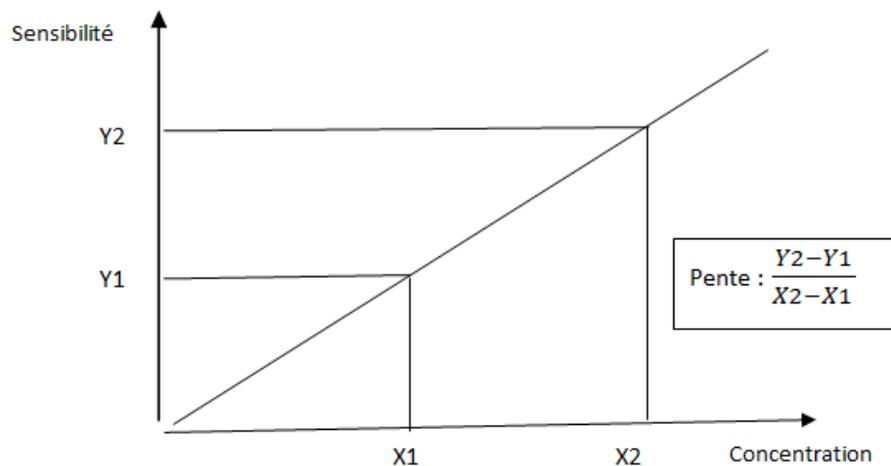


Figure 4 : Représentation graphique de la pente de la droite de régression linéaire

### 6.2.3. Fidélité

La fidélité à un niveau donné correspond à l'étroitesse de l'accord entre les résultats obtenus en appliquant le procédé expérimental à plusieurs reprises dans des conditions déterminées. Selon les conditions d'exécution de l'essai, cette caractéristique s'exprime sous forme de répétabilité et de reproductibilité.

#### 6.2.4. Répétabilité

Conditions où les résultats d'essais indépendants sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essai identiques dans le même laboratoire, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps (ISO 5725-1,1994). L'objectif est d'obtenir des mesures dans des conditions plus similaires possibles.

#### 6.2.5. Reproductibilité

La reproductibilité à un niveau donné correspond à l'étroitesse de l'accord entre les résultats individuels obtenus dans des conditions de reproductibilité. L'objectif est d'obtenir des mesures dans des conditions où une ou plusieurs sources de variabilité sont venues interférer.

#### 6.2.6. Justesse

Etroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une série de résultats d'essais et une valeur de référence acceptée (ISO 5725-1 ; 1994). Elle indique sur quel point la concentration observée approche la valeur réelle elle est exprimée en valeur absolue.

$$\text{Justesse} = \frac{X - \bar{X}}{X} *$$

Avec :  $\bar{X}$  : moyenne et X : Valeur cible

#### 6.2.7. Précision

Dans le cas où l'analyse est répétée à plusieurs reprises (n fois), il paraît évident que les valeurs obtenues ne seront pas identiques. La précision indique à quelle mesure la valeur obtenue peut être reproduite, elle est exprimée par l'écart type :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$\bar{x}$  : Moyenne

X : Valeur cible

n : Nombre de mesures effectuées

S : Ecart type

#### 6.2.8. Limite de détection

La limite de détection est la plus petite quantité d'un analyte à examiner dans un échantillon, pouvant être détectée et considérée comme différente de la valeur du blanc (avec

une probabilité donnée) mais non nécessairement quantifiée (AFNOR XP T90-210 Décembre 1999).

Pour l'estimer on peut effectuer 10 mesures répétées des blancs, dans une série et on calcule la moyenne ( $m_0$ ) et l'écart type (S) exprimé en concentration de ces 10 mesures.

$$LD = m_0 + 3S$$

### **6.2.9. Limite de quantification**

Plus petite grandeur d'un analyte à examiner dans un échantillon pouvant être déterminée quantitativement dans des conditions expérimentales décrites dans la méthode avec une variabilité définie (AFNOR XP T90-210 Décembre 1999).

On utilisera la moyenne des valeurs obtenues ( $m_0$ ) et l'écart type (S) calculé pour la détermination de la limite de détection qui sera conventionnellement multiplié par 10 pour obtenir la valeur la limite de quantification LQ.  $LQ = 10 * LD$

## **6.3. Carte de contrôle**

La carte de contrôle est un enregistrement chronologique des données sous une forme graphique, elle permette de surveiller la fabrication en s'assurant que les paramètres contrôlés restent stables ou conformes aux spécifications, compte tenu d'une certaine variabilité inévitable, donc l'objectif est de se débarrasser des causes assignables et de réduire les causes aléatoires qui peuvent se produire à cause par exemples :

- ✓ Mauvais fonctionnement des machines ;
- ✓ Erreur d'un opérateur ;
- ✓ Non-conformité de la matière ;
- ✓ Modification exceptionnelle de l'environnement...

### **6.3.1. Trace d'une carte de contrôle**

De point de vue pratique, on prend la valeur cible de la moyenne arithmétique  $\bar{x}$  calculée sur un nombre de répétitions. Les limites de contrôle et les limites d'alarme (ou de surveillance) vont être calculées comme suit :

- ✓ Limite de contrôle supérieure :  $LCS = X_m + 3S$
- ✓ Limite de contrôle inférieure :  $LCI = X_m - 3S$
- ✓ Limite de surveillance supérieure :  $LSS = X_m + 2S$
- ✓ Limite de surveillance inférieure :  $LSI = X_m - 2S$

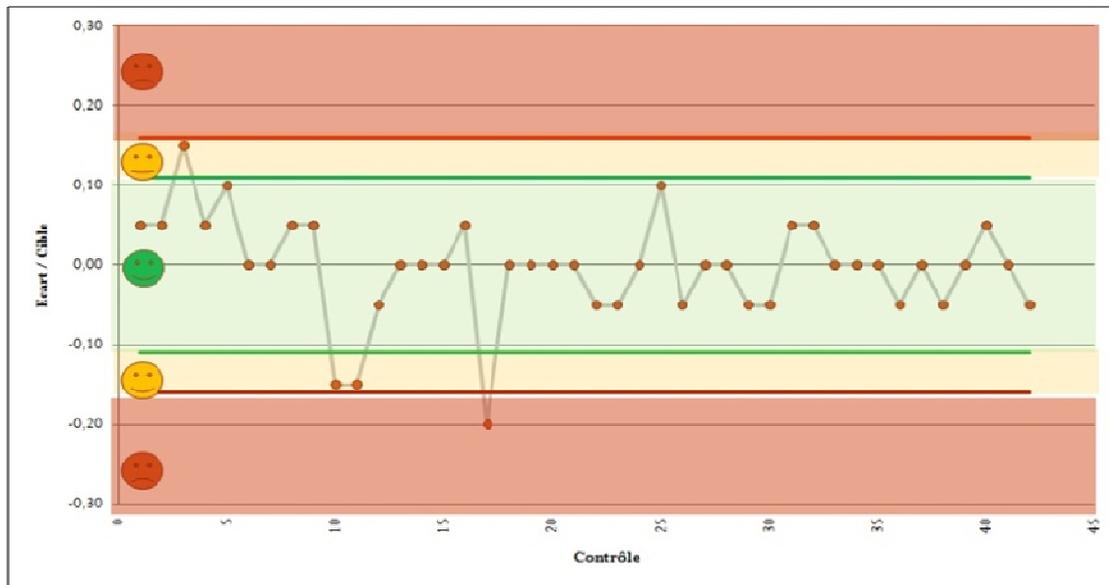


Figure 5 : Exemple d'une carte de contrôle

### 6.3.1.1. Interprétation de la carte

- ✓ Existence de point(s) en dehors des LCS et LCI (zone rouge): dispersion importante procédés non maîtrisé.
- ✓ Série de 8 points (ou plus) au-dessus ou bien au-dessous de la moyenne (zone vert) indiquent qu'il existe une tendance dans le procédé et qu'il a là aussi une variabilité qu'il n'est pas normale.
- ✓ Points éloignées de la ligne centrale montre la distribution bimodale qui traduit le mauvais fonctionnement du procédé.
- ✓ Toute les points sont regroupés sur la tendance centrale la variabilité normale du procédé n'apparait pas recalculer les limites.
- ✓ Succession de grand nombre de points à croitre vers le haut représente une tendance régulière et ascendante.
- ✓ Présence de cycle de points au voisinage de la limite supérieure et inférieure de façon presque régulier traduit par la présence d'un problème assignable.
- ✓ Les points sont distribués de façon à peu près symétrique de part et d'autre de la tendance : Carte normale.

## **1. Echantillonnage**

### **1.1. Prélèvements des eaux**

Les prélèvements d'eau ont été réalisés par les techniciens d'hygiène du milieu selon la technique décrite dans la norme (NM. 03.7.059) et qui consiste à :

- ✓ Se laver très soigneusement les mains et avant-bras avec un produit désinfectant, les rincer abondamment avec de l'eau.
- ✓ Flamber le robinet pendant au moins 1 minute, en utilisant de préférence une lampe à souder portative à gaz butane.
- ✓ Ouvrir le robinet et laisser couler 3 à 5 minutes avant de faire le prélèvement. Durant cette attente, et durant le prélèvement. Il est utile qu'un assistant maintienne la lampe à souder allumée, un peu au-dessus du robinet.
- ✓ S'il n'est pas possible de prélever l'eau par pompage, il faut disposer d'un panier métallique lesté. A l'intérieur duquel se loge le flacon de prélèvement, permettant d'entraîner celui-ci en dessous de la surface de l'eau ; le panier est muni d'une anse permettant de l'attacher à une corde pour le descendre au fond d'un puits et il est conçu de manière à permettre l'évacuation de l'eau entourant le flacon lors de la remontée au-dessus de la surface.
- ✓ Le panier et la corde qui lui est attachée, entourés d'un papier Kraft sont stérilisés, comme les flacons, à l'étuve avant emploi. Le prélèvement est à effectuer à environ 50 cm en dessous de la surface de l'eau
- ✓ Prélevés aseptiquement dans des flacons stériles en verre à large ouverture de capacité d'environ 500ml, les échantillons sont acheminés rapidement au laboratoire dans des glaciaires à 4°C et analysés immédiatement ou à défaut dans les 6 heures qui suivent le prélèvement.

### **1.2. Types d'analyses**

Les échantillons d'eau reçus par le laboratoire LRDEHM subissent deux types d'analyses :

### **1.2.1. Analyses bactériologiques**

Les analyses bactériologiques de l'eau ont pour but de mettre en évidence la présence ou non des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée. L'existence de bactéries ne saurait être tolérée, car elle présente de risques pour la santé de l'homme.

L'unité d'hygiène chargée de ces types d'analyses est indispensable d'apprécier la pollution en recherchant la présence de certains micro-organismes de l'eau tels que les coliformes totaux, coliformes fécaux, les *Escherichia coli*, et les streptocoques...

### **1.2.2. Analyses physico-chimiques**

Correspondent aux analyses que nous avons effectuées au sein du laboratoire et dont le détail est donné dans ce qui suit.

## **2. Matériels & méthodes**

### **2.1. Paramètres physiques**

#### **2.1.1. Potentiel Hydrogène : pH**

##### **2.1.1.1. Principe**

Le principe de base de cette mesure est la détermination de l'activité des ions hydrogène par mesure potentiométrique en utilisant une électrode de hydrogène et une électrode de référence. Dans la pratique on utilise plus généralement une électrode de verre associée à une électrode de référence au calomel ou encore une électrode combinée. La différence de potentiel existant entre l'électrode de verre et l'électrode de référence plongeant dans la même eau et une fonction linéaire du pH de celle-ci (NM 03.7.009).

L'étalonnage de l'appareil se fait par des solutions tampon de référence de pH connus.

##### **2.1.1.2. Matériels**

- ✓ pH- mètre marque ADWA, model AD1000 ;
- ✓ Electrode combinée qui réunit en une seule l'électrode de verre et l'électrode de référence ;
- ✓ Thermomètre.
- ✓ Matériel courant du Laboratoire (cônes, bécher, burette, micropipette....)
- ✓ Réfrigérateur.

### **2.1.1.3. Réactifs**

Les réactifs utilisés pour étalonnage de l'appareil sont des solutions tampons de pH mesurés à 20°C :

- ✓ Buffer solution pH4±0.05, quantité suffisante pour 500ml d'eau distillée;
- ✓ Buffer solution pH7±0.05, quantité suffisante pour 500ml d'eau distillée;
- ✓ Buffer solution pH10±0.05, quantité suffisante pour 500ml d'eau distillée;

### **2.1.1.4. Mode opératoire**

- ✓ Introduire l'électrode dans l'échantillon à examiner ;
- ✓ Lire le pH affichée sur l'écran du PH- mètre après stabilisation ;
- ✓ Rincer la sonde à l'eau distillée après chaque mesure ;
- ✓ Vérifier le pH à nouveau de la solution Buffer de pH=7.

