

Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

**PROJET DE FIN D'ETUDES**

## ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE CONSOMMATION HUMAINE

**Présenté par :**

◆ CHARKAOUI YAHYA

**Encadré par :**

◆ Mme SBAI Hanane (ONEE)

◆ Pr SABIR Safia (FST)

**Soutenu Le 07 Juin 2021 devant le jury composé de :**

- Pr SABIR Safia

- Pr KANDRI RODI Adiba

- Pr MOUGHAMIR Khadija

**Stage effectué à ONEE –Branche eau-**

**Année Universitaire 2020 / 2021**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

## Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier Mr **OUISSA ABDELILAH** directeur Provincial de l'ONEE de Sidi Kacem –Branche eau- qui m'a accordé d'effectuer mon stage au sein du laboratoire Provincial Sidi Kacem.

Mes remerciements sont destinés aussi à mon encadrant Mme **SBAI Hanane** responsable du laboratoire Provincial de Sidi Kacem, qui a bien voulu consacré une bonne partie de son précieux temps à m'encadrer et me donner ses conseils et ses remarques constructives.

Mes vifs remerciements à Mme **SABIR Safia**, mon encadrant pédagogique pour son encadrement, sa disponibilité, son orientation et ses conseils précieux. Je tiens encore à remercier les membres de jury Mme **KANDRI RODI Adiba** et Mme **MOUGHAMIR Khadija** d'avoir accepté de juger ce travail, mes remerciements aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

# Sommaire :

<b>PARTIE I : <u>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</u></b> .....	2
<b>I. : <u>Généralité sur l'eau</u></b> .....	3
1. Définition de l'eau .....	3
2. L'importance de l'eau.....	3
2.1-L'eau dans l'organisme humain .....	3
2.2-L'usage de l'eau .....	3
3. La composition de l'eau .....	3
3.1-Espèces inorganiques.....	3
3.2. Matières organiques dissoutes .....	4
3.3. Matières en suspension (MES).....	4
3.4. Matières colloïdales.....	4
3.5. Les gaz dissouts.....	4
4. Ressources des eaux.....	5
4.1. Les eaux souterraines .....	5
4.2. Les eaux superficielles .....	5
5. pollution d'eau.....	5
5.1. Définition .....	5
5.2. Les origines de la pollution .....	5
6. Traitement des eaux potables .....	6
6.1. Traitement physique.....	7
6.2. Traitement chimique.....	7
6.3. Traitement physico-chimique .....	8
<b>II. : <u>Les paramètres caractéristiques de la qualité des eaux</u></b> .....	9
1. Paramètres organoleptiques.....	9
2. Paramètres physico-chimiques.....	9
3. Paramètres indésirables ou toxiques.....	11
4. Paramètres microbiologiques.....	12
<b>PARTIE 2 : <u>LES ANALYSES DE LA QUALITE DE L'EAU</u></b> .....	13
<b>I. <u>Analyses physico-chimiques</u></b> .....	14
1-Analyses physiques.....	14
2-Analyses chimiques.....	16
<b>II. <u>Résultats et interprétation</u></b> .....	26
• Conclusion.....	29

## **Liste des figures :**

**Figure 1 :** Les procédés classiques du traitement des eaux

**Figure 2 :** Phénomène de coagulation

**Figure 3 :** Dureté permanente et temporaire

**Figure 4 :** Mode opératoire de la dureté totale

**Figure 5 :** Courbe d'étalonnage

## **Liste des tableaux :**

**Tableau 1 :** Les principaux éléments majeurs présents dans l'eau.

**Tableau 2 :** Classes de conductivité usuelles

**Tableau 3 :** Classification d'une eau selon la valeur de sa dureté

**Tableau 4 :** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau Brute

**Tableau 5 :** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau Traitée

## **Liste des photos :**

**Photo 1 :** pH-mètre

**Photo 2 :** Conductivimètre

**Photo 3 :** Turbidimètre

**Photo 4 :** Comparateur à disque et D.P.D no 1

**Photo 5 :** Kit colorimétrique utilisé pour la détermination du fer

## Liste des abréviations

- **ONEE** : Office national de l'électricité et de l'eau potable
- **MES** : Matière en suspension
- **NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Nitrite
- **NTU** : Unité de turbidité néphélométrie
- **pH** : Potentiel d'hydrogène
- **TA** : Titre alcalimétrique
- **TAC** : Titre alcalimétrique complet
- **TH** : Titre hydrométrique
- **HCL** : Acide chlorhydrique
- **OH<sup>-</sup>** : Ion d'hydroxyde
- **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Bicarbonate
- **CO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Carbonate
- **EDTA** : Ethylène diamine tétracétique
- **Ca<sup>2+</sup>** : Ions de calcium
- **Mg<sup>2+</sup>** : Ions de magnésium
- **CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone
- **KMnO<sub>4</sub>** : Permanganate de potassium
- **C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>** : Oxalate
- **Cl<sub>2</sub>** : Di-chlore
- **HCLO** : Acide hypochloreux
- **CLO<sup>-</sup>** : Hypochlorite
- **NED** : N (Naphtyl-1 ) diamine 1,2 éthane

## Introduction

L'eau est une ressource naturelle pour la survie de l'humanité et de toutes les espèces sur terre, or la ressource en eau douce devient de plus en plus insuffisante et sa qualité est menacée.

En effet, plusieurs facteurs naturels et anthropiques agissent sur la qualité de l'eau, ce qui exige d'effectuer souvent des analyses et des traitements de l'eau dans le but d'avoir la qualité exigible destinée à la consommation humaine tout en respectant strictement les critères de potabilités à savoir :

- **Potabilité chimique** : désigne l'absence de substances toxiques.
- **Potabilité microbiologique** : désigne l'absence de microorganismes susceptibles de provoquer des maladies.

Ainsi ce mémoire est composé de deux parties :

**La première partie** est une étude bibliographique sur les généralités de l'eau, quelques techniques de traitement de l'eau et les paramètres caractéristiques de la qualité des eaux.

