



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

**Suivi des opérations de traitement d'eau de surface :  
Coagulation-Floculation  
et  
Chloration**

**Présenté par :**

◆ Zineb MAJBAR

**Encadré par :**

◆ Mr S. Diouri (ONEP)

◆ Pr A. LHASSANI

**Soutenu Le 16 Juin 2011 devant le jury composé de:**

- Pr A. LHASSANI

- Pr F. KHALIL

- Pr H. WAHBI

**Stage effectué au sein du laboratoire de l'Office National de l'Eau Potable  
de Fès**

**Année Universitaire 2010 / 2011**

# Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'études, je tiens à remercier **Mr M.LAHLOU**, Directeur de la Région Centre Nord, qui m'a permis d'effectuer ce stage au sein du laboratoire de traitement Ain Noukbi.

Je remercie **Mr S. DIOURI**, mon encadrant à l'ONEP et chef de Service Contrôle de Qualité, pour m'avoir accueillie et veillé au bon déroulement de mon stage.

J'adresse mes sincères remerciements à **Mr A.LHASSANI** mon professeur et mon encadrant à la FST, pour son aide précieuse, son soutien et sa disponibilité, ainsi pour ces encouragements.

Mes remerciements vont également à **Mr F.KHALIL** et **Mr H.WAHBI** pour avoir accepté de juger mon travail.

Je remercie aussi l'ensemble du personnel du Laboratoire de traitement **Mme K.ALAMI, Mme F.NOUH, Mr D.HAMDANI, Mr R.FILALI** et **Mr EL FELLAH**.

Je remercie également toute personne qui a participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

# Sommaire

Introduction .....	1
Présentation de l'Office National de l'Eau Potable .....	2

## Partie 1 : Etude bibliographique

I. ....	P
présentation de la filière de traitement à la station .....	5
1. ....	P
rétraitement .....	5
a. ....	D
égrillage .....	5
b. ....	R
elevage .....	6
c. ....	D
essablage .....	6
d. ....	D
ébouillage .....	7
2. ....	T
raitement .....	7
a. ....	P
réchloration .....	7
b. ....	C
coagulation – Flocculation .....	7
c. ....	D
écantation .....	7
d. ....	F
filtration .....	8
e. ....	D
ésinfection .....	8
II. ....	C
coagulation – Flocculation .....	9
1. ....	D
définition .....	9
2. ....	O
objectif .....	9
3. ....	P
principe .....	9
III. ....	C
chloration .....	11
1. ....	D
définition .....	11

2. ....	P
principe .....	11

## Partie 2 : Etude expérimentale

I. ....	M
matériels et méthodes .....	13
1. Analyses physico-chimiques	
a. ....	T
<b>turbidité</b> .....	13
b. ....	P
<b>H</b> .....	13
c. ....	C
<b>conductivité</b> .....	13
d. ....	A
<b>lcanité</b> .....	13
e. ....	O
<b>xydabilité</b> .....	15
f. ....	D
<b>ureté de l'eau</b> .....	15
g. ....	D
<b>détermination du chlore résiduel libre</b> .....	17
2. ....	E
<b>essai de coagulation-floculation (Jar Test)</b> .....	17
3. ....	L
<b>a demande en chlore</b> .....	21
II. ....	R
résultats et discussion .....	23
1. ....	C
coagulation –Floculation .....	23
a. ....	R
résultats sans ajustement de pH .....	23
b. ....	R
résultats avec ajustement de pH.....	27
c. ....	I
interprétations des résultats .....	30
1. ....	D
demande en chlore.....	31
a. ....	R
résultats .....	31
b. ....	I
interprétations .....	31
Conclusion.....	32
Annexes .....	33
Références bibliographiques .....	37

# Introduction

L'eau est un constituant fondamental pour la vie de tous les êtres vivants y compris l'Homme.

Il convient de signaler que l'eau recouvre 70,8% de notre globe terrestre, seuls les océans représentent plus de 97,3% de la totalité de cette eau. Il n'y a que 2,7 % d'eau douce dont

80% se trouve dans les glaciers. Autrement dit, il y'a environ 0,54 % d'eau douce disponible pour l'Homme.

En raison des besoins, entre autres de l'agriculture, de l'industrie et des grandes villes, les ressources en eau sont intensément exploitées, souvent d'une manière qui excède les capacités naturelles de renouvellement. Les activités humaines ont provoqué la dégradation de la qualité de cette eau naturelle qui est devenue un vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies hydriques.

De ces faits et grâce à l'évolution de la technologie et aux recherches scientifiques, l'eau doit subir un ensemble de traitement physiques, chimiques et même biologiques pour devenir potable.

A l'échelle nationale, l'office National de l'Eau Potable (ONEP) prend en charge la planification, la gestion de l'ensemble des ressources en eau et le contrôle de qualité de cette source naturelle.

Mon stage a été réalisé au sein du laboratoire de station de l'ONEP pour le traitement de l'eau d'Oued Sebou. Mon travail consiste à optimiser les opérations de coagulation-floculation et chloration dans le but d'avoir une eau bien traitée, potable.

Ce rapport comporte deux parties :

- ✓ **Première partie** : Etude bibliographique, elle comprend toutes les techniques de traitement de l'eau de surface mises en œuvre afin d'assurer la production d'une eau potable en particulier coagulation-floculation et chloration.
- ✓ **Deuxième partie** : Etude expérimentale, elle comprend toutes les méthodes expérimentales effectuées au laboratoire y compris les analyses physico-chimiques, l'optimisation des doses des réactifs de coagulation-floculation (Jar Test) et la demande en chlore.

# Présentation de l'Office National de l'Eau Potable

## Présentation de l'Office National de l'Eau Potable

L'Office National de l'Eau Potable était créée en 1972 en substitution à la Régie des Exploitations Industrielle (R.E.I) par le Dahir n° 172103 du 3 avril 1972, l'office national de l'eau potable désigné sous le sigle « **O.N.E.P.** » est un établissement semi-public à caractère

doté de l'autonomie financière est placé sous la tutelle du ministère de l'eau potable et d'environnement et sous le contrôle du ministère de finance.

Le Dahir n°172103 d'avril 1972, énumère les principales tâches de l'ONEP comme suit :

- ✓ **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 d'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 de la qualité de l'eau.
- ✓ **Participer:** aux études, en liaison avec les ministères intéressés, des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

L'ONEP prend en charge l'Amélioration de la qualité de l'eau : 43 laboratoires décentralisés pilotés par un Laboratoire Central assurent d'une manière régulière et continue les contrôles physico-chimiques, bactériologiques et biologiques de l'eau produite et distribuée.

### • Direction Régionale de l'ONEP de Fès :

La Direction régionale du centre nord Fès a été créée en juillet 1979 dans le cadre de la décentralisation. Et elle a pour mission l'alimentation en eau potable des zones dépendantes de son territoire.

Elle recouvre trois directions provinciales :

- ✓ Direction Provinciale d'Al-Hoceima.
- ✓ Direction Provinciale de Taounate.
- ✓ Direction Provinciale de Taza.

Elle supervise aussi l'exploitation et la maintenance des installations existantes dans les centres de production et de distribution qui sont sous sa responsabilité.

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

- ✓ Ressources souterraines : principalement les forages situés dans la plaine du Saïs.
- ✓ Ressources superficielles : les eaux d'Oued Sebou.

### • Complexe de production d'Oued Sebou :

Ce complexe comprend deux stations :



- ✓ La station de prétraitement : située à Sebou, son rôle 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 de traitement.
- ✓ La station de traitement Ain Noukbi assure :
  - Le traitement des eaux reçues de la station de prétraitement selon une série d'étapes.
  - Le contrôle de la qualité des eaux traitées réalisé au le laboratoire régional.
  - Refoulement des eaux vers le réservoir BAB HAMERA.