## **2.1.2. Conductivité**

### **2.1.2.1. Principe**

La mesure de la conductivité est basée sur le principe de pont de Wheatstone qui mesure la résistance  $R(\Omega)$  d'une colonne d'eau de section  $S(\text{Cm}^2)$  et de longueur  $L$  (cm) entre deux électrodes en platine disposées parallèlement. Elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température (NM 03.7.011)

### **2.1.2.2. Matériels**

- ✓ Conductimètre marque WTW, model 330i.
- ✓ Sonde marque WTW, model TetraCon® 325.
- ✓ Thermomètre de précision au 1/10°C.
- ✓ Bain- marie porté à 20°C.
- ✓ Réfrigérateur.

### **2.1.2.3. Réactifs**

- ✓ Solution de calibration : KCl de concentration 0,01mol/l et de conductivité connue 1277  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

- ✓ Eau distillée de conductivité inférieure à 2 $\mu$ s/cm.

#### **2.1.2.4. Mode opératoire**

- ✓ Mettre l'appareil en marche et calibrer le avec la solution de KCl (1277  $\mu$ s/cm).
- ✓ Plonger l'électrode dans votre échantillon et lire la conductivité relative à votre échantillon directement sur l'appareil en ( $\mu$ s/cm) ou en (ms/cm).
- ✓ Rincer l'électrode après chaque mesure, les lectures se font à une température constante de 20°C.
- ✓ Vérifier à la fin de chaque série de mesure si la conductivité de la solution du chlorure de potassium à 0.01mol/l est acceptable.

## **2.2. Paramètres chimiques**

### **2.2.1. Nitrate**

#### **2.2.1.1. Principe**

Les nitrates sont convertis en nitrites rapidement par réduction. L'intensité de couleur produite du test est proportionnelle à la concentration des nitrates. Elle est mesurée par comparaison avec les couleurs permanentes du disque mis dans le comparateur.

#### **2.2.1.2. Matériels**

- ✓ Comparateur lovibond, modèle 2000.
- ✓ Disque lovibond, couvre la marge 10 à 100mg/l,
- ✓ Cuves en verre capacité 10ml.

#### **2.2.1.3. Réactifs**

Réactif Lovibond : Nitrate N°1 et Nitrate N°2.

#### **2.2.1.4. Mode opératoire**

- ✓ Mettre une pastille du réactif Lovibond « Nitrate N°1 » dans une cuve à 10ml ;
- ✓ Ajouter 10ml de l'échantillon à tester;
- ✓ Dissoudre complètement la pastille avec une baguette appropriée, attendre 30 seconde ;
- ✓ Ajouter une pastille du réactif lovibond « Nitrate N°2 », puis l'écraser ;

- ✓ Homogénéiser la préparation par agitation manuelle, puis attendre trois minutes;
- ✓ Mettre la cuve dans le compartiment droit du comparateur ;
- ✓ Mettre une autre cuve contenant 10 ml de l'eau distillée exempte des deux réactifs N°1 et N°2 (blanc analytique) dans le compartiment gauche ;
- ✓ Faire tourner le disque jusqu'à l'obtention d'une coloration identique ;
- ✓ Noter le résultat d'échantillon trouvé à l'aide du comparateur en mg/l en nitrates;

## **2.2.2. Nitrite**

### **2.2.2.1. Principe**

L'intensité de couleur produite du test est proportionnelle à la concentration des nitrites. Elle est mesurée par comparaison avec les couleurs permanentes du disque mis dans le comparateur.

### **2.2.2.2. Matériels**

- ✓ Comparateur Lovibond, model 2000.
- ✓ Disque 3/103 lovibond, couvre la marge 0.05 à 0.5mg/l en nitrites,
- ✓ Cuves en verre capacité 10ml.

### **2.2.2.3. Réactifs**

- ✓ Réactif Lovibond à l'acide sulfanilique

### **2.2.2.4. Mode opératoire**

Pour analyser les échantillons, on procède comme suit :

- ✓ Mettre une pastille du réactif Lovibond dans une cuve à 10 ml ;
- ✓ Ajouter 10 ml de l'échantillon à tester ;
- ✓ Dissoudre complètement la pastille avec une baguette appropriée,
- ✓ Homogénéiser par agitation manuelle puis attendre dix (10) minutes ;
- ✓ Mettre la cuve dans le compartiment droit du comparateur ;
- ✓ Mettre une autre cuve contenant 10 ml de l'eau distillée exempte des nitrites et une pastille du réactif (blanc analytique), dans le compartiment gauche ;
- ✓ Faire tourner le disque jusqu'à l'obtention d'une coloration identique ;

- ✓ Noter le résultat trouvé en mg/l en nitrites contre la lumière du jour ;

### **2.2.3. Cuivre**

#### **2.2.3.1. Principe**

Le cuivre réagit avec le zincon en solution buffer en donnant une coloration bleue. L'intensité de la couleur est fonction de la concentration en cuivre dans l'échantillon. Elle est mesurée par comparaison avec les couleurs permanentes du disque mis dans le comparateur.

#### **2.2.3.2. Matériels**

- ✓ Comparateur marque Lovibond, modèle 2000.
- ✓ Disque 3/110 lovibond, couvre la marge 0 à 4mg/l.
- ✓ Cuves en verre capacité 10ml.

#### **2.2.3.3. Réactifs**

Réactif Lovibond: Copper/Zinc High Range Test Tablets (for disc 3/110).

#### **2.2.3.4. Mode opératoire**

Procéder comme suit :

- ✓ Mettre une pastille du réactif Lovibond dans une cuve à 10ml ;
- ✓ Ajouter 10ml de la solution de cuivre à 2mg/l ;
- ✓ Dissoudre complètement la pastille avec une baguette appropriée, attendre cinq minutes;
- ✓ Mettre la cuve dans le compartiment droit du comparateur ;
- ✓ Mettre une autre cuve contenant 10ml de l'eau distillée exempte de cuivre et une pastille du réactif (blanc analytique), dans le compartiment gauche ;
- ✓ Faire tourner le disque jusqu'à l'obtention d'une coloration identique ;
- ✓ Lire le résultat en mg/l en cuivre contre la lumière du jour;

### **2.2.4. Chlore résiduel**

#### **2.2.4.1. Principe**

La diéthylparaphénylènediamine (DPD) : réactif sous forme de pastille donnant une couleur rose rouge en présence du chlore. L'intensité de la couleur est fonction de la concentration en Chlore résiduel dans l'échantillon. Elle est mesurée par comparaison avec les couleurs permanentes du disque mis dans le comparateur.

#### **2.2.4.2. Matériels**

- ✓ Comparateur marque Lovibond, modèle 2000.
- ✓ Disque 3/40A lovibond, couvre la marge 0 à 1 mg/l.
- ✓ Cuves en verre capacité 10 ml.

#### **2.2.4.3. Réactifs**

Réactif Lovibond : DPD n°1 + DPD n°3 donne la teneur en chlore résiduel.

#### **2.2.4.4. Mode opératoire**

Même procédures utilisés dans le cas du cuivre.

### **2.3. Validation d'une technique analytique : dosage des nitrites dans l'eau**

#### **2.3.1. Principe**

En milieu acide, la diazotation de la sulfanilamide par les nitrites en présence du dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino- 1,2 éthane (NED) donne un complexe rose susceptible d'une mesure spectrophotométrique à la longueur d'onde de 540 nm. (NM : 03.7.013).

#### **2.3.2. Interférences**

Les paramètres pouvant interférer dans le dosage sont :

La turbidité, la couleur, le chlore libre, certains ions ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ....) et certains métaux à des concentrations élevées (Fe, Mg, Cu...)

#### **2.3.3. Matériels**

Spectrophotomètre à la longueur d'onde de 540 nm et cuve de 10 mm.

#### **2.3.4. Réactifs**

- ✓ Eau distillée exempte de nitrites ;

- ✓ Réactif de diazotation : Réactif sulfanilique + solution de NED ;
- ✓ Solution mère étalon à 100 mg/l de  $\text{NO}_2^-$  ;
- ✓ Solution fille étalon à 1 mg/l de  $\text{NO}_2^-$  (dilution au 1/100 de la solution mère étalon).

### 2.3.5. Mode opératoire

Introduire dans une série de fioles jaugées de 50 ml des volumes de solution étalon indiqués dans le tableau ci-dessous et compléter au volume avec l'eau distillé :

Numéro des fioles	1	2	3	4	5	6
Solution fille étalon à 1mg/l (ml)	0	1	5	20	30	50
Eau distillée (ml)	50	49	45	30	20	0
Concentration en $\text{NO}_2^-$ en mg/l	0	0,02	0,10	0,40	0,60	1

Tableau 1 : Préparation de la gamme d'étalonnage

- ✓ Dans chaque fiole ajouter 1 ml de réactif de diazotation et homogénéiser ;
- ✓ Attendre 30 min après l'ajout du réactif et mesurer l'absorbance au spectrophomètre à 540 nm en utilisant comme liquide de référence fiole N°1 (voir tableau 1).

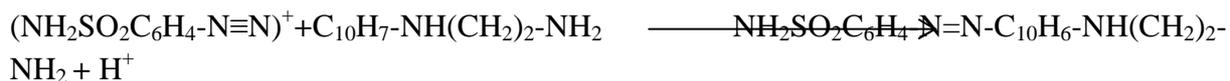


Photo 3 : Colorations obtenues de la gamme d'étalonnage

La sulfanilamide réagit avec les ions nitrites en milieu acide, pour former un diazoïque qui réagit alors avec le N-naphtyl-éthylénediamine, le composé formé de coloration ci-dessus absorbe vers la longueur d'onde de 540 nm.

La réaction est la suivante :





### 2.3.5.1. Détermination de la spécificité

- ✓ Vérifier que les mesures des absorbances des réactifs préparés s'effectuent à 540 nm et que la méthode ne mesure que l'absorbance du réactif recherché.

### 2.3.5.2. Détermination de la sensibilité

- ✓ Préparer 10 gammes d'étalonnage de concentrations 0,02 mg/l - 0,1 mg/l - 0,4 mg/l - 1 mg/l ;
- ✓ Noter les absorbances de chaque point de la gamme (obtenues par spectrophotomètre) ;
- ✓ Tracer les droites de régression des 10 gammes d'étalonnage ;
- ✓ Calculer l'équation de la droite de régression linéaire de chaque série ;
- ✓ Tracer la droite de régression linéaire moyenne et calculer le coefficient de corrélation ( $R^2$ ) ;

### 2.3.5.3. Détermination de la fidélité

#### ➤ Répétabilité :

- ✓ Répéter le dosage d'un même échantillon 15 fois ( $n=15$ ) pour les solutions de concentrations 0,1 mg/l, 0,4 mg/l, 0,6 mg/l, effectuer une seule mesure par répétition ( $p=1$ ) par le même opérateur, même appareil et dans les mêmes conditions ;
- ✓ Calculer la moyenne des 15 mesures ;
- ✓ Déterminer le nombre de répétitions par jour :  $N=1$  ;
- ✓ Calculer la somme des carrés des écarts intra-laboratoire ou résiduelle (SC<sub>Er</sub>) comme suit : **SC<sub>Er</sub> = Somme des sommes  $(X_i - m_i)^2$**
- ✓ Calculer la variance de répétabilité :  $S^2_r = \text{SC}_{Er} / (N-p)$
- ✓ Calculer la limite de répétabilité ( $r$ ) à 95% comme suit :  **$R = 2,83 * S_r$** .

$$\text{Tel que : } S_r = \sqrt{\text{SC}_{Er}}$$

#### ➤ Reproductibilité :

- ✓ Suivre les mêmes procédures de la répétabilité et effectuer 15 mesures (n=15) ;
- ✓ Changer l'opérateur ou les conditions de travail, matériels...
- Justesse et précision

✓ Justesse =  $\frac{X - \bar{X}}{X} * 100$  Avec ; **X** : valeur cible (0,1 ; 0,4 et 0,6 mg/l)

$\bar{X}$  : Valeur moyenne des concentrations mesurées

- ✓ Précision :

- Calculer l'écart type comme suit :  $s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
- Calculer CV :  $CV(\%) = S / \bar{X} * 100$

#### 2.3.5.4. Détermination de la LD et LQ

- ✓ Préparer 10 bancs et les doser avec le spectrophotomètre ;
- ✓ Calculer la moyenne des concentrations obtenues pour le blanc et calculer LD et LQ :  $LD = m_0 + 3S$  et  $LQ = m_0 + 10S$
- ✓ Calculer l'écart type S.

#### 2.3.6. Construction des cartes de contrôle

Faire plusieurs mesures pour chaque concentration et calculer  $\bar{X}$ , S, LSC, LCI, LSS et LSI.

