

## Sommaire

I. Présentation de l'ONEP.....	i
1. Description.....	i
2. Activités principales.....	i
3. Ressources utilisées .....	i
4. Complexe de production de Oued Sebou.....	ii
Introduction.....	1

### **Partie A : Synthèse bibliographique**

Chapitre I : l'eau.....	3
I. L'eau.....	3
1. Définition.....	3
2. Propriétés physico chimiques.....	3
3. Domaine d'utilisation.....	4
Chapitre II : Traitement des eaux.....	5
I. Prétraitements de l'eau brute.....	5
1. Dégrillage.....	5
2. Dessablage.....	6
3. Débourbage.....	6
4. Aération.....	6
a. Traitements de l'eau prétraitée.....	7
1. Préchloration.....	7
2. Coagulation.....	8
3. Flocculation.....	8
4. Décantation.....	9
5. Filtration.....	9
6. Désinfection.....	10
Chapitre III : Contrôle de la qualité des eaux traitées.....	11

I. Contrôles physico-chimiques.....	11
1. Turbidité.....	11
<b>a)</b> Principe.....	11
2. Conductivité.....	12
<b>a)</b> Principe.....	12
3. Température.....	13
4. pH.....	13
<b>a)</b> Principe.....	13
5. Alcalinité (TA et TAC).....	14
<b>a)</b> Titrage Alcalimétrique (TA).....	14
<b>b)</b> Titrage Alcalimétrique Complet (TAC).....	14
6. Oxydabilité.....	15
<b>a)</b> Principe.....	15
7. L'oxygène dissous.....	16
8. Dureté de l'eau.....	17
<b>a)</b> Dureté total (TH).....	17
<b>b)</b> Dureté calcique.....	17
9. Silicate ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ).....	18
10. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	18
<b>a)</b> Principe.....	18
11. Chlorures.....	18
<b>a)</b> Principe.....	18
II. Analyses bactériologiques.....	19
1. Introduction.....	19
2. Prélèvement des échantillons.....	20
3. Analyse des échantillons.....	22
 Chapitre IV : Dérivés Azotés.....	 22
I. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....	22
II. Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ).....	22
III. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ).....	23

## Partie B : Etude expérimentale

I. Principe de spectrophotomètre UV.....	24
II. Dosage d'ion ammonium .....	25
1. Principe.....	25
2. Réactifs.....	25
3. Courbe d'étalonnage.....	26
4. Résultats et interprétations.....	27
III. Dosage des ions nitrites.....	30
1. Principe.....	30
2. Réactifs.....	30
3. Courbe d'étalonnage.....	31
4. Résultats et interprétations.....	32
IV. Dosage des ions nitrates.....	32
1. Principe.....	32
2. Réactifs.....	33
3. Préparation de la colonne de réduction.....	34
4. Traitement des échantillons.....	35
5. Courbe d'étalonnage.....	35
6. Résultats et interprétation .....	37
Conclusion générale.....	38

# I. Présentation de l'ONEP

## 1. Description

L'office national de l'eau potable est un établissement semi-public à caractère industriel et commercial ; doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du ministère de l'équipement ; et sous le contrôle financier du ministère des finances.

La création de l'ONEP par Dahir a été en 1929 sous le nom de REIP (régie d'exploitation installation et planification) ; puis REP (régie d'exploitation et planification) et en fin le nom ONEP en 1972.

## 2. Activités principales

- Planifier l'approvisionnement en eau potable du royaume et la programmation des projets.
- Etudier l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- Gérer la production en eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- Contrôler la qualité des eaux produites et distribuées et la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.
- Assister en matière de surveillance la qualité de l'eau.
- Participer aux études ; en liaison avec les ministères intéressés ; des projets des textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

## 3. Ressources utilisées

Les ressources utilisées par l'ONEP pour la production de l'eau potable sont:

- Ressources souterraines: principalement les forages situées dans la plaine de saïss.
- Ressources superficielles: les eaux de oued sebou.

## 4. Complexe de production de Oued Sebou:

Ce complexe comprend:

- La station de prétraitement et de pompage située à Sebou: sa mise en œuvre remonte à 1989 ; le rôle de la station est d'extraire l'eau brute et de diminuer le taux de matière en suspension jusqu'à une valeur inférieure à 2g/l et de la refouler jusqu'à la station du traitement
- La station de traitement de Ain Noukbi ; édifié le 19 mars 1987. la station assure :
  - Le traitement des eaux reçues de la station de prétraitement selon une série d'étapes.
  - Le contrôle de la qualité des eaux traitées (dans le laboratoire régional).
- Station de relevage du réservoir 30000m<sup>3</sup>.
- Station de reprise Ain Noukbi vers Bab Al Hamra.

## Introduction

*L'eau*, source de vie, a longtemps été considérée comme une ressource inépuisable. On s'est rendu compte depuis peu de temps que ce n'est pas le cas, du moins en ce qui concerne l'eau potable, sa rareté devient de plus en plus préoccupante avec l'augmentation de la demande urbaine aux années de sécheresse, à la demande de l'industrie et à l'explosion démographique.

Les eaux destinées à la consommation humaine (potables) proviennent de différentes sources. On peut citer :

**\*Les eaux souterraines** : dues à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique. Elles se réunissent en nappes sous diverses formes :

*Nappe libre* qui est directement alimentée par l'eau de ruissellement, très sensible à la pollution, et est à l'origine des sources et des forages.

*Nappe captive* qui est séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle se situe à de grandes profondeurs et par conséquent peu sensible aux pollutions.

*Nappe alluviale* à l'aplomb des fleuves ou rivières.

Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique néanmoins, les terrains traversés par l'eau influencent fortement la minéralisation. Celle-ci est faible dans les terrains anciens de type granite et schiste, et élevée dans les terrains sédimentaires comme les calcaires. Elles sont pauvres en O<sub>2</sub> dissous et exemptes de matières organiques sauf en cas de pollution.

**\*Les eaux de surface** : se répartissent en eaux circulantes (courantes) ou stockées (stagnantes). Elles se forment à partir, soit de l'émergence des nappes profondes en source, soit du rassemblement d'eau de ruissellement.

Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrate et pesticides d'origine agricole.

A fin de disposer d'une eau potable de bonne qualité et prête à la consommation, l'ONEP procède à des traitements de l'eau brute.

Les techniques de traitement des eaux destinées à la consommation diffèrent selon l'origine de l'eau à traiter (eaux de surface, rivières, lacs, retenues ou eaux souterraines) mais d'une manière générale, elles se regroupent sous deux grands types de traitements: physiques et chimiques auxquels nous pourrions ajouter un troisième type de procédé dit " physico-chimiques".

Dans ce travail, nous présentons une analyse qualitative et quantitative des produits azotés contenus dans les eaux de surfaces dans la région de Fès, Aoutat Alhaj, Guercif, My yacoub et Missour.

Rapport-Gratuit.com

## Chapitre I : l'eau

### 2. Définition

La molécule d'eau ( $H_2O$ ) est chimiquement constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogène (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de  $104.5^\circ$  la molécule présente un moment dipolaire élevé qui est de 1.85 debye dû à la forte électronégativité de l'atome d'oxygène.

### 3. Propriétés physico chimiques

L'eau est un liquide transparent, incolore et inodore dont la consommation est vitale pour l'ensemble des organismes vivants.

La polarisation de la liaison de la molécule d'eau est à l'origine de nombreuses propriétés remarquables, notamment la formation des liaisons hydrogènes qui s'établissent entre l'atome d'hydrogène qui est lié a un hétéroatome chargé négativement et un autre atome, plus électronégatif.

Cette polarisation permet aussi à l'eau de dissoudre des produits ioniques, en particulier les sels, et de les maintenir dans un état ionisé en entourant chaque ion par un ensemble de molécules d'eau (solvatation).

Ces caractéristiques physico-chimiques sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1: quelques caractéristiques physico-chimique de l'eau

<b>Masse molaire</b>	<b>18 g/mol</b>
<b>Température de solidification</b>	<b>0°C</b>
<b>Température de vaporisation</b>	<b>100°C</b>
<b>Masse volumique</b>	<b>1 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Densité à l'état liquide</b>	<b>1</b>
<b>Densité à l'état solide</b>	<b>0.917</b>
<b>Moment dipolaire</b>	<b>1.85 debye</b>
<b>pKa</b>	<b>7</b>
<b>pH (eau distillée)</b>	<b>7</b>

## 4. Domaine d'utilisation

Les propriétés physico chimiques de l'eau font de lui un produit de choix dans divers domaines d'applications tel que :

- **L'agriculture** notamment pour l'irrigation,
- **L'industrie** agroalimentaire, lavage, refroidissement des machines,
- **La sécurité**, lutte contre l'incendie : Elle éteint le feu pour deux raisons, la première étant que lorsqu'un objet est recouvert d'eau, l'oxygène de l'air ne peut pas parvenir jusqu'à lui et activer sa combustion ; la seconde, et c'est la principale, est que l'eau peut absorber et retenir une grande quantité de chaleur lorsqu'elle se vaporise. De ce fait, la température de l'objet qui brûle s'abaisse au-dessous de son point de combustion.
- L'eau, élément vital pour l'homme et l'excellente boisson naturelle.

