



Licence Sciences et Techniques (LST)

Techniques d'analyse chimique et contrôle de qualité

TACCQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

Analyse d'eau d'Oued Sebou par Jar Test

Présenté par :

◆ **Imane MAHMOUDI**

Encadré par :

◆ **Mr. Salem DOUIRI (ONEP Fès)**

◆ **Pr. Elhadi LAMCHARFI (FST Fès)**

Soutenu Le 14 Juin 2012 devant le jury composé de:

- **Pr Elhadi LAMCHARFI**
- **Pr Ahmed HARRACH**
- **Pr Abdallah OULMEKKI**

Stage effectué à l'ONEP

Année Universitaire 2011 / 2012

Sommaire

Introduction.....	1
Présentation de l'ONEP.....	2

Chapitre I : les procédés de traitement d'Oued Sebou

I. le prétraitement de l'eau d'Oued Sebou.....	3
a. Dégrillage.....	3
b.Relevage.....	3
c.Dessablage.....	4
d.Mélangeur.....	4
e.Débouillage.....	4
II. Le traitement de l'eau d'Oued Sebou.....	5
a. Préchloration.....	5
b.Coagulation-Floculation.....	5
c.Décantation.....	5
d.Filtration.....	6
e.Désinfection.....	6

Chapitre II : Qualité de l'eau

I. Analyses Organoleptiques	7
a. Odeur.....	7
b. Goût.....	7
c.Turbidité.....	7
II. Analyses physiques.....	7
a. pH.....	7
b.Température.....	8
c.Conductivité.....	8

III. Analyses chimiques.....	8
a. Détermination de l'alcalinité de l'eau.....	8
b. Dureté de l'eau.....	9
c. Oxydabilité.....	11
d. Détermination du chlore résiduel libre.....	13
e. Oxygène dissout.....	13
III. Analyses bactériologiques.....	14
a. Micro-organismes recherchés	14
b. Méthodes d'analyses.....	14

Jar Test ou essai de coagulation-floculation

I. Principe.....	15
a. Coagulation.....	15
b. Floculation.....	16
II. Demande en chlore.....	16
III. Jar Test.....	18
IV. Résultats et interprétation.....	20

Introduction

L'eau potable est un bien vital, c'est une ressource indispensable pour la vie. L'eau est nécessaire à la vie humaine, animale, plantes, et pour l'utilisation domestique et industrielle mais peut être un facteur de maladie si sa qualité est mauvaise. Pour s'assurer de la qualité d'une eau il faut procéder à son contrôle.

La production d'eau potable se fait par l'exploitation d'une multitude de sources:

- les eaux souterraines.
- les eaux de surfaces captives ou en écoulement.
- les eaux de mer et eaux saumâtres.

L'eau brute d'oued Sebou ne représente qu'une matière première, qui va être transformée, élaborée, pour devenir conforme aux normes définies par la réglementation.

A l'ONEP, l'office national des eaux potables, l'eau doit subir un ensemble des étapes de traitement et des contrôles d'analyses physiques, chimiques et même biologiques pour devenir potable.

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Notre stage a été effectué à l'ONEP office national des eaux potable, notre objectif est de comprendre les différentes étapes de traitement de l'eau potable et de réaliser des analyses physico-chimiques au sein de laboratoire.

On est intéressé particulièrement à l'étude de l'étape coagulation-floculation qui représente une étape clé dans le traitement des eaux chargées en matière en suspension: Les colloïdales.

L'étude de cette étape se fait par la méthode de Jar Test qui permet la sélection de meilleures doses de coagulant flocculant ainsi d'autres paramètres physico- chimiques.

Présentation de L'O.N.E.P :

➤ Historique :

L'ONEP Créé en 1929 par Dahir sous le nom de REIP (Régie d'Exploitation Installation et Planification), puis REP (Régie d'Exploitation et Planification), et en fin sous le nom de l'ONEP en 1972. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, l'Office National de l'Eau Potable est l'organisme gouvernemental qui assure l'essentiel de la gestion de la ressource en eau potable et de sa production au Maroc.

➤ Missions principales :

Les tâches principales sont :

- Production de l'eau potable.
- Le contrôle de la qualité de l'eau.
- Le suivi de l'efficacité du traitement.

➤ Description du lieu de stage :

Ce complexe de production est constitué de quatre stations :

- Station de prétraitement.
- Station de pompage d'eau brut de l'Oued Sebou.
- Station de traitement.
- Station de pompage d'eau traitée Ain Nokbi

❖ Laboratoire régional de Fès :

Le laboratoire est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres, ces détermination sont réalisées sur des échantillons d'eaux (traitées, brutes).

Le laboratoire dispose de 4 salles :

- Une salle pour les analyses physico-chimiques.
- Une salle pour les analyses des paramètres par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- Une salle pour les analyses des paramètres par spectrométrie d'absorption atomique.
- Une salle pour les analyses bactériologiques.

Les procédés de traitement

I. Le prétraitement de l'eau d'Oued Sebou :

C'est un traitement préliminaire qui permet de réduire le taux de matière en suspension. Elle est mise en service selon le taux des matières en suspension [M.E.S]. S'il est inférieure à 2 g/l, l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement si il est supérieur à 2 g/l l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement. Elle est constituée de:

- Une prise d'eau équipée de trois (3) grilles et un dégrilleur.
- Une station de relevage équipée de trois (3) vis d'Archimède.
- Deux déssableurs.
- Un répartiteur mélangeur.
- Trois déboueurs.

a. Dégrillage :

Le dégrillage a pour rôle de faire passer l'eau à travers des grilles qui retiennent les gros déchets et séparent les matières qui pourraient nuire à l'efficacité de l'eau. Il s'agit d'un système de protection de la station pour éviter un débouchage dans les différentes unités de l'installation.



photo1 : Opération de dégrillage dans la station de prétraitement.

b. Relevage :

Le relevage est assuré par trois vis d'Archimède qui permettent le pompage de l'eau de l'oued vers les déssableurs.



Photo 2 : Opération de relevage dans la station de prétraitement.

c. Dessablage :

Le dessableur sert à séparer le sable et les autres matières non dissoutes, des eaux usées par décantation.



Photo3 : Opération de dessablage dans la station de prétraitement.

d. Mélangeur :

Le mélangeur assure à la fois le mélange de l'eau brute avec un polymère (polyélectrolyte) pour casser la stabilité colloïdale et augmenter la taille des particules contenues dans les eaux brutes ainsi la répartition de l'eau dans les débourbeurs.

e. Débourbage:

Il permet d'éliminer les boues et de supprimer les particules en suspension.



Photo4 : Opération de débouillage dans la station de prétraitement.

II. Le traitement de l'eau d'Oued Sebou :

La phase de traitement vient après les opérations de prétraitement qui permettent à l'eau d'être moins chargée en matière en suspension, la station comporte un ensemble d'ouvrages de traitement de l'eau brute pour devenir conforme aux normes définies par la réglementation selon les étapes suivant:

a. Préchloration

La Préchloration constitue la première étape de la clarification de l'eau brute elle permet:

- D'oxyder le fer et le manganèse contenu dans l'eau brute.
- Une décoloration de l'eau.
- De détruire les micro-organismes et d'inhiber la croissance algale.

b. Coagulation-floculation:

Les colloïdales sont des particules de très faibles diamètre chargées électronégativement, ce qui leur confèrent une vitesse de sédimentation extrêmement faible on procède donc à une coagulation floculation pour les éliminer.

- **La coagulation :** Cette opération a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération pour la neutralisation des charges électrostatiques des particules colloïdales.
- **La floculation :** C'est l'agglomération de particules déstabilisées, ces particules s'agglomèrent pour former un floc.

c. Décantation :

La décantation est une phase très importante de traitement de l'eau pour récupérer une grande partie des floccs. Elle permet aux déchets de se déposer sous l'effet de la gravité.



Photo5 : Opération de décantation dans la station de traitement.

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 filtrée passe donc à travers le lit de sable et se débarrasse de floccs non éliminés par la décantation.



Photo6 : Opération de filtration dans la station de traitement.

e. Désinfection :

C'est l'étape terminale du traitement de l'eau, elle a pour objectif d'assurer la destruction des micro-organismes pathogène de l'eau. L'agent de désinfection utilisé à la station de traitement de Fès est le chlore. C'est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques.

Qualité de l'eau

Ces analyses sont effectuées quotidiennement sur les prélèvements au niveau de l'eau brute, l'eau décantée, l'eau filtrée ainsi que l'eau traitée.