## 1. Evaluation de qualité hygiénique des eaux d'alimentation humaine

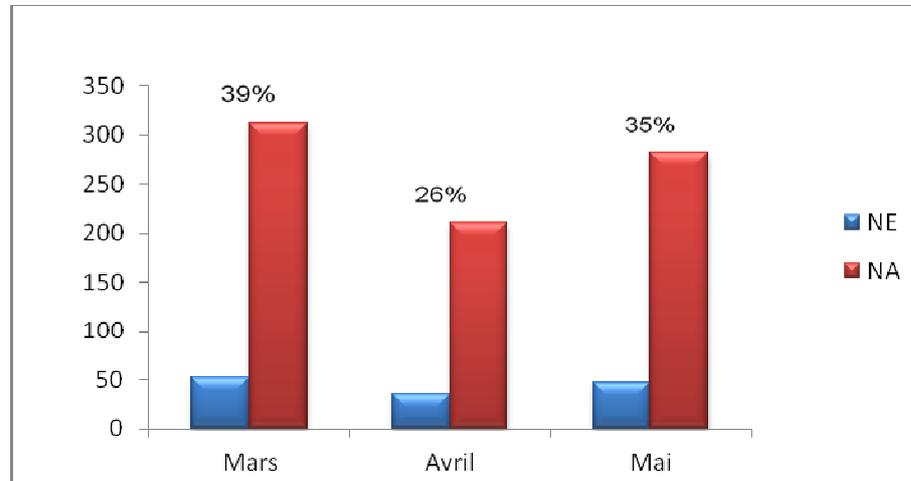
### 1.1. Répartition des échantillons selon la région et la nature de l'eau

Le Laboratoire de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu constitue une structure d'appui indispensable pour la surveillance épidémiologique notamment en ce qui concerne le contrôle de l'eau : eau d'alimentation humaine, eau de piscine...

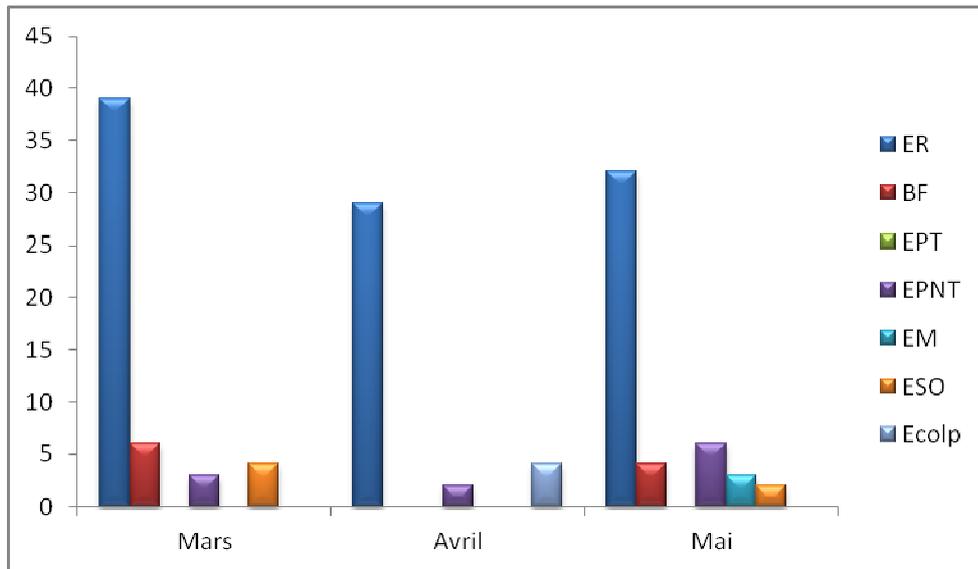
Le LDEHM couvre les besoins de trois provinces : Fès, My yacoub et Sefrou en ce qui concerne le contrôle de la qualité des eaux. Les échantillons d'eaux sont prélevés à partir des restaurations collectives, des hôpitaux, des puits, des maisons etc. et elles sont acheminées au laboratoire pour analyses bactériologiques et physico-chimiques.

Durant ma période de stage, le laboratoire de diagnostic épidémiologique et d'hygiène du milieu de Fès a reçu 262 échantillons des eaux destinés à la consommation humaine. Les graphes ci-dessous montrent la répartition des échantillons reçus et des analyses effectués au laboratoire (pH, conductivité, nitrite, nitrate, chlore résiduel et cuivre) en fonction des régions et de la nature de l'eau. (Les échantillons analysés sont indexés dans l'annexe 2)

#### 1.1.1. Au niveau de la région de Fès



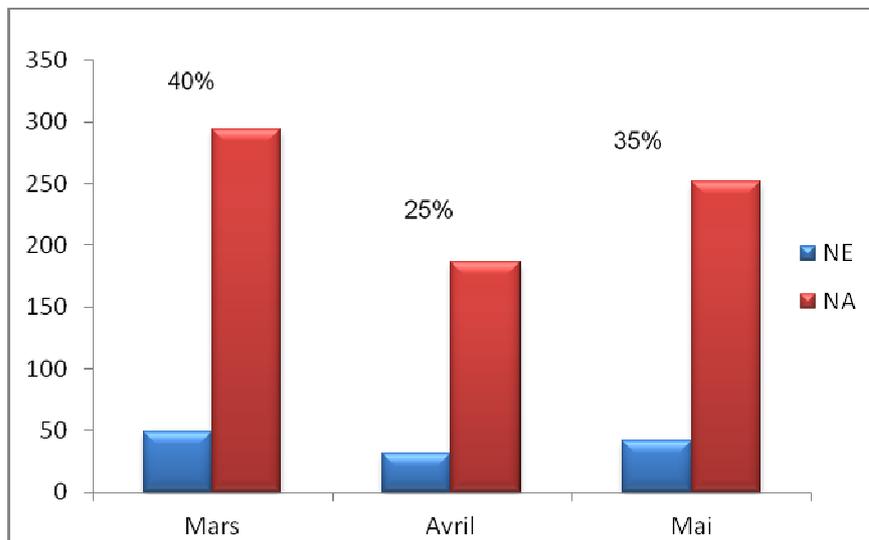
Graph 1 : Evolution des NE et NA en fonction des mois – Fès



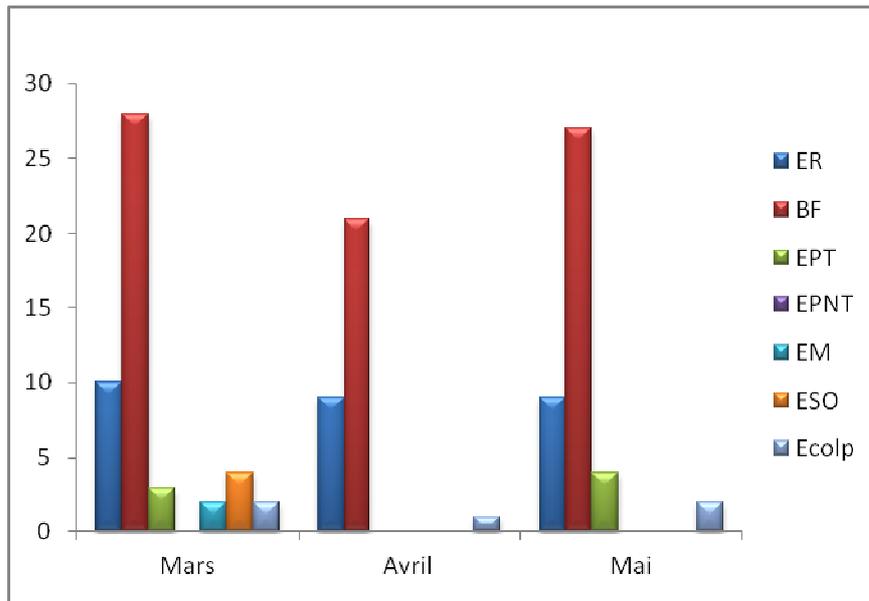
Graph 2 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-Fès

On constate que les NE et NA reçus de la ville de Fès est élevé pendant Mars (39%) et Mai (35%). Ceci peut être dû aux changements climatiques pouvant influencés les caractéristiques de l'eau. Le nombre d'échantillon d'eau de réseaux analysé pendant la même période est de 129, suivi d'eau nature BF (86) , EPNT (16), ESO (10), Ecolp (9), EPT (7) et EM avec 5 nombre d'échantillon.

### 1.1.2. Au niveau de la région de Moulay Yacoub



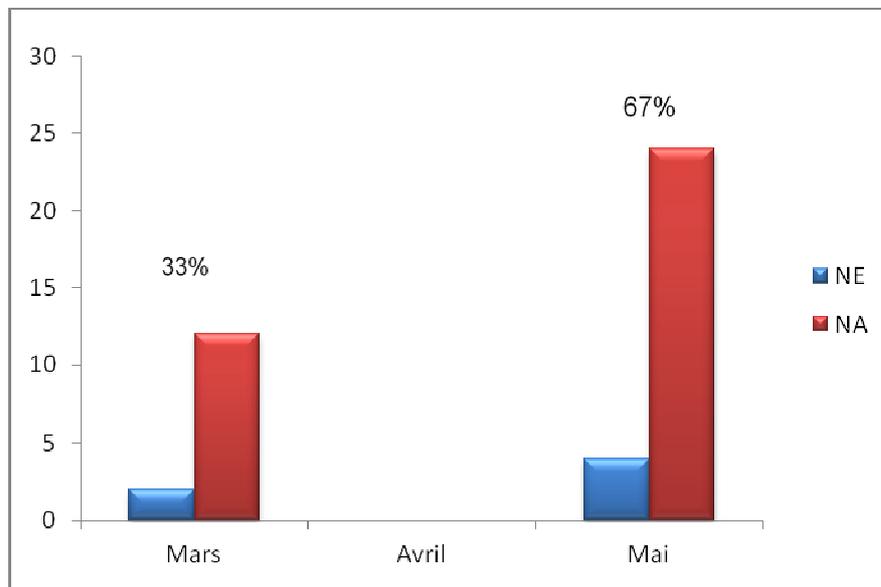
Graph 3 : Evolution des NE et NA en fonction des mois- MY



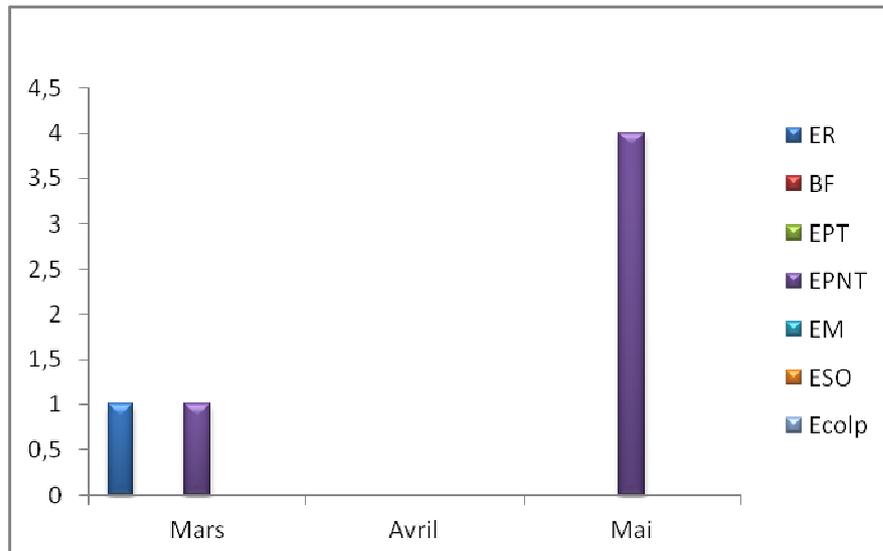
Graph 4 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-MY

On constate que les effectifs des NE, NA pour la région de MY augmente au cours des deux mois mars (40%) et mai (35%) comme dans le cas de la ville de Fès avec une nette prédominance des analyses des eaux de nature BF, car cette eau constitue une source principale d'eau d'alimentation humaine pour la population de la région de MY.