## Chapitre II : Traitement des eaux

Selon la nature des eaux à traiter on sélectionne un procédé spécifique tel que:

- Dessalination pour l'eau de mer : osmose inverse, évaporation...etc.
- Dépollution pour les eaux usées : filtration,...etc.
- Déminéralisation pour les eaux destinée à l'industrie : filtration, complexation...etc.
- On ce qui concerne les eaux potables, d'intérêt sublime, on procède au traitement via plusieurs étapes :

### I. Prétraitements de l'eau brute

Le prétraitement de l'eau brute permet de diminuer la proportion des matières en suspension. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constituerait un obstacle pour les traitements ultérieurs. Il comporte un certain nombre d'opérations généralement physiques ou mécaniques.

Le prétraitement comporte une série d'opérations successives et complémentaires entre elles.

#### 1. Dégrillage

Le dégrillage est le premier poste de traitement indispensable aussi bien en eau de surface qu'en eau résiduaire. Il permet de :

- Protéger les ouvertures avals contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.
- Séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute (tronc et branches d'arbre ; algues...etc) qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants.

Cette opération est assurée par une grille métallique à commande automatique.

## 2. Dessablage

Le dessablage est une opération qui permet d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, dont le but de :

- Éviter les dépôts dans les canaux de conduites.
- Protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.
- Éviter de surcharger les stades de traitement suivants.

Cette opération est assurée par deux déssableurs, sous forme de canaux rectangulaires, qui permettent de débarrasser l'eau du sable, du gravier et des particules de taille moyenne. Ces déssableurs sont équipés de deux vannes motorisées d'alimentation, deux vannes de lavage en cas de curage forcé du déssableur et de vannes de purge qui s'ouvrent et se ferment automatiquement par un automate programmable commandé par un détecteur du niveau de sable.

## 3. Débourbage

Le débourbage est une opération qui permet la clarification des eaux de surface particulièrement chargées. Il constitue une prédécantation permettant de :

- Éliminer la majorité des matières en suspension de l'eau brute.
- Assurer l'évacuation des matières en suspension sous forme de boues concentrées.
- Fournir à l'étape de décantation principale une eau acceptable.

Cette opération est assurée par trois débourbeurs de débits égaux ; chacun d'eux est constitué d'une partie centrale tournante qui sert à mettre l'eau en mouvement afin que les réactifs accomplissent leur fonction d'éliminer les boues décantées par des pompes qui les rejettent dans l'oued en aval.

## 4. Aération

L'aération est une opération qui consiste à mettre en contact continu l'eau et l'air dont le but d'éliminer :

- Quelques substances volatiles et les gaz en excès comme l'oxygène et le gaz carbonique responsable de la corrosion
- l'hydrogène sulfuré responsable d'odeurs désagréables
- les différents composés organiques responsables des goûts et odeurs.

L'aération a pour but aussi l'introduction de l'oxygène dans l'eau pour assurer l'oxydation de certain corps réducteurs tel que le fer et le manganèse.

## II. Traitement de l'eau prétraitée

Le traitement de l'eau se fait en plusieurs étapes permettant d'obtenir une eau potable. Les opérations de traitement sont dans l'ordre:

### 1. Préchloration

La préchloration consiste à mettre du chlore gazeux sous forme de  $\text{Cl}_2$  dans l'eau avant décantation au niveau de la prise d'eau pour permettre au chlore de :

- Oxyder les composés minéraux le fer le manganèse et l'ammoniaque.
- Eliminer les goûts et les odeurs de l'oxydation de la matière organique.
- Inhiber la croissance algale dans les ouvrages de clarification.
- Améliorer la coagulation et la floculation.

Cette opération nécessite une connaissance préalable du besoin en chlore dans l'eau « demande en chlore » (figure 1). L'analyse de la courbe indique 3 parties essentielles :

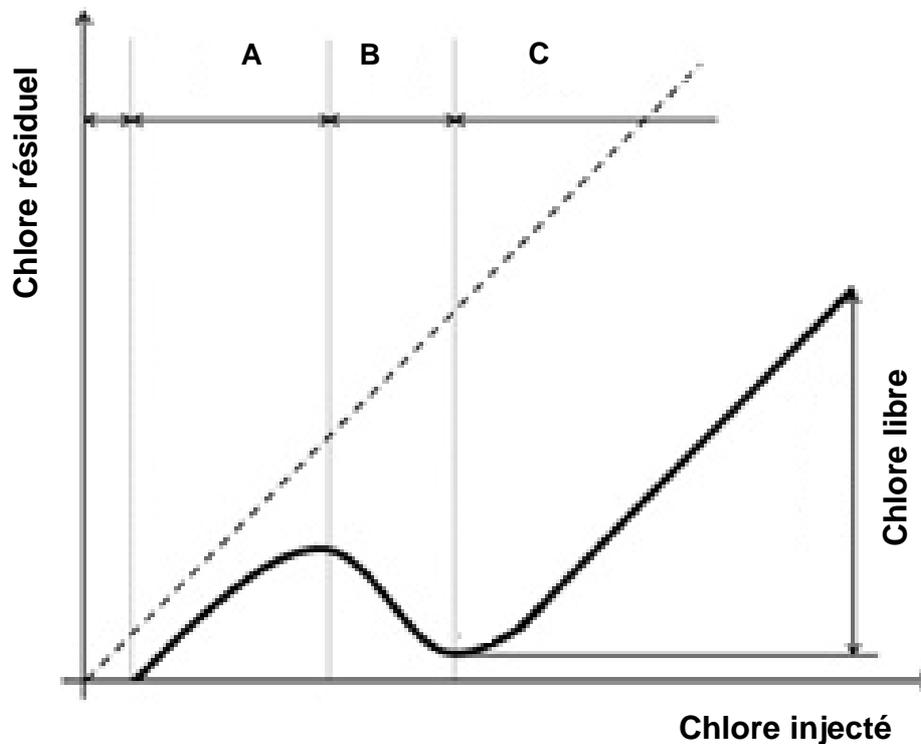
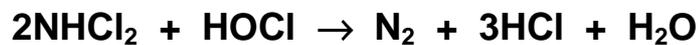


Figure 1:représentant la variation du chlore résiduel en fonction du injecté

- Dans la partie **A** le taux de chlore résiduel croît en fonction du chlore ajouté parce qu'il y a formation des chloramines selon les équations suivantes :



- Dans la partie **B** ce taux de chlore résiduel décroît pour atteindre un minimum appelé "break point", car il y a destruction des chloramines ainsi formés selon l'équation suivante :



- Dans la partie **C** augmentation régulière du chlore libre.

"Le *break point*" correspond à la dose minimale du chlore qu'il faut injecté pour avoir une destruction totale des chloramines.

## 2. Coagulation

La coagulation c'est la déstabilisation des particules colloïdales par élimination de leurs charges électriques, afin de faciliter leur agglomération.

Les réactifs les plus communément employés comme coagulants sont:

- Le sulfate d'alumine:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ .
- Le chlorure ferrique:  $\text{FeCl}_3$ .
- Le chlorosulfate ferrique:  $\text{FeClSO}_4$ .
- Le sulfate ferreux:  $\text{FeSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ .

En pratique le procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide des produits chimiques.

## 3. Flocculation

Une fois les particules déstabiliser les floccs sont toujours très petit alors la flocculation favorise le contact entre les particules déstabilisées. Ces particules

s'agglutinent pour former un floc qui peut être facilement éliminé par les procédés de décantation et de filtration.

La détermination des doses optimales des flocculants et des coagulants qu'il faut ajouter à l'entrée de la station est réalisée par une méthode dite **jar test** qui consiste à ajouter à une série de béciers alignés sous un appareillage permettant de les agiter simultanément et à la même vitesse des doses différentes des réactifs et à la fin de l'expérimentation on remplit le bulletin de saisie N°8 (voir annexe) pour déterminer les couples quantités des réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir les résultats les plus efficaces.

Concernant les vitesses d'agitation, la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent mais la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés.

#### **Critères de choix de la dose de traitement**

- *Turbidité de l'eau décantée < 5 NTU.*
- *Turbidité filtrée sur papier bande blanche < 0.54 NTU.*
- *pH de la floculation entre 7 et 7.4.*
- *l'oxydabilité ≤ 2mg/l.*

## **4. Décantation**

La décantation est une opération de séparation mécanique par différence de gravité des phases non miscibles dont l'une au moins est liquide.