I. Analyses organoleptiques :

Ces paramètres concernent: La turbidité la couleur, le goût et l'odeur de l'eau mais ces critères n'ont pas une valeur sanitaire directe. Une eau peut avoir une odeur et goût particulière et être consommable selon la norme marocaine 03-07-003.

a. Odeur:

L'odeur: L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

b.Goût :

Le goût: L'ensemble des sensations gustatives et de sensibilité chimique commune perçue par les organes gustatifs lorsqu'ils sont en contact avec l'eau à tester.

c. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Elle est causée par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et réfléchissent la lumière.

Son principe est basé sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffracté par l'échantillon à celle de référence.

❖ Mode opératoire :

Avant d'effectuer les mesures on doit s'assurer de l'absence de bulles d'air et la propreté de la cuve, ensuite on la remplit avec l'échantillon et on lit la valeur de la turbidité affichée.

II. Analyses physiques :

a. Le potentiel d'hydrogène pH :

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline. La mesure de 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 et d'une électrode de référence au calomel plongeant dans un même échantillon. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ par la relation de NERNST:

$$E = E^\circ + 2.3026RT/F \text{ Log } (a (H^+))$$

E : force électromotrice mesurée en volts.

E : force électromotrice dans les conditions standards.

T : température absolue (en degré K°).

R : constante des gaz parfaits.

F : constante de FARADAY (96500coulomb).

a (H^+) : l'activité des ions (H^+).

On peut classer les eaux selon leurs pH suivant le tableau suivant:

pH<5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organique dans les eaux naturelles
pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surface
5.5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau1 : Classification des eaux selon leur pH.

b.Température :

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels. La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement une sonde de température intégrée.

c. Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plus part des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température. Son unité est le $\mu\text{siemens/cm}$.

La mesure de la conductivité est basée sur le principe du pont de Wheatstone qui mesure la résistance R (en ohms) d'une colonne d'eau de section S (en cm^2) et de longueur L (en centimètre) entre deux électrodes en platine disposées parallèlement.

La résistivité s'écrit:

$$P=RS/L$$

La relation entre la résistivité et la conductivité à une température donnée, est la suivante: Conductivité ($\mu\text{s/cm}$) = 10^6 / Résistivité ($\Omega \times \text{cm}$).

III. Analyses chimiques :

a. Détermination de l'alcalinité de l'eau

L'alcalinité des eaux est essentiellement due à la présence des ions hydroxydes(OH), des bicarbonates (CO_3^{2-}) et des hydrogénocarbonates (HCO_3^-).

➤ Titre Alcalimétrique (TA)

● Principe

TA: Correspond à la neutralisation des ions hydroxydes OH^- et à la transformation de la moitié des ions carbonates en hydrogénocarbonates (HCO_3^-) par un acide fort.

● Mode opératoire :

On prélève 100 ml d'échantillon dans un Erlenmeyer de 250 ml, on Ajoute deux gouttes de phénophtaléine (Indicateur de pH avec une zone de virage de 8.3 à 10), dont 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 verse goutte à goutte jusqu'à la décoloration et on note le volume versé V.
- Pas de Coloration rose, ce qui signifie que le TA est égal à 0, donc pH de l'eau est inférieur à 8.3.

Les réactions mises en jeu sont :



➤ Titre Alcalimétrique complet (TAC) :

● Principe

TAC: Le titre alcalimétrique complet correspond à la neutralisation par un acide fort des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates.

● Mode opératoire

Pour déterminer le TAC, on utilise l'hélianthine (avec une zone de virage de 3.3 à 4.6), qu'on ajoute à 100 ml d'échantillon pour donner une coloration jaune, ce qui nécessite un dosage par HCl, on ajoute un volume V' d'acide chlorhydrique à l'aide d'une burette, tout on agitant après chaque goutte versé jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune orangée.



Après ajout de l'hélianthine
Sur l'échantillon



après dosage par HCl 0.1 N

Les réactions mises en jeu sont :



● Expression des résultats :

TA (en méq/l) = V (ml)

TAC (en méq/l) = V' + V (ml)

Avec :

V : Le volume de HCl en ml versé pour la détermination de TA.

V' : Le volume de HCl en ml versé pour la détermination de TAC.

b. Dureté de l'eau :

● Principe :

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'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. L'acide calcon carboxylique est utilisé comme indicateur pour le dosage du calcium.

Le magnésium est précipité lors du dosage sous forme d'hydroxyde de magnésium et n'interfère pas.

➤ La dureté totale :

La dureté totale d'une eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents dans cette eau.

● Mode opératoire :



100 ml d'échantillon + 5 ml de Solution tampon



une pincée de l'indicateur coloré noir d'ériochrome



Dosage par la solution d'EDTA à 0,02 mol/l
Jusqu'à l'obtention de la coloration bleue.

Les réactions mises en jeu sont :



Y: C'est le EDTA: Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

● Expression des résultats :

$$\text{TH (méq/l)} = \text{Tb (tombé de la burette)} \times 0.4$$

➤ La dureté calcique :

La dureté calcique d'une eau est la concentration en ions calcium dans cette eau.

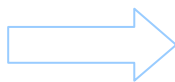
● Mode opératoire :



100 ml d'échantillon
+5 ml d'une solution tampon (NaOH).



+une pincé d'indicateur coloré calcon



Dosage par la solution d'EDTA à 0,02 mol/l

Jusqu'à l'obtention de la coloration bleue.

La réaction mise en jeu est :



● Expression des résultats :

$$T_{\text{Ca}^{2+}} \text{ (mg/l)} = T_b \times 8$$

c. Oxydabilité :

L'indice de 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 :

L'oxydabilité consiste à oxyder les matières oxydables contenues dans l'échantillon par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à ébullition pendant 13 min.

L'addition de l'acide oxalique permet la réduction de permanganate de potassium.

On procède à un titrage en retour par le permanganate de potassium.

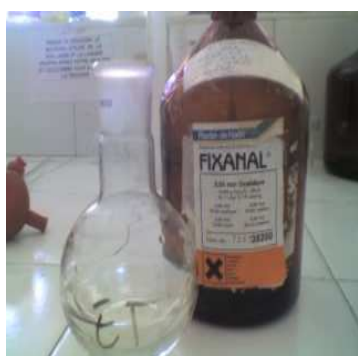
● Mode opératoire :



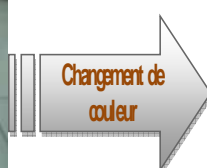
100 ml de l'eau à analyser



On porte le mélange à ébullition dans un bain marie

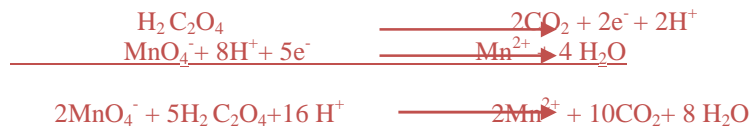


On ajoute 1 ml de l'acide Oxalique (0.05M)



on effectue un dosage en retour par KMnO_4

Les réactions mises en jeu sont :



La réaction globale du dosage en milieu sulfurique s'écrira :



● Expression des résultats :

$$\text{Oxydabilité (mg/l)} = \text{Tb} \times 0,8$$

Tb: Volume versé de KMnO_4 .

d. Détermination du chlore résiduel libre :

● Définition :

Le chlore résiduel, suivant la valeur du pH peut être sous forme d'acide hypochloreux ou hypochlorite ou les deux à la fois. Le chlore résiduel peut être aussi sous forme de dioxyde de chlore (ClO_2) quand ce dernier produit est utilisé pour la désinfection.

Les réactions mis en jeu:



● 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.

e. Oxygène dissout

C'est la quantité d'oxygène présente dans une eau.

● Mode opératoire

On prélève l'échantillon dans un flacon de 250 ml de façon à ce qu'il n'y est pas de bulles d'air, puis on ajoute 2ml de solution de sulfate de manganèse, 2ml d'iodure alcalin, on observe alors un dépôt d'hydroxyde de manganèse.



L'oxygène dissout réagit avec l'hydroxyde de manganèse (II) formé:



Le précipité est dissous par 2ml de l'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), on obtient alors un mélange clair :



Après il ya formation de l'iode selon la réaction:



Celui-ci est dose par le thiosulfate de sodium jusqu'à décoloration de la solution.



● Expression des résultants

La teneur en oxygène dissous exprimée en mg d' O_2 /l est donnée par l'expression $[\text{O}_2]_{\text{dissous}} = \text{Tb} \times 1.6 \text{ mg d}'\text{O}_2$.

IV. Analyses bactériologiques :

La contamination de l'eau du robinet par les microorganismes constitue la principale cause de non-conformité des eaux distribuées. C'est pourquoi la qualité microbiologique de l'eau est très surveillée.