### 1.1.3. Au niveau de la région de Séfrou



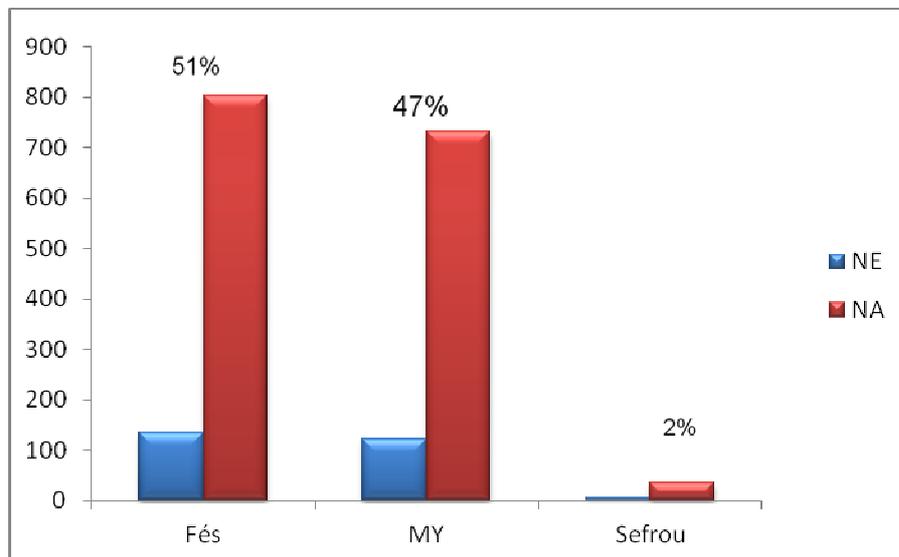
Graph 5 : Evolution des NE et NA en fonction des mois- Sefrou



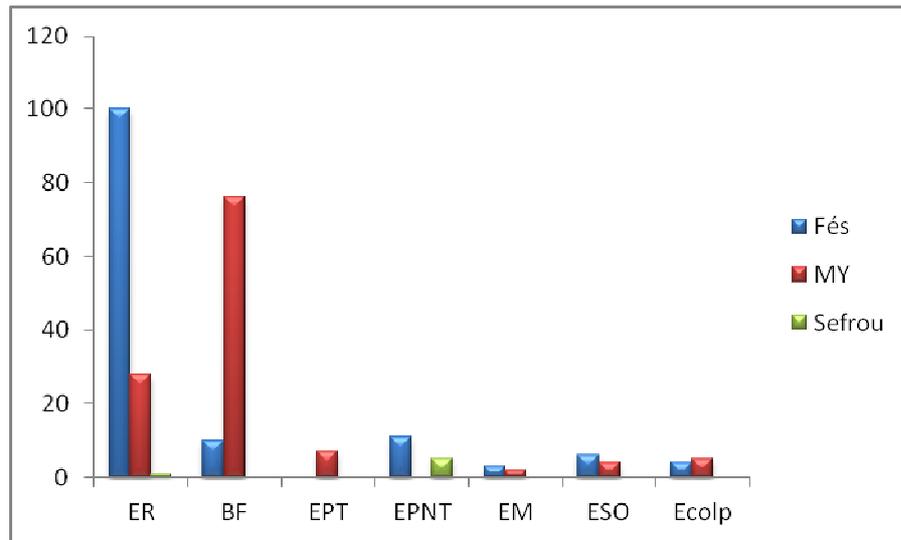
Graph 6 : Evolution des NE analysés par mois selon la nature de l'eau-Séfrou

Pour la région de Sefrou on observe que les NE et NA augmentent en Mars (33%) et Mai (67%) et s'absentent en mois avril, ainsi plusieurs classe de l'eau sont manqués pendant les différents mois tels que BF, Ecolp, EPT, EM et ESO avec une nette prédominance de l'eau de nature EPNT. Ceci revient au fait que la région de Sefrou est une ville rurale et connue par ses activités agricole (utilisation des puits).

#### 1.1.4. Total des résultats pour les trois régions



Graph 7 : Evolution des NE et NA selon la région



Graph 8 : Evolution des NE analysés en fonction de la nature de l'eau par région

La grande majorité des échantillons étaient reçus de la part des deux provinces Fès (51%) et MY (57%). Tandis que la participation maximale de la province de Sefrou ne dépasse pas 2% (Graph 7). Ceci s'explique par le fait que les provinces de Fès et Moulay Yacoub sont très peuplées que celle de Sefrou (Fès actuellement environ 1 050 000 habitants et My yacoub=155000 habitants alors que la ville de Sefrou ne compte que 274177 d'habitats).

La répartition des échantillons selon la nature de l'eau montre que sur 262 échantillons reçus au laboratoire, 75% appartiennent à la nature de l'eau ER, 7% de nature BF et 8% de nature EPNT, les autres classes de l'eau sont représentées par un faible pourcentage qui ne dépasse pas 10 % dans l'ensemble.

L'augmentation permanente de l'effectif de la nature de l'eau Eau de Réseau revient au fait que la majorité des eaux consommées par la population appartiennent à cette catégorie.

## 1.2. Résultats du suivi chronologique du pH et de la conductivité

Paramètres	Conductivité	pH
Moyen	1276,48	7,02
Ecart type	4,59	0,01
CV%	0,36	0,19
LCS	1290,245	7,062
LCI	1262,721	6,983
LSS	1285,658	7,049
LSI	1267,308	6,996

Tableau 2 : Résultats du calcul des paramètres de la carte de contrôle

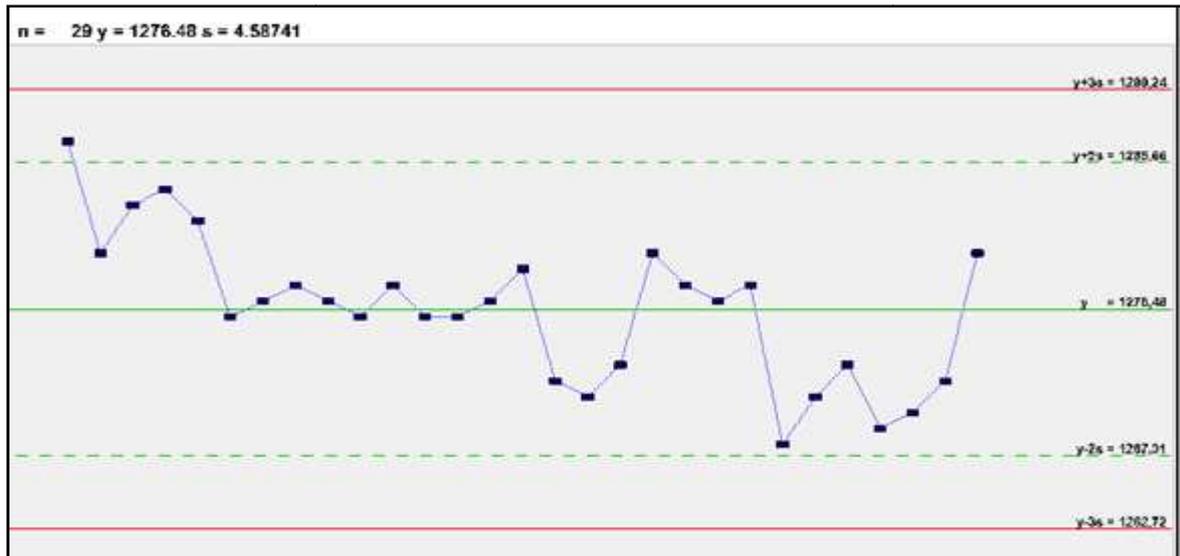


Figure 6 : Carte de contrôle de la conductivité

Dans cette carte de contrôle, les points sont distribués de façon à peu près symétrique de part et d'autre de la tendance centrale. Aucun point n'est en dehors des limites LCS et LCI et il n'y a pas de successions de points qui pourraient indiquer la présence de cause assignable, un seul point qui se trouve en dehors de la limite de surveillance supérieure mais cela ne présente aucun effet sur les valeurs de la conductivité des échantillons obtenues.

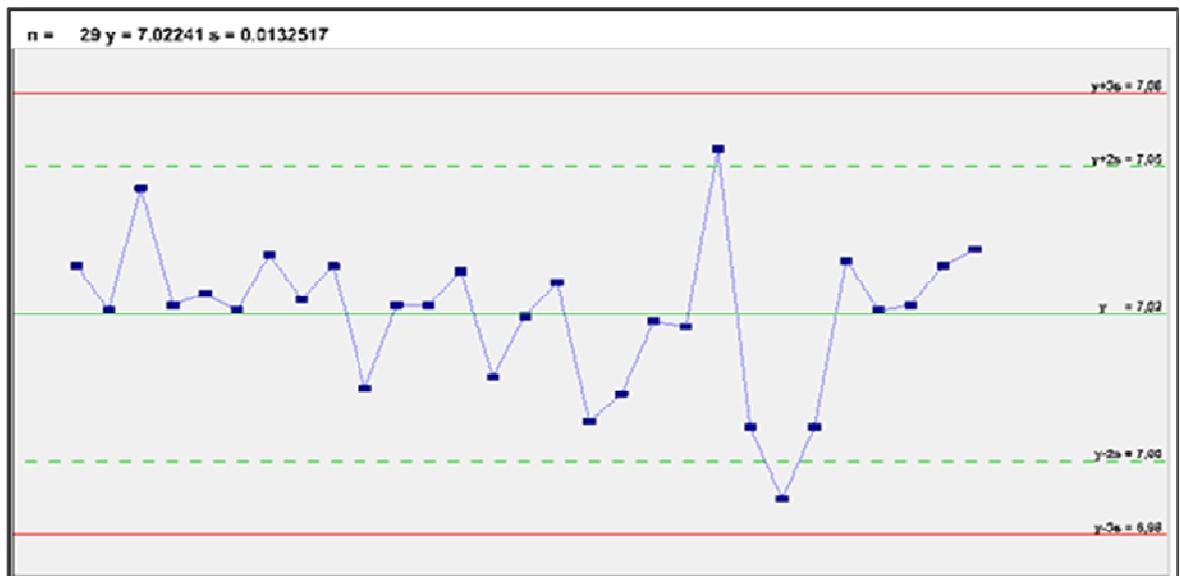


Figure 7 : Carte de contrôle du pH

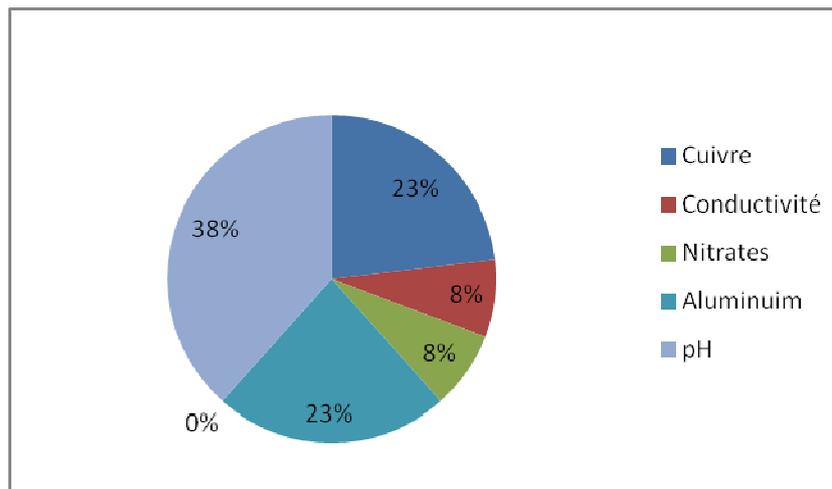
Le graphique présente 8 points successives au-dessus de la moyenne. Ceci est peut-être dû aux manipulations des préparations ou mauvaise utilisation des électrodes (rinçage....).

### 1.3. Etude des paramètres physico-chimiques : non-conformité

#### 1.3.1. La non-conformité selon les paramètres physico-chimiques

Paramètres	NENC	Nature	NENC
Cuivre	3	ER	3
Conductivité	1	ER	1
Nitrates	1	ESO	1
Aluminium	3	BF	1
		Ecolp	1
		ER	1
pH	5	ER	3
		EPNT	1
		BF	1

Tableau 3 : Non-conformités des paramètres physico-chimiques de l'eau

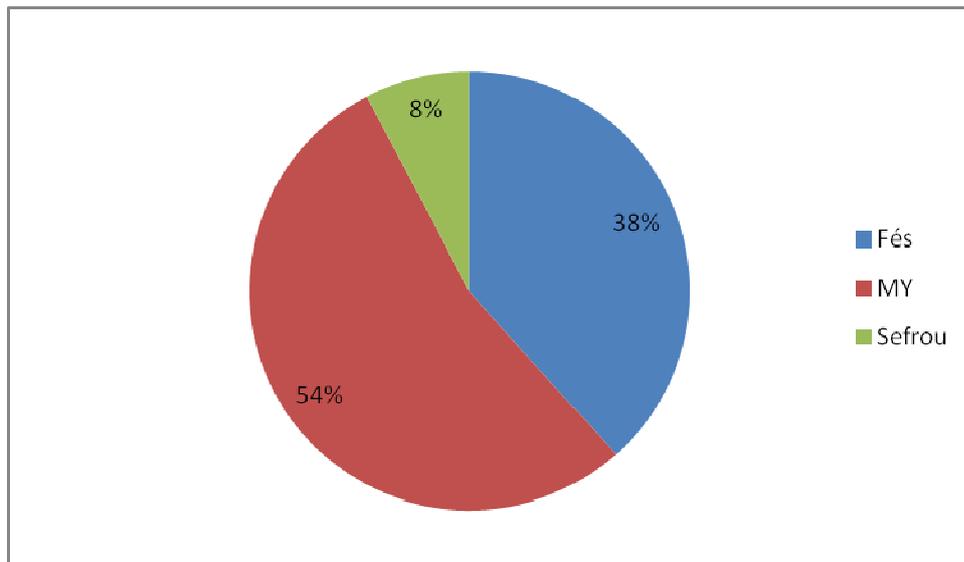


Graphique 9 : Pourcentage de non-conformité selon les paramètres physico-chimiques

La non-conformité est un indicateur de qualité des eaux. Une eau qui ne répond pas aux normes recommandées est déclarée de qualité non satisfaisante parfois toxique selon le résultat des analyses physico-chimiques.

Comme montré en graphique 9, on note des non-conformités importantes (dépassent la valeur limite de la NM 03.7.001 : voir annexe 1) surtout pour pH (> 8,5), cuivre (> 2 mg/l) et l'aluminium (0,2 mg/l). Cela peut être à l'origine de plusieurs facteurs tels que : les changements climatiques - vieillissement de la canalisation et dissolution des certains métaux - la nature géologique du roches etc. Ces facteurs peuvent provoquer des effets néfastes sur la santé humaine (voir partie : revue bibliographie).