**La deuxième partie** décrit les techniques d'analyses physico-chimiques de l'eau, effectuées au laboratoire provincial de **l'ONEE- Branche EAU - de Sidi Kacem**.

**Partie I :**  
**Etude**  
**bibliographique**

# I / Généralité sur l'eau

## **1. Définition de l'eau :**

C'est une substance naturelle, souvent liquide, inodore, incolore et sans saveur à l'état pur, de formule chimique  $H_2O$ , et peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux), l'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle la plupart du temps le solvant universel.

## **2. Importance de l'eau :**

L'eau est un élément indispensable à la vie. Sans eau aucun organisme qu'il soit végétal ou animal ne peut vivre.

### **2.1. L'eau dans l'organisme humain :**

L'eau est le principal constituant du corps humain. La quantité moyenne d'eau contenue dans un organisme adulte est de 65 %, ce qui correspond à environ 45 litres d'eau pour une personne de 70 kilogrammes.

### **2.2. L'usage de l'eau :**

Sur le plan quantitatif, les activités humaines consommatrices d'eau traitée sont réparties selon les domaines :

- L'agriculture (l'eau d'irrigation).
- La consommation humaine (besoin individuel et de collectivité).
- L'industrie (Eau de refroidissement, Eau de lavage).

## **3. La composition de l'eau :**

### **3.1. Espèces inorganiques :**

#### **3.1.1. Constituants majeurs :**

Ce sont essentiellement des composés ioniques, qui proviennent de la dissolution des roches par l'eau lors de son cheminement dans la nature.

Le tableau suivant rassemble les principaux éléments majeurs contenus dans l'eau.



**Tableau 1: Les principaux éléments majeurs présents dans l'eau.**

<b>Sels minéraux</b>	<b>Carbonates</b>	} de }	<b>Sodium</b>
	<b>Bicarbonates</b>		<b>Calcium</b>
	<b>Silicates</b>		<b>Magnésium</b>
	<b>Sulfates</b>		<b>Fer</b>
	<b>Chlorures</b>		<b>Potassium</b>
	<b>Nitrates</b>		

### 3.1.2. Les éléments traces métalliques :

Les « éléments traces métalliques » (ETM) sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration d'environ une partie par billion (ppt) en masse, ou moins. Les principaux éléments traces métalliques présents dans l'eau sont :

Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Mercure (Hg), Cadmium (Cd), Zinc (Zn), Fer (Fe), Aluminium (Al), Titane (Ti).

### 3.2. Matières organiques dissoutes :

Elles proviennent de la dissolution par l'eau de pluie, des végétaux, des animaux décomposés, des rejets urbains, industriels et agricoles.

- Ces matières sont très souvent à l'origine de couleurs, d'odeurs ou de saveurs désagréables.

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

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques (de taille comprise entre 1µm et 1cm) insolubles dans l'eau tels que les argiles, les sables, le plancton... Elles affectent la transparence de l'eau.

### 3.4 Matières colloïdales :

Un colloïde est un système constitué de fines particules (1nm à 1µm) en suspension dans l'eau. Les particules colloïdales restent dans l'eau durant une longue période, cette stabilité est due à un potentiel zêta négatif, ce dernier donne le niveau d'interaction des colloïdes.

### 3.5. Les gaz dissous :

Lors du contact de l'eau naturelle avec l'air, les gaz de l'atmosphère peuvent se dissoudre.

- ❖ L'oxygène O<sub>2</sub> : ce gaz joue un rôle important dans le processus de corrosion des métaux.
- ❖ Dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> : ce gaz peut jouer un rôle dans la dissolution de certaines roches (les roches calcaires).

## **4. Ressources des eaux :**

Sans détailler la relation entre l'origine des eaux et leur composition, On peut considérer deux sources principales d'eau :

- Les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers ;
- Les eaux souterraines accumulées dans les nappes.

### **4.1. Les eaux souterraines :**

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Elles se caractérisent par une turbidité faible et une contamination bactérienne faible, car elles sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquent, la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant le calcium ou le magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée.

### **4.2. Les eaux superficielles :**

Au contraire des eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface (en contact libre avec l'atmosphère) ou proche de la surface du sol tels que les lacs, les fleuves et les rivières. Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Sa composition chimique dépend de la nature des terrains rencontrés durant leurs parcours. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone.

## **5. Pollution d'eau**

### **5.1. Définition :**

**La pollution de l'eau :** c'est la modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants.

### **5.2. Origines de la pollution :**

Selon l'origine des substances polluantes, trois catégories de pollutions sont à distinguer :

#### **5.2.1. Pollution domestique :**

La pollution domestique provient des utilisations quotidiennes de l'eau à la maison, en général, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Elle se caractérise par la présence des germes fécaux, de forte teneurs en matière organique, des détergents, solvants. Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau.

### 5.2.2. La pollution industrielle :

Elle provient des usines et elle est caractérisée par la présence d'une grande diversité des polluants, selon l'utilisation de l'eau tels que:

- ✓ Les hydrocarbures (raffinerie).
- ✓ Les métaux (hydrométallurgie, métallurgie).
- ✓ Les acides, les bases, les produits chimiques divers (industries chimiques).
- ✓ L'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques).
- ✓ Les matières radioactives (centres nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Il peut y avoir un effet toxique sur les organismes vivants, par l'accumulation de certains éléments dans les denrées alimentaires tels que les métaux et les pesticides.

### 5.2.3. La pollution agricole :

L'agriculture est une source de pollution des eaux, elle apporte les engrais et les pesticides (l'utilisation non-raisonnable). Les engrais chimiques contiennent une grande quantité d'éléments azotés (nitrites), et les phosphates altèrent la qualité des nappes souterraines qu'ils atteignent par infiltration des eaux.

## 6. Traitement des eaux :

Selon la qualité de l'eau brute, le traitement de potabilisation est plus ou moins complexe. On distingue deux étapes de traitement : La clarification et la désinfection.