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique.

L'examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérilisé selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle et correctement transportée au laboratoire d'analyses.

a. Micro-organismes recherchés et leurs milieux de culture :

La qualité microbiologique de l'eau varie considérablement d'une source à l'autre pour en vérifier cette qualité, on se sert des indicateurs suivants:

● Bactéries coliformes:

Ce sont des micro-organismes aérobies et anaérobies facultatifs, en forme de bâtonnets, Gram négatif, ils sont capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou aldéhyde) et de gaz.

Le milieu le plus utilisé est le Tergitol 7, l'incubation a lieu à $37^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 48h.

● Escherichia Coli :

La principale bactérie coliforme spécifiquement d'origine fécale est *Escherichia Coli* (E. Coli) Le milieu le plus utilisé est le Tergitol 7, l'incubation à $44^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 24 h conduit au dénombrement des coliformes thermotolérants.

● Entérocoques intestinaux :

Ce terme englobe les bactéries de forme sphérique ou coccoïde, Gram positif

Le milieu le plus utilisé est la gélose de SLANETZ, l'incubation à lieu à $37^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 48h.

b. Méthodes d'analyses.

-Méthode de la membrane filtrante pour l'eau traitée.

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

-Méthode de NPP (Nombre le Plus Probable) pour l'eau brute.

Cette méthode est une évaluation par calcul statistique du nombre le plus probable d'unité infectieuse, après répartition de l'inoculum dans un certain nombre de tubes de milieu de culture liquide, et en tenant compte du nombre respectif de culture positive ou négative obtenue. Elle est applicable à toutes les eaux et en particulier les eaux riches en matières en suspension et en nombre élevé de germes, c'est le cas des eaux brutes. Cette méthode comporte deux étapes: Le test présomptif et le test confirmatif.

Jar Test ou essai de coagulation-floculation :

I. Principe :

Un essai de floculation coagulation consiste à rechercher au laboratoire les conditions optimales de floculation et de décantation par la détermination des doses de réactifs (coagulant, floculant, réactif de correction). La **coagulation-floculation** est un procédé de traitement physico-chimique utilisé pour le traitement de potabilisation d'eau usée.

Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décanter naturellement: **Les colloïdes**.

Les colloïdes: 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, ce qui engendrant des forces de répulsions intercolloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible.

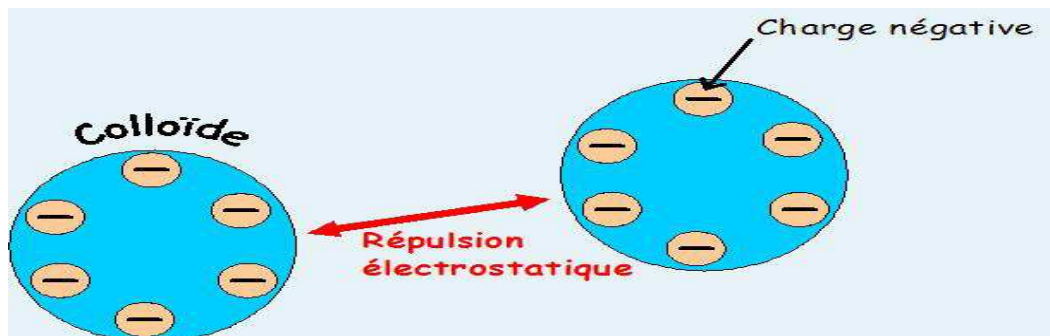


Figure1 : Structure des colloïdales.

a.Coagulation :

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension c'est à dire de faciliter leur agglomération ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. C'est généralement le sulfate d'alumine qui est utilisé.

On peut expliquer l'action du sulfate d'aluminium de façon simplifiée selon le modèle suivant:

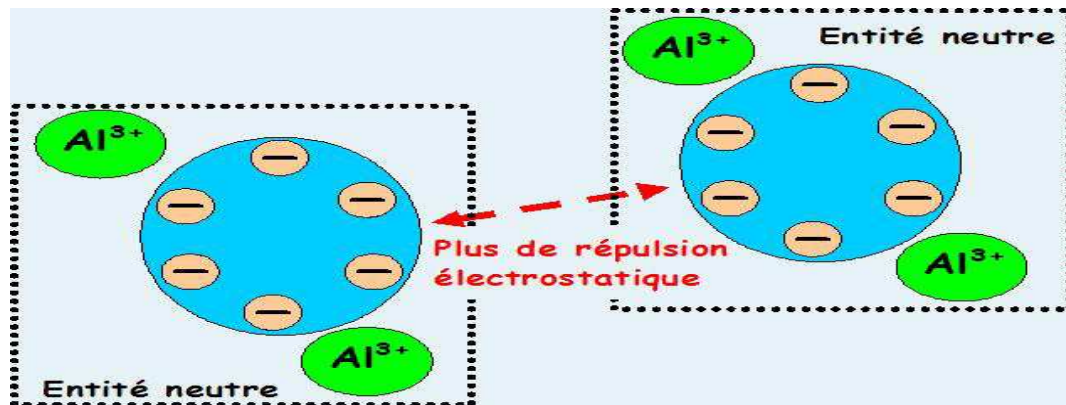
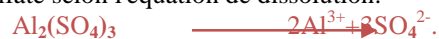


Figure2: Déstabilisation des colloïdales.

Le sulfate d'aluminium est un solide ionique constitué d'ions aluminium (Al^{3+}) et d'ions sulfate (SO_4^{2-}). Comme tout solide, il est électriquement neutre et se compose de 2 cations aluminium pour 3 anions de sulfate: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Lors de son ajout dans l'eau, le sulfate d'aluminium se dissout pour former des cations d'aluminium et des anions de sulfate selon l'équation de dissolution:



Les cations Al^{3+} neutralisent la charge négative des colloïdes: ceux-ci ne se repoussent plus et peuvent entrer en contact, ils s'agglutinent.

b.Floculation :

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent (polyélectrolyte), les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules forment un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

Pour cela on suit le procédé adopté par le laboratoire qui consiste à suivre les étapes suivantes :

- **La pré chloration par le chlore: Break- point ou demande en chlore.**
- **Essai au sulfate d'alumine.**
- **Amélioration de l'essai par utilisation de floculant: Polyélectrolyte.**
- **Utilisation de réactif de correction: L'acide sulfurique.**

II. Demande en chlore :

La désinfection est l'étape de traitement qui élimine de l'eau à distribuer tous les germes pathogènes et certains éléments industriels.

La désinfection de l'eau se fait de nos jours avec le chlore, sauf que la concentration de celui-ci doit être auparavant contrôlée et déterminée au laboratoire. En effet une concentration élevée rendrait le goût de l'eau désagréable et l'eau serait pathogène et peut nuire à la santé de l'homme, tandis qu'une quantité faible n'assurerait pas la stérilisation de l'eau.

La demande en chlore a pour rôle de connaître la valeur du chlore qu'il faut injectée après chloration.

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

➤ Mode opératoire

On détermine le titre d'eau de javel pour déterminer la demande en chlore

Dans un erlenmeyer on introduit successivement :

- 1 ml d'eau de javel (NaOCl, Na Cl).
- 10 ml de solution d'iodure de potassium KI 10%.
- 10 ml d'acide acétique CH₃COOH (9N).

Il se développe une couleur brune foncée.

- On titre l'iode libéré par le thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (1/10N), jusqu'à décoloration.

• **Les réactions mises en jeu sont :**

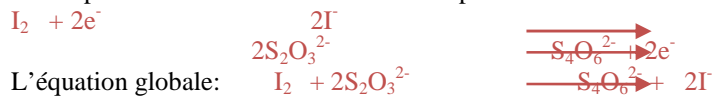
- L'eau de javel formée de chlore réagit avec l'acide acétique selon la réaction suivante:



L'apparition du couleur brune est dû a la présence de I₂ selon les équations d'oxydoréduction suivante:



La disparition du couleur est dû a la présence de l'ion I₂ selon les équations d'oxydoréduction suivante :



➤ **Expression des résultats**

$$C_{\text{cl}_2} = \text{Tb} \times 3,55 \text{ g/l.}$$

Ensuite, on prépare 2 concentrations différentes de l'eau de javel (1g/l) qu'on ajout dans les béchers et (0.1g/l) qu'on utilise pour la demande en chlore.