### • Laboratoire Régional de Fès :

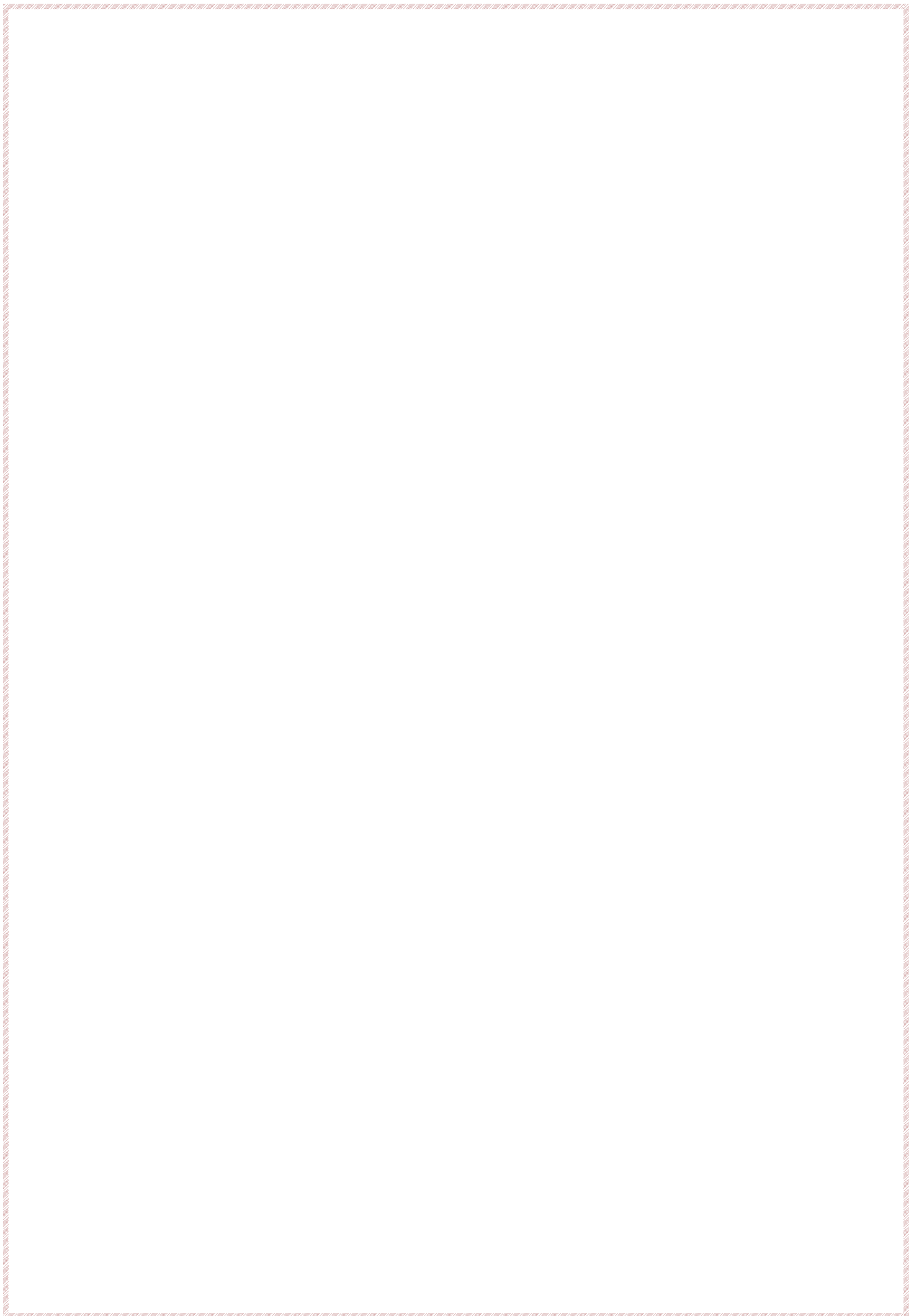
Le Laboratoire Régional de Fès procède dans le cadre du contrôle des eaux potables aux 3 types d'analyses définis par la norme marocaine, selon la nature du point d'eau à contrôler :

- ✓ **Analyse de type I** : Comprend les paramètres bactériologiques et un nombre réduit de paramètres physico-chimiques.
- ✓ **Analyse de type II** : En plus de l'analyse de type I, d'autres paramètres physico-chimiques et bactériologiques pouvant être liés à la contamination fécale des ressources en eau.
- ✓ **Analyse de type III** : Comprend, en plus de l'analyse de type II, les paramètres organoleptiques, les éléments toxiques indésirables et les éléments majeurs autres que ceux déterminés pour l'analyse de type II.

En plus de ces analyses normalisées le laboratoire assure la surveillance du réseau d'approvisionnement en eau potable tout entier, de la prise d'eau brute jusqu'aux points de livraison aux consommateurs en passant par les ouvrages et les produits de traitement. Cette surveillance destinée à protéger la santé du consommateur est basée sur des Normes et règlements nationaux en vigueur régissant la qualité de l'eau potable avec recours, au besoin, aux Directives internationales.

Parallèlement à cette activité de contrôle et de surveillance de la qualité des eaux, le laboratoire régional de Fès développe d'autres activités aussi importantes que nécessaires notamment :

- ✓ La mise en place d'un système de contrôle de la qualité analytique.
- ✓ Le contrôle des réactifs de traitement
- ✓ Le contrôle des matériaux en contact avec l'eau.



# Partie 1 :

# Etude bibliographique

## **I. Présentation de la filière de traitement à la station :**

La potabilisation d'eau de surface nécessite de faire appel à un ensemble de procédés de traitement, ces derniers diffèrent selon la qualité de l'eau à traiter :

- ✓ Eau chargée en matières en suspension :  $M.E.S > 2g/l$  : l'eau nécessite un prétraitement.
- ✓ Eau faiblement chargée en matières en suspension :  $M.E.S < 2g/l$  : l'eau sera directement pompée vers la station de traitement.

### **Prétraitement:**

Ce procédé a pour but de diminuer la charge d'eau en matière en suspension à une valeur inférieure à  $2g/l$ , selon un certain nombre d'opération :

### ***Dégrillage :***

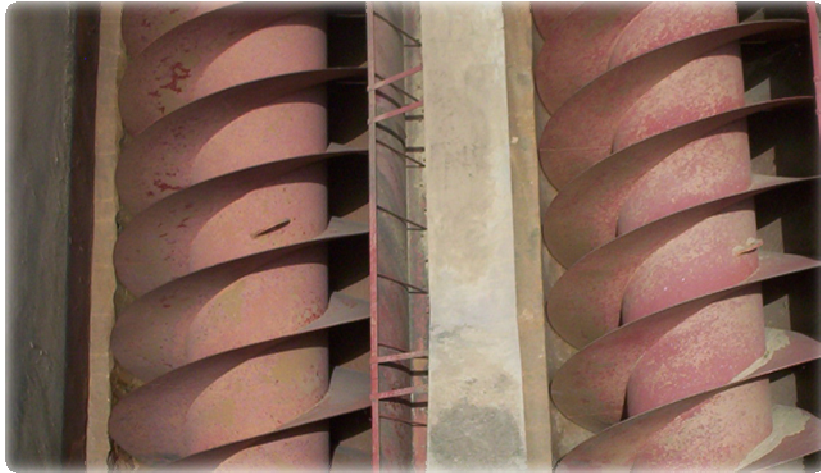
Première étape dans le prétraitement, consiste à faire passer l'eau à travers des grilles qui retiennent les matières flottantes et les gros déchets (branches d'arbre, bouteilles plastiques, feuilles mortes...).



**Figure 1 : Grilles**

### ***Relevage :***

Cette opération permet le pompage de l'eau vers les dessableurs par un intermédiaire de trois vis d'Archimède.



**Figure 2 : Vis d'Archimède**

### ***Dessablage :***

C'est une opération purement physique, elle consiste à éliminer les particules denses contenues dans les eaux brutes (les sables).



**Figure 3 : Dessableur**

### ***Débourbage :***

C'est une opération de pré-décantation qui a pour but d'éliminer les matières en suspension. Cette technique est utilisée quand la teneur en MES > 2g/l.



**Figure 4 : Débourbeur**

### **Traitement :**

Après avoir diminué la charge de l'eau en matière en suspension ( $MES < 2g/l$ ), on passe à la phase de traitement qui permet d'obtenir une eau potable, destinée à la consommation humaine.

Cette phase comporte cinq étapes :

#### ***a. Pré-chloration :***

Première étape de traitement, elle consiste à injecter une dose optimale de chlore. Cette dernière permet de:

- ✓ Limiter l'activité microbienne.
- ✓ Oxyder la matière minérale.
- ✓ Oxyder la matière organique.

#### ***b. Coagulation-Floculation :***

C'est une étape clé dans le processus de potabilisation, elle consiste d'abord à une décharge des particules colloïdales pour éviter les répulsions entre eux : **Coagulation**, ensuite les agglomérer pour augmenter leur masse : **Floculation**.

#### ***c. Décantation :***

La décantation est une technique de séparation des matières en suspension et les colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation floculation.

Lors de la décantation, les particules dont leur densité est supérieure à celle de l'eau, vont s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Ces dernières seront éliminées

du fond du décanteur périodiquement, l'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite dirigée vers un filtre.