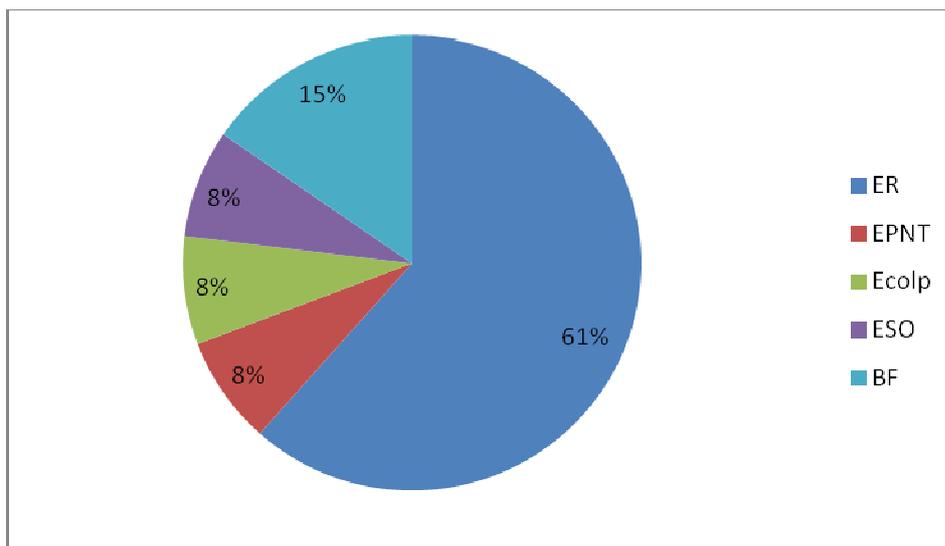
### 1.3.2. La non-conformité selon la région



Graph 10 : Pourcentage des non conformités selon la région

La présentation graphique de la distribution totale de la non-conformité des échantillons des eaux analysés au laboratoire (Graph 10) montre une irrégularité de distribution. Les plus grandes valeurs sont enregistrés pour la région de MY avec 122 échantillons ce qui représente 54% de l'ensemble des échantillons et la région de Fès avec un effectif de 134 échantillons soit 38%. Le plus faible effectif (6 échantillons) est enregistré pour la région de sefrou avec 8% de non-conformité. (Voir graphe 10)

### 1.3.3. La non-conformité selon la nature de l'eau



Graph 11 : Pourcentage des non conformités selon la nature de l'eau

Comme montré le graphe 11, on note que sur les 16 échantillons non conformes, les eaux de réseau (61%) et les eaux BF (15%) sont les plus prédominants car ces eaux constitue la majorité des prélèvements analysés.

### **1.4.Résultats des analyses des métaux lourds**

Les cinquante échantillons pour analyses des métaux lourds sont analysés au Centre Régional Universitaire d'Interface (CURI).

#### **1.4.1. Paramètres toxiques (Annexe 2)**

	<b>Les paramètres toxiques</b>		
<b>Région</b>	NE	NA	NC
<b>Fès</b>	28	308	1
<b>MY</b>	22	242	2

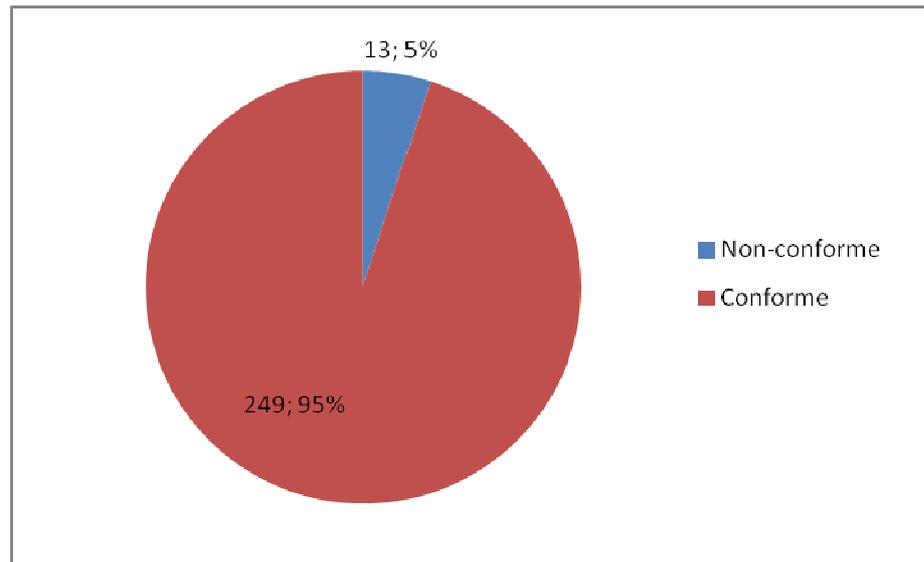
**Tableau 4 : Résultats des paramètres toxiques selon la région**

#### **1.4.2. Paramètres bénéfiques pour la santé (Annexe 3)**

	<b>Paramètres bénéfiques pour la santé</b>		
<b>Région</b>	NE	NA	NC
<b>Fès</b>	28	140	0
<b>MY</b>	22	110	0

**Tableau 5 : Résultats des paramètres bénéfiques selon la région**

Les résultats d'analyses des métaux lourds toxique (Cd, Al, As, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni Pb, Ti et Zn) et des métaux bénéfiques pour la santé (Ca, K, Mg et Na) effectués sur 50 échantillons(annexe 2) au Centre Universitaire Régional d'Interface par la méthode d'ICP-AES ont révélés une non-conformité au niveau d'un seul métal toxique (Aluminium) pour trois échantillons seulement EC1, EC20 et EC50 (Annexe 4), et les autres métaux sont conformes à la norme 03.7.001 ( voir Annexe 1).



Graph 12 : Total de conformité et non-conformité

Les analyses effectuées sur les caractères physico-chimiques de l'eau d'alimentation humaine révèlent un faible pourcentage de la non-conformité atteint 5% pour 262 échantillons. Alors que le pourcentage de la conformité atteint 95% donc l'eau consommée par les habitants des régions de Fès- MY et Sefrou est conforme à la norme 03.7.001.

**Note :** Les résultats concernant la répartition des échantillons d'eaux par nature et par région sont obtenus sous formes des tableaux et sont présentés graphiquement par Excel dont la qualité graphique est meilleure (Annexe 5)

## 2. Validation de la méthode du dosage des nitrites par spectrophotomètre

### 2.1. Spécificité et sélectivité

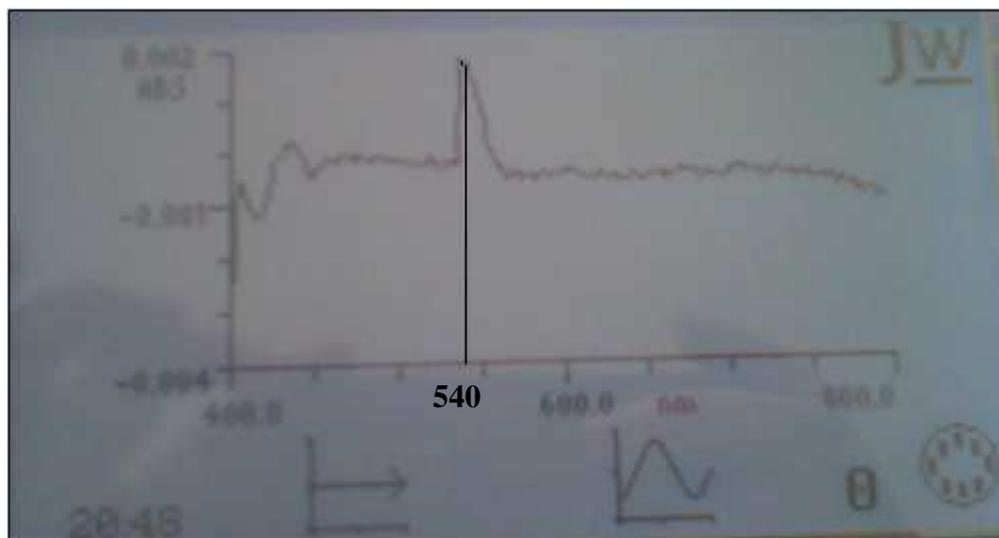


Photo 4 : Spectre d'adsorption du réactif recherché à 540 nm

Le spectre ci-dessus du réactif analysé absorbe à la longueur d'onde 540nm cela confirme que la méthode est spécifique et ne mesure que l'absorbance du composé recherché.

## 2.2. Linéarité

Concentrations mg/l					Equation de la droite	Pente (a)	Ordonnée à l'origine (b)	Date	R <sup>2</sup>
0	0,02	0,1	0,4	1	(Y = b + aX)				
Absorbances									
Sensi1	0,02	0,05	0,23	0,49	Y=0,494x+0,006	0,494	0,006	14/03/2011	0,996
Sensi2	0,02	0,05	0,21	0,46	Y=0,453x+0,010	0,453	0,010	19/04/2011	0,996
Sensi3	0,02	0,06	0,21	0,49	Y=0,489x+0,008	0,489	0,008	20/04/2011	0,999
Sensi4	0,02	0,06	0,21	0,48	Y= 0,469x+ 0,010	0,469	0,010	11/04/2011	0,997
Sensi5	0,02	0,06	0,21	0,50	y = 0,491x + 0,007	0,491	0,007	26/04/2011	0,999
Sensi6	0,02	0,06	0,22	0,48	y = 0,431x + 0,015	0,470	0,011	02/05/2011	0,996
Sensi7	0,02	0,05	0,22	0,50	y = 0,496x + 0,006	0,496	0,006	23/05/2011	0,999
Sensi8	0,02	0,05	0,21	0,46	y = 0,460x + 0,008	0,460	0,008	20/05/2011	0,997
Sensi9	0,02	0,06	0,22	0,50	y = 0,492x + 0,007	0,492	0,007	25/05/2011	0,998
Sensi10	0,02	0,06	0,21	0,50	y = 0,496x + 0,003	0,496	0,003	16/05/2011	0,999
Moyenne des absorbances					Droite de la moyenne				
0	0,020	0,055	0,214	0,485	Y = 0,481x + 0,008	0,481	0,008	26/05/2011	0,998
Ecart type	0,001	0,004	0,005	0,016					
CV(%)	6,62	6,93	2,40	3,23					

Tableau 6 : Résultats de l'étude de la linéarité

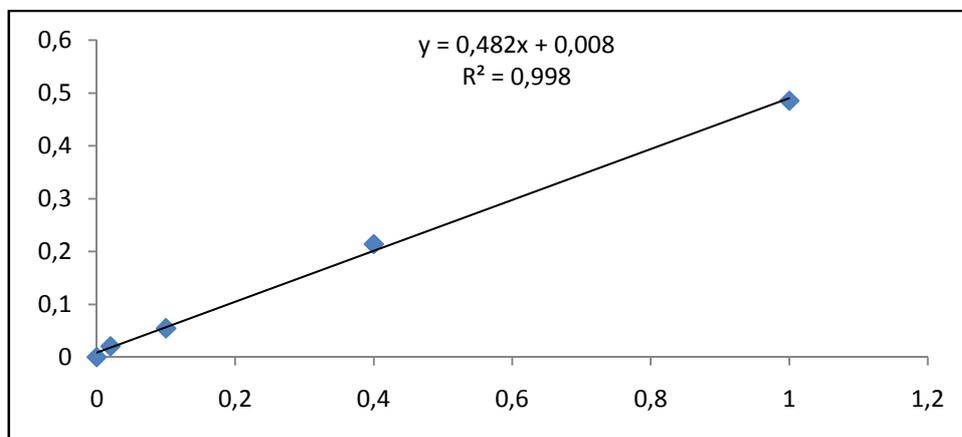


Figure 8 : Représentation de la droite de régression de la linéarité

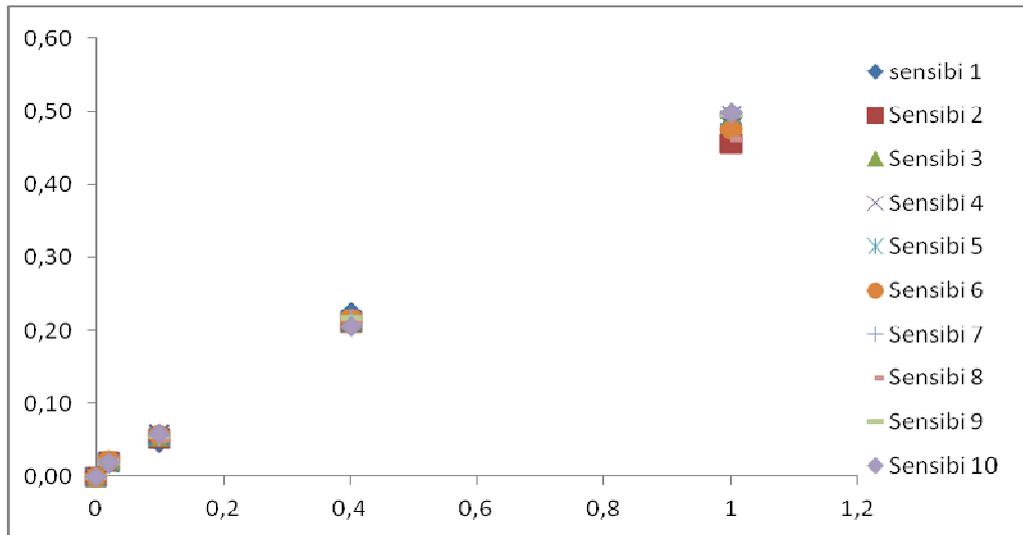


Figure 9 : Représentation des 10 gammes d'étalonnage

Les résultats obtenus à partir des différents points de gamme sur les deux figures 1 et 2 montrent qu'il y a une bonne corrélation ( $R^2 = 0,998 > 0,995$ ) entre les absorbances obtenus et les concentrations cibles (figure 1), tous les points appartenant aux différentes droites individuels sont superposables avec notation d'une petite dispersion au niveau du 4ème point qui est due à la justesse. **Sensibilité = 0.481 l/mg**