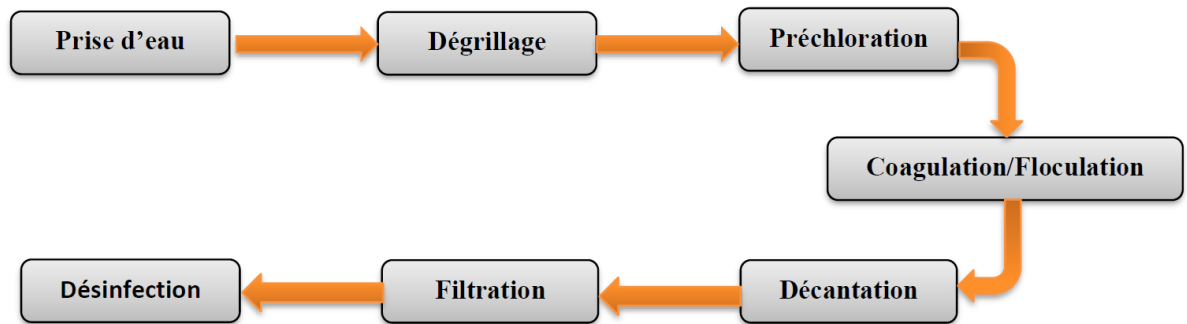
La clarification repose sur des :

- **Procédés physiques** dont le but est d'éliminer MES
- **Procédés physico-chimiques** : Lorsque l'élimination des MES nécessite une coagulation des matériaux en suspension dans l'eau, celle-ci s'opère par l'ajout d'un réactif chimique.

La désinfection repose sur des :

- **Procédés chimiques** : Il s'agit d'ajouter le chlore, les oxydants puissants tels que le peroxyde (l'eau oxygénée) ou l'ozone. Ces oxydants permettent également l'élimination du fer et du manganèse, et ont une action organoleptique (suppression de l'odeur).

La figure suivante illustre les procédés du traitement classiques des eaux de la prise d'eau jusqu'à la désinfection.



**Figure 1 : Les procédés classiques du traitement des eaux**

## 6.1. Traitement physique :

**6.1.1. Dégrillage :** Le dégrillage est la première étape d'une filière de traitement, qui consiste à retenir tous les gros déchets (branches d'arbres, feuilles, plastique ...) par une filtration à travers un dégrilleur.

**6.1.2. Tamisage :** Après une éventuelle étape de dégrillage, l'eau passe dans des tamis de maille de plus en plus fine, qui permettent d'arrêter les petits déchets (mégots de cigarettes, les algues).

**6.1.3. La décantation :** Elle consiste à laisser déposer les déchets plus lourds que l'eau (ou à provoquer leurs dépôt) sous l'effet de la gravité.

**6.1.4. La filtration :** La filtration permet d'éliminer les plus petites particules non décantées. Elle est réalisée sur des membranes ou des filtres constitués de matériaux comme le sable et le charbon actif.

Les filtres à sable, en début de filière, retiennent notamment le fer et le manganèse ; les filtres à charbon actifs, placés en fin de filière, absorbent les composés organiques résiduels, pour éliminer l'odeur et la saveur.

**6.1.5. La flottation :** En fonction de la nature des MES dans l'eau à traiter, on peut recourir à la flottation plutôt qu'à la décantation. Le procédé consiste à faire remonter le floc à la surface en utilisant de l'air comprimé.

## 6.2. Traitement chimique :

Ce type de traitement utilise des réactifs chimiques qui agissent directement sur les métaux lourds, les matières organiques et les germes pathogènes. Généralement, on utilise les composés chlorés (chlore gazeux, l'eau de javel et le bioxyde de chlore) car ils ont un effet rémanent, c'est-à-dire que leurs actions désinfectantes persistent tout au long du réseau de distribution.

- ✚ **Pré-chloration (pré-oxydation)** : c'est un procédé de pré-traitement utilisé en cas où l'eau est chargée en matière organique. Elle s'effectue avant la décantation par l'ajout du dichlore gazeux dans l'eau brute pour permettre au chlore d'agir à temps et décomposer les matières organiques à fin de faciliter leur décomposition dans les décanteurs. Elle permet aussi d'oxyder des corps existants dans l'eau tels que : l'ion ferreux, manganoux, les nitrites en nitrates et les matières organiques.
- ✚ **Désinfection** : dont l'objectif est détruire les micro-organismes pathogènes qui peuvent toucher la santé des consommateurs et lutter contre tout développement bactérien dans le réseau de distribution. C'est essentiellement l'acide hypochloreux (HOCl) le plus actif dans les mécanismes de la désinfection.

### 6.3. Traitement physico-chimique :

Ces procédés couplent l'action chimique d'un réactif à une action physique. Pour faciliter le dépôt des particules dans le fond du bassin, l'étape de décantation peut être couplée à deux étapes chimiques permettant d'agglomérer les particules et les rendre plus lourdes :

- **La coagulation** : a pour but de déstabiliser les particules en suspension pour faciliter leur agglomération. En pratique, elle consiste à ajouter des réactifs tel que le sel de fer ou d'aluminium qui neutralisent les charges opposés des substances colloïdales et annulent le potentiel zêta.



**Figure 2 : phénomène de coagulation**

- **La floculation** : a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange long, les contacts entre les particules pour former des floes facilement décantables.

## II / Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :

L'eau d'alimentation humaine ne doit contenir ni micro-organismes, ni substance chimique nocifs pour la santé, elle doit être agréable à boire, claire, sans odeur.

### 1. Paramètres organoleptiques :

Ces paramètres concernent la qualité sensible de l'eau : la couleur, la saveur, l'odeur.

Leurs dégradations peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution. Ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

#### 1.1. Couleur :

La couleur n'est pas seulement un facteur visuel, elle révèle la présence de substances indésirables ou toxiques. Elle peut être due à certaines impuretés minérales (Fer, Manganèse) à des rejets industriels ou à certaines matières organiques ( l'acide humique, fulvique) qu'elles proviennent à partir de la dégradation des matières végétales.