**Figure 4 : Décanteur**

#### ***d. Filtration :***

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un matériau poreux afin d'éliminer les matières en suspension restantes.

Le type de filtration le plus répandu est la filtration sur sable. L'eau à filtrer passe donc à travers le lit de sable et se débarrasse de floccs non éliminés par la décantation.



**Figure 5 : Filtres à sable**

#### ***e. Désinfection :***

La désinfection est l'étape finale de traitement. Elle vise à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites.

C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, elle est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, ozone, dioxyde de chlore, rayonnement UV, ... etc.

L'agent de désinfection utilisé à la station de traitement est le chlore.

## II. Coagulation-Floculation :

### 1. Définition :

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique, utilisé pour le traitement des particules colloïdales dans l'eau.

### 2. Objectif :

La coagulation-floculation est un processus qui permet l'élimination des particules en suspension : les colloïdes.

La coagulation consiste à déstabiliser ces particules c'est-à-dire neutraliser leurs charges généralement négatives.

La floculation rend compte leur agglomération pour augmenter leur poids moléculaire.

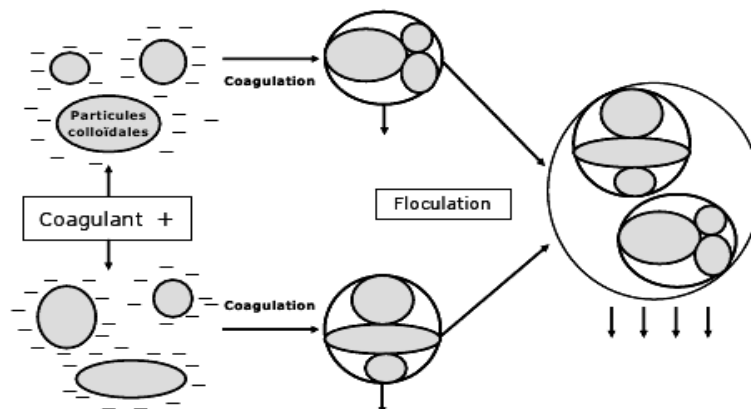


Figure 6 : Schéma de la coagulation-floculation

### 3. Principe :

#### ↳ *Particules colloïdales :*

Les particules colloïdales sont caractérisées par deux points essentiels : d'une part, elles ont un diamètre très faible de 1 nm à 1 µm. D'autre part, elles ont la particularité d'être chargées électronégativement, engendrant des forces de répulsion inter-colloïdales.

Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible (presque nulle dans le cas du traitement de l'eau).



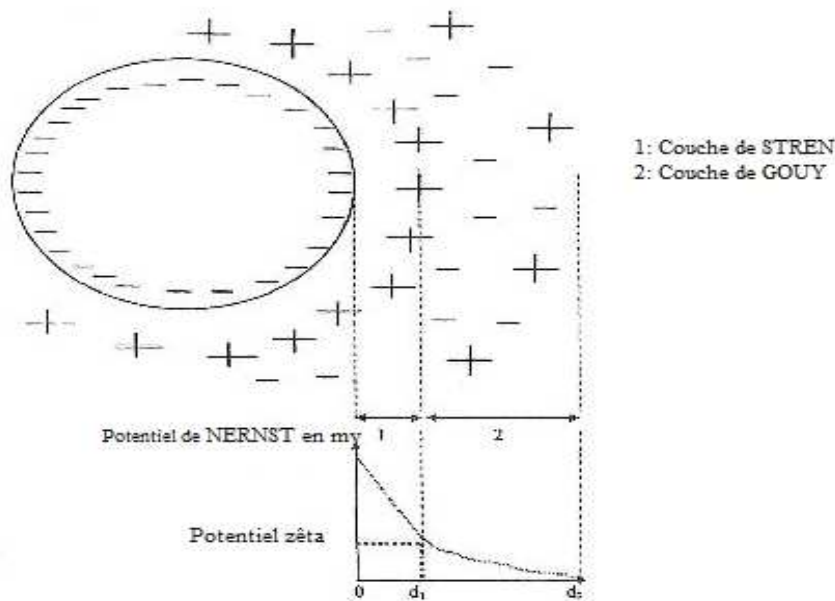
## ↳ *Structure des colloïdes :*

Dans une eau de surface, les colloïdes portent une charge négative située à leur surface. Ces charge attirent les ions positive en solution dans l'eau, ceux-ci sont étroitement collés aux colloïdes et forment la couche liée ou de STERN, qui attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité des cations : c'est la couche diffuse ou de GOUY. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'une accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard.

Il existe entre ces deux couches un potentiel électrostatique ou de NERNST, qui varie en fonction de la distance par rapport à la surface du colloïde.

Dans la couche liée, le potentiel de NERNST décroît linéairement car les cations constitutifs sont empilés uniformément. En revanche, dans la couche de GOUY, le potentiel électrostatique varie de manière non linéaire, étant donné que la répartition ionique résulte d'un mélange aléatoire de cations et d'anions.

La valeur du potentiel à la surface de la couche de NERNST est appelé potentiel zêta. Les colloïdes étant chargés négativement, ce potentiel est négatif. Dans les eaux naturelles, sa valeur varie de -30 à -35 mV. Les particules de potentiel zêta négatif se repoussent très fortement. C'est pourquoi, les colloïdes sont très stables et inhibent toute agglomération.



**Figure 7 : Structure des particules colloïdales**

## ↳ *Déstabilisation des colloïdes :*

On en déduit que pour pouvoir déstabiliser les particules colloïdales, il faut annuler leur potentiel zêta.

Trois moyens chimiques peuvent être appliqués pour annuler le potentiel zêta :

- ✓ Ajuster le pH pour atteindre le point de charge nulle des particules colloïdales
- ✓ Augmenter la salinité pour comprimer la couche diffuse.
- ✓ Introduire un sel métallique.

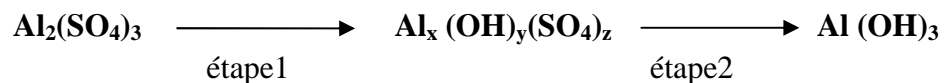
**Remarque :** les deux premières possibilités ne sont pas applicables au niveau industriel, d'où le moyen le plus utilisé en traitement des eaux reste l'utilisation d'un sel métallique.

Le sel métallique est ajouté comme étant un coagulant, ce dernier permet d'annuler la charge des colloïdes et les neutraliser.

Il existe deux principaux types de coagulant :

- ✓ Les sels d'aluminium : sulfate d'alumine, Alumine de Sodium.
- ✓ Les sels de fer : chlorure ferrique, le sulfate ferreux.

Prenons le cas du sulfate d'alumine :



**L'étape 1 :** est une étape d'hydrolyse, des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ils sont très efficaces pour neutraliser la charge des colloïdes. Il s'agit de la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

**L'étape 2 :** est une étape qui permet la formation du précipité  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Cette réaction dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure la coalescence des colloïdes déstabilisés : c'est la forme floculante.

### ↳ **Agglomération :**

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer sous forme de floes. Ces derniers disposent d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter.

Cette étape est assurée par l'ajout d'un floculant généralement un polyélectrolyte.

## **III. Chloration :**

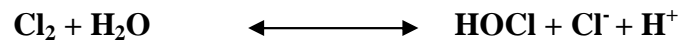
### **1. Définition :**

La chloration est une réaction d'oxydation permettant de détruire les composés organiques et aussi une désinfection de l'eau permettant d'éliminer les microorganismes pathogènes tels que les bactéries et les virus.

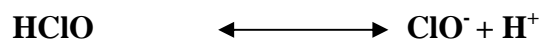
## 2. Principe :

Le chlore est le réactif le plus utilisé pour assurer l'oxydation des composés organiques et la désinfection de l'eau. Ce dernier n'est pas utilisé directement sous forme gazeuse, il est tout d'abord dissous dans l'eau.

Injecté dans l'eau, le chlore s'hydrolyse en donnant naissance à l'acide hypochloreux.



L'acide hypochloreux est un acide faible dont la dissociation se fait selon la réaction suivante :



L'acide hypochloreux a un effet bactéricide plus important que l'ion hypochlorite. Ces deux formes cohabitent en solution suivant les valeurs du pH : plus le pH est élevé moins il y a d'acide hypochloreux.