### 2.3. Fidélité

#### 2.3.1. Répétabilité

Paramètres de répétabilité	Solution à 0,1 mg/l	Solution à 0,4 mg/l	Solution à 0,6 mg/l
Moyenne	0,1000	0,4304	0,5754
Ecart type	0,0038	0,0138	0,0323
CV %	3,8464	3,2026	5,6220
Variance	0,0001	0,0002	0,0010
Justesse	89,80	67,60	35,90
Incertitude de mesure	0,026	0,150	0,217
SCEr	0,0002	0,0025	0,0146
N	15	15	15
p	1	1	1
S <sup>2</sup> r	0,00001	0,0002	0,0010
Sr	0,0038	0,0134	0,0323
Répétabilité r	0,0109	0,0379	0,915

Tableau 7 : Résultats de l'étude de la répétabilité pour les trois contrôles

### 2.3.2. Reproductibilité

Paramètres de reproductibilité	Solution à 0,1 mg/l	Solution à 0,4 mg/l	Solution à 0,6 mg/l
Moyenne	0,1018	0,4314	0,6410
Ecart type	0,0203	0,0188	0,0437
CV %	11,5024	4,3502	6,8183
Variance	0,0004	0,0003	0,0019
Justesse	91,87	67,8510	46,8471
Incertitude de mesure	0,093	0,092	0,249
SCEr	0,0019	0,0049	0,0267
N	15	15	15
p	1	1	1
S <sup>2</sup> r	0,0001	0,0003	0,0020
Sr	0,01166	0,0195	0,0454
Reproductibilité ®	0,0329	0,0551	0,1284

Tableau 8 : Résultats de l'étude de la reproductibilité pour trois contrôles

Résultats de la fidélité a montré que la méthode est :

- ✓ Répétabilité : les écarts d'erreurs pour 25 répétitions pour les trois concentrations (0,1mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6mg/l) sont successivement 0,021 ; 0,044 et 0,113 et ces coefficients de variation restent acceptables puisqu'ils ne dépassent pas 15%.
- ✓ Reproductibilité l'écart d'erreur pour 15 répétitions pour les trois concentrations (0,1mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6mg/l) sont successivement 0,0136 ; 0,055 et 0,128 et ces écarts restent acceptables puisqu'ils ne dépassent pas 15%.
- ✓ Juste et précise (les écarts types sont très acceptables).

### 2.4.Limite de détection et limite de quantification

Paramètres de la LD	Valeurs
Moyenne (m <sub>0</sub> )	0,004
Ecart type (S)	0,00165
Limite de détection (LD)	0,0084
Limite de quantification (LQ)	0,0199

Tableau 9 : Résultats de détermination de la LD et LQ

La limite de détection donner par la moyenne des dix mesures du blanc analytique est très faible elle est égale à 0,0084 mg/l, il est donc possible de déterminer des quantités très faibles des nitrites dans l'eau d'alimentation humaine.

La limite de quantification correspond à la plus petite valeur à partir de laquelle un résultat d'analyse peut être rendu avec une fidélité satisfaisante elle est toujours supérieure à limite de détection (LQ= 0,0199).

## 2.5. Carte de contrôle

### 2.5.1. Cas de la répétabilité

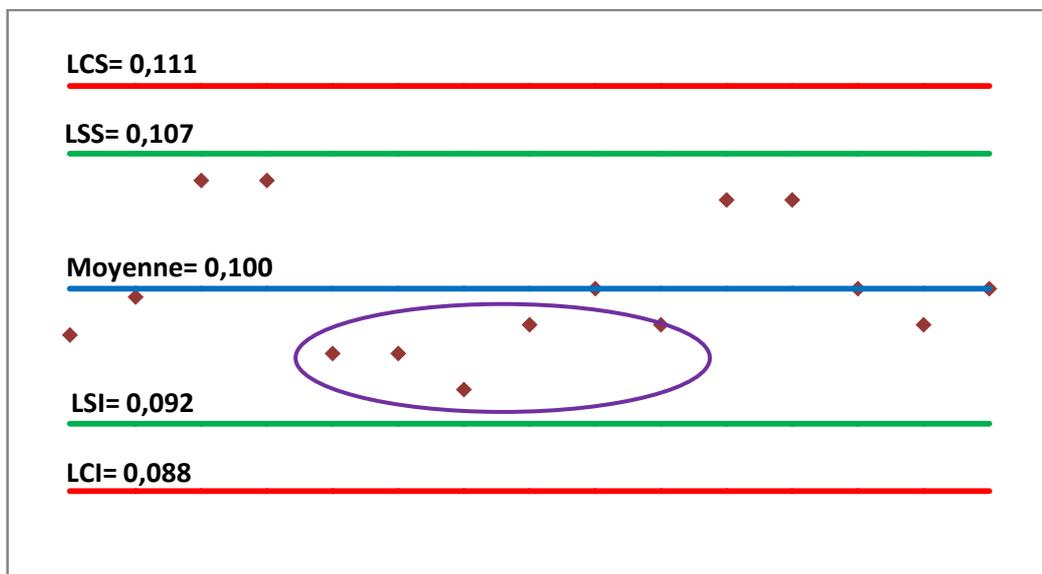


Figure 10 : Carte de contrôle de la concentration 0,1 mg/l

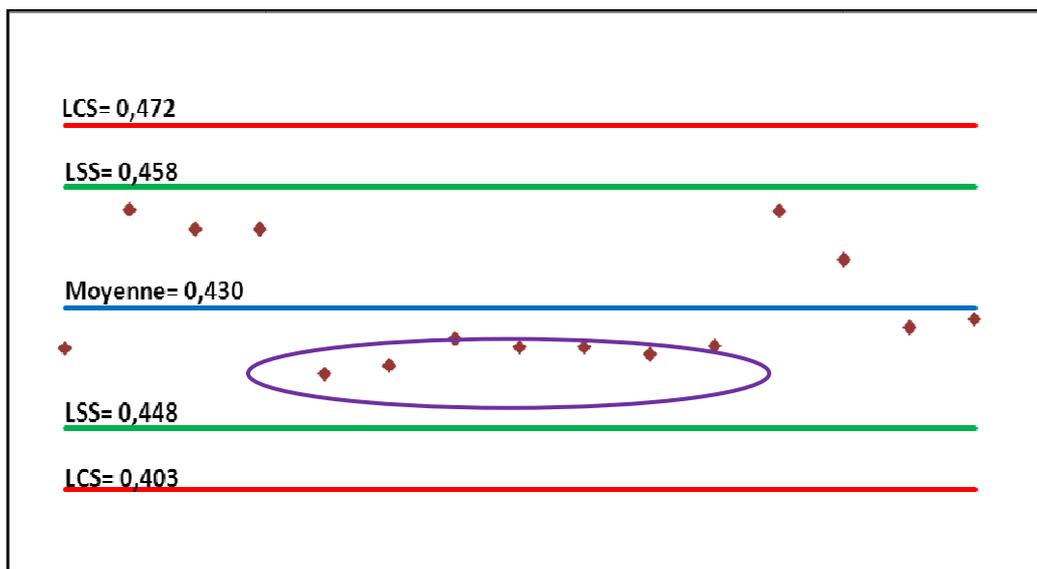


Figure 11 : Carte de contrôle de la concentration 0,4 mg/l

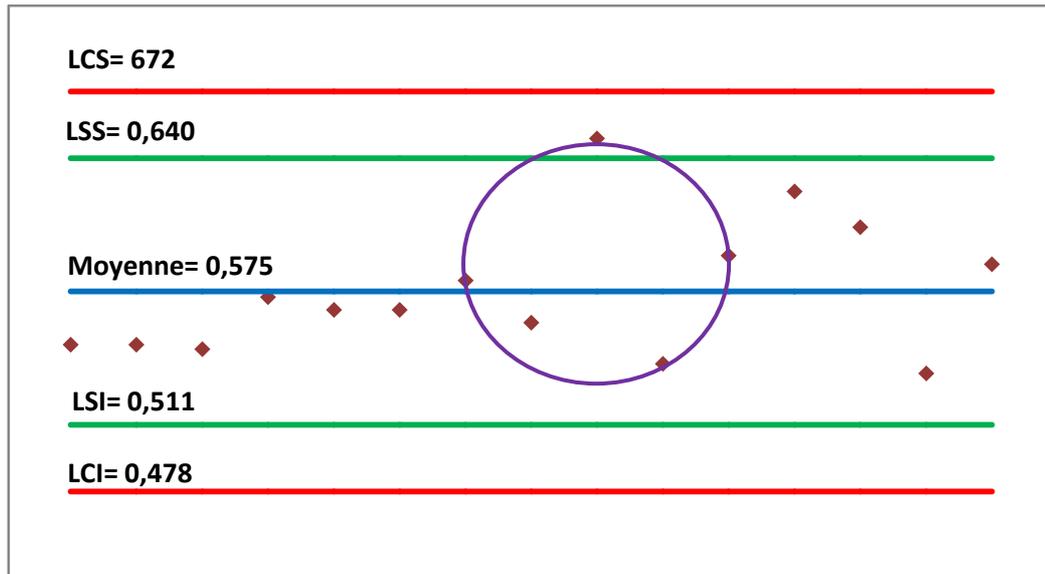


Figure 12 : Carte de contrôle de la concentration 0,6 mg/l

La dispersion des points dans la carte de la figure 12 montre la présence d'un cycle de points au voisinage des limites supérieure LSS et inférieure LSI. Pour les deux autres cartes (figure 10 et 11) on constate l'existence d'une série de 5 à 8 points au-dessous de la moyenne ces résultats peuvent être à l'origine des certains causes assignables.