#### 1.2. L'odeur et la saveur :

L'odeur et la saveur sont dus à la présence dans l'eau des substances qui peuvent être inorganiques comme le bioxyde de soufre  $SO_2$  ou le sulfure d'hydrogène  $H_2S$  , ou organiques comme les esters, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultants de la décomposition des matières animales ou végétales (les algues).

#### 1.3. La turbidité :

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser de la lumière. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, plancton, microorganismes etc...

### 2. Paramètres physico-chimique :

#### 2.1. Température :

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et conditionne les équilibres de dissociation. Elle agit sur la conductivité électrique et le pH.

Elle accélère aussi la croissance des micro-organismes et des algues entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité.

#### 2.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline. Il est fonction de l'activité des ions hydrogène  $H^+$  présents dans cette eau, mesuré par un pH mètre.

### 2.3. Conductivité électrique :

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique entre deux électrodes à l'aide d'un conductimètre. Elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m), mais dans le cas de l'eau on utilise généralement le micro siemens par cm ( $\mu\text{S/cm}$ ).

### 2.4. Alcalinité (Titre alcalimétrique (T.A), Titre alcalimétrique complet (T.A.C)) :

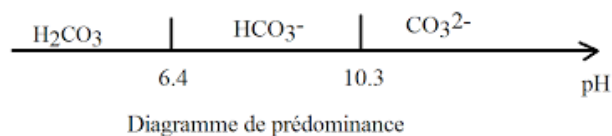
L'alcalinité d'une eau correspond principalement à la présence des hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ).

- **T.A ou le titre alcalimétrique** permet de connaître la teneur complète d'hydrate alcalin  $\text{OH}^-$  et la moitié des carbonates  $\text{CO}_3^{2-}$  de l'eau

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

- **L'alcalinité totale appelée aussi titre alcalimétrique complet (T.A.C)** permet de connaître la quantité d'alcalin libre, de carbonates et d'hydrogénocarbonates.

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



### 2.5. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :

- ❖ **Dureté totale** : ou TH indique globalement la teneur en sel de calcium et de magnésium.  $\text{TH} = \text{TH}(\text{Ca}^{2+}) + \text{TH}(\text{Mg}^{2+})$  (meq/l ou  $\text{f}^\circ$ )
- ❖ **Dureté calcique** :  $\text{TH}(\text{Ca}^{2+})$  indique la teneur en sels de calcium
- ❖ **Dureté magnésienne** :  $\text{TH}(\text{Mg}^{2+})$  indique la teneur en sels de magnésium.
- ❖ **Dureté permanente** : ou non carbonatée P indique la dureté qui persiste après ébullition de l'eau.
- ❖ **Dureté temporaire** : indique la différence entre TH et P. C'est la dureté qui correspond aux sels de Ca et Mg sous forme d'hydrogénocarbonates :  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)$  et  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)$



**Figure 3 : Dureté permanente et temporaire**

### **2.6. L'oxydabilité au permanganate de potassium (indice permanganate) :**

La mauvaise qualité d'une eau peut venir de sa contamination par des matières organiques oxydables. Pour évaluer cette pollution, on fait appel à l'indice permanganate :

Oxydabilité ou indice permanganate d'une eau correspond à la quantité d'oxygène exprimée en milligrammes par litre cédée par l'ion permanganate ( $\text{MnO}_4^-$ ) et consommée par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau dans les conditions définies par la norme.

### **2.7. Oxygène dissous :**

L'oxygène dissous est très important par le fait qu'il conditionne l'état de plusieurs sels minéraux, la dégradation de la matière organique et la vie des animaux aquatiques. Sa solubilité est liée à plusieurs facteurs : la température, la pression atmosphérique...

## **3. Paramètres indésirables ou toxiques :**

### **3.1. Fer et manganèse :**

Ces deux éléments existent dans la plupart des eaux et sont généralement liés ; ils entraînent des conséquences similaires : formation de dépôts, goûts désagréables et prolifération bactérienne. Bien que nécessaire à la nutrition humaine, le fer et le manganèse ne doivent pas dépasser certaines teneurs.

### **3.2. Métaux lourds :**

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets (pollution industrielle, dégradation des réseaux de distribution). Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc.



#### **4. Paramètres microbiologiques :**

L'eau destinée à l'alimentation humaine ne doit pas contenir de micro-organismes pathogènes et doit être libre de bactéries indicatrices de contamination fécale.

Les paramètres recherchés, de façon routinière, sont :

- Micro-organismes revivifiables.
- Bactéries coliformes.
- Escherichia coli et/ou coliformes fécaux.
- Entérocoque intestinaux.

**PARTIE II :**

**LES ANALYSES DE LA**

**QUALITE DE L'EAU :**

Après une procédure de traitement des eaux, un contrôle de qualité est nécessaire afin de vérifier si les paramètres physico-chimiques répondent aux normes de la consommation humaine.

Les analyses physico-chimiques ont concernées les paramètres suivants :

Température, pH , Conductivité électrique, Turbidité, Alcalinité, Dureté totale, Chlorure, Fer et Manganèse, Oxydabilité par  $\text{KMnO}_4$ , Chlore résiduel, Nitrite.

## **1. Analyses physico-chimiques :**

### **1.1. Mesure de la Température :**

La Température se mesure par un thermomètre gradué de 0 à 25°C directement après le prélèvement de l'échantillon de l'eau.

### **1.2. Mesure du pH :**

La nature de la mesure effectuée est électrométrie qui exige des électrodes de verre fragiles et des solutions tampons pour l'étalonnage.

L'étalonnage de l'appareil (pH-mètre) sera fait à l'aide des solutions tampons de référence de pH connu (pH= 4, pH=7, pH=9).

Le pH d'un échantillon dépend également de la température en raison de l'équilibre de dissociation. C'est pourquoi la température de l'échantillon est toujours indiquée avec la mesure du pH.

#### **❖ Mode opératoire :**

On allume le pH-mètre, puis on rince l'électrode avec l'eau distillée, ensuite on prend 100 ml de l'eau à analyser, on plonge l'électrode dedans et on note le pH après stabilisation.