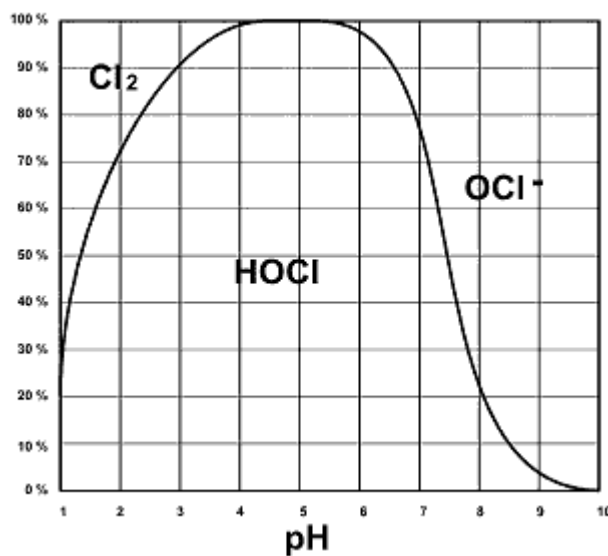


Figure 8 : Proportion de l'acide hypochloreux en fonction du pH.

# **Partie 2 :**

# **Etude expérimentale**

## **I. Matériels et méthodes :**

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

#### **a. Turbidité :**

La turbidité désigne l'état d'un fluide trouble, opaque à la lumière et/ou la teneur des matières en suspension qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. Son principe est basé sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet de tyndall) par l'échantillon à celle de référence dans les mêmes conditions (longueur d'onde, angle entre rayon incident et le rayon diffracté).

La mesure de la turbidité se fait à l'aide d'un turbidimètre, elle est exprimée en NTU (nephelometric turbidity unit).

#### **b. pH :**

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est en fonction de la concentration des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  contenus dans l'eau.

Dans les eaux naturelles l'activité des ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  est due à des causes diverses, en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et des sels.

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

La mesure du pH d'une eau se fait par mesure potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre, en déterminant l'activité des ions hydrogènes par utilisation d'une électrode de verre.

#### **c. Conductivité :**

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques. Elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température.

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).

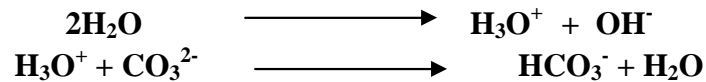
#### **d. Alcalinité :**

##### **↳ Titre alcalimétrique :**

##### **○ Principe :**

Le titre alcalimétrique TA correspond à la neutralisation des ions  $\text{OH}^-$  et à la transformation de la moitié des ions  $\text{CO}_3^{2-}$  en  $\text{HCO}_3^-$  par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.

Les réactions mises en jeu :



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

### ○ Mode opératoire :

A 100 ml d'échantillon, on ajoute deux gouttes de phénophtaléine, deux manifestations peuvent se présenter, soit :

- ✓ Une coloration rose, qui signifie que le TA est différent de 0, ce qui nécessite un dosage par HCl (N/10) .On vers goutte à goutte jusqu'à la décoloration et on note le volume versé V, donc pH de l'eau est supérieur à 8,3.
- ✓ Pas de Coloration rose, ce qui signifie que le TA est égal à 0, donc pH de l'eau est inférieur à 8.3.

### ○ Expression des résultats :

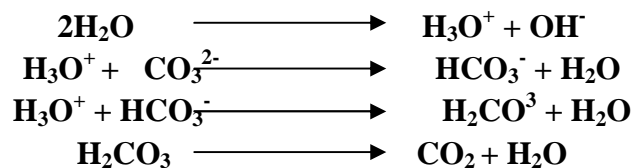
$$\text{TA (még/l)} = V_{\text{versé de HCl}} \quad (1)$$

### ↪ Titre alcalimétrique complet :

#### ○ Principe :

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la neutralisation des ions  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.

Les réactions mises en jeu :



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

### ○ Mode opératoire :

A 100ml d'échantillon, on ajoute trois gouttes d'hélianthine, cette manifestation se présente par une coloration jaune qui sera dosée par HCl (N/10) jusqu'au virage jaune orange.

### ○ Expression des résultats :

$$\text{TAC (még/l)} = V'_{\text{versé de HCl}} \quad (2)$$

### **e. Oxydabilité :**

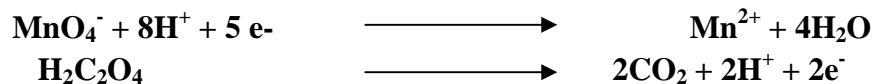
#### ○ Définition :

Oxydabilité au permanganate de potassium dit indice permanganate d'une eau correspond à la quantité d'oxygène exprimée en mg/l cédée par l'ion permanganate et consommée par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau.

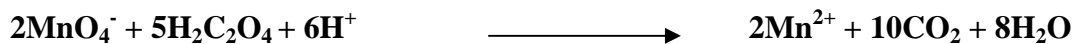
#### ○ Principe :

Les matières oxydables contenus dans l'eau à analyser sont oxydées par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à chaud pendant 13min, ensuite l'excès de  $\text{KMnO}_4$  est réduit par l'acide oxalique en excès, la quantité d'acide oxalique n'ayant pas réagit est dosé par le  $\text{KMnO}_4$ .

Les réactions mises en jeu :



La réaction de dosage est :



#### ○ Mode opératoire :

On porte à ébullition 100 ml d'eau additionnée de 2 ml d'acide sulfurique de 95% à 97% et on ajoute 10 ml de permanganate de potassium N/100 et on maintien à ébullition pendant 13 min exacte On refroidie rapidement et on fait la réduction des ions  $\text{MnO}_4^-$  en  $\text{Mn}^{2+}$  par une solution de l'acide oxalique N/10, et on titre ensuite l'excès de l'acide par le permanganate de potassium N/100.

#### ○ Expression des résultats :

$$[\text{Oxydabilité}] = 0,8 * V_{\text{versé de KMnO}_4} \text{ (mg/l)} \quad (3)$$

### **f. Dureté de l'eau :**

↳ **Dureté totale :**

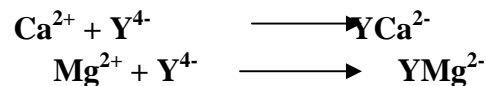
#### ○ Définition :

La dureté totale est la concentration en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ .

### ○ Principe :

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'éthylène diamine tétra acétique(EDTA).Le noir ériochrome qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale.

Les réactions mises en jeu sont :



### ○ Mode opératoire :

À 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5 ml de solution tampon, une petite spatule d'indicateur de noir ériochrome et on titre au moyen de la Solution complexométrique (EDTA) jusqu'au virage du rouge au bleu royal.

### ○ Expression des résultats :

$$\text{TH} = 0,4 * V_{\text{versé d'EDTA}} (\text{még/l}) \quad (4)$$

### ↳ Dureté calcique:

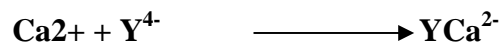
#### ○ Définition:

La dureté calcique est la concentration en ion  $\text{Ca}^{2+}$  d'une eau.

#### ○ Principe :

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'éthylène diamine tétra acétique (EDTA). Le calcon est utilisé comme indicateur pour le dosage du calcium. Le magnésium est précipité lors du dosage sous forme d'hydroxydes et n'interfère pas.

Les réactions mises en jeu sont :



#### ○ Mode opératoire :

À 100 ml d'eau on ajoute 5 ml de la solution tampon NaOH, une petite spatule d'indicateur coloré (calcon), puis on titre au moyen de la solution EDTA jusqu'au virage du rose au bleu.



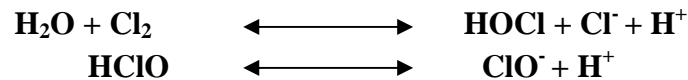
○ Expression des résultats :

$$T_{Ca^{2+}} = V * 8 \text{ (mg/l)} \quad (5)$$

**g. Détermination du chlore résiduel libre:**

○ Définition :

Le chlore résiduel, suivant la valeur du pH peut être sous forme d'acide hypochloreux ou d'hypochlorite ou les deux à la fois. Le chlore résiduel peut être aussi sous forme de dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>), quand ce dernier produit est utilisé pour la désinfection.



○ Principe :

Le chlore résiduel libre dans une eau traitée est déterminé par le test de DPD : Diéthyl Paraphénylène Diamine, indicateur d'essai au moyen d'un comparateur visuelle.

Ce test consiste à ajouter un comprimé réactif à l'échantillon ce dernier donne une coloration qui sera ensuite comparée aux couleurs du comparateur, on détermine enfin la quantité du chlore résiduel présente dans l'eau en mg/l.