### 2.5.2. Cas de la reproductibilité

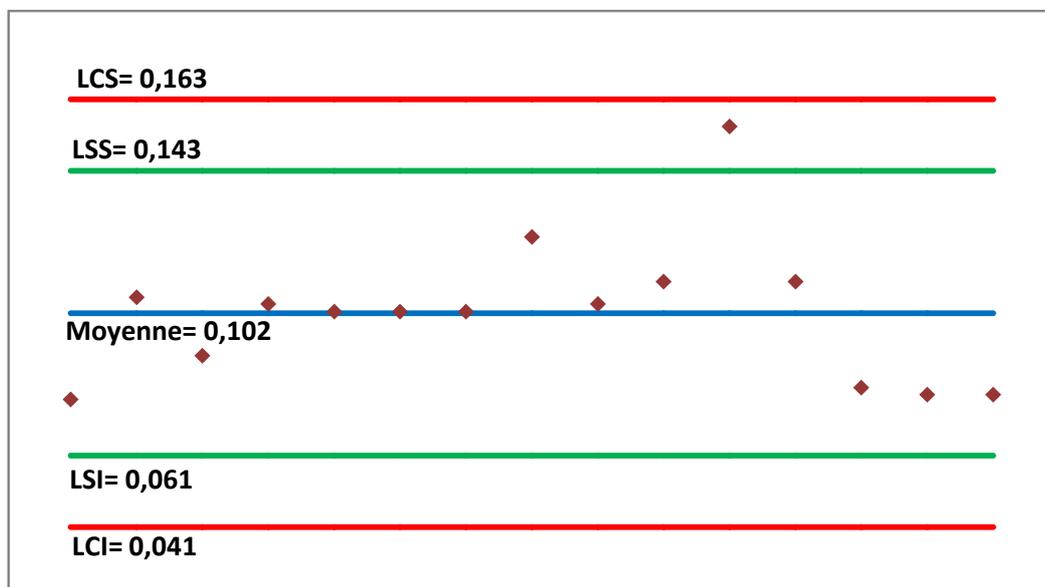


Figure 13 : Carte de contrôle de la concentration 0,1 mg/l

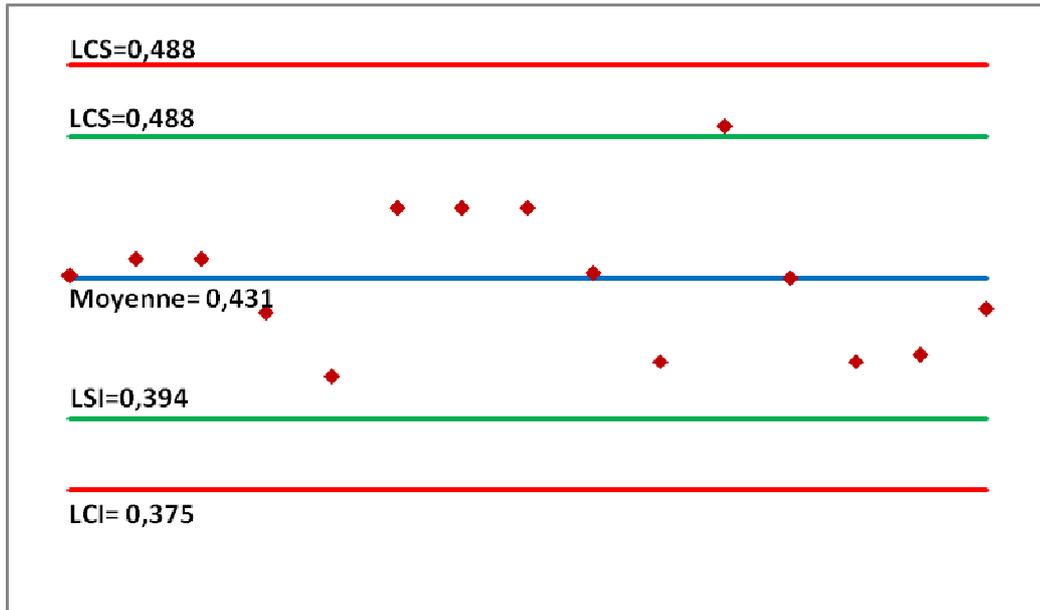


Figure 14 : Carte de contrôle de la concentration 0,4 mg/l

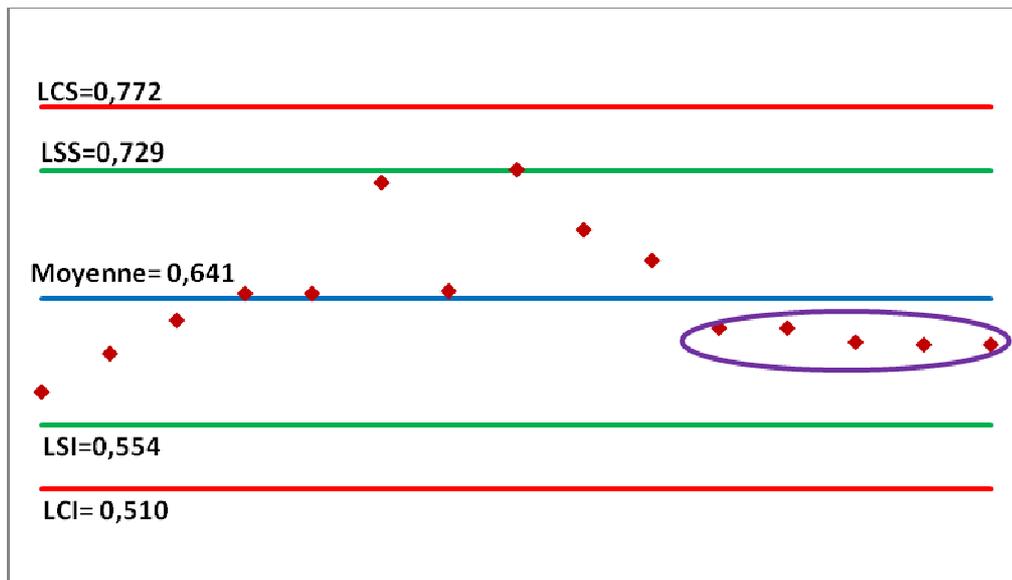


Figure 15 : Carte de contrôle de la concentration 0,6 mg/l

Dispersion des points dans la carte de la figure 14 du part et d'autre de la moyenne avec la présence d'un point au-delà de la limite de contrôles supérieure (LCS= 0,488) et pour les deux autres cartes (figure 13 et 15) on constate la présence des 6 points consécutifs d'un même côté de la moyenne.

Les résultats des 6 cartes de contrôle restent acceptables et significables puisque on a aucune point en dehors de la limite de contrôle supérieure LCS et de la limite de contrôle inférieure LCI.

# Conclusion

---

L'eau, malgré ses caractéristiques physico-chimiques acceptables (pH, conductivité, cuivre...), peut constituer un danger pour la santé humaine. Les analyses physico-chimiques sont l'un des moyens pour qualifier une eau potable.

Dans la première partie de ce travail, on a réalisé des études prospectives sur 262 échantillons analysés et ils ont révélé qu'une grande partie d'eaux d'alimentation humaine analysées sont reçues des deux régions Fès (51%) et Moulay Yacoub (57%) et la majorité de ces eaux sont de nature eau de réseau ER avec un effectif de 75%.

Les résultats des analyses physico-chimiques que nous avons réalisées au laboratoire sur 262 échantillons et celles reçues du Centre Universitaire Régional d'Interface (50 échantillons) montrent la qualité de l'eau potable mise à la disposition des citoyens des trois régions : Fès- Moulay Yacoub et Sefrou dont la conformité de cette eau atteint 95% alors que la non-conformité ne dépasse pas 5%.

Dans la deuxième partie de ce travail, on a réalisé la validation d'une technique de dosage du nitrite dans l'eau à l'aide d'un spectrophotomètre.

Les résultats des critères de validation de cette technique ont montrés que cette technique est : spécifique ( $\lambda = 540$ ), sensible (Sensi = 0.481 l/mg), juste, précise répétable et reproductible pour les trois concentrations successives 0,1 mg/l, 0,4 mg/l et 0,6 mg/l avec une limite de détection de 0,0084 mg/l.

Les cartes de contrôle permettent de déceler la dégradation des performances dans le temps, les résultats des cartes de contrôle construites montrent que toutes les mesures des absorbances qu'on a obtenus pour les différents concentrations à l'aide du spectrophotomètre sont situées au-dessous de la limite de contrôle supérieure LCS et au-dessus de la limite de contrôle inférieure LCI donc ces mesures sont acceptables.

# Recommandations et perspectives

Une eau potable saine est la responsabilité de chacun. La gestion appropriée des approvisionnements en eau potable, de la source d'eau au robinet du consommateur, exige beaucoup de connaissances et de coordination de la part des divers intervenants – qu'il s'agisse des gouvernements, des entreprises et des populations concernées.

La meilleure façon d'assurer les approvisionnements en eau potable consiste à suivre une méthode de gestion des risques axée sur la prévention. Suite aux résultats trouvés il est souhaitable :

- De mettre à la disposition des autorités des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux et de lutte contre sa pollution et en particulier des eaux d'alimentations humaines (puits, fontaines, sources).
- De mener une large campagne de sensibilisation pour améliorer la qualité des eaux :
- En collaborant avec les services responsables pour la réalisation d'un assainissement adéquat et une meilleure évacuation des eaux usées et de la conception des fosses d'aisances et des puisards. Ce qui diminuera la pollution de la nappe superficielle ; afin de mettre les populations à l'abri des affections liées à l'eau de consommation.
- Réaliser un suivi dans le temps et dans l'espace des points de prélèvements contaminés
- Informer les techniciens d'hygiène sur l'importance de la qualité du prélèvement
- En insistant la population à traiter l'eau de puits, de source avant leur consommation

**ANNEXE 1**  
**Spécifications des eaux d'alimentation humaine**  
**NM 03.7.001 (SNIMA)**  
**ANNEXE 2**

PARAMETRES	EXPRESSION des résultats	VMA(Valeur Maximale Admissible)	COMMENTAIRES
Nitrites	NO <sub>2</sub> :mg/l	0,5	Somme des rapports : (NO <sub>3</sub> )/50 + (NO <sub>2</sub> )/3 ne doit pas dépasser 1. 0,1mg/l de NO <sub>2</sub> doit être respectée au départ des installations de traitement
Nitrates	NO <sub>3</sub> :mg/l	50	
Arsenic	As : µg/1	10	
Baryum	Ba : mg/1	0,7	
Cadmium	Cd : µg/1	3	
Cyanures	CN : µg/1	70	
Chrome	Cr : µg/1	50	
Manganèse	Mn : mg/l	0,5	Plaintes du consommateur à partir de 0,1 mg/l
Cuivre	Cu : mg/1	2	Plaintes du consommateur à partir 1mg/l
Fluorures	F : mg/1	1,5	
Mercuré	Hg : µg/1	1	
Plomb	Pb : µg /1	10	La VMA de 50 µgPb/l sera appliquée jusqu'à 2010, à partir de cette date, la VMA de 25 µgPb/l est imposable jusqu'à 2015.
Sélénium	Se : µg/1	10	
Bore	B : mg/1	0,3	
Nickel	Ni : µg/1	20	
Conductivité	µS/cm à 20°C	2700	
Chlorures	Cl: mg/l	750	
Sulfates	SO <sub>4</sub> :mg/l	400	
Oxygène dissous	O <sub>2</sub> :mg/l	5 < O <sub>2</sub> < 8	
Aluminium	Al : mg/1	0,2	
Ammonium	NH <sub>4</sub> : mg/l	0,5	
Oxydabilité au KMNO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> : mg O <sub>2</sub> /l	5	La valeur de 2 mg O <sub>2</sub> /l doit être respectée au départ des installations de traitement Hydrogène sulfuré Non détectable organoleptiquement
Fer	Fe: mg/l	0,3	
Zinc	Zn: mg/l	3	

## Résultats d'analyses des éléments toxiques par ICP (CURI)

Echantillon N° (code)	Al mg/l	As mg/l	Ba mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Cr mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ti mg/l	Zn mg/l
C1	1,62	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0	0,01	<0,01	<0,01	0,07
C2	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
C3	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0	0,01	<0,01	<0,01	0,17
C4	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,11
C5	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
C6	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C7	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,11
C8	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,16
C9	0,02	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,07
C10	0,02	<0,01	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
C11	0,11	<0,01	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C12	0,11	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C13	0,07	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,01
C14	0,08	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
C15	0,06	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C16	0,07	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,17
C17	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C18	0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C19	0,05	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
C20	11,38	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,21
C21	0,1	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,08
C22	0,15	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
C23	0,11	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
C24	0,12	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,18
C25	0,09	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,09
C26	0,07	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,23
C27	0,13	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C28	0,17	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,09
C29	0,15	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,1
C30	0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C31	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C32	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C33	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C34	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,04
C35	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C36	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
C37	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C38	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C39	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C40	0,05	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,04
C41	0,19	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,01
C42	0,2	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,02
C43	0,2	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C44	0,07	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,38
C45	0,06	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,47
C46	0,15	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	0,01	<0,01	<0,01	0,56
C47	0,11	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
C48	0,1	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
C49	0,11	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
C50	0,31	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0	<0,01	<0,01	<0,01	0,02

### ANNEXE 3

#### Résultats d'analyses des éléments bénéfiques pour la santé

Echantillon N° (code)	Calcium mg/l	Potassium mg/l	Magnésium mg/l	Sodium mg/l
C1	82	4,78	40	211
C2	78	4,47	36	213
C3	76	3,66	36	161
C4	77	3,77	35	177
C5	79	3,63	36	179
C6	112	9,52	46	375
C7	121	8,62	46	367
C8	112	14,19	45	376
C9	145	2,29	53	70
C10	147	2,12	52	68
C11	71	0,78	39	23
C12	72	1,35	35	28
C13	70	1,2	35	29
C14	71	1,24	36	29
C15	69	1,29	35	28
C16	75	0,7	44	17
C17	74	2,14	36	108
C18	72	2,39	36	105
C19	77	0,92	34	23
C20	60	0,84	35	24
C21	63	0,74	37	24
C22	78	0,75	36	24
C23	79	0,79	35	23
C24	73	0,64	43	11
C25	74	0,61	44	12
C26	74	0,57	40	12
C27	75	0,58	43	12
C28	75	0,74	43	12
C29	77	0,75	42	12
C30	68	0,62	39	12
C31	73	2,79	36	121
C32	74	2,85	37	136
C33	71	2,44	36	109
C34	70	2,55	37	107
C35	71	2,57	37	110
C36	71	2,53	36	110
C37	75	3,26	33	141
C38	74	2,96	33	137
C39	74	3,4	37	144
C40	79	3,36	35	144
C41	82	0,93	31	12
C42	88	1,29	32	12
C43	88	1,25	31	12
C44	81	3,06	38	124
C45	86	2,75	38	132
C46	86	3,33	41	136
C47	86	2,82	38	142
C48	73	4,98	36	115
C49	74	3,79	36	121
C50	75	2,62	46	83