**PHOTO 1 : pH mètre**

✓ La réglementation marocaine préconise un pH compris entre 6,5 et 8,5.

### 1.3. Conductivité :

La conductivité électrique est une mesure du courant conduit par les ions présents dans l'eau et dépend de :

- La concentration en ions.
- La nature des ions.
- La température de la solution.
- La viscosité de la solution.

#### ❖ Mode opératoire :

D'abord, on étalonne l'appareil, ensuite on rince l'électrode avec l'eau distillée puis on plonge l'électrode dans un flacon contenant l'eau à analyser et enfin on note la valeur dès que la mesure soit stable.



**PHOTO 2 : CONDUCTIVIMETRE**

✓ Norme : valeur maximale admissible : 2700 µs/cm à 20°C

✚ D'une façon générale :

50 à 400 µs/cm	Qualité excellente
400 à 740 µs/cm	Bonne qualité
750 à 1500 µs/cm	Minéralisation moyenne
>1500 µs/cm	Minéralisation excessive

**Tableau 2 : Classes de conductivité usuelles**

#### 1.4. La Turbidité :

La méthode néphélométrie est basée sur la comparaison de l'intensité de lumière diffractée par l'échantillon à celle d'un étalon de référence dans les mêmes conditions.

##### ❖ Mode opératoire :

On commence par étalonner l'appareil, puis on remplit une cuve de mesure avec l'échantillon d'eau , ensuite on fait sécher les parois et le fond de la cuve, et enfin on effectue la mesure rapidement.



**PHOTO 3 : TURBIDIMETRE**

- ✓ La norme : 0,5 NTU (unité de turbidité néphélométrique)

#### 1.5. Détermination du chlore résiduel :

La détermination du chlore résiduel donne une idée sur l'aspect bactériologique de l'eau, cette détermination se fait rapidement en utilisant un comparateur à disque et D.P.D N°1 (diethyl parahenylène diamine) comme un réactif coloré.

Lorsqu'on introduit une pastille de D.P.D dans la solution à analyser, cette dernière devient rose. L'intensité de couleur est comparée visuellement avec le disque afin de déterminer la concentration en chlore libre.



**Comparateur à disque**



**D.P.D N°1**

### **1.6. Détermination de l'alcalinité par titrimétrie :**

C'est un dosage volumétrique par addition de solution diluée d'acide chlorhydrique, en présence d'indicateur coloré, nécessaire pour neutraliser le volume d'eau à analyser.

- **Détermination du TA :**

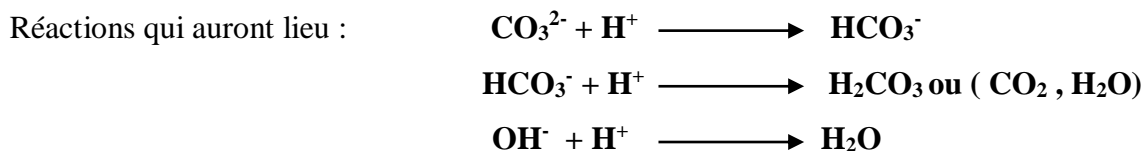
On prélève 100 ml d'eau à analyser dans une fiole, puis on ajoute 1 à 2 gouttes de phénophtaléine, une des deux résultats suivants est possible :

- Une coloration rose se développe.
- Dans le cas contraire, le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3

- **Détermination du TAC :**

On utilise la même eau à analyser, traitée précédemment avec un TA nul. Puis on ajoute six gouttes de méthylorange, afin de Titrer avec HCl (N/10) jusqu'à l'apparition de la couleur jaune orangée.

Soit V le volume en ml d'acide versé depuis le début du dosage.



- **Expression du résultat :**

$$\text{TAC} = \frac{V \times N \times 1000}{V_{\text{échantillon}}} \quad (\text{en meq/l})$$

- ✓ La réglementation marocaine n'impose pas de normes pour l'alcalinité.

## 1.7. Détermination de la dureté totale :

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir d'érichrome en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

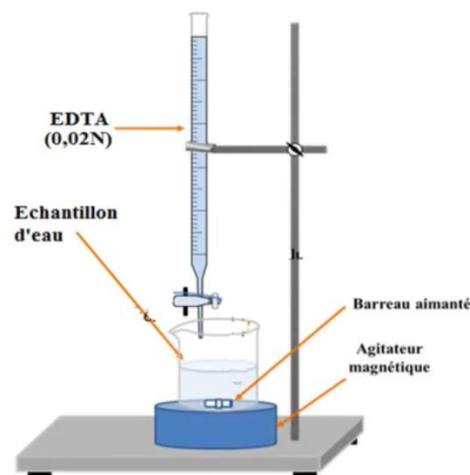
On symbolise NET par  $X^{2-}$  et l'EDTA par  $Y^{4-}$ .

Les réactions mis en jeu :

- $X^{2-} + Mg^{2+} \rightleftharpoons [MgX]$
- $Y^{4-} + Mg^{2+} \rightleftharpoons [MgY^{2-}]$
- $Y^{4-} + Ca^{2+} \rightleftharpoons [CaY^{2-}]$
- $[MgX] + Y^{4-} \rightleftharpoons [MgY^{2-}] + X^{2-}$

### Mode opératoire :

A 100ml d'eau à analyser, on ajoute 5 ml de la solution tampon et une petite spatule d'indicateur de noir d'érichrome. La solution se colore en rouge foncé. Ensuite, on titre avec la solution EDTA (0,02 M) jusqu'au virage du rouge au bleu.



**Figure 4 : mode opératoire de la dureté totale**

### Expression des résultats :

$$TH = \text{volume versé} \times 0,4 \quad (\text{meq/l})$$

$$TH = 1000 \times C \times V_{\text{versé}} / V_2 \quad (\text{mmol/l})$$

Où C : la concentration en mol/l d'EDTA

$V_{\text{versé}}$  : volume en ml de l'EDTA versé

$V_2$  : volume de l'échantillon

✓ La réglementation marocaine n'impose pas de seuil pour la dureté totale.