**2. Essai de coagulation-floculation (Jar Test) :**

○ Principe :

Un essai de coagulation-floculation consiste à rechercher en laboratoire les conditions optimales de floculation et de décantation par la détermination des doses des réactifs (coagulant, floculant, réactifs de correction ...).

Le procédé adopté en laboratoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- ✓ Préchloration par le chlore au break-point (demande en chlore)
- ✓ Essai au sulfate d'alumine.
- ✓ Amélioration de l'essai par l'utilisation de floculant : le polyélectrolyte.
- ✓ Utilisation d'autres réactifs d'amélioration et de correction: l'acide sulfurique.

Cette a pour but d'optimiser le traitement, de choisir la nature et les doses probables du ou des réactifs permettant de clarifier l'eau dans une station de traitement.

### ○ Dispositif expérimental :

- ✓ Un flocculateur de laboratoire avec six agitateurs à hélice entraînés par un moteur électrique à vitesse variable en continue.
- ✓ Bêchers pouvant contenir un litre d'eau à traiter.
- ✓ Verrerie de laboratoire.
- ✓ Papier filtre bande blanche



**Figure 9: schéma de dispositif expérimental de l'essai de coagulation-floculation <<Jar Test>>**

### ○ Réactifs :

- ✓ Solution mère d'eau de javel.
- ✓ Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 1g/l.
- ✓ Solution mère de sulfate d'alumine  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  comme coagulant de concentration 10g/l
- ✓ Solution de polyélectrolyte comme floculat de concentration 0,1g/l.

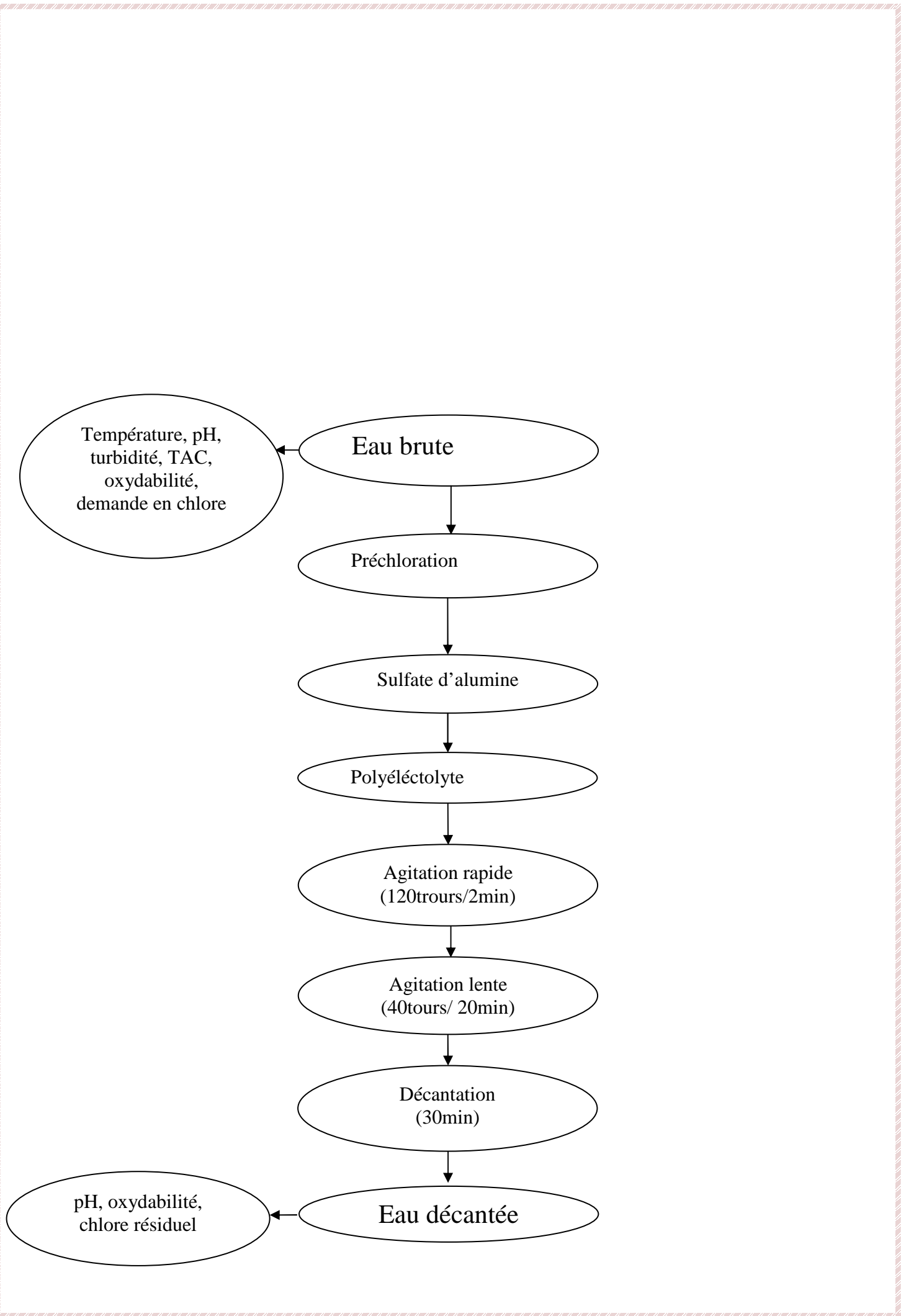
### ○ Mode opératoire :

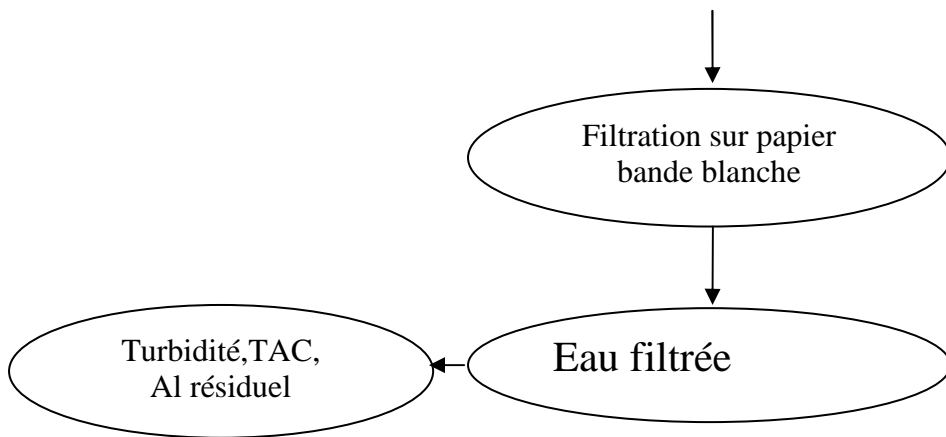
- ✓ Dans chacun des six bêchers, on verse un litre d'échantillons et on les place sur le banc de flocculateur.

- ✓ On ajoute dans les six béchers une dose de l'eau de javel correspondant à la demande en chlore.
- ✓ On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tours /min, on ajoute aussi rapidement aux six béchers une quantité du coagulant : sulfate d'alumine en maintenant l'agitation 2 min.
- ✓ On ajoute ensuite, aux six béchers une quantité de flocculant : polyélectrolyte, en maintenant l'agitation à une vitesse de 40tours/min pendant 20 min.
- ✓ On relève les hélices et on laisse décanter les floccs formés pendant 30 min.
- ✓ Au cours de ce temps de décantation, on estime la vitesse de sédimentation des floccs formés (rapide, moyenne ou lente)
- ✓ On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnagent
- ✓ On passe le surnagent de chacun des béchers sur du papier filtre bande blanche disposé dans les entonnoirs.
- ✓ On détermine la turbidité, l'alcalinité et la teneur en aluminium.

**Remarque :** avant d'entreprendre le Jar-test, un certain nombre d'analyses doivent être effectuées sur l'échantillon à traiter. Celles-ci concernent :

- ✓ Le pH.
- ✓ L'oxydabilité.
- ✓ L'alcalinité (TA et TAC).
- ✓ La turbidité.
- ✓ La demande en chlore de l'eau à traiter.





**Figure10 : schéma de processus de l'essai de coagulation-floculation <<Jar-Test>>**

### 3. La demande en chlore :

Dans l'étape de la chloration, la mise en œuvre du traitement est assurée en choisissant la dose de traitement à utiliser, ce qui se réalise dans la pratique par la détermination de la demande en oxydant : le chlore.