- On prépare une série de flacons dont on introduit 100ml de l'eau brute et des volumes croissantes bien déterminés de l'eau de javel à (0.1g/l).
- On met ces flacons à l'obscurité pendant 30 min après voir bouché et agité.
- On fait la lecture de chlore résiduel en utilisant la DPD. (Diéthyl Paraphénylène Diamine), au moyen d'un comparateur visuelle.
- On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

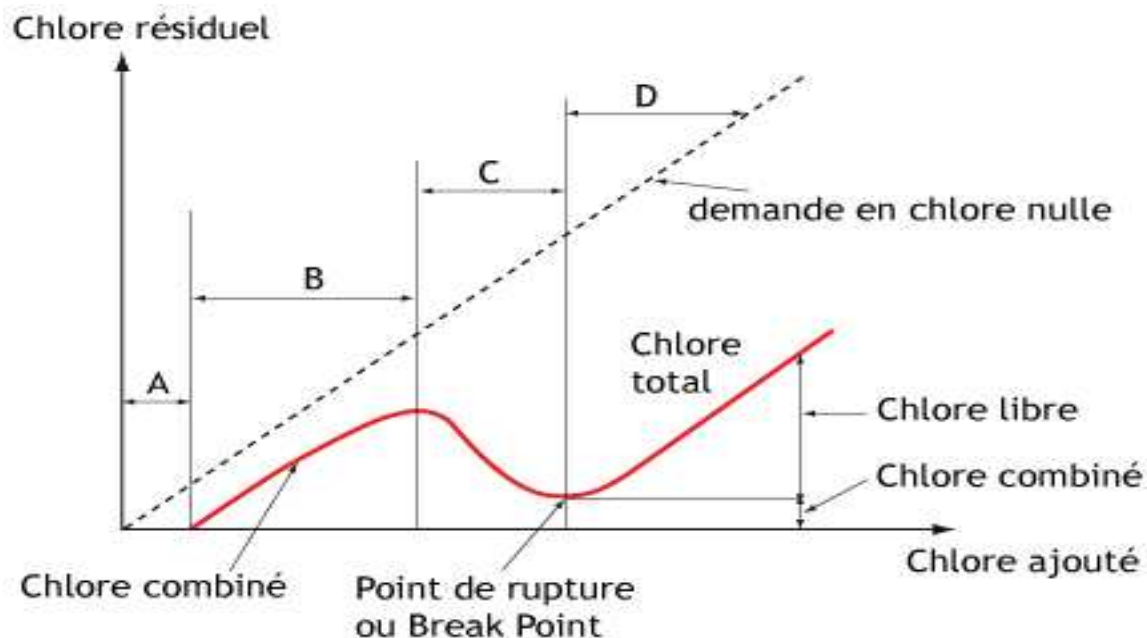


Figure3 : Courbe de la demande en chlore (break point).

Zone A : destruction du chlore par des composés organiques.

Zone B : formation des chloroamines.

Zone C : destruction des chloroamines.

Zone D : chlore libre +traces de chlore combinée.

Quand le chlore est introduit dans l'eau, il subit une hydrolyse rapide selon l'équation suivante:



Le même phénomène apparaît, lorsque le réactif est hypochlorite de sodium (eau de javel) ou de calcium.



A partir d'une certaine valeur de pH, (voisine de 6), l'acide hypochloreux se dissocie en donnant l'ion hypochloreux.



III. Jar Test:

> Principe :

Cette méthode nous permet de déterminer les doses optimales de chaque réactif à ajouter dans l'eau pour sa clarification.

> Matériels :

- Un flocculateur de laboratoire avec 6 agitateurs à hélice entraînés par un moteur électrique à vitesse variable.
- Bécher de 1 litre.
- Verrerie de laboratoire.
- Papier filtre bande blanche.

> Mode opératoire :

- On remplit 6 flacons par 1 litre d'eau brute.
- On injecte la quantité de chlore correspondant à la demande en chlore précédemment déterminée.
- On injecte en quantité croissante le coagulant (sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), avec une agitation de 120 tours /min pendant 2 min.
- On ajoute 1 ml de flocculant (poly électrolyte) dans chaque flacon avec une vitesse de 40 tours /min pendant 20 min.
- On note le délai d'apparition des flocs à partir du début de l'agitation lente.
- On relève les hélices et on laisse décanter pendant 30 min.



Photo7 : Présentation de l'essai de jar test.

- ❖ Pendant ce temps de décantation on estime:
 - La vitesse de sédimentation des floccs formés (rapide, moyenne, lente), et le chlore résiduel du surnageant.
 - On détermine le pH, turbidité, l'oxydabilité.
- ❖ Après filtration du surnageant sur filtre bande blanche (comparable au filtre à sable).
 - on détermine pour chaque essai la turbidité et l'alcalinité.

Critère de choix du meilleur bécber				
Taille de floc	pH	Turbidité filtrée	oxydabilité	Turbidité Décanté
>06	Entre 7 et 7.40	≤0.5 NTU	≤2mg/l	< 5 NTU

Remarque : Avant d'entreprendre le jar-test, un certain nombre de paramètres doivent être effectuées sur l'échantillon à traiter :

- Le pH.
- L'oxydabilité.
- TAC.
- Turbidité.
- Conductivité.

IV. Résultats et interprétations :

↩ ESSAI DE DEMANDE EN CHLORE

➤ Titration d'eau de javel :

Les résultats du titrage d'eau de javel obtenue à partir des différents prélèvements d'eau brute:

N°d'essai	1	2	3	4	5	6
Titration de l'eau de javel en (g/l)	34.79	35.4	35.69	37.27	37.33	36.21

Tableau2 : Degrés chlorométriques.

Les valeurs de la teneur en Cl_2 sont comprises entre 34.79 et 37.27.

L'eau de javel peut être influencé par la lumière pendant la durée de stockage c'est pour cette raison on le conserve dans des flacons en plastique opaque.

➤ Détermination du break-point :

Les résultats de la détermination du break point des 6 essais qu'on a effectué

	N° DE FLACON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	[Cl_2] injecté (mg/l)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
Essai1	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.1	0.2	0.2	0.5	1.2	1.6	1.4	2	4	4	5	5
Essai2	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.1	0.2	0.5	1	1.4	1.8	2	1.8	3	4	4	5
Essai3	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.1	0.4	0.7	1	1.6	2	3	2.5	3	4	4	4
Essai4	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.2	0.4	0.8	1	1.6	2.5	2.8	3	4	4	4	5
Essai5	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.1	0.2	0.7	1	1.8	1.6	2.5	3	4	4	4	5
Essai6	[Cl_2] résiduel (mg/l)	0	0.3	0.5	0.8	1	1.6	2	2.5	2.5	4	4	4	5

Tableau3 : Résultat de la demande en chlore.

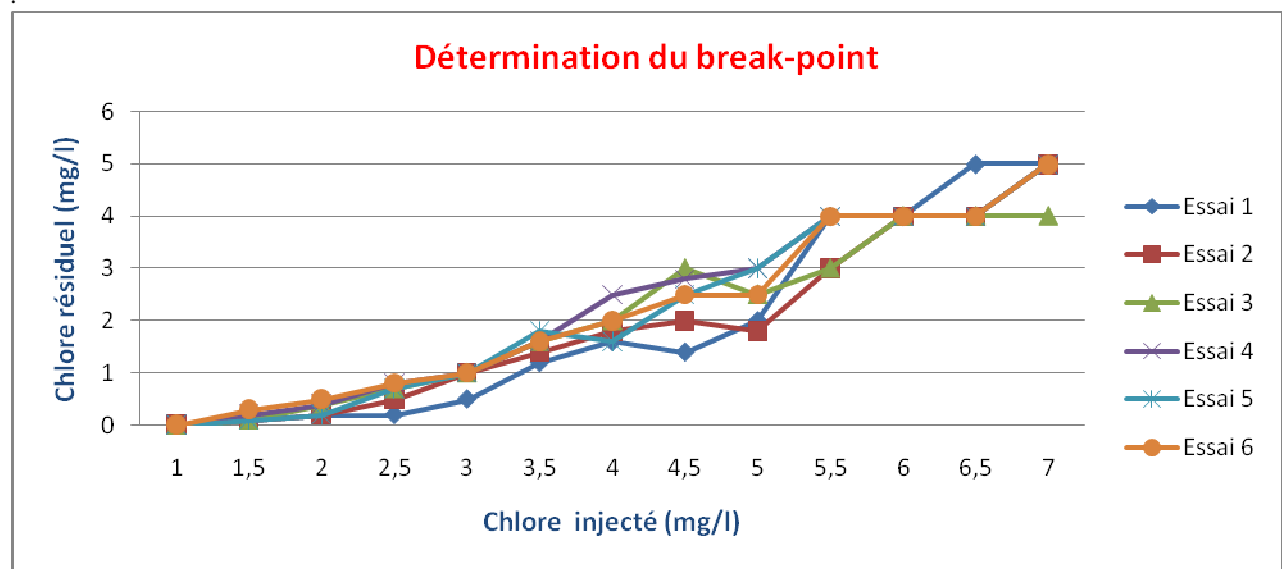


Figure4 : Courbe de break point.