#### **A. Dosage du calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA :**

Le calcium est un métal alcalinoterreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau, généralement c'est l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés.

- le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (12 – 13), le magnésium se précipite sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas par ailleurs. L'indicateur choisit est l'acide calcéon carboxylique, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

#### **❖ Mode opératoire :**

A 100ml d'eau à analyser, on ajoute 5ml de la solution de soude (2N), une petite spatule d'indicateur coloré (calcéon). On titre avec la solution EDTA (N/50) jusqu'au virage du rose au bleu.



#### **❖ Expression des résultats :**

$$\begin{aligned} \text{Dureté calcique} &= \text{volume versé} \times 0,4 \text{ meq/l} \\ &= \text{volume versé} \times 0,4 \times 20 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

#### **B. Magnésium :**

La quantité des ions magnésium est définie par la différence entre  $\text{TH}_{\text{total}}$  et le TH calcique :

$$\text{TH (meq/l)} - \text{Tca}^{2+} \text{ (meq/l)}.$$

✓ Il n'y a pas de norme marocaine concernant le seuil du calcium et du magnésium.

Le tableau ci-dessous, représente la classification de l'eau selon la concentration du calcium et du magnésium en meq/l ou en °F.



<u>Dureté d'eau</u>	<u>La concentration en meq/l</u>	<u>La concentration en °F</u>
<u>Très douce</u>	0 – 1,4	0 – 7
<u>Douce</u>	1,4 – 2,8	7 – 14
<u>Moyennement douce</u>	2,8 – 4,4	14 – 22
<u>Assez dure</u>	4,4 – 6,4	22 – 32
<u>Dure</u>	6,4 – 8,6	32 – 40
<u>Très dure</u>	>8,6	>42

**Tableau 3 : Classification d'une eau selon la valeur de sa dureté**

- Une eau très douce est une eau corrosive. elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité d'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb.
- Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, telle que la diminution des propriétés détergentes des lessives, savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau.

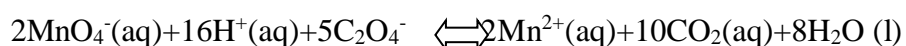
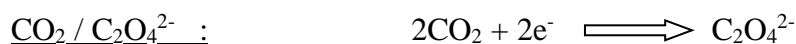
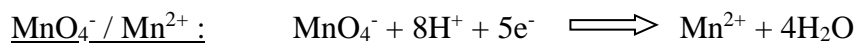
### **1.8. L'oxydabilité par KMnO<sub>4</sub> (méthode à chaud) :**

#### **Principe :**

Oxydation par un excès de KMnO<sub>4</sub> en milieu acide et à l'ébullition (10 min), des matières oxydables contenues dans l'échantillon.

Réduction du KMnO<sub>4</sub> (N/100) par l'oxalate de sodium (N/100) et titrage de l'excès d'oxalate de sodium par le permanganate de potassium (N/100).

- Réaction entre l'ion permanganate et l'oxalate en milieu acide :



#### **Mode opératoire :**

Tout d'abord, on prend 100 ml de l'eau à analyser puis on ajoute 2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et 10 ml de KMnO<sub>4</sub>, ensuite on porte à l'ébullition pendant 10 min, ensuite on ajoute 10 ml d'oxalate de sodium et on attend la décoloration et enfin on titre avec la solution KMnO<sub>4</sub> pendant que la solution est encore chaude, jusqu'à apparition d'une coloration rose persistante.

### Expression des résultats :

$$\text{L'oxydabilité} = V \times 0,8 \quad (\text{mg d'O}_2 / \text{l})$$

Avec V : volume versé de  $\text{KMnO}_4$

- ✓ Valeur maximale recommandée (VMR) : 2mg/l

### 1.9. Détermination des chlorures par la méthode au nitrate mercurique :

De façon générale, l'ion chlorure  $\text{Cl}^-$  est présent dans toutes les eaux, à des concentrations variables. Dans les eaux souterraines, la teneur en ion chlorure peut atteindre quelques grammes par litre au contact de certaines formations géologiques.

#### Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu acide par le nitrate mercurique en présence d'un indicateur de pH à base de diphenyle carbazone et de bromophénol.



#### Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer, on introduit successivement 100ml d'eau à analyser, 0,5 ml indicateur de pH, ensuite on ajoute goutte à goutte de l'acide nitrique (N/3) puis on ajoute un excès de 3 gouttes d'acide nitrique. A la fin, on titre au nitrate mercurique jusqu'à l'apparition de la première teinte violet foncé persistante.

#### Expression des résultats :

$$X = V \times 3,55 \times 10 \quad (\text{mg/l})$$

X : la teneur en mg de chlorures contenues dans un litre d'eau.

V : volume versé de la solution mercurique.

- ✓ La réglementation marocaine donne comme valeur limite 750mg/l en ion chlorures.

### 1.10. Détermination de fer par kit colorimétrique :

Dans un des deux tubes de mesure, on verse un échantillon de 20 ml d'eau, puis on ajoute 3 gouttes dans le même tube de Fe-1 et on agite, on verse 20 ml de l'eau distillée dans l'autre tube, ensuite on place les deux tubes à la position du comparateur et après avoir attendre 3 min on compare la couleur des solutions aux couleurs témoins en déplacent le support de tubes sur l'échelle colorimétrique jusqu'à ce que les couleurs soient identiques.



**photo 5 : Kit colorimétrique utilisé pour la détermination du fer**

### **1.11. Détermination de manganèse par kit de test colorimétrique :**

Dans un des tubes, on verse 20 ml d'eau distillée. Et dans l'autre on verse 20 ml de l'échantillon, 8 gouttes de Mn-1, 4 gouttes de Mn-2 et on agite légèrement. Après deux minutes, on ajoute 4 gouttes de Mn-3.

Ensuite, on place les deux tubes à la position du comparateur afin de comparer la couleur des solutions aux couleurs témoins de l'échelle colorimétrique.