## ANNEXE 4

Dated'analyse	Commune	Code échantillon	Chlore (mg/l)	Nature de l'eau	Conductivité	Nitrites	Nitrates
05/04/2011	Mi.Yacoub Ain bouali	C1	0,8	BF	1501	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Ain bouali	C2	0,8	BF	1499	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sbaa Rouadi	C3	0,8	BF	1266	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sebt Loudaya	C4	0,6	ER	1350	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sebt Loudaya	C5	0,6	ER	1347	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sebt Loudaya	C6	0,5	ER	2610	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sebt Loudaya	C7	0,5	ER	2600	<0,05	<10
05/04/2011	Mi.Yacoub Sebt Loudaya	C8	0,5	ER	2620	<0,05	<10
18/04/2011	Fés- Saiss	C9	0	EPnt	1160	<0,05	40<x<50
18/04/2011	Fés- Saiss	C10	0	EPnt	1262	<0,05	30<x<40
18/04/2011	Fés- Saiss	C11	0,3	ER	571	<0,05	<10
20/04/2011	Fés-Marinyane	C12	0,3	ER	585	<0,05	<10
20/04/2011	Fés-Marinyane	C13	0,3	ER	585	<0,05	<10
20/04/2011	Fés-Marinyane	C14	0,3	ER	588	<0,05	<10
20/04/2011	Fés-Marinyane	C15	0,3	ER	586	<0,05	<10
21/04/2011	Fés- Saiss	C16	0,4	ER	608	<0,05	<10
25/04/2011	Fés-Marinyane	C17	0,3	ER	561	<0,05	<10
25/04/2011	Fés-Marinyane	C18	0,4	ER	567	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Marinyane	C19	0,5	ER	603	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C20	0	Ecolp	556	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C21	0	Ecolp	556	<0,05	10<x<20
26/04/2011	Fés-Mechouar	C22	0,4	Ecolp	600	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C23	0,2	Ecolp	599	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C24	0,1	ET	570	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C25	0,4	ET	574	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C26	0,3	ET	574	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C27	0,3	ET	572	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C28	0,2	ET	570	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C29	0,3	ET	574	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C30	0,3	ET	574	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C31	0,2	ER	1184	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Mechouar	C32	0,2	ER	1276	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Médina	C33	0,3	ER	1145	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Médina	C34	0,2	ER	1146	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Médina	C35	0,3	ER	1141	<0,05	<10
26/04/2011	Fés-Médina	C36	0,3	ER	1206	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Ain bouali	C37	0,5	BF	1382	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Ain bouali	C38	0,5	BF	1382	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Ain bouali	C39	0,5	ER	1379	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Sbaa Rouadi	C40	0,5	BF	1384	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub C.S Ajajra	C41	0,2	BF	560	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub C.S Ajajra	C42	0,2	BF	562	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub C.S Ajajra	C43	0,2	BF	564	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub C.S Ajajra	C44	0,5	ER	1227	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Oueld Mimoune	C45	0,9	ER	1332	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Oueld Mimoune	C46	0,9	BF	1335	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Oueld Mimoune	C47	0,9	BF	1400	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Oueld Mimoune	C48	0,9	BF	1308	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Ain el Wadayénne	C49	0,9	BF	1307	<0,05	<10
27/04/2011	Mi.Yacoub Ain el Wadayénne	C50	0,3	ER	1068	<0,05	<10

## ANNEXE 5

### Les tableaux utilisés pour traçage des graphes

	Fès		
Mois	NE	NA	NC
Mars	52	312	0
Avril	35	210	3
Mai	47	282	1
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>804</b>	<b>4</b>

Fès	Nature de l'eau						
Mois	ER	BF	EPT	EPNT	EM	ESO	Ecolp
Mars	39	6	0	3	0	4	0
Avril	29	0	0	2	0	0	4
Mai	32	4	0	6	3	2	0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

	MY		
Mois	NE	NA	NC
Mars	49	294	3
Avril	31	186	1
Mai	42	252	1
<b>Total</b>	<b>122</b>	<b>732</b>	<b>5</b>

Fès	Nature de l'eau						
Mois	ER	BF	EPT	EPNT	EM	ESO	Ecolp
Mars	10	28	3	0	2	4	2
Avril	9	21	0	0	0	0	1
Mai	9	27	4	0	0	0	2
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>76</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

	Sefrou		
Mois	NE	NA	NC
Mars	2	12	0
Avril	0	0	1
Mai	4	24	0
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>36</b>	<b>1</b>

Fès	Nature de l'eau						
Mois	ER	BF	EPT	EPNT	EM	ESO	Ecolp
Mars	1	0	0	1	0	0	0
Avril	0	0	0	0	0	0	0
Mai	0	0	0	4	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

	Les paramètres toxiques		
Région	NE	NA	NC
Fès	28	308	1
MY	22	242	2
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>550</b>	<b>3</b>

	Paramètres bénéfiques pour la santé		
Région	NE	NA	NC
Fès	28	140	0
MY	22	110	0
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>250</b>	<b>0</b>

Nature de l'eau	NENC
ER	8
EPNT	1
Ecolp	1
ESO	1
BF	2

Mois	Non-conformité	Conformité
Fès	5	128
MY	7	115
Sefrou	1	5
<b>Total</b>	<b>13</b>	<b>248</b>

## *Bibliographie*

**ALOUEIMINE S. O.**, Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de Doctorat. Limoges: Université de Limoges, 2006, 195 p.

**AFNOR XP T90-210** : document Protocole d'évaluation d'une méthode alternative d'analyse physicochimique par rapport à une méthode de référence ; décembre 1999.

**A. Maazouzi.**, A. Kettebb., A. Badri., Etude de procédés de filtration sur sable de la région de Béchar pré traitement de l'eau potable, 2006.

**A.Montiel.**, Contrôle et préservation de la qualité microbiologique des eaux : traitement de désinfection, 2004.

**Bouaicha R.**, Benabdelfadel A., Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc, Sécheresse vol. 21, n° 1e, 2010.

**Bartholomew, B. et Hill, M. J.**The pharmacology of dietary nitrate and the origin of urinary nitrate, Food Chem Toxicol, 22(10), 789-795, 1984.

**Broitman, S. A.**, Velez, H. et Vitale, J. J. (1981), A possible role of iron deficiency in gastric cancer in Colombia, Adv Exp Med Biol, 135, 155-181.

**CHIKH F.**, Etude de la qualité de l'eau de robinet et celle de la nappe phréatique dans les différentes Communes d'Arrondissement du département de Guédiawaye. Mémoire maîtrise : Université Cheikh Anta Diop Dakar, 2008, 81p.

**DANIELOPOL D.L.**, La colonisation d'environnements contraignants: Exemple des eaux souterraines. GEOBIOS, M.S. n° 21: 55-66, 1997.

**DEGREMONT.**, Mémento technique de l'eau : 8<sup>ème</sup> édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1978.

**Diallo B.**, Analyse et contrôle de la pollution des eaux du fleuve Niger par les rejets liquides urbains et industriels du district de Bamako Mémoire DER de biologie : Ensup Bamako, 1996.

**Dr. R. Salghi.**, Différents filières de traitement des eaux, cours préparée par Professeur Habilité à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir.

**Dodds, L. ET King, W. D.**, Relation between trihalomethane compounds and birth defects, Occup Environ Med, 58(7), 443-446, 2001.

**EL KHOKH KH.**, Caractérisation physico-chimique des eaux usées urbaines de la ville de Mechraa Belksiri (Gharb, Maroc). Science Lib Editions Mersenne : Volume 3, 2011.

**E. Lefebvre et B. Legube.** Coagulation par Fe(III) de substances humiques extraites d'eaux de surface : effet du pH et de la concentration en substances humiques, 1988.

**Facklam, RR, DF Sahm et LM Teixeira Enterococcus.** Dans Murray, PR, EJ Baron, MA Pfaller, FC Tenover et RH Tenover, éd., *Manual of clinical microbiology*, American Society for Microbiology, pp.:297-305, 1999.

**Fan, A. M., Willhite, C. C. et Book, S. A. (1987),** Evaluation of the nitrate drinking water standard with reference to infant methemoglobinemia and potential reproductive toxicity, *Regul Toxicol Pharmacol*, 7(2), 135-148.

**J.L Colin., A. L. DUTOT., G. BABLON et R. VIE LE SAGE 1,** Application de 'analyse des correspondances a des résultats d'essais de traitement d'eaux de surface, 1983.

**J.P. Goullé, E. Saussereau , L. Mahieu , D. Bouige , M. Guerbet , C. Lacroix,** Le profil métallique : un nouveau concept médical , *La Revue de médecine interne* 31 (2010) 128–134 ; 2009 .

**J.Poey a & C.Philibert,** Toxicité des métaux, dossier scientifique de toxicologie, *Revue Française des Laboratoires* N ° 323 ; 2000.

**JOURDAN B., Piantone P., LEROUGE C., GUYONNET D.** Atténuation des métaux à l'aval de sites de stockage de déchets - Synthèse bibliographique. BRGM, 2005.

**HAWA S.,** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako, faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto – Stomatologie, 2002

**Hartemann.P,** Contamination des eaux en milieu professionnel, *EMC-Toxicologie Pathologie 1* ;63–78, 2004.

**Hancock, LE et MS Gilmore** Pathogenicity of enterococci. Dans: Fischetti, VA, RP Novick, JJ Ferretti, DA Portnoy et JI Rood, éd., *Gram positive pathogens*. American Society for Microbiology, pp.:251-258, 2000.

**Hartman, P. E. (1983),** Review: putative mutagens and carcinogens in foods. II: sorbate and sorbate-nitrite interactions, *Environ Mutagen*, 5(2), 217-222

**INSPQ :** Institut National de Santé Publique du Québec, Fiche synthèse sur l'eau potable et la santé humaine, groupe scientifique sur l'eau Fiche Plomb, 2004.

**INSPQ :** Institut National de Santé Publique du Québec, Fiche synthèse sur l'eau potable et la santé humaine, groupe scientifique sur l'eau Fiche Nitrates/ Nitrites, 2003.

**ISO 5725 :** Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure Part-1: Principes généraux et définitions, 1994.

**GOMELLA C., GUERREE H.,** 1978. *Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées.* Edition Eyrolles Paris, 262p.

**Gangolli, S. D., van den Brandt, P. A., Feron, V. J., Janzowsky, C., Koeman, J. H., Speijers, G. J., Spiegelhalder, B., Walker, R. et Wisnok, J. S.** Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds, *Eur J Pharmacol*, 292(1), 1-38, 1994.

**Loi Marocaine** N° 10-95 sur l'eau ; N° 4325 – 24rabii II 1416 (20-9-95)

**Loi n° 200 - 01**, du 15 janvier 2001 portant Code de l'environnement.

**Ludwig Huber**, Book: Validation and Qualification in Analytical Laboratories; 2007.

**Mills, C. J., Bull, R. J., Cantor, K. P., Reif, J., Hrudey, S. E. et Huston, P.** (1998), Workshop report. Health risks of drinking water chlorination by-products: report of an expert working group, *Chronic Dis Can*, 19(3), 91-102.

**M.T.P.F.C.**, Manuels de pollution des bassins de Sebou de la Ministre des Travaux Publics de la Formation des Cadres, 1996.

**M.I.C.N.T.**, Ministère de l'Industrie du Commerce et des Nouvelles Technologie, prévention à la pollution Environnement, 2007

**MIQUEL G.** Rapport sur les métaux lourds et leurs effets sur l'environnement et la santé. Paris: Sénat, 2001, 365 p.

**NM 03.7.001.**, Norme Marocaine, Qualité des eaux d'alimentation humaine, Elaborée par le comité technique de normalisation des eaux d'alimentation humaine SNIMA ,2006.

**NM 03.7.013.**, Norme Marocaine, eaux d'alimentation humaine, Détermination des nitrites méthode à la sulfanilamide SNIMA, 1990.

**NM 03.7.059.**, Norme Marocaine,essais des eaux - Echantillonnage: Guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons SNIMA, 1997.

**O.N.E.P.**,les ouvrages de formation des cadres d'offices nationaux de l'eau potable, 1998.

**P. Andujar, L. Bensefa-Colas, A. Descatha.** Intoxication aiguë et chronique au cadmium, *La Revue de médecine interne* 31 (2010) 107–115, 2010.

**Schock, M.R.ET Gardels, M.C,** Plumbosolvency reduction by high pH and low carbonate-solubility relationship, *Journal of the American Water Works Association*, 1983.

**Santé Canada**, Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 1992.

**Spiegelhalder, B., Eisenbrand, G. et Preussmann, R.** Influence of dietary nitrate on nitrite content of human saliva: possible relevance to in vivo formation of N-nitroso compounds, *Food Cosmet Toxicol*, 14(6), 545-548, 1976.

**Shuval, H. I. et Gruener, N.** (1972), Epidemiological and toxicological aspects of nitrates and nitrites in the environment, *Am J Public Health*, 62(8), 1045-1052.

**Wood, G.E. Copper.** Dans: Canadian minerals yearbook, 1975. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Ottawa (1976).

**Zyad A.**, Gestion des ressources en eau au Maroc : Bilan et Perspectives, *Revue HTE N°142 Mars - Juin 2009.*