Dans le cadre de traitement des eaux prétraitées, elle est utilisée dont le but de déposer les floccs formés au niveau du flocculateur.

## **5. Filtration**

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute où issues de la floculation.

## 6. Désinfection

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevé pour éviter les reviviscences bactériennes dans les réseaux de distribution.

La station de traitement utilise pour cela le chlore.

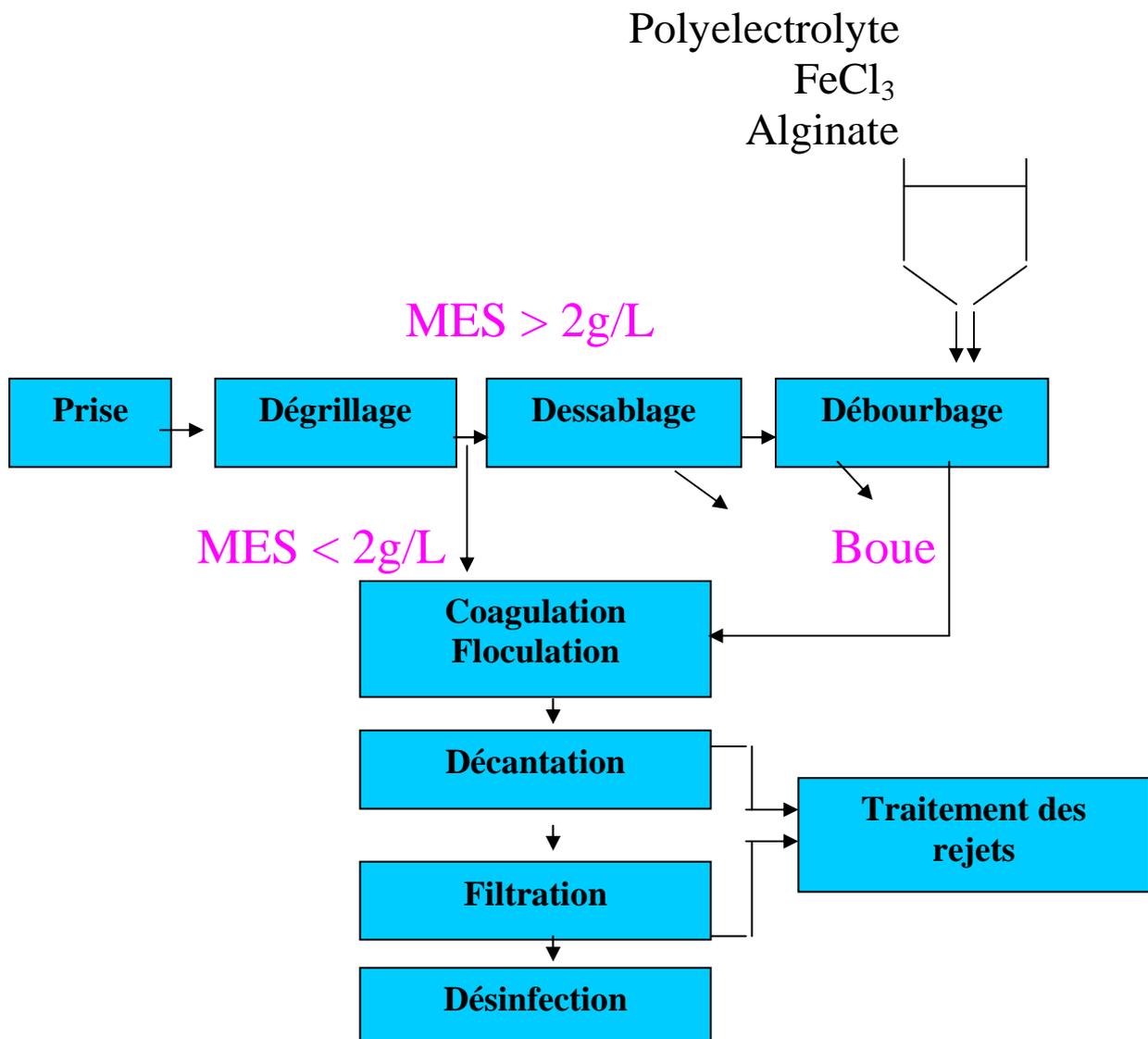


Figure 2: schéma récapitulatif des étapes des prétraitements et des traitements

## Chapitre III : Contrôle de la qualité des eaux traitées

L'eau traitée subit une série de contrôles visant à s'assurer de sa bonne qualité avant sa distribution au consommateur. Pour cela, on procède à des contrôles physico-chimiques et bactériologiques.

### I. Contrôles physico-chimiques

#### 1. Turbidité

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou à diffuser de la lumière. Elle renseigne sur la clarté de l'eau. Cette transparence peut être affectée par la présence des particules en suspension et de matières colloïdales dans l'eau. La turbidité est un paramètre important dans les différentes normes marocaines [NM 03.7.001] fixant la qualité des eaux potables.

Elle est déterminée par la méthode de mesure néphélométrique qui consiste à mesurer l'intensité de la lumière diffractée à 90° par rapport au faisceau lumineux incident. La turbidité est exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

#### b) Principe

La méthode néphélométrique est basée sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet Tyndall) par l'échantillon, à condition que les particules en suspensions ne soient pas adsorbantes, ceci est donné par la formule de Rayleigh suivante:

$$I = I_0 K (N \times V^2 / \lambda^4) \sin^2 \varphi$$

avec:

**I** = Intensité de la lumière Tyndall dans une direction faisant un angle  $\varphi$  avec le faisceau initial,

**I<sub>0</sub>** = Intensité du rayon initial,

**N** = Nombre des particules causant la déviation dans le volume éclairé,

**V** = Volume de ces particules,

$\lambda$  = Longueur d'onde de la radiation utilisée en nm.

**K** = constante

Lorsqu'un rayon lumineux traverse une section d'eau pure, toute la lumière est transmise, lorsque l'eau contient certaines impuretés, les particules colloïdales présentent absorbent une partie de la lumière et diffuse une autre partie. Cette capacité de diffuser la lumière est appelée **\*effet Tyndall\***.

*\*La mesure de la turbidité est influencée par:*

- *Débris ou matières rapidement décantable.*
- *Substance soluble responsable de la coloration vraie qui absorbe la lumière.*
- *Bulles d'air dans l'échantillon, état de la cuve de mesure et l'effet de vibration.*

## 2. Conductivité

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

### b) Principe

Un courant alternatif est utilisé afin d'atténuer la perturbation due à la polarisation des électrodes résultant le passage d'un courant électrique. Les électrolytes peuvent être considérés comme des conducteurs métalliques et ils obéissent à la loi d'Ohm. En appliquant une force électromotrice constante entre les électrodes, la variation de l'intensité de courant est inversement proportionnelle à la résistance de la solution.

La conductivité d'une solution dépend de la concentration des ions présents et de leur migration sous l'influence de la force électromotrice appliquée. Plus l'électrolyte est dilué, plus la conductivité diminue, car il y a moins d'ions par volume de solution pour assurer le transport du courant.

La conductivité d'une solution est définie comme l'inverse de la résistance d'un volume de  $1 \text{ cm}^3$  de solution. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductimètre et la conductivité s'exprime en  $\mu\text{S/cm}$ .

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température.

Niveau de guide de la conductivité à 20°C d'une eau destinée à la consommation humaine: 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$

**De 50 à 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ :** qualité excellente.

**De 400 à 750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ :** bonne qualité.

**De 750 à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ :** qualité médiocre mais eau utilisable.

**Au-delà de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ :** minéralisation excessive.

### 3. Température

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

La mesure de la température se fait sur place, au moment du prélèvement, par l'utilisation d'un thermomètre gradué au -10/100°C.

### 4. pH

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcalin et il est en fonction de l'activité des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des causes diverses en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels.

$$\text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

#### b) Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire de celle-ci. Selon la loi de Nernst le potentiel est lié à l'activité des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  présent par la relation :

$$E = E_0 + 2.3 \times (R T \log_{10} a_{\text{H}}) / n F$$

avec:

**E** : Potentiel mesuré,

**E<sub>0</sub>**: Constante dépendant du choix de l'électrode de référence,

**R** : Constant des gaz parfaits (J / °C),

**T** : Température absolue (°C),

**n** : Charge de l'ion,

**F** : constante de Faraday (96500C),

**a<sub>H</sub>** : activité de l'ion (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) dans l'échantillon.

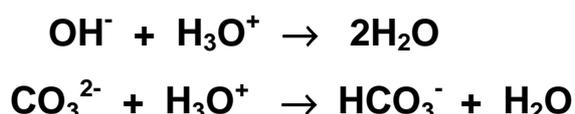
Pour l'eau le pH doit être compris entre 6.5 et 8.5.