### **1.12. Détermination des ions nitrites par méthode à la sulfanilamide :**

Les ions nitrites comme les nitrates, sont présents à l'état naturel dans les sols, les eaux et les plantes, mais généralement en faible quantité.

#### **+ Principe de la méthode :**

Réaction des ions nitrites présents, dans une prise d'essai à pH=1.9 , avec le réactif amino-4-benzène sulfonamide en présence d'acide orthophosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane : NED.

Mesurage de l'absorbance à 540nm.

#### **+ Réactifs :**

- acide orthophosphorique en solution à 1,5mol/l
- réactif sulfanilique.
- solution de di chlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane

- solutions étalons des ions nitrites :

\* solution mère étalon à 100mg/l de  $\text{NO}_2^-$

\* solution fille étalon à 1mg/l de  $\text{NO}_2^-$  : prendre au moment de l'emploi 10ml de la solution mère et compléter à 1000ml avec l'eau distillée.

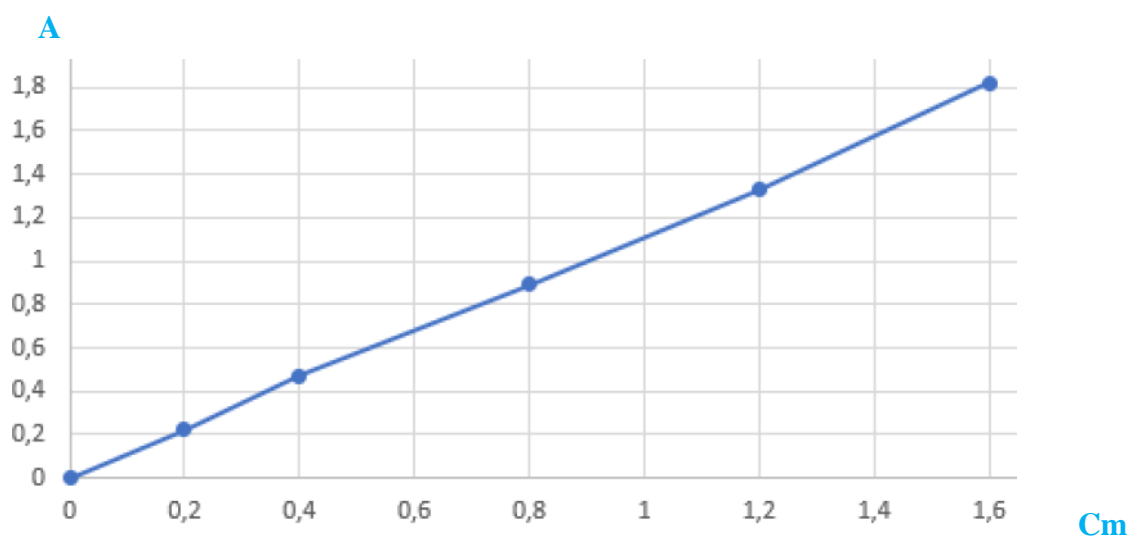
**✚ Mode opératoire :**

**1. L'établissement de la courbe d'étalonnage :**

On introduit dans une série de fioles jaugés de 50ml les volumes de solutions étalons indiquées dans le tableau ci-après puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Numéro des fioles de 50ml	1	2	3	4	5	6
Volume prélevé en ml (solutions filles étalons à 1mg/l)	0	0,5	1	2	5	10
L'eau distillée (ml)	50	49,5	49	48	45	40
Réactif sulfanilique	1	1	1	1	1	1
NED	1	1	1	1	1	1

On laisse reposer après avoir homogénéisé, on ajoute les réactifs puis on attend au moins 20 min. Ensuite, on mesure l'absorbance au spectrophotomètre à la longueur d'onde 540 nm. Et à la fin on trace la courbe de l'absorbance en fonction des teneurs en  $\text{NO}_2^-$ .



**Figure 5 : Courbe représente la variation de l'absorbance en fonction de la concentration**

Le graphe est une droite qui passe par l'origine du repère. La **loi de beer-lambert** est effectivement vérifiée.

Dans une fiole jaugée de 50 ml, on introduit 40 ml d'échantillon, 1 ml de NED et 1 ml de réactif sulfanilique. On attend au moins 20 minutes après l'ajout des réactifs.

Ainsi, on mesure l'absorbance au spectrophotomètre à la longueur d'onde 540 nm.

### **Expression des résultats :**

#### **Loi de Beer-Lambert :**

**L'absorbance A d'une solution colorée est proportionnelle à la concentration molaire C de l'espèce chimique coloré.**

$$A = K * C$$

A sans unité ; K en litre / mol ; C en mol / l

**A est aussi proportionnelle à la concentration massique Cm.**

$$A = K * C_m$$

A sans unité ; K en litre /g ; Cm en g / l

(La couleur d'une espèce colorée (le soluté) en solution dépend de sa concentration dans la solution).

A l'aide d'un spectrophotomètre, on mesure l'absorbance de l'échantillon, puis on projette cette mesure sur la droite linéaire, on obtient un point dont l'abscisse indique la concentration de nitrite recherché.

la réglementation marocaine donne comme valeur limite 0,5 mg/l des ions nitrites.