La quantité de chlore injecté correspond au break point :

N°ESSAI	1	2	3	4	5	6
---------	---	---	---	---	---	---

Pré chloration	4	5.5	5.5	4.5	4.5	5.5
-----------------------	----------	------------	------------	------------	------------	------------

Tableau4 : Doses du chlore à injecter.

D'après ces résultats on constate que le break point se situe entre 4 et 5.5.

Le changement de break point est dû à plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur ce point de rupture tel que la qualité de l'eau de javel, le temps de prélèvement et la période de la crue.

➤ Analyse de l'eau brute :

L'eau brute prélever chaque jour subit des analyses physico-chimiques le pH, TAC, turbidité, température, oxydabilité, conductivité.

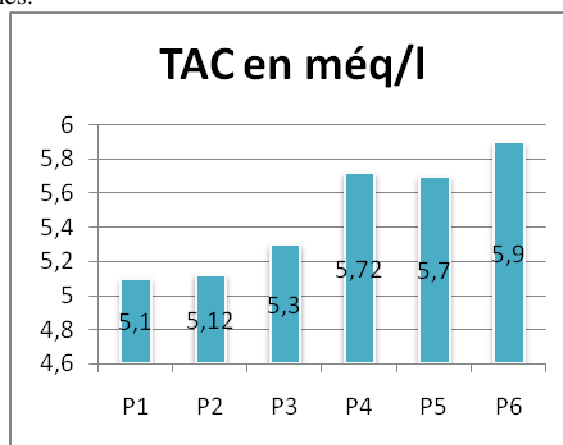
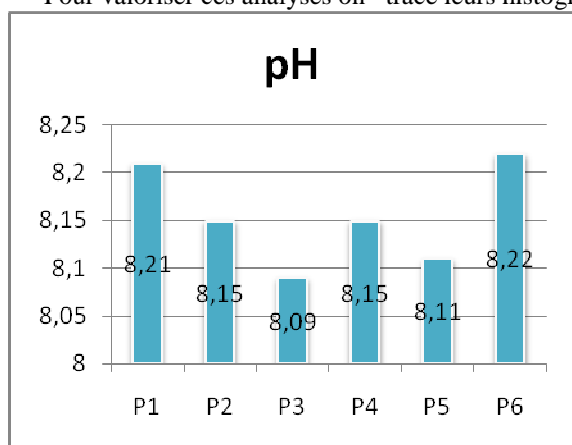
Les résultats d'analyses des 6 prélèvements effectués sont représenté dans le tableau suivant :

Remarque : on désigne par Pi prélèvement i.

	pH	TAC (még/l)	Turbidité (NTU)	Température (°C)	Oxydabilité (mg/l)	Conductivité (µS/cm)
P1	8.21	5.1	42.6	20	3.44	1028
P2	8.15	5.12	51.4	23.2	3.2	1027
P3	8.09	5.3	73.5	21.9	1.5	1020
P4	8.15	5.72	70.8	22.2	2.5	1025
P5	8.11	5.7	70	21.1	2.5	1025
P6	8.22	5.9	19.34	20.2	1.8	1025

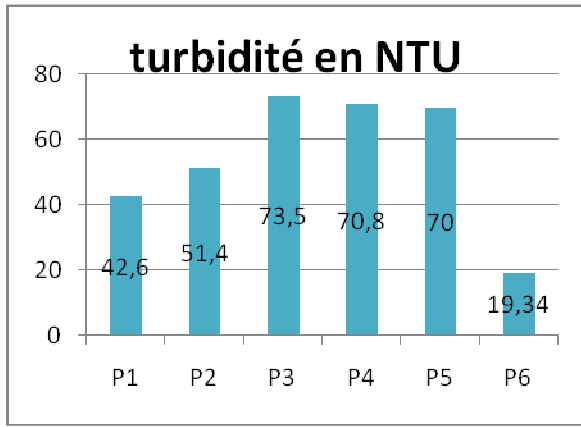
Tableau5 : Analyse physico-chimique de l'eau brute.

Pour valoriser ces analyses on trace leurs histogrammes.

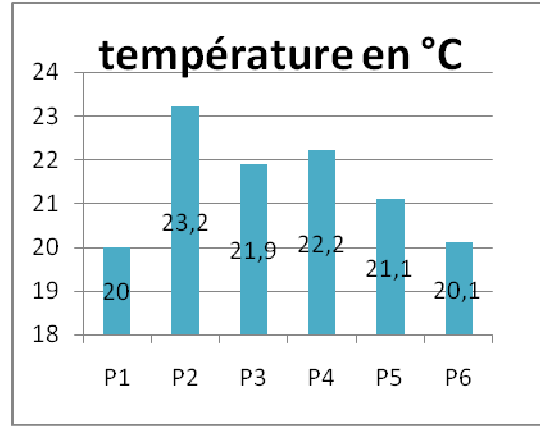


Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenue dans l'eau. On remarque que le pH est compris entre 8.9 et 8.22 dû à la présence de carbonate et bicarbonate.

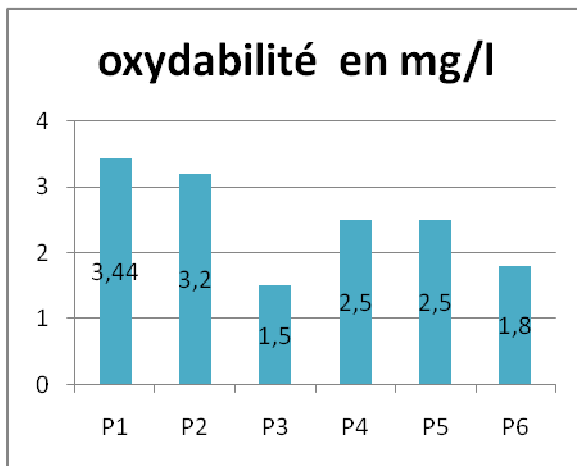
Le TAC titre alcalimétrique complet vari selon la présence des ions OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- on particulier en prélèvement 6.



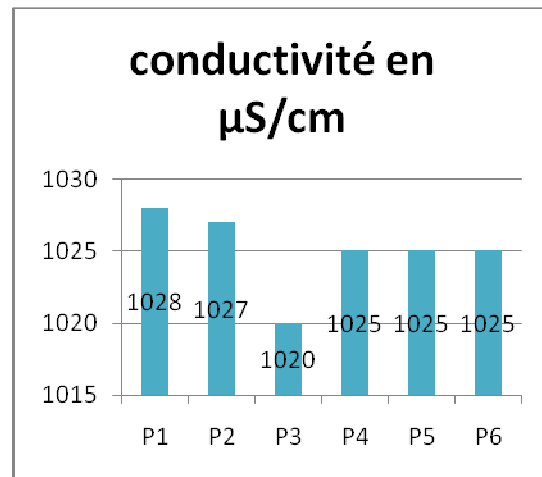
La turbidité de l'eau peut varier d'un jour à l'autre en raison du changement climatique, la nature des rejets dans la rivière et on période de crue en général.



La température de l'eau agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau. Il change selon le climat.



Selon la qualité de l'eau, l'oxydabilité peut augmenter ou diminuer selon le taux des matières oxydables dans l'eau.



La conductivité vari selon la présence des ions. Dans notre cas il est compris entre 1020 et 1028 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

↳ Essai de jar test :

➤ Résultats sans ajustement de pH

○ Essai 1 : Absence de flocculant

Ce test a pour but d'optimiser la dose de coagulant en absence de flocculant. Pour cela on injecte que des doses croissantes de sulfates d'alumine.