## 5. Alcalinité (TA et TAC)

L'alcalinité d'une eau est sa teneur en ions hydroxyde (OH<sup>-</sup>) carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et hydrogénocarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) elle est autant plus alcaline que son pH dépasse 7. Dans la mesure de l'alcalinité on distingue deux types de titrage: le titrage alcalimétrique (TA) et la titrage alcalimétrique complet (TAC).

### c) Titrage Alcalimétrique (TA)

Le titrage alcalimétrique correspond à la neutralisation des ions hydroxydes (OH<sup>-</sup>) et la transformation des ions carbonates (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) en ions hydrogénocarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) par un acide fort en présence d'indicateur coloré (phénophtaléine) selon les réactions suivantes:

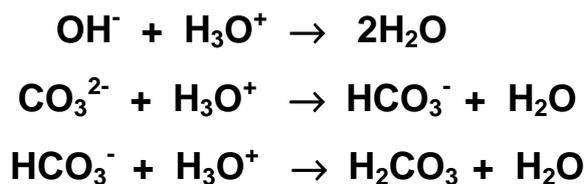


Dans ce titrage on détermine la concentration des ions OH<sup>-</sup> et la moitié de la concentration des ions CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>.

$$\text{TA (meq/l)} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

### d) Titrage Alcalimétrique Complet (TAC)

Le titrage alcalimétrique complet correspond à la neutralisation des ions hydroxyde (OH<sup>-</sup>), carbonate (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) et hydrogénocarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) par un acide fort (HCl) en présence d'indicateur coloré (hélianthine) selon les réactions suivantes:



Dans ce dosage on détermine la concentration des ions hydroxyde, carbonate et hydrogénocarbonate restants.

$$\text{TAC (meq/l)} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

## 6. Oxydabilité

Oxydabilité au permanganate de potassium dit aussi indice de permanganate.

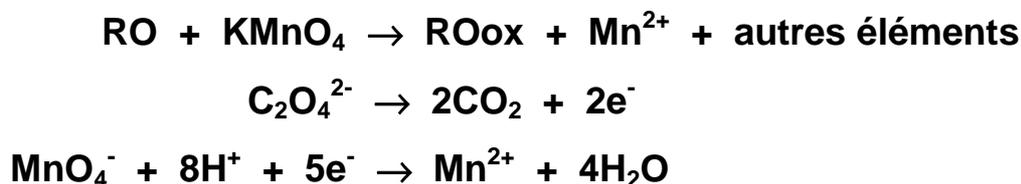
L'indice de permanganate d'une eau est la concentration massique d'oxygène en relation avec la quantité d'ion permanganate consommée par un échantillon d'eau, dans des conditions définies. Il est exprimé en mg/l d'oxygène et correspond à une mesure conventionnelle pour évaluer la contamination d'un échantillon d'eau faiblement chargé en matière organique.

### b) Principe

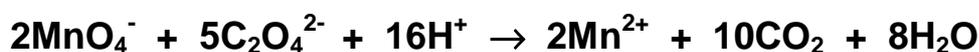
Le test consiste à mesurer en milieu acide la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par la matière oxydable contenue dans une eau.

Par un dosage en retour du permanganate de potassium non consommé par les matières oxydables (RO) de l'eau, on calcule l'oxydabilité.

Les réactions mises en jeu sont :



La réaction globale est:



Et la réaction globale du dosage en milieu sulfurique s'écrit:



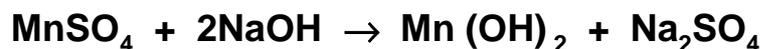
## 7. L'oxygène dissous

*L'eau contient une certaine quantité d'oxygène, appeler l'oxygène dissous*

- *la diffusion de l'oxygène en surface,*
- *De l'aération : mouvement de l'eau.*
- *Et de la photosynthèse: 3/4 de l'oxygène disponible sur terre est produit par le phytoplancton des océans.*

La détermination de la concentration d'oxygène dissout présent dans l'échantillon se fait par un titrage volumétrique en trois étapes:

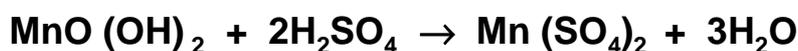
**1° Oxydation de l'hydroxyde manganoux ( $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ) par l'oxygène dissous.**



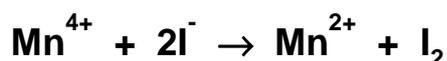
L'hydroxyde manganoux formé précipite sous forme de flocons, puis est oxydé par  $\text{O}_2$  dissous:



**2° Réduction de l'ion  $\text{Mn}^{4+}$  en milieu acide par l'ion iodure  $\text{I}^-$ .** On solubilise  $\text{MnO}(\text{OH})_2$  par l'ajout de 2 ml d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentré:

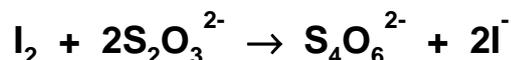


Les ions  $\text{Mn}^{4+}$  sont maintenant en solution et peuvent être réduits par  $\text{I}^-$ :

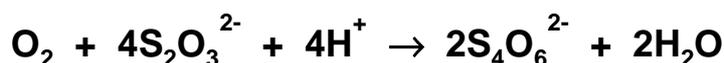


**3° Titrage de l'iode  $\text{I}_2$  formé par une solution de thiosulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ).** Ce titrage est rendu possible par le fait que l'iode moléculaire ( $\text{I}_2$ ) prend une coloration bleue très foncée en présence d'amidon.

Ainsi, lorsque le point d'équivalence est atteint (lorsqu'il ne reste plus de  $I_2$ ), la couleur disparaît subitement.



Le bilan de l'équation globale est:



## 8. Dureté de l'eau

La dureté ou titrage hydrométrique d'une eau correspond à la somme des concentrations des ions calcium ( $Ca^{2+}$ ) et magnésium ( $Mg^{2+}$ ) auxquels s'ajoutent quelque fois les ions fer, aluminium, manganèse et strontium.

On peut déterminer:

- La dureté totale ou titrage hydrométrique TH qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne.
- La dureté calcique correspond à la teneur globale en sels de calcium.

### c) Dureté total (TH)

Le calcium et le magnésium présent dans l'eau sont amenés à former un complexe par l'éthylènediamine tétracétate disodique (l'EDTA). La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium selon les réactions suivantes:

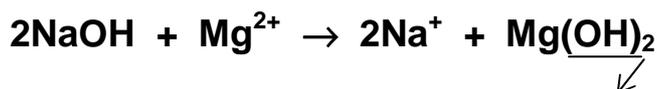


La méthode permet de doser les ions calcium et magnésium.

$$TH \text{ (meq/l)} = [Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]$$

### d) Dureté calcique

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale mais dans ce cas l'indicateur choisi c'est l'acide calcone carboxylique, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge. Le magnésium se précipite sous forme d'hydroxyde de magnésium et n'intervient pas dans le dosage. Selon la réaction suivante:



### 9. Silicate ( $\text{SiO}_3^{2-}$ )

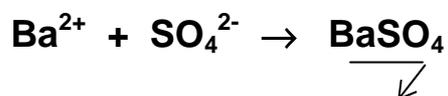
L'acide molybdique, en présence d'ions silicates à un pH=1.2, produit une coloration due au complexe silico-molibdique susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 410 nm.

### 10. Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

La présence des ions sulfate au-delà d'une certaine concentration peut causer de trouble diarrhéique, notamment chez les enfants. Pour cela une vérification de sa concentration est nécessaire.

### b) Principe

L'ions sulfate se précipite dans de l'acide chlorhydrique contenant du chlorure de baryum d'une manière telle qu'il se forme des cristaux de sulfate de baryum de taille uniforme.



L'absorbance de la suspension de sulfate de baryum est mesurée au nephélomètre, ou par transmission au spectrophotomètre.

### 11. Chlorures

Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires et rénales.

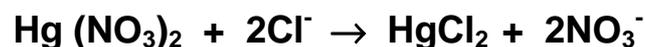
Le chlorure existe dans l'eau à des concentrations variable. Cela est dû à des causes différentes:

- *Prechloration à travers des terrains salés.*
- *Rejets humains.*
- *Industries extractives et dérivées (soudières, salines, mines de potasse).*

## **b) Principe**

Les ions chlorures sont dosés, en milieu acide (par l'ajout de l'acide nitrique), par le nitrate mercurique  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  en présence d'un indicateur qui est la diphénylcarbazonne.

La réaction de dosage est la suivante:



## **II. Analyses bactériologiques**

### **1. Introduction**

Parmi tous les critères Physiques, Chimiques et Microbiologiques qui permettent de juger si une eau est potable, les critères Bactériologiques sont essentiels.