La figure suivante illustre les étapes de dosage des nitrites par la méthode à la sulfanilamide

### Dosage des nitrites par la méthode à la sulfanilamide

40 mL d'eau à analyser



1 mL réactif coloré



Homogénéiser et laisser reposer  
au moins 20min



Lecture à 540 nm avec une  
cuve de 10 ou 40mm

## **2. Résultats des analyses :**

Les résultats obtenus des analyses physico-chimiques réalisées sont illustrés dans les tableaux suivants :

<b>Paramètres</b>	<b>Echantillon 1</b>	<b>Echantillon 2</b>	<b>Echantillon 3</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Température (°C)</b>	<b>22,0</b>	<b>22,2</b>	<b>22,2</b>	<b>22,13</b>
<b>pH</b>	<b>7,31</b>	<b>7,15</b>	<b>7,20</b>	<b>7,22</b>
<b>Conductivité (µs/cm)</b>	<b>1992</b>	<b>2004</b>	<b>1985</b>	<b>1993</b>
<b>Turbidité (NTU)</b>	<b>4,02</b>	<b>3,85</b>	<b>4,40</b>	<b>4,09</b>
<b>TA (meq/l)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TAC (meq/l)</b>	<b>6,1</b>	<b>6,3</b>	<b>6,6</b>	<b>6,3</b>
<b>TH (meq/l)</b>	<b>9,2</b>	<b>9,08</b>	<b>9,16</b>	<b>9,14</b>
<b>Fer total (mg/l)</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,96</b>
<b>Manganèse total (mg/l)</b>	<b>0,20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>
<b>Nitrite (mg/l)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>
<b>Oxydabilité (mg d'O<sub>2</sub>/l)</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>

**Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute :**

**Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée :**

<b>Paramètres</b>	<b>Echantillon 1</b>	<b>Echantillon 2</b>	<b>Echantillon 3</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Norme marocaine</b>
<b>Température en °C</b>	<b>22,2</b>	<b>22,5</b>	<b>22,5</b>	<b>22,4</b>	<b>acceptable</b>
<b>pH</b>	<b>7,18</b>	<b>7,25</b>	<b>7,15</b>	<b>7,21</b>	<b>Entre 6,5 et 8,5</b>
<b>Conductivité (µs/cm)</b>	<b>1771</b>	<b>1755</b>	<b>1749</b>	<b>1758</b>	<b>2700µS/cm</b>
<b>Turbidité (NTU)</b>	<b>0,28</b>	<b>0,22</b>	<b>0,31</b>	<b>0,27</b>	<b>0,5 NTU</b>
<b>TA (meq/l)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>---</b>
<b>TAC(meq/l)</b>	<b>5,8</b>	<b>5,7</b>	<b>6,0</b>	<b>5,83</b>	<b>---</b>
<b>TH(meq/l)</b>	<b>8,8</b>	<b>8</b>	<b>7,6</b>	<b>8,13</b>	<b>---</b>
<b>Fer total (mg/l)</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,3mg/l</b>
<b>Manganèse (mg/l)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,05mg/l</b>
<b>Chlore résiduel</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>0,86</b>	<b>1mg/l</b>
<b>Nitrite (mg/l)</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,5mg/l</b>
<b>Oxydabilité (mg d'O<sub>2</sub>/l)</b>	<b>0,24</b>	<b>0,36</b>	<b>0,32</b>	<b>0,30</b>	<b>2mg/l</b>



### **Interprétation des résultats :**

- **la température:** On remarque que les valeurs de la température restent presque constantes et cela du au faite que les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- **pH:** L'analyse de ces résultats stipule que le pH des eaux brutes est compris entre 7,15 – 7,31 et le pH des eaux traitées est compris entre 7,18 – 7,25.  
Le pH dans le cas de l'eau traitée est dans les normes et n'est pas nécessaire d'utiliser des produits pour le diminuer ou l'élever.
- **Conductivité :** selon ces résultats, les valeurs de la conductivité de l'eau brute mesurée varient entre 1992 et 2004  $\mu\text{s/cm}$  et les valeurs de l'eau traitée varient entre 1749 et 1771  $\mu\text{s/cm}$ . Ces valeurs sont tous au dessous de la valeur recommandée (2700 $\mu\text{s/cm}$ ) par les normes marocaines, donc ces eaux sont de bonne qualité de point de vue conductivité.
- **Turbidité :** nous remarquons que les valeurs de turbidité de l'eau brute sont comprises entre 3,50 et 4,40 NTU, ce qui montre que les eaux brutes sont un peu turbides.
- **TAC :** Les analyses montrent que le TAC des eaux brutes et traitées présente des fortes teneurs de carbonate qui atteint 6,3 meq/l pour les eaux brutes et 6 meq/l pour les eaux traitées. Ce paramètre influence beaucoup sur le pH du milieu quand on a des fortes valeurs de TAC, cela rend notre milieu plus alcalin et vice-versa.  
La basicité de l'eau entraine un dépôt de calcaire dans les canalisations et aussi une diminution de l'efficacité du processus de désinfection au chlore.
- **TA :** La teneur du titre alcalimétrique obtenue dans les prélèvements est nulle.
- **Dureté :** l'analyse de ces résultats montre que les ions du calcium et du magnésium présentent une dureté allant de 5,5 à 6,6 meq/l.
- **Chlore résiduel :** On remarque que ça valeur est comprise entre 0,8 et 0,9 mg/l, elle reste toujours inférieure à 1mg/l.
- **Nitrite :** Les analyses montrent que la concentration des nitrites dans l'eau brute est faible alors qu'elle est absente dans l'eau traitée.
- **Oxydabilité :** est de l'ordre de 0,3 mg d'O<sub>2</sub>/l, cette valeur est inférieur à 2mg/l donc elle est en accord avec les normes marocaines.

## **Conclusion**

L'eau destinée à la consommation humaine n'est pas toujours sans risques sur la santé du consommateur, elle est souvent exposée à divers types de pollutions pouvant altérer sa qualité.

Durant ce stage que j'ai effectué au laboratoire Provincial de Sidi Kacem, j'ai eu l'occasion d'assister et de participer à des opérations d'analyses physico-chimiques des prélèvements effectuées sur l'eau traitée destinées à l'approvisionnement en eau potable des habitants.

Les résultats de ces analyses physico-chimiques obtenus sont conformes aux normes marocaines de potabilité et la qualité de l'eau distribuée est bonne.

## **Références bibliographiques**

- ONEP : « Normes marocaines relatives aux eaux d'alimentation humaine »  
Méthodes d'essai Janvier 1990.
- Méthodologie d'analyse des eaux au laboratoire de l'ONEP.
- Guide des analyses physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humaine, 2019, Ministre de la santé et institut Nationale d'hygiène.
- Les traitements des eaux, procédé physico-chimiques et biologiques  
CLAUDE CARDOT ELLIPES édition Marketing S.A, 1999