Tableau6 : Optimisation de coagulant en absence de flocculant.

bécher	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	4	4	4	4	4	4
Coagulant Sulfate d'alumine en mg/l	10	20	30	40	50	60
Flocculant Polyélectrolyte en mg/l	-	-	-	-	-	-
Aspect du floc en fin d'agitation lente(*)	06	06	04	06	06	06
pH	8.1	8	7.89	7.57	7.28	7.25
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	1.6	1.36	1.76	2	1.52	1.36
Turbidité en NTU décanté	1.93	0.48	0.51	1.18	1.19	1.65
Chlore résiduel en mg/l	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Turbidité en NTU filtré	0.72	0.37	0.33	0.39	0.25	0.19
TAC en méq/l	5.8	5.7	5.36	5.2	5.1	5.02

(*) aspect du floc en fin d'agitation lente

Pas de floc	Légère opalescence	Petit points	Flocon de dimension moyenne	Bon floc	Excellent
00	02	04	06	08	10

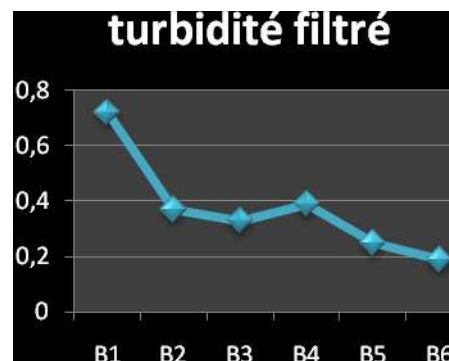
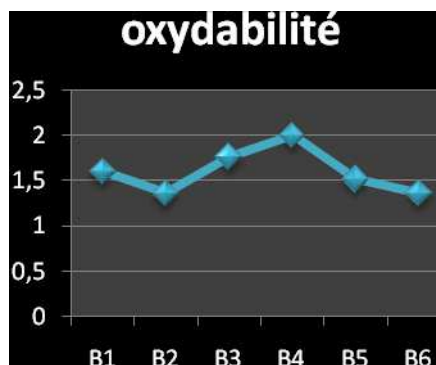
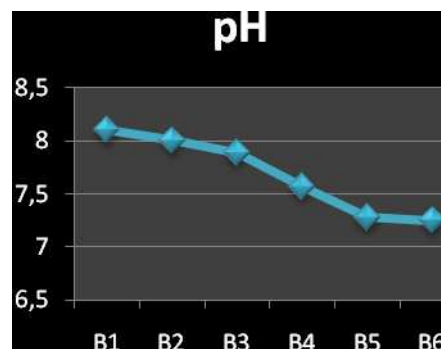
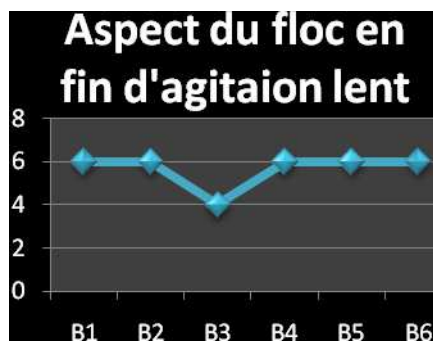


Figure5 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 1.

○ Essai 2 : Présence d'une dose fixe de coagulant

Pour optimiser la dose du polyélectrolyte on a injecté une dose fixe du sulfate d'alumine et des doses croissantes de polyélectrolyte.

bécher	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Coagulant : Sulfate d'alumine en mg/l	70	70	70	70	70	70
Floculant : Polyélectrolyte en mg/l	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Aspect du floc en fin d'agitation lente	06	06	08	04	04	04
pH	7.44	7.4	7.38	7.35	7.32	7.3
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	1.6	1.36	1.76	1.84	0.96	1.28
Turbidité en NTU décanté	0.73	0.63	0.74	1.99	0.47	0.73
Chlore résiduel en mg/l	2	0.6	0.3	1.8	2	2
Turbidité en NTU filtré	0.39	0.36	0.33	0.26	0.25	0.2
TAC en méq/l	5.32	5.2	5.06	5.04	4.2	4.1

Tableau7 : Optimisation de floculant en présence d'une dose fixe de coagulant.

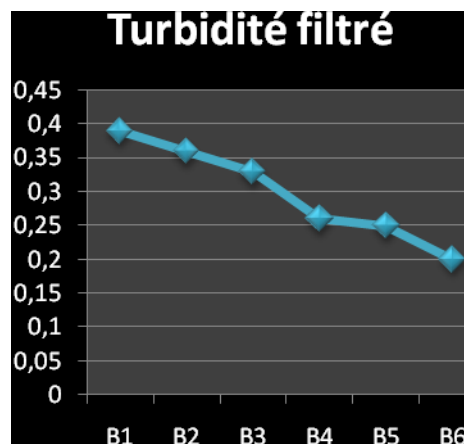
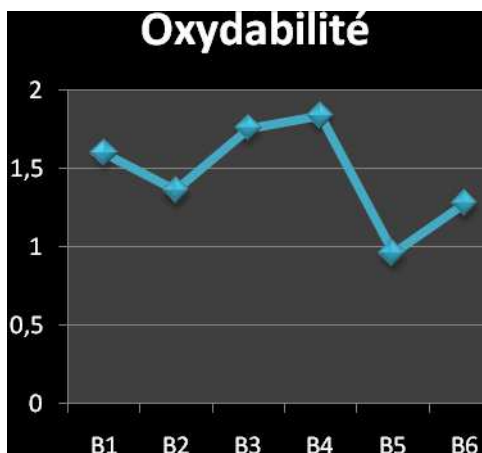
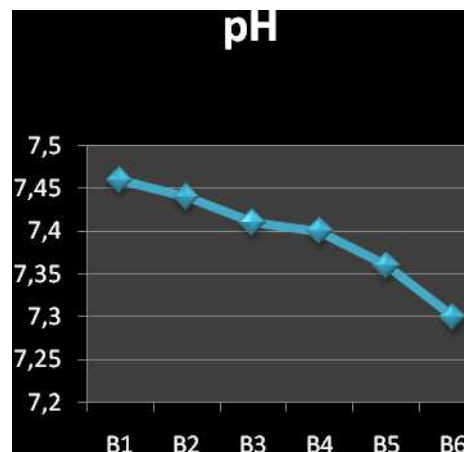
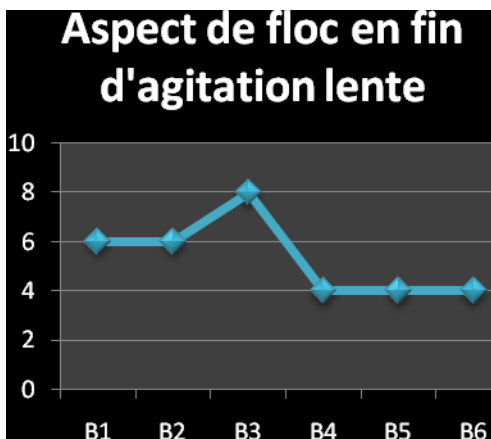


Figure6 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 2.

o Essai3:Présence de floculant

Pour optimiser la dose du sulfate d'alumine en présence du polyélectrolyte on a injecté des quantités croissantes de sulfate d'alumine et une dose fixe du polyélectrolyte.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Coagulant : Sulfate d'alumine en mg/l	40	50	60	70	80	90
Floculant : Polyélectrolyte en mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect du floc en fin d'agitation lente	06	06	08	06	08	08
pH	7.64	7.53	7.43	7.39	7.35	7.26
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	1.28	1.23	1.2	1.36	1.04	0.64
Turbidité en NTU décanté	0.97	0.93	0.74	0.53	0.65	0.61
Chlore résiduel en mg/l	3	2.5	3	4	4	4
Turbidité en NTU filtré	0.57	0.4	0.38	0.37	0.36	0.3
TAC en méq/l	5.42	5.3	5.2	4.9	4.88	4.8

Tableau8 : Optimisation de coagulant en présence de floculant.