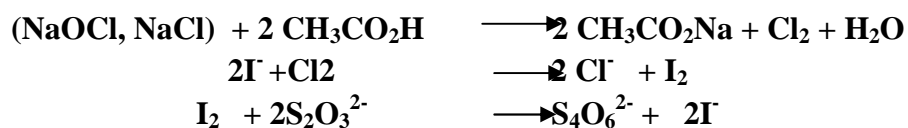
La consommation en oxydant lors de cette étape, appelée demande en chlore correspond à la dose nécessaire pour obtenir la teneur résiduelle recommandée, après le temps de contact nécessaire. Cette méthode est déterminée par la méthode de break point.

Au laboratoire avant de déterminer le break point, il faut d'abord déterminer le degré chlorométrique d'eau de javel.

#### ↳ Détermination du degré chlorométrique d'eau de javel :

##### ○ Principe :

En milieu acide, l'hypochlorite se décompose en dégageant de chlore qui oxyde les ions d'iodure de potassium. L'iode libéré est dosé par une solution titrée de thiosulfate de sodium. Les réactions mises en jeu :



##### ○ Réactifs :

- ✓ Solution d'iode de potassium à 10%.
- ✓ Solution d'acide acétique à 9N.
- ✓ Solution de thiosulfate de sodium N/10.

### ○ Mode opératoire :

- ✓ On introduit successivement dans un erlemeyer : 1ml d'eau de javel à titrer, 10 ml de solution d'iodure de potassium, et 10 ml de solution acétique .
- ✓ On titre l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium N/10 jusqu'à décoloration.

### ○ Expression des résultats :

$$[EJ] = 3.55 * V \text{ (g/l)} \quad (6)$$

### ↪ Détermination de break point :

#### ○ Principe :

La détermination de break point consiste à introduire dans une série de flacons, ayant la même capacité et contenant le même volume d'eau brute, des doses croissantes de chlore. Après un temps de contact correspondant en général à la durée de séjour de l'eau dans l'installation, on procède à la mesure du chlore résiduel dans chaque flacon et on établit la courbe représentative du chlore résiduel en fonction du chlore introduit à partir de laquelle on déduit le break point ou point de rupture, celui-ci correspond à la dose de Chlore minimum de la courbe pour laquelle il ne subsiste plus de composés d'addition chlorés dans l'eau.

En effet l'action du chlore passe par trois étapes :

- ✓ **Dans la première étape :** le chlore réagit chimiquement avec les radicaux minéraux disponible dans l'eau (le Fer, les sulfures, les sulfites, les nitrites...), puis avec la matière organique et donne des composés chlorés.
- ✓ **Dans la deuxième étape :** le chlore ajouté participe à la destruction de ces composés chlorés.
- ✓ **Dans la troisième étape :** le chlore introduit forme le chlore résiduel libre.

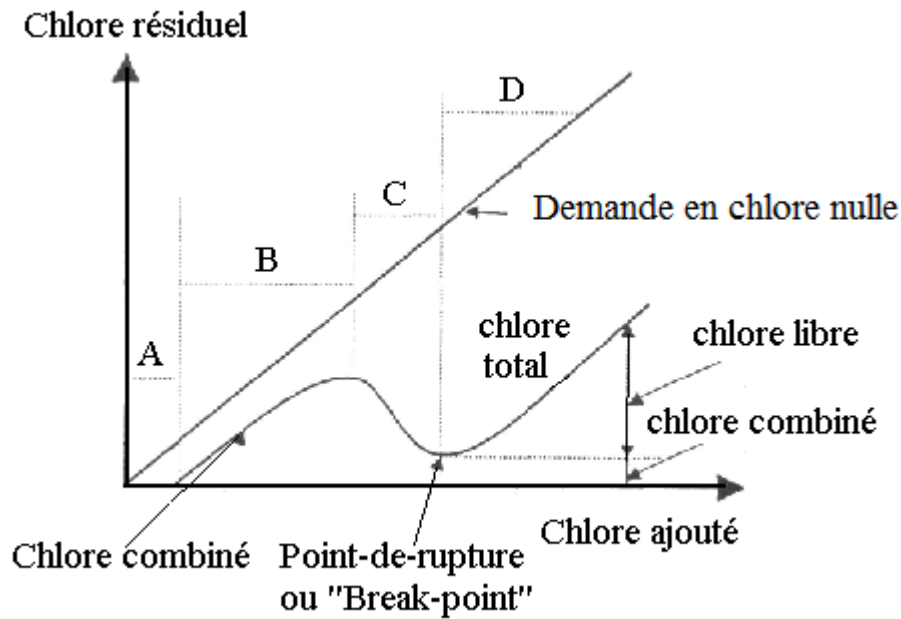


Figure 10 : courbe de break point d'une eau naturelle.

- ✓ **Zone A** : destruction du chlore par les composés minéraux.
- ✓ **Zone B** : formation des chloramines.
- ✓ **Zone C** : destruction des chloramines.
- ✓ **Zone D** : chlore libre + traces de chlore combiné.
- ✓ **Le chlore libre** : est constitué par la somme chlore actif + chlore potentiel.
- ✓ **Le chlore actif** : représente la forme active, il est composé des formes  $\text{HClO}$  (acide hypochloreux) et  $\text{Cl}_2$  (chlore moléculaire dissous).
- ✓ **Le chlore potentiel** : est la forme  $\text{ClO}^-$  ou ion hypochlorite susceptible de redevenir actif en libérant du chlore actif (acide hypochloreux).
- ✓ **Le chlore combiné** : représente essentiellement les chloramines ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$ ,  $\text{NCl}_3$ ), mais aussi les organochlorés (association de chlore avec la matière organique).
- ✓ **Le chlore total** : est l'ensemble du chlore libre et du chlore combiné.

### o Mode opératoire :

- ✓ On prépare une solution de 0,1g/l de l'eau de javel.
- ✓ On prépare des flacons en verre de 250 ml, on introduit dans chacun des flacons 100ml d'eau à analyser,
- ✓ puis on ajoute des quantités croissantes de la solution de l'eau de javel .
- ✓ On laisse les flacons à l'obscurité pendant 30 min.
- ✓ On dose enfin le chlore résiduel.

## II. Résultats et discussion :

## 1. Coagulation -Floculation :

### a. Résultats sans ajustement de pH :

#### ○ Test 1 en absence de floculant :

Ce test a pour but optimiser la dose de coagulant en absence de floculant. Pour cela on a injecté seulement des doses croissantes de sulfate d'alumine, le tableau suivant représente les résultats du test :

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchlotion</b>	6	6	6	6	6	6
<b>Coagulant: S.A en mg/l</b>	10	20	40	60	80	100
<b>Aspect du floc</b>	04	06	06	08	08	08
<b>pH</b>	7,92	7,83	7,67	7,47	7,36	7,27
<b>Turbidité décantée en NTU</b>	22,6	1,57	0,66	0,53	0,48	0,46



<b>Oxydabilité en mgO<sub>2</sub>/l</b>	1,92	1,6	1,2	0,96	0,8	0,32
<b>Turbidité filtrée en NTU</b>	8,92	0,86	0,57	0,4	0,32	0,33
<b>TAC en méq/l</b>	5,3	5,1	4,24	4,1	3,8	3,2
<b>Al en mg/l</b>	0,75	0,35	0,35	0,2	0,2	0,2
<b>Chlore résiduel en mg/l</b>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

**Tableau 1 : Optimisation de S.A en absence de flocculant**  
[Eau brute : pH=8,03, 119 NTU, TAC=5,7 méq/l, oxydabilité=2,62 mgO<sub>2</sub> /l]

○ **Test 2 en présence de flocculant :**

Pour optimiser la dose de coagulant en présence du flocculant, on a injecté des quantités croissantes de Sulfate d'alumine et une dose fixe du polyélectrolyte. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchloration</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Coagulant: S.A en mg/l</b>	10	20	40	60	80	100
<b>Flocculant : Polyélectrolyte En mg/l</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Aspect du floc</b>	04	04	06	08	08	08

<b>pH</b>	7,83	7,76	7,52	7,38	7,24	7,18
<b>Turbidité décantée en NTU</b>	2,82	1,2	0,58	0,42	0,35	0,2
<b>Oxydabilité en mgO<sub>2</sub>/l</b>	1,6	1,2	0,96	0,8	0,36	0,32
<b>Turbidité filtrée en NTU</b>	0,86	0,57	0,46	0,34	0,22	0,18
<b>TAC en méq/l</b>	5,22	4,96	4	3,8	3,5	3
<b>Al en mg/l</b>	0,75	0,35	0,35	0,2	0,2	0,2
<b>Chlore résiduel en mg/l</b>	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4

**Tableau 2 : Optimisation de S.A en présence de floculant**  
[Eau brute: pH=8,13, 118 NTU, TAC=5,7 méq/l, oxydabilité=2,16 mgO<sub>2</sub>/l]

○ **Test 3 en présence d'une dose fixe de coagulant :**

Le tableau suivant représente les résultats du test de Jar Test effectué pour optimiser la dose du polyélectrolyte. Pour cela on a injecté une dose fixe du coagulant : sulfate d'alumine et des doses croissantes de polyélectrolyte.