Les micro-organismes pathogènes pour l'homme susceptible de souiller l'eau de boisson (salmonelle, E.coli, entérovirus, kystes amibiens,...etc.) sont difficiles à mettre en évidence dans l'eau parce qu'ils sont peu nombreux et parce que la souillure n'est le plus souvent qu'intermittente. Cependant, ces agents pathogènes sont presque toujours d'origine fécale. Il suffit donc de prouver qu'une eau a reçu une souillure fécale pour qu'on soit amené à penser qu'elle présente un risque d'être contaminée par un micro-organisme pathogène dangereux et de la déclarer impropre à la consommation humaine.

Les micro-organismes témoins de contaminations fécales les plus représentatifs sont :

➤ *Les coliformes totaux*

Les coliformes totaux sont des bactéries non saprogènes, oxydases négatives, aérobies ou anaérobies facultatives capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48h à la température de 37C°.

➤ *Les coliformes fécaux (surtout E. Coli).*

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants sont un sous groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44C°. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est l'*Escherchia coli* (*E.coli*).

➤ *Les streptocoques fécaux.*

Ce sont des bactéries de forme sphérique dont les individus sont disposés en chaînette et dont plusieurs espèces produisent des infections graves.

Leur présence dans l'eau traitée n'a pas beaucoup de signification d'autant que les bactéries sont largement répondues dans la nature à l'état saprophytes. On peut utiliser les streptocoques fécaux pour confirmer les résultats douteux de recherche des coliformes.

➤ *Les clostridium sulfite-réducteurs.*

C'est un groupe de bactérie anaérobie, ne sont pas d'origine exclusivement fécale. Les spores de clostridium peuvent suivre dans l'eau beaucoup plus longtemps que les coliformes de plus ils résistent à la désinfection plus que les CF, CT et les SF, ainsi leur présence dans l'eau désinfectée peut donc montrer que le traitement est déficient.

Ces témoins microbiologiques ont une importance sanitaire, une spécificité et sensibilité différente. Leur recherche simultanée, permet une meilleure interprétation des résultats de l'analyse.

## 2. Prélèvement des échantillons

Un examen bactériologique ne peut être valable que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérile afin d'éviter toute

contamination accidentelle, correctement transporté au laboratoire et analysée dans un délai ne dépassant pas 24 h.

### 3. Analyse des échantillons

Il existe deux méthodes pour l'analyse bactériologique:

- La méthode de la membrane filtrante (MF) pour les eaux traitées.

La technique normalisée pour l'analyse des eaux destinées à la consommation humaine est la filtration sur membrane (MF), cette dernière consiste à filtrer un volume donné de l'échantillon sur membrane de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  qui est déposée sur un milieu sélectif avant incubation.

- La méthode du nombre le plus probable (NPP) pour les eaux brutes.

La méthode dite NPP consiste à ensemercer des séries de tubes avec un volume donné de l'échantillon à analyser ou de ses dilutions.

Chacune des deux méthodes comporte deux étapes: le test présomptif et le test confirmatif.

## Chapitre IV : Les dérivés azotés

Les éléments azotés se présentent principalement sous forme ionique, à savoir  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NO}_2^-$ . Ce sont des substances indésirables, néanmoins, ils peuvent être dangereux pour l'environnement et la santé humaine quand ils dépassent une certaine concentration dans l'eau. Ces polluants proviennent par ordre décroissant, de l'utilisation massive d'engrais, le déversement industriel, les épandages de lisiers et le rejet des eaux résiduaires urbaines.

### I. Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

L'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les micro-organismes, sécrétion humaine et animale (l'Homme secrète 15 à 30 g d'urée par jour). Il peut être aussi issu de rejets industriels ou agricoles.

L'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considéré comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore), et il est aussi un aliment pour certaines bactéries qui peuvent proliférer dans les réseaux de distribution. En milieu oxygéné, l'ammonium est oxydé en nitrites puis en nitrates, ce qui diminue le pourcentage de saturation de l'eau en dioxygène.

Les normes marocaines (NM03.7.001) indiquent, pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale d'ammonium de **0,5 mg/l**.

### II. Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )

Les ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des substances chimiques toxiques provenant soit de la transformation par oxydation de l'ammonium par les bactéries aérobies (bactéries nitrosomonas), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante.

La présence des nitrites dans l'eau potable peut causer des maladies graves et parfois mortelles, notamment chez les jeunes enfants. Chez les adultes et les nourrissons, la présence des nitrites dans le sang, empêche l'hémoglobine de fixer convenablement l'oxygène pour le transporter (pouvoir oxyphorique). Cette maladie est connue sous le nom de "méthémoglobinémie" ou de "maladie bleue", parce que les symptômes comprennent l'essoufflement et la cyanose (coloration bleue de la peau). Les nourrissons de moins de trois mois y sont particulièrement vulnérables.

Les ions nitrites peuvent aussi réagir avec certains aliments contenant des nitrosamines (comme le fromage) pour former des composés N-nitrosés. Certains composés N-nitrosés ont un pouvoir cancérigène chez les animaux et pourraient causer le cancer chez l'humain.

Les normes marocaines (NM03.7.001) indiquent, pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale de nitrite 0,5 mg/l.

### **III. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )**

L'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est la principale forme d'azote inorganique trouvée dans les eaux naturelles. Il constitue le stade final de l'oxydation de l'azote. La principale source des nitrates est le lessivage des terres agricoles car ils jouent un rôle important comme engrais, ils constituent le principal aliment azoté des plantes, dont ils favorisent la croissance ; il provient aussi des effluents industriels et municipaux parce que les nitrates peuvent être utilisés comme agent de conservation des aliments et comme substance chimique brute dans divers procédés industriels.

La présence de nitrates dans l'organisme humain pourrait provoquer des troubles (hypertension, anémie, infertilité, troubles nerveux, ...), auxquels s'ajoutent des présomptions sur leur pouvoir cancérigène et leur implication dans des cas de cyanoses, notamment chez les nourrissons. Le nitrate en lui même n'est pas très toxique. Sa toxicité vient de la chaîne de réaction: Nitrate - Nitrite - Nitrosamines. Dans le corps, le nitrate est réduit par des enzymes et par des micro-organismes en nitrite et on a déjà cité les dangers des nitrates.

Les normes marocaines (NM03.7.001) indiquent, pour les eaux destinées à la consommation humaine, une concentration maximale de nitrate de 50 mg/l.

Le dosage des trois ions ammonium, nitrite et nitrate se fait par colorimétrie qui est une méthode quantitative permettant de mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution à l'aide d'un spectrophotomètre UV constitué d'un **dispositif monochromateur**, permet de générer, à partir d'une source de **lumière ultraviolette**, une lumière **monochromatique**, à une longueur d'onde bien déterminée.

## I. Principe de spectrophotomètre UV

La lumière monochromatique incidente d'intensité  $I_0$  traverse la cuve contenant la solution étudiée, et l'appareil mesure l'intensité  $I$  de la lumière transmise. L'intensité  $I$  de la lumière transmise est donc inférieure à  $I_0$  et l'absorbance se définit comme suit:

$$A = \text{Log}_{10} (I / I_0)$$

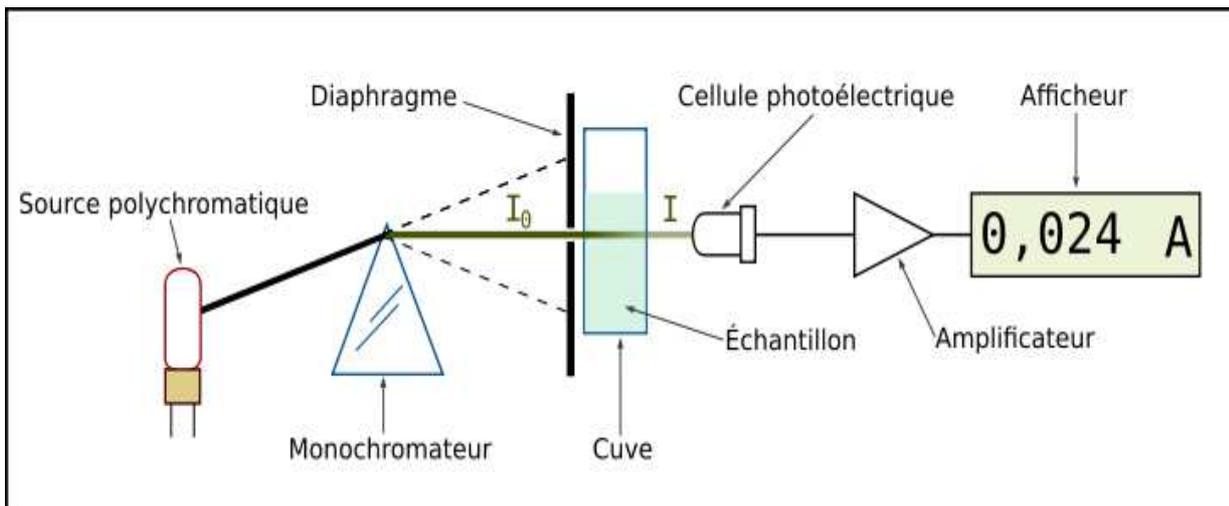


Figure 3: schéma montrant le principe du spectrophotomètre UV

Connaissant l'absorbance d'une solution on peut déduire sa concentration par la relation de **Beer-Lambert** (a) qui pour une longueur d'onde  $\lambda$  donnée l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration des espèces en solution et à la longueur du trajet optique.

$$A_\lambda = \varepsilon \times l \times C$$

avec:

$A_\lambda$  : L'absorbance de la solution à une longueur d'onde donnée (sans unité),

$\epsilon$  : Le coefficient d'extinction molaire de l'espèce absorbante en solution (en mol<sup>-1</sup> L cm<sup>-1</sup>),

$l$  : la longueur du trajet optique ( en cm),

$C$  : la concentration de l'espèce absorbante (en mol/L).