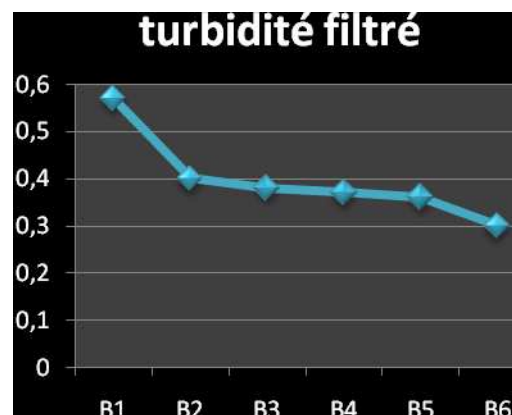
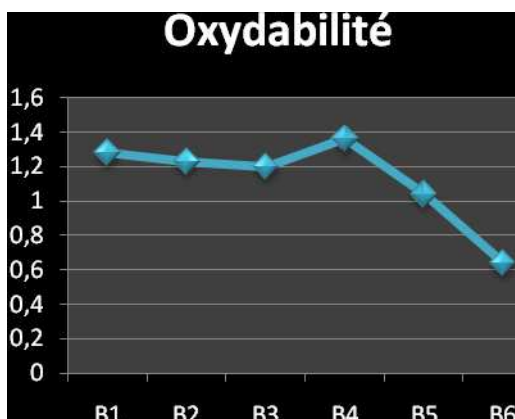
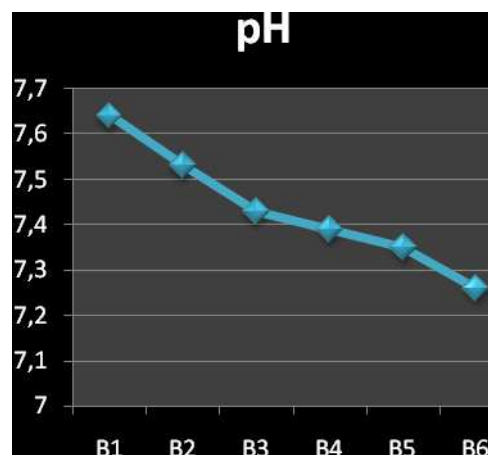
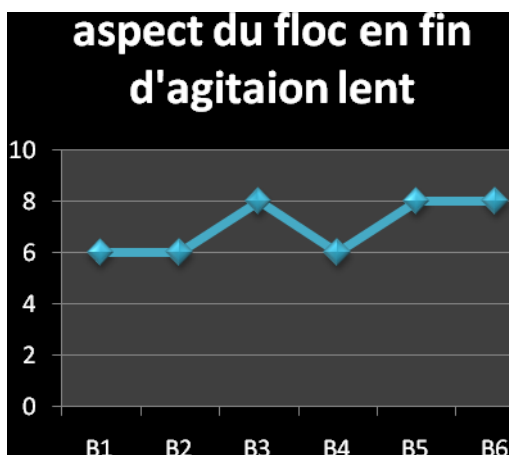


Figure7 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 3.

➤ Résultat avec acclimation de pH

○ **Essai 4: Ajustement de pH**

Ce test a pour but d'optimiser le pH, pour cela on a injecté la même quantité d'acide sulfurique pour stabiliser le pH à 7.5 avec présence de doses croissantes de coagulant et une dose fixe de floculant.

bécher	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Coagulant : Sulfate d'alumine en mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant : Polyélectrolyte en mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect du floc en fin d'agitation lente	10	08	08	06	06	04
pH	7.58	7.48	7.37	7.29	7.24	7.20
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	1.6	1.36	1.44	1.28	1.2	1.52
Turbidité en NTU décanté	2.48	0.74	3	1.02	0.99	0.8
Chlore résiduel en mg/l	2	2.5	0.1	0.4	2	2.5
Turbidité en NTU filtré	1.27	0.93	0.73	0.5	0.45	0.40
TAC en méq/l	5.2	5.2	4.9	4.5	4.15	4.1

Tableau9 : Optimisation de pH.

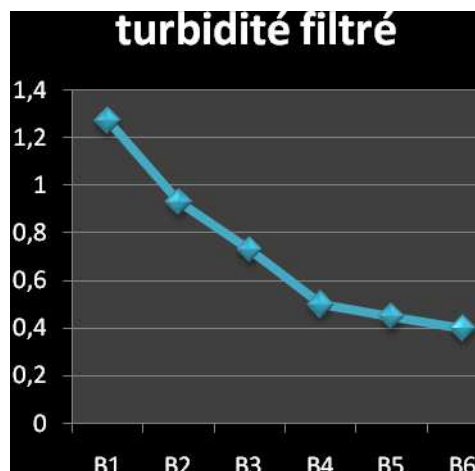
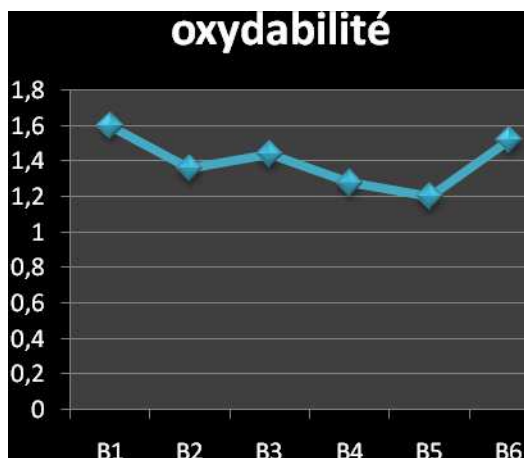
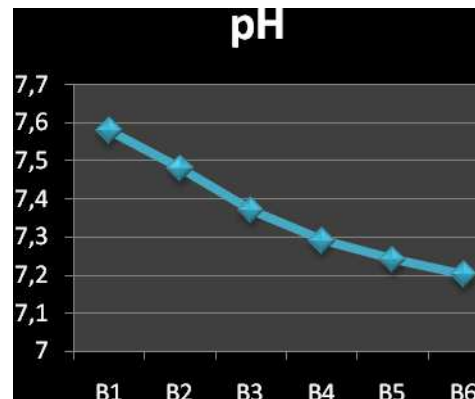
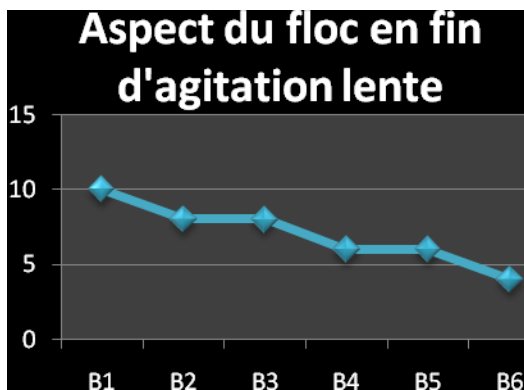


Figure8 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 4.

Le même test que le test précédente mais cette fois ci on a stabilisé le pH à 7.

bécher	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Coagulant : Sulfate d'alumine en mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant : Polyélectrolyte en mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect du floc en fin d'agitation lente	04	06	06	06	04	04
pH	6.97	6.96	6.91	6.90	6.82	6.8
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	2	1.38	1.5	1.36	1.52	1.6
Turbidité en NTU décanté	1.86	1.72	1.65	1.46	1.39	1.12
Chlore résiduel en mg/l	1.4	1.8	1.8	1.8	1.4	2
Turbidité en NTU filtré	0.49	0.4	0.35	0.32	0.3	0.3
TAC en méq/l	4.67	4.6	4.5	4.4	4.4	4.3

Tableau10 : Optimisation de pH.

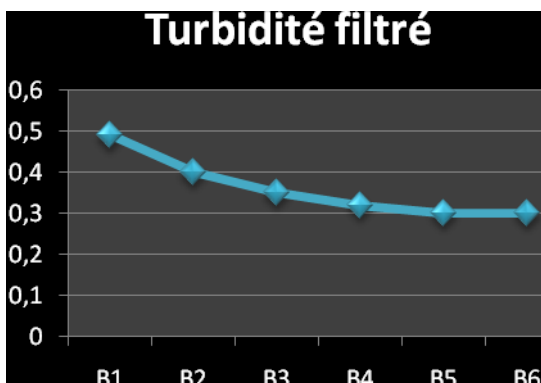
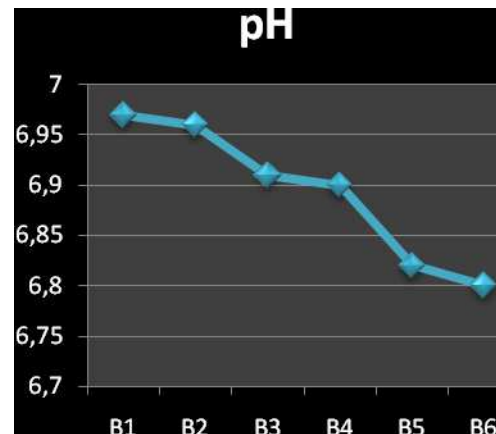
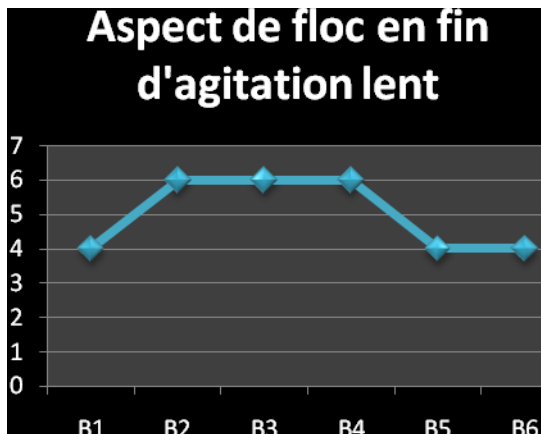


Figure9 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 5.