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchloration</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Coagulant: S.A en mg/l</b>	80	80	80	80	80	80
<b>Floculant : Polyélectrolyte En mg/l</b>	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,30

Aspect du floc	06	06	06	06	06	06
pH	7,30	7,28	7,26	7,23	7,21	7,2
Turbidité décantée en NTU	1,74	1,67	1,40	1,45	1,45	1,45
Oxydabilité en mgO <sub>2</sub> /l	1,2	0,98	0,4	0,32	0,24	0,2
Turbidité filtrée en NTU	0,98	0,54	0,48	0,49	0,38	0,39
TAC en méq/l	5,1	5	4,8	4	3,8	2,2
Al en mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Chlore résiduel en mg/l	1,4	1,2	1	1	1	1

**Tableau 3: Optimisation de floculant en présence d'une dose fixe de S.A=80mg/l  
[Eau brute : pH=8,22, 148 NTU, TAC=5,5 méq/l, oxydabilité=2,24 mgO<sub>2</sub>/l]**

### ***b. Résultats avec ajustement de pH :***

#### **o Test 4 :**

Ce test a pour objectif d'optimiser le pH et l'Aluminium résiduel. Pour cela on a ajouté la même quantité d'acide sulfurique dans les six béchers pour stabiliser **le pH à 7,5**, avec présence des doses croissantes de coagulant et une dose fixe de floculant. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchloration</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Coagulant: S.A</b>	10	20	40	60	80	100

en mg/l						
<b>Floculant : Polyélectrolyte En mg/l</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Aspect du floc</b>	04	04	06	08	08	08
<b>pH</b>	7,48	7,45	7,40	7,36	7,32	7,30
<b>Turbidité décantée en NTU</b>	1,52	0,96	0,76	0,63	0,5	0,28
<b>Oxydabilité en mgO<sub>2</sub>/l</b>	1,98	1,88	1,76	1,44	0,625	0,8
<b>Turbidité filtrée en NTU</b>	0,98	0,82	0,4	0,32	0,25	0,2
<b>TAC en méq/l</b>	4,5	4,02	4,1	3,8	3,3	3,1
<b>Al résiduel en mg/l</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Chlore résiduel en mg/l</b>	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4

**Tableau 4 : Optimisation du pH**  
[Eau brute : pH=8,2, 128 NTU, TAC=5,5 méq/l, oxydabilité=2,2mgO<sub>2</sub>/l]

○ **Test 5 :**

Le même test que le test précédent mais cette fois ci on a stabilisé le **pH à 7**. Le tableau suivant représente les résultats obtenus :

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchloration</b>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
<b>Coagulant: S.A en mg/l</b>	10	20	40	60	80	100
<b>Floculant :</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

<b>Polyélectrolyte En mg/l</b>						
<b>Aspect du floc</b>	04	04	08	08	08	08
<b>pH</b>	7,00	7,99	7,98	6,96	6,91	6,88
<b>Turbidité décantée en NTU</b>	2,21	1,49	1,14	1,03	0,96	0,88
<b>Oxydabilité en mgO<sub>2</sub>/l</b>	2,62	1,92	1,6	1,2	0,96	0,8
<b>Turbidité filtrée en NTU</b>	0,76	0,60	0,4	0,55	0,40	0,32
<b>TAC en méq/l</b>	4,7	4,6	4,48	4,20	4,18	4,16
<b>Al résiduel en mg/l</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Chlore résiduel en mg/l</b>	1,4	1,2	1	1	1	1

**Tableau 5 : Optimisation du pH**

[Eau brute : pH=8,32, 202 NTU, TAC=5,74 méq/l, oxydabilité=4,4 mgO<sub>2</sub>/l]

○ **Test 6 :**

Pour ce test on a stabilisé le *pH* à 6,5.

	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
<b>Préchloration</b>	5	5	5	5	5	5
<b>Coagulant: S.A en mg/l</b>	10	20	40	60	80	100
<b>Floculant : Polyélectrolyte</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

<b>En mg/l</b>						
<b>Aspect du floc</b>	06	06	08	08	08	08
<b>pH</b>	6,46	6,41	6,36	6,30	6,27	6,22
<b>Turbidité décantée en NTU</b>	1,64	0,95	0,76	0,62	0,55	0,48
<b>Oxydabilité en mgO<sub>2</sub>/l</b>	1,6	1,2	0,96	0,8	0,6	0,5
<b>Turbidité filtrée en NTU</b>	0,51	0,48	0,32	0,28	0,27	0,27
<b>TAC en méq/l</b>	5,2	4,8	4,2	3,6	3,3	2,6
<b>Al résiduel en mg/l</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Chlore résiduel en mg/l</b>	1	1	1	1	1	1

**Tableau 6 : Optimisation du pH**

[Eau brute : pH=8,13, 122 NTU, TAC=5,64 méq/l, oxydabilité=2,2 mgO<sub>2</sub>/l]

***c. Interprétations des résultats :***

- Selon les critères de choix de dose de traitement (meilleur bécber), on obtient les résultats suivants :

	<b>Meilleur bécber</b>
<b>Test 1</b>	Bécber n°5
<b>Test 2</b>	Bécber n°5
<b>Test 3</b>	Bécber n°3
<b>Test 4</b>	Bécber n°5

Test 5	Bécher n°6
Test 6	Bécher n°6

**Tableau 7: résultats des meilleurs béchers pour les différents tests effectués.**

- D'après les tests effectués on constat que :
- ✓ les valeurs du pH diminuent progressivement en augmentant la dose injectée de coagulant. Ceci est du par le fait que le coagulant (sulfate d'alumine) consomme l'alcalinité et produit l'acide carbonique la réaction chimique suivante :
 
$$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O} + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow 18\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaSO}_4 + 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 6\text{CO}_2$$
- ✓ la diminution des valeurs de la turbidité est expliquée par le fait que le coagulant ajouté déstabilise les particules colloïdales présent dans la solution et en ajoutant un floculant ces derniers s'agglomèrent en floc, donc la quantité les particules colloïdales diminue qui se traduit par la diminution de turbidité.
- ✓ Une meilleure optimisation de la teneur libre en aluminium passe par une optimisation du pH.

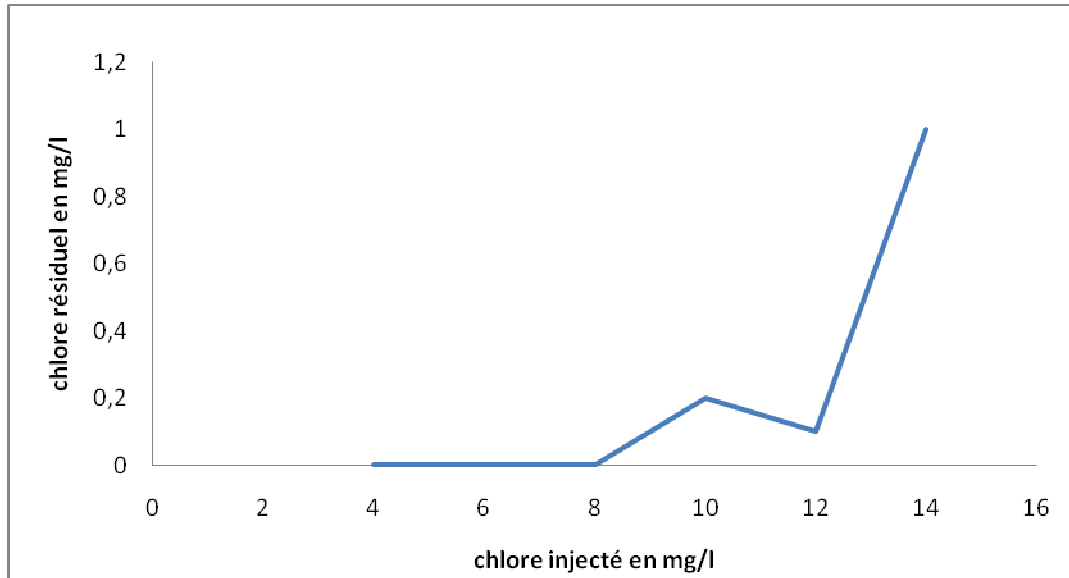
## 2. Demande en chlore :

### a. Résultats :

Chlore injecté en mg/l	Chlore résiduel en mg/l
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0

10	0,2
12	0,1
14	1

**Tableau 8 : Résultats du test de la demande en chlore.**



**Figure 12 : Courbe de break point**

### ***b. Interprétations :***

- ✓ D'après le test on remarque que la dose de chlore qu'il faut injecter correspond au point d'inflexion, point au delà du quel la courbe représente une augmentation croissante du chlore résiduel : 12,5 mg/l.