La verrerie utilisée pour la préparation des réactifs et pour effectuer le dosage ne doit servir qu'à ces usages. Et doit être rincée abondamment à l'eau distillée.

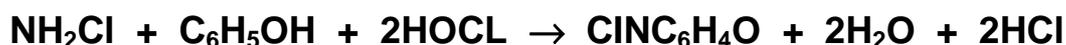
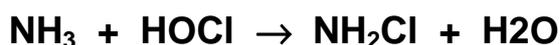
## II. Dosage d'ion ammonium ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ )

La méthode utilisée pour le dosage d'ion ammonium est celle au bleu d'indophénol.

### 1. Principe

En milieu alcalin ( $10,8 < \text{pH} < 11,4$ ) l'ammoniaque réagit quantitativement avec l'hypochlorite et donne une monochloramine. La monochloramine forme avec du phénol, en présence de nitroprussiate et un excès d'hypochlorite, du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de **630nm**.

Selon les réactions suivantes:



### 2. Réactifs

On utilise pour la préparation des réactifs de l'eau ultra-pure.

➤ Solution de lessive de soude 0,34 M:

On dissout 13,6 g de soude (NaOH) dans 500 ml d'eau ultra-pure et on complète jusqu'à 1000 ml.

➤ Solution de citrate de sodium 1,2 M:

On dissout 175 g de citrate de sodium ( $C_6H_5Na_3O_7, 2H_2O$ ) dans 600 ml d'eau ultra-pure dans une fiole de 1000 ml.

On ajoute 15 ml de la solution de soude précédemment préparée et quelques cailloux d'ébullition puis on la fait bouillir jusqu'à un volume inférieur de 500 ml pour enlever toute trace d'ammoniaque. On refroidi rapidement entre 20 et 25°C et on ajuste le volume à 500 ml avec de l'eau ultra-pure.

➤ Réactif A:

On dissout 13,5 g de phénol ( $C_6H_5OH$ ) et 0,15 g de nitroprussiate de sodium (pentacyanonitrosyl ferrate de sodium,  $(Na_2Fe(CN)_5NO, 2H_2O)$ ) dans l'eau ultra-pure et on complète jusqu'à 500 ml.

➤ Réactif B:

On dissout 0,1 g d'acide dichloroisocyanurique ( $C_3Cl_2N_3NaO_3, 2H_2O$ ) (trion) dans 50 ml de solution de soude (0.34 M).

### 3. Courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 100 ml, on ajoute des volumes croissants de la solution étalon des ions ammonium puis on complète à 100 ml par l'eau ultra-pure pour préparer une série de dilutions.

Tableau 2: Récapitulatif de protocole de dilution

Numéro des fioles	1	2	3	4	5
Solution étalon (10mg de $NH_4^+/l$ ) (ml)	1	2	5	10	12
Eau distillée (ml)	100	98	95	90	88
Concentration de $NH_4^+$ (mg/l)	0.1	0.2	0.5	1	1.2

A l'aide d'une pipette on introduit 25 ml de la solution étalon dans des flacons de verres de 50 ml et on ajoute successivement 1 ml de la solution de citrate de sodium, 1 ml de réactif A et 1 ml de réactif B en agitant après chaque addition.

On bouche les flacons et on les garde à l'obscurité pendant au moins 4h, puis on effectue la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de **630 nm** dans un délai de 24h au maximum à partir de l'ajout des réactifs.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3: montrant la variation de l'absorbance en fonction de la concentration des ions  $\text{NH}_4^+$

<b>Concentration de <math>\text{NH}_4^+</math> (mg/l)</b>	<b>0</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.2</b>
<b>L'absorbance</b>	<b>0</b>	<b>0.0610</b>	<b>0.1733</b>	<b>0.4694</b>	<b>0.9539</b>	<b>1.1692</b>

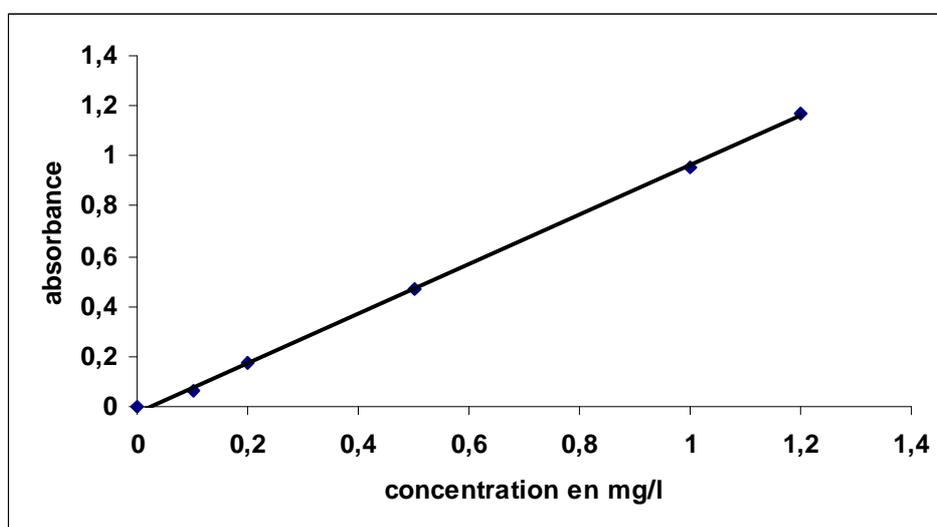


Figure 4: courbe d'étalonnage des ions ammonium

## 4. Résultats et interprétations

Le dosage des échantillons se fait de la même manière que les solutions étalons.

Pour chaque série des échantillons on vérifie l'acceptabilité de spectrophotomètre UV à l'aide de:

- Un blanc qui ne contient que de l'eau distillée et qui subi toutes les processus analytique des échantillons pour le but de quantifier le niveau de contamination introduite par le laboratoire au cours de la manipulation et de l'analyse des échantillons.

*D'après les critères d'acceptabilités des contrôles de qualité en chimie inorganique (16PQ-11) il faut que  $[NH_4^+]_{blanc} < 0.11 \text{ mg/l}$  pour que les résultats analytiques soient acceptables.*

- Deux étalons (MR) 0.2 et 0.8 mg/l (préparés à partir d'un lot différent à celui utilisé pour l'établissement de la courbe d'étalonnage) pour prendre une décision sur l'acceptabilité des résultats analytiques qui ne peut être possible que si l'erreur relative du MR soit inférieur à 20%.

L'erreur relative du MR se calcule comme suit:

$$ER \% = |X_m - X_{th}| / X_{th} \times 100$$

avec:

ER : erreur relative exprimée en %,

$X_m$  : la concentration mesurée du MR,

$X_{th}$  : la concentration théorique du MR.

- Duplicata qui sont deux parties distinctes, obtenues à partir d'un même échantillon et soumises au même protocole analytique. Elles sont préparées par le même technicien. La même chose pour le MR il faut que  $ER < 20\%$  pour que les résultats analytiques soient acceptables.

L'erreur relative entre l'échantillon et son duplicata se calcule comme suit :

$$ER \% = |X_1 - X_2| / ((X_1 + X_2) / 2) \times 100$$

avec:

ER : écart entre l'échantillon  $X_1$  et le duplicata  $X_2$

Les résultats obtenus sont dressés dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4: regroupant les résultats du dosage des échantillons

Centre	Point de prélèvement	Concentration en $\text{NH}_4^+$ (mg/l)
blanc	Eau distillée	0.060
0.2 mg/l	MR	0.190
0.8 mg/l	MR	0.849
Fès	Entrée de station	0.310
Fès	duplicata	0.290
Fès	Sotie de station	0.094
Fès	Forage 2631/15	0.068
Fès	Forage 3382/15	0.053
Fès	Forage 3023/15	0.050
Aoutat Alhaj	Puit 225/23	48.200
Aoutat Alhaj	Nouveau forage	49.400
Guercif	Puit 707/17	11.350
My yacoub	Réservoir 1000m3	26.800
Missour	Puit 180/31	2.830

La valeur trouvée pour le blanc (0.06 mg/l) est conforme aux normes car elle est bien inférieure à la valeur limite qui est de 0.11mg/l

L'erreur relative concernant le matériau de référence MR confirme bien l'acceptabilité des résultats, en effet  $ER = 5\%$  bien inférieur à 20% dicté par la norme. De même pour le duplicata ( $ER = 1.67\%$ ).