○ Essai 6: Ajustement de pH

Le même test que le test précédente mais cette fois ci on a stabilisé le pH à 6.5.

bécher	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Préchloration	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
Coagulant : Sulfate d'alumine en mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant : Polyélectrolyte en mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect du floc en fin d'agitation lente	10	10	06	06	04	04
pH	6.82	6.80	6.73	6.72	6.66	6.61
Oxydabilité à chaud en mg/l d'O2 consommé	1.2	1.5	1.2	1.36	1.52	1.04
Turbidité en NTU décanté	1.26	1.17	1.11	0.96	0.9	0.85
Chlore résiduel en mg/l	3	2.5	3	3	2.5	2.5
Turbidité en NTU filtré	0.4	0.38	0.35	0.25	0.22	0.2
TAC en méq/l	4.3	4.26	4.14	4.1	4	3.9

Tableau11: Optimisation de pH.

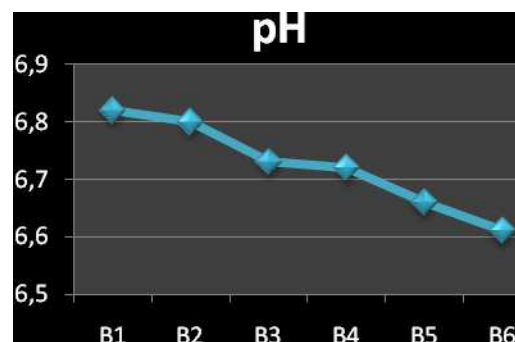
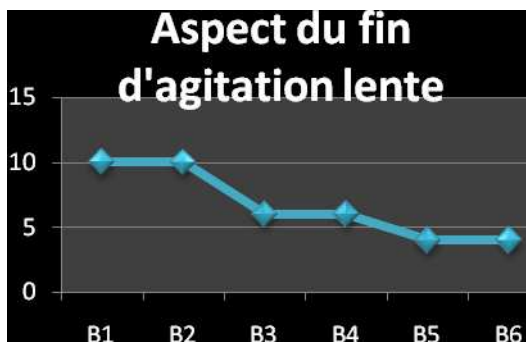


Figure10 : Courbes du pH, oxydabilité, turbidité filtré et aspect du floc d'essai 6.



Interprétations:

D'après les résultats obtenus et selon les critères de choix du meilleur bécher on obtient les résultats suivants :

Essai	Meilleurs bécher
Essai 1	bécher 6
Essai 2	Bécher 6
Essai 3	Bécher 6
Essai 4	Bécher 4
Essai 5	Bécher 4
Essai 6	Bécher 3

✓ On remarque que plus la dose de coagulant augmente plus le pH diminue. Ceci est dû au fait que le coagulant (sulfate d'alumine) consomme l'alcalinité.

Le pH et l'alcalinité sont des facteurs importants, car ils déterminent la disponibilité du coagulant dans la solution.

✓ La diminution des valeurs de la turbidité est expliquée par le fait que le coagulant ajouté déstabilise les particules colloïdales et en ajoutant un flocculant, ces derniers s'agglomèrent en floccs donc la quantité des particules diminue c'est pour cela la turbidité diminue.

✓ L'aspect du flocc en fin d'agitation lente est bon, cela est expliqué par la vitesse d'agitation lente 20 tr/min qui assure l'agglomération des floccs produit dans l'agitation rapide.

✓ Les valeurs de l'oxydabilité sont décroissantes car plus on ajoute le chlore plus il y a oxydation des matières organiques.

✓ D'après les résultats de l'acidification du pH on constate que le pH a une influence puisque il augmente le temps de coagulation par contre un pH non optimal peut entraîner une augmentation du temps de coagulation. le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques, on remarque que l'acidification jusqu'au pH=7 donne de bons résultats.

✓ On plus de ces paramètres on peut ajouter la température qui joue un rôle important, en effet une température basse entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau et ralentit la coagulation et la décantation du flocc.

Conclusion

Le stage au sein de l'office national de l'eau potable était très enrichissant au domaine de traitement des eaux. En effet l'eau potable n'est pas tout à fait « bien du ciel », avant de parvenir au robinet, elle a été acheminée, stockée puis distribuée.

A l'Office National de l'Eau potable de Fès, l'eau issue en grande partie de l'oued Sebou subit un ensemble d'étapes de traitements pour obtenir une eau potable de qualité.

Au cours de ce travail, on a essayé de décrire les différentes étapes de traitement de l'eau potable et particulièrement la coagulation-floculation qui a été détaillée.

En général, l'eau est traitée à des pH voisins de 8, mais d'après les études effectuées une légère acidification peut économiser la quantité du coagulant utilisé et augmente la vitesse d'agitation.

L'étude qu'on a effectuée sur les échantillons de Oued Sebou m'as permis d'optimiser les doses de coagulant floculant, le pH dans l'objectif de produire une eau potable de bonne qualité.

Il faut noter que le traitement de coagulation floculation assure une bonne rétention des particules en suspension. Cependant son efficacité vis-à-vis de la pollution reste très limitée.

Références bibliographiques

- www.onep.ma.
- Procédure de conduite des essais de floculation de l'ONEP 04 PS TRT 03.
- Manuel des analyses physico-chimiques de l'ONEP..
- Norme marocaine de la qualité des eaux d'alimentation humaine.

Annexe 3: Relation donnant TA

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 : $N_a V = N_b V'$
 $N_b = N_a V / V'$
 $N_b = 0,1 * V / 100$
 $N_b = 10^{-3} * V$ (éq/l)
Donc : $N_b = V$ (mécq/l)

$$\mathbf{TA \text{ (mécq/l)} = V}$$

Annexe 4 : 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 : $N_a V = N_b V'$
 $N_b = N_a V / V'$
 $N_b = 0,1 * V / 100$
 $N_b = 10^{-3} * V$ (éq/l)
 Donc : $N_b = V'$ (méq/l)

$$\text{TAC (méq/l)} = V$$

Annexe 5 : Relation donnant l'oxydabilité :

N_k : Normalité de $KMnO_4$ (0,01N).

V : Volume versé de $KMnO_4$.

V_T : $V_a + V_b = 10$ ml de $H_2C_2O_4$.

V_a : Excès de $H_2C_2O_4$.

V_b : Volume de $H_2C_2O_4$ réagissant avec l'excès de $KMnO_4$.

N_H : Normalité de $H_2C_2O_4$. (0,1N)

V_k : Excès de $KMnO_4$.

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 : $N_H V_b = N_k V_k$
 $N_H (1 - V_a) = N_k V_k$ ($V_a + V_b = 10$)
 $V_k = N_H (1 - V_a) / N_k$
 $V_k = 10^{-1} (1 - 10^{-1} V) / 10^{-1}$
 $V_k = 10 - V$
 $N_k V'_k = N * 100$ (100 ml : prise d'essai)
 $N = 10^{-2} * V'_k / 100$
 $N = 10^{-2} * [10 - (10 - V)]$ ($V_k + V'_k = 10$)
 $N = 10^{-4} * V$ (eq/l)
 $N = 10^{-1} * V$ (meq/l d'O₂).
 $C_m = 10^{-1} * V / 2$ (mmol/l)
 $C_m = 16 * 10^{-1} * V / 2$ (mg/l)
 $C_m = 0,8 * V$ (mg/l) [**Oxydabilité**] = **0,8 * V (mg/l)**

Annexe 6 : 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 : $N_a V_a = N_b V_b$
 $N_b = N_a V / V_b$
 $N_a = C_a * p$
 $P = 2$; $C_a = 0,02 \text{ mol/l}$
 $N_b = 0,02 * 2 * V / 100$
 $N_b = 4 \cdot 10^{-4} * V \text{ (éq/l)}$
 $N_b = 0,4 * V \text{ (még/l)}$

Donc : $C_b = N_b / 2$
 Donc : $C_b = 2 \cdot 10^{-1} * V \text{ (mol/l)}$
 On a : $T_{Ca^{2+}} = M_{Ca^{2+}} * C_b$ (avec $M_{Ca^{2+}} = 40 \text{ g/mol}$)
 $T_{Ca^{2+}} = 40 * 2 * 10^{-1} * V$

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

Annexe 7 : Relation donnant la concentration de l'eau de javel :

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

Au point d'équivalence : $N_a V_a = N_b V_b$
 $N_a = N_b V / V_a$
 $N_a = 10^{-1} \cdot V_b \text{ (éq/l)}$
 On a : $[Cl_2] = 10^{-1} * V / 2$
 Donc : $[Cl_2] = 5 \cdot 10^{-2} * V \text{ (mol/l)}$
 On a : $[Cl_2]' = [Cl_2] * M_{Cl_2}$ ($M_{Cl} = 35.5 \text{ g/mol}$)
 $[Cl_2]' = 5 \cdot 10^{-2} * V * 71$

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