## **Conclusion**

Au terme de ce stage effectuées au sein de laboratoire de l'office national de l'eau potable, j'ai découvert ce qu'était le monde professionnel et je me suis familiariser avec son fonctionnement.



Ce stage m'as permis aussi d'améliorer mes connaissances et d'acquérir des nouvelles notions sur l'eau, d'assister à toutes les techniques de traitement d'eau effectuées à la station de traitement de Oued Sebou.

A travers les tests les expériences que j'ai effectués sur des échantillons de l'eau brute, j'ai pu optimiser les doses coagulant, flocculant, le pH et l'aluminium résiduel pour les appliquer à l'échelle industrielle dans l'objectif de produire une eau potable de bonne qualité.

# Annexes



**TA**

## Annexe 1 : Relation donnant

Soient :  $N_a$  : Normalité de HCl. (0.1N)  
 $V$  : Volume versé de HCl.  
 $N_b$  : Normalité des alcalins.  
 $V'$  : Volume de l'échantillon. (100ml)

Au point d'équivalence :  $N_a V = N_b V'$   
 $N_b = N_a V / V'$

$$N_b = 0,1 * V/100$$

$$N_b = 10^{-3} * V \quad (\text{éq/l})$$

Donc :

$$N_b = V \quad (\text{méq/l})$$

$$\text{TAC (méq/l)} = V$$



### Annexe 2 : Relation donnant

#### **TAC :**

Soient :  $N_a$  : Normalité de HCl. (0.1N)  
 $V'$  : Volume versé de HCl.  
 $N_b$  : Normalité des alcalins.  
 $V_b$  : Volume de l'échantillon. (100ml)

Au point d'équivalence :

$$N_a V = N_b V'$$

$$N_b = N_a V/V'$$

$$N_b = 0,1 * V/100$$

$$N_b = 10^{-3} * V \quad (\text{éq/l})$$

Donc :

$$N_b = V' \quad (\text{méq/l})$$

$$\text{TAC (méq/l)} = V$$



### Annexe 3 : Relation donnant l'oxydabilité :

Soient:  $N_k$  : Normalité de  $\text{KMnO}_4$  (0,01N).  
 $V$  : Volume versé de  $\text{KMnO}_4$ .  
 $V_T$  :  $V_a + V_b = 1\text{ml}$  de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .  
 $V_a$  : Excès de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .  
 $V_b$  : Volume de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  réagissant avec l'excès de  $\text{KMnO}_4$ .  
 $N_H$  : Normalité de  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . ( 0,1N)  
 $V_k$  : Excès de  $\text{KMnO}_4$ .  
 $V'_k$  : Volume qui a oxydé la matière organique.  
 $N$  : Normalité de la matière organique.

On a:

$$N_k V = N_H V_a$$

$$V_a = N_k \cdot V / N_H$$

$$V_a = 10^{-2} * V / 10^{-1}$$

$$V_a = 10^{-1} * V$$

On a aussi :

$$N_H V_b = N_k V_k$$

$$N_H *(1-V_a) = N_k V_k \quad (V_a + V_b = 1)$$

$$V_k = N_H (1-V_a)/N_k$$

$$V_k = 10^{-1} (1 - 10^{-1} V)/N_k$$

$$V_k = 10 - V$$

$$N_K V'_K = N * 100 \quad (100 \text{ ml : prise d'essai})$$

$$N = 10^{-2} * V'_K / 100$$

$$N = 10^{-2} * [10 - (10 - V)] \quad (V_K + V'_K = 10)$$

$$N = 10^{-4} * V \quad (\text{eq/l})$$

$$N = 10^{-1} * V \quad (\text{meq/l d'O}_2)$$

$$C_m = 10^{-1} * V / 2 \quad (\text{mmol/l})$$

$$C_m = 16 * 10^{-1} * V / 2 \quad (\text{mg/l})$$

$$C_m = 0,8 * V \quad (\text{mg/l})$$

$$[\text{Oxydabilité}] = 0,8 * V \quad (\text{mg/l})$$

#### ↪ Annexe 4 : Relation donnant la dureté calcique :

Soient :  $N_a$  : Normalité d'EDTA.  
 $V$  : Volume versé d'EDTA.  
 $N_b$  : Titre hydrotimétrique  
 $V_b$  : Volume de l'échantillon (100ml)

Au point d'équivalence :  $N_a V_a = N_b V_b$   
 $N_b = N_a V / V_b$   
 $N_a = C_a * p$   
 $P = 2$  ;  $C_a = 0,02 \text{ mol/l}$   
 $N_b = 0,02 * 2 * V / 100$   
 $N_b = 4 * 10^{-4} * V \quad (\text{éq/l})$

Donc :  $N_b = 0,4 * V \quad (\text{méq/l})$

On a :  $C_b = N_b / 2$

Donc :  $C_b = 2 * 10^{-1} * V \quad (\text{mmol/l})$

On a :  $T_{Ca^{2+}} = M_{Ca^{2+}} * C_b \quad (\text{avec } M_{Ca^{2+}} = 40 \text{ g/mol})$

$$T_{Ca^{2+}} = 40 * 2 * 10^{-1} * V$$

Donc :  $T_{Ca^{2+}} = V * 8 \quad (\text{mg/l})$

#### ↪ Annexe 5 : Relation donnant la concentration de l'eau de javal :

Soient :  $N_a$  : Normalité de  $Cl_2$ .  
 $V_a$  : Volume de l'eau de javal. (1ml)  
 $N_b$  : Normalité de  $Na_2S_2O_3$ .  
 $V$  : volume versé de  $Na_2S_2O_3$ .

Au point d'équivalence :

$$N_a V_a = N_b V_b$$

$$N_a = N_b V / V_a$$

$$N_a = 10^{-1} \cdot V_b \text{ (ég/l)}$$

On a :

$$[Cl_2] = 10^{-1} \cdot V / 2$$

Donc :

$$[Cl_2] = 5 \cdot 10^{-2} \cdot V \text{ (mol/l)}$$

On a :

$$[Cl_2]' = [Cl_2] \cdot M_{Cl_2} \quad (M_{Cl} = 35.5 \text{ g/mol})$$

$$[Cl_2]' = 5 \cdot 10^{-2} \cdot V \cdot 71$$

Donc :

$$[EJ] = 3.55 \cdot V \text{ (g/l)}$$

↪ **Annexe 6 : Norme marocaine de la qualité de l'eau d'alimentation humaine :**

Paramètres	Expression des	VMA	Commentaires
------------	----------------	-----	--------------

	<b>résultats</b>		
Potentiel d'hydrogène	Unité pH	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence $< 8$
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$ à $20^\circ\text{C}$	2700	
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	5	Turbidité médiane $\leq 1$ NTU et turbidité de l'échantillon $\leq 5$ NTU
Odeur	Seuil de perception à $25^\circ\text{C}$	3	
Saveur	Seuil de perception à $25^\circ\text{C}$	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20	
Chlorure	Cl : mg/l	750	
Oxydabilité au $\text{KMNO}_4$	$\text{O}_2$ : mg $\text{O}_2$ /l	5	La valeur de 2 mg $\text{O}_2$ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
cuivre	Cu : mg/l	1	
Fer	Fe : mg/l	0.3	
Zinc	Zn : mg/l	3	
Potassium	K : mg/l	12	
Sodium	Na : mg/l	200	

## Références bibliographiques

- L'Analyse de l'eau, J.RODIER, 9<sup>ème</sup> édition.

- Procédure de conduite des essais de floculation de l'ONEP 04 PS TRT 03.
- Manuel des analyses physico-chimiques de l'ONEP.
- <http://eprint.insa-toulouse.fr/archive/00000111/01/HERNANDEZ.pdf>
- <http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/frenchfactsheets/Chloration.pdf>
- <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome4/coag.htm>