Donc ces premiers résultats analytiques sont acceptables et notre machine est bien valide pour effectuer le dosage des divers échantillons.

L'analyse des résultats obtenus montre que :

\*Au niveau de la station de Fès la quantité d'ammonium quoi qu'elle est déjà dans les norme diminue fortement de l'entrée à la sortie de station de 68.67% des ions ammonium.

\*au niveau des trois types de forage analysé dans la région de Fès les valeurs obtenues restent dans les normes exigées.

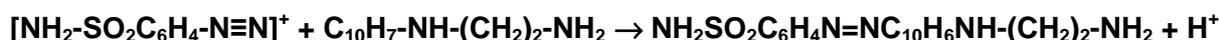
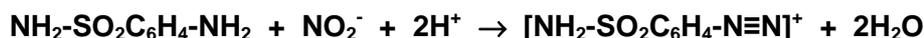
\*au niveau de Aoutat Alhaj que sa soit puit ou forage (49 mg/l), Guercif (11.35 mg/l), My yacoub (26.8 mg/l) et Missouri (2.83 mg/l) les valeurs trouvées sont très supérieur au normes et cela peut être due soit à l'absence de l'assainissement, l'utilisation intensive des engrais ou à les lisiers.

### III. Dosage des ions nitrites ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ )

#### 1. Principe

En milieu acide ( $\text{pH} = 1,9$ ), la diazotation de la sulfanilamide par les nitrites en présence du dichlorure de N (Naphtyl-1) diamine 1,2 éthane donne un complexe rose susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de **540 nm**.

Les réactions mises en jeu sont les suivantes:



#### 2. Réactifs

➤ Acide orthophosphorique en solution à 1,5 M:

On dilue 25 ml d'acide orthophosphorique concentré dans 150 ml d'eau ultra-pure. Après l'homogénéisation de la solution on la refroidi à la température ambiante. Puis on la met dans une fiole jaugée de 250 ml et on complète le volume avec de l'eau ultra-pure.

➤ Réactif de diazotation:

Réactif sulfanilique: on dissout 5 g d'amide de sulfanilamide  $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$  dans un mélange de 50 ml acide chlorhydrique (HCl) concentré et de 300 ml d'eau ultra-pure, puis on dilue à 500 ml avec de l'eau ultra-pure.

Solution de dichlorhydrate de N-(naphtyle1) ethylènediamine (NED) ( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{OH } 2\text{HCL}$ ): on dissout 500 mg de NED dans 500 ml d'eau ultra-pure, on la conserve à l'abri de la lumière.

➤ Solution tampon:

On dissout 100 g de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), 20 g de tétraborate de sodium ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) et 1 g d'éthylène diamine tétra-acétate de sodium dans l'eau ultra-pure et on complète à 1 L.

### 3. Courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, on introduit des volumes croissants de solution étalon des ions nitrites de concentration de 1 mg/l puis on complète à 50 ml avec de l'eau ultra-pure après on ajoute successivement 1 ml de sulfanilamide suivit de 1 ml de NED. On attend 30 min et on mesure l'absorbance par spectrophotomètre à une longueur d'onde de **540 nm**.

Tableau 5: récapitulatif du protocole expérimental.

Numéro des fioles	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Solution étalon (1mg de $\text{NO}_2^-$ /l) (ml)	0	1	2	5	10	20	30	40	50
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	40	30	20	10	0
Concentration de $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	0	0.02	0.04	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
Réactif sulfanilique (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NED (ml)	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Les résultats obtenus sont dressés dans le tableau 6 suivant:

Tableau 6: montrant la variation de l'absorbance en fonction de la concentration des ions nitrite.

Concentration de $\text{NO}_2^-$ (mg/l)	0	0.02	0.04	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
L'absorbance	0	0.013	0.042	0.107	0.235	0.462	0.704	0.919	1.137

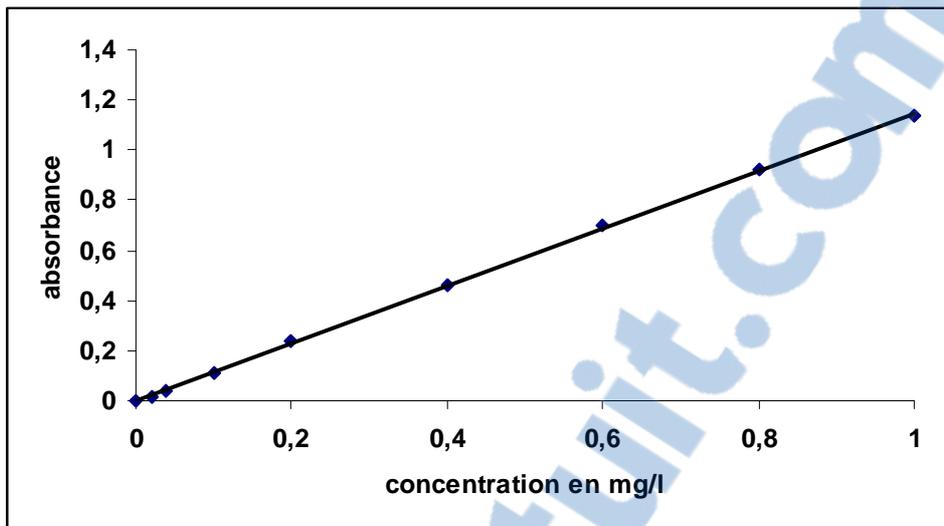


Figure 5: courbe d'étalonnage des ions nitrite

#### 4. résultats et interprétations

Les échantillons sont ceux traités dans le dosage des ions ammonium en suivant le même protocole expérimentale de l'établissement de la courbe des ions nitrite (voir tableau 4) sans oublier le blanc, MR de concentration de 0.2 et 0.8 mg/l et un duplicata.

La concentration des ions nitrites est nulle pour l'ensemble des échantillons cela est principalement due à la grande réactivité de ses ions en donnant les ions nitrates.

#### IV. Dosage par l'intermédiaire des ions nitrates ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ )

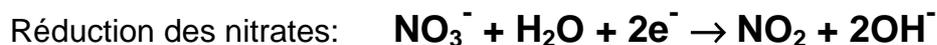
Les ions nitrates sont difficilement dosés par colorimétrie parce qu'ils sont incolore pour cette raison on les dose par l'intermédiaire ça veut dire après la réduction des ions nitrates en ions nitrites (composé intermédiaire).

##### 1. Principe

Les nitrates sont presque quantitativement réduits en nitrites par du cadmium (Cd) recouvert d'une couche de cuivre après traitement au sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}_4$ ). Les nitrites produits, forment avec l'acide sulfanilique un composé diazoïque, lequel couplé avec la N - (1 naphthyl diamine 1,2 éthane) donne une coloration rose

caractéristique, dont l'intensité est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de **540 nm**.

Les réactions de réduction des nitrates en nitrites sont :



## 2. Réactifs

➤ Cadmium:

Cadmium de granulométrie 0,5 à 1,5 mm.

➤ Réactif sulfanilique :

On dissout 5 g de sulfanilamide  $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_5$  dans un mélange de 50 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré et de 300 ml d'eau ultra-pure et on dilue à 500 ml avec de l'eau ultra-pure.

➤ Solution de dichlorhydrate de N - (naphtyl éthylènediamine (NED).  
( $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2\text{CH}_3\text{OH}$ , 2HCl):

On dissoudre 500 mg de NED dans 500 ml d'eau ultra-pure et on la conserve à l'abri de la lumière.

➤ Solution tampon:

On dissout 100 g de chlorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), 20 g de tétraborate de sodium ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) et 1 g d'éthylène diamine tétra-acétate de sodium dans l'eau ultra-pure et on complète à 1 L.

➤ Solution tampon diluée:

On prend 25 ml de la solution tampon et on complète à 1 L avec de l'eau ultra-pure.

- Acide chlorhydrique de normalité: 6N et 2N:

On introduit lentement 100 ml d'acide chlorhydrique concentré (12N) dans 100 ml d'eau ultra-pure; la solution d'acide ainsi préparée est 6N. On Prend ensuite 100 ml de cette dernière solution, et on l'introduit dans 200 ml d'eau ultra-pure pour obtenir une solution de normalité de 2N.

- Solution de sulfate de cuivre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  à 2%):

On dissout 20 g de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dans 500 ml d'eau ultra-pure et on complète à 1 L.

### 3. Préparation de la colonne de réduction

- préparation du cadmium:

Premièrement on lave 60 g de cadmium de granulométrie entre 0,5 et 1,5 mm avec de l'acide chlorhydrique 2N on les rince abondamment avec de l'eau distillée. Après on les mélange avec 200 ml de solution de sulfate de cuivre à 2% pendant 5 min jusqu'à disparition de la coloration bleue. On la laisse décanter et on répète l'opération avec une nouvelle solution de sulfate de cuivre jusqu'à l'apparition d'un précipité colloïdal de coloration brune. Après on lave abondamment avec de l'eau distillée au moins (10 fois) jusqu'à l'élimination totale du précipité du cuivre.

- Remplissage de la colonne de réduction:

Premièrement on place un tampon de laine de verre en bas de la colonne on remplit la colonne avec de l'eau, puis on verse le garnissage (Cd-Cu) par petites portions de façon à avoir une hauteur de 25 cm de (Cd-Cu) dans la colonne en maintenant toujours le niveau d'eau en dessus du garnissage. Après on lave la colonne avec 400 ml de la solution tampon diluée.

- En dehors de la période d'utilisation, on garde la colonne remplie avec une solution tampon diluée.

## 4. Traitement des échantillons

### ➤ Réduction de l'échantillon:

On ajoute 1,25 ml de la solution tampon à 50 ml de l'échantillon à analyser et on mélange. On percole l'échantillon à travers la colonne à un débit de 7 à 10 ml/min. On jette les premiers 25 ml de l'éluat et on récupère le reste dans le flacon original (flacon qui contenait l'échantillon de départ). Il n'est pas nécessaire de rincer la colonne entre deux réductions consécutives.

### ➤ L'efficacité de la réduction:

L'efficacité de la réduction du Cd-Cu doit être vérifiée, en comparant l'absorbance obtenue après réduction d'un étalon de nitrates à celle d'une solution étalon de nitrites ayant la même concentration. On procède à la régénération de la colonne chaque fois que, l'efficacité de la réduction (ou facteur de rendement) devient inférieure à 75 % ( $F < 75 \%$ ).

### ➤ Mesure et développement de la coloration:

Dès que la réduction de l'échantillon est faite on ajoute 1 ml de réactif sulfanilique à 25 ml de l'échantillon récupéré; on le laisse réagir de 2 à 8 min, on ajoute ensuite 1 ml de NED et on mélange immédiatement, puis on mesure l'absorbance de l'échantillon après 30 min minimum et 120 min au maximum.

## 5. Courbe d'étalonnage

Dans une série des fioles jaugées de 50 ml on introduit des volumes croissants de la solution étalon des ions nitrate de concentration de 1 mg/l et on complète à 50 ml par l'eau ultra-pure pour préparer une série de dilution puis on ajoute 1.25 ml de la solution tampon on percole l'échantillon à travers la colonne Cd-Cu, quand on récupère les 25 deuxième ml de l'éluat contenant que les ions nitrates on ajoute 1 ml de réactif sulfanilique et après 2 min on ajoute 1 ml de NED. On attend 30 min et on mesure l'absorbance par spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540 nm.

Tableau 7: récapitulatif du protocole expérimental.

<b>Numéro des fioles</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Solution étalon (1mg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l) (ml)</b>	<b>0</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>7.5</b>
<b>Eau ultra-pure (ml)</b>	<b>50</b>	<b>49.75</b>	<b>49.5</b>	<b>49</b>	<b>47.5</b>	<b>45</b>	<b>42.5</b>
<b>Concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>0</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>
<b>Solution tampon (ml)</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	<b>1.25</b>
<b>25ml de l'éluat récupéré</b>							
<b>Réactif sulfanilique (ml)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>on attend 2 min</b>							
<b>NED (ml)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 8 suivant:

Tableau 8: montrant la variation de l'absorbance en fonction de la concentration des ions nitrate.

<b>Concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	<b>0</b>	<b>0.05</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>
<b>l'absorbance</b>	<b>0</b>	<b>0.0395</b>	<b>0.0523</b>	<b>0.1366</b>	<b>0.3409</b>	<b>0.7216</b>	<b>1.0722</b>

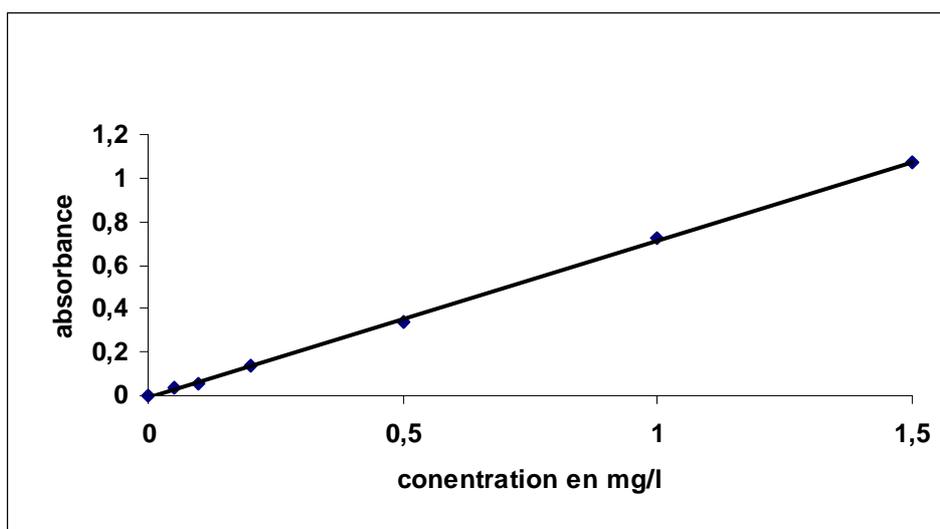


Figure 6: la courbe d'étalonnage des nitrates

## 6. Résultats et interprétations

Les résultats obtenus sont dressés dans le tableau 9 suivant:

Tableau 9: représentant les résultats obtenus.

Centre	Point de prélèvement	Concentration en $\text{NO}_3^-$ (mg/l)
blanc	Eau distillée	0.06
2 mg/l	MR	1.95
Fès	Entrée de station	12.8
Fès	duplicata	12.5
Fès	Sotie de station	10.85
Fès	Forage 2631/15	6.07
Fès	Forage 3382/15	5.68
Fès	Forage 3023/15	6.19
Aoutat Alhaj	Puit 225/23	0.04
Aoutat Alhaj	Nouveau forage	0.1
Guercif	Puit 707/17	0.07
My yacoub	Réservoir 1000m3	0.07
Missour	Puit 180/31	0.09

*D'après les critères d'acceptabilités des contrôles de qualité en chimie inorganique (16PQ-11) il faut que  $[\text{NO}_3^-]_{\text{blanc}} < 0.84 \text{ mg/l}$  pour que les résultats analytiques soient acceptables.*

Les résultats analytiques sont acceptables car :

\*La valeur trouvée pour le blanc (0.06 mg/l) est conforme aux normes

\*L'erreur relative concernant le matériau de référence MR confirme bien l'acceptabilité des résultats, en effet  $ER = 2.5\%$  bien inférieur à 20% dictée par la norme marocaine. De même que pour le duplicata ( $ER = 2.35\%$ ).

\*Au niveau de la région de Fès malgré que la valeur trouvée est conforme au norme diminue de l'aval à l'Amont de 14.25% des ion nitrates

\*Pour les différentes régions étudiées les valeurs trouvées sont conformes.

## Conclusion générale

Avant de parvenir au robinet du consommateur, l'eau brute subi une série de traitements plus ou moins poussés. Parmi ces derniers, le traitement des dérivés azotés s'avère important pour la potabilité de l'eau.

Les dérivés azotés, principalement : ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) ont un effet nuisible sur la santé surtout lorsqu'ils sont dissout dans une eau destinée à la consommation humaine.

L'objectif de ce travail était de doser les principales dérivés azotés dissout dans l'eau avant et après son traitement à la station de Ain Noukbi, également cet étude est extrapolé au niveau d'autre sources (forages, puits et réservoirs) et également pour autres villes (My yacoub, Missouri, Guercif et Aoutat Alhaj).

Les résultats obtenus indiquent :

- D'abord la validité de la technique spectrométrique pour le dosage de ce type de produits.
- Ensuite on a pu montrer la différence entre une eau traitée (sortie de la station) et une eau brute (entrée de la station)
- Egalement nous avons pu appliquée la méthode de dosage dite "par intermédiaire".

Cette conclusion perdra tout son sens si je ne citerai pas les acquis que j'ai ajouté à ma formation que ça soit au niveau scientifique ou au niveau sociale.