



Maîtrise Es-Sciences et Techniques (MST):

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

**ETUDE COMPARATIVE ENTRE TROIS COAGULANTS  
UTILISES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX LE SULFATE  
D'ALUMINE, LE CHLORURE FERRIQUE ET LE  
POLYCHLOROSULFATE BASIQUE D'ALUMINIUM**

### Présenté par :

- ◆ Izlane BENHADDOU
- ◆ Mehdi BOUAMAMA

### Encadré par :

- ◆ Pr F. KHALIL (FST FES)
- ◆ Pr J. ASSOUIK (FST FES)
- ◆ Mr B. MAACHI (ONEP RABAT)
- ◆ Mr EL ZRAK (ONEP RABAT)

**Soutenu Le 22 Juin 2007 devant le jury composé de:**

- Pr F. KHALIL (FST FES)
- Pr J. ASSOUIK (FST FES)
- Mr B. MAACHI (ONEP RABAT)
- Pr A. LHASSANI (FST FES)
- Pr H.C. AMEZIANE (FST FES)

**Stage effectué à L'ONEP (RABAT)**

**Année Universitaire 2006 / 2007**

# Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à présenter nos vifs remerciements à **Mr B.MAACHI** pour son appui et le temps précieux qu'il nous a consacré, afin d'accomplir ce travail dans les meilleures conditions.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos encadrants **Pr F.KHALIL** et **Pr J.ASSOUIK** qui nous ont suivi tout le long de ce travail et prodigué leurs conseils et leurs directives pertinentes.

Nous désirons exprimer nos remerciements à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail et spécialement:

- Mme SBIHI Najat
- M.LAZRAK
- M.LOUMARI
- M.ENNOUARI

Enfin nous remercions Messieurs les membres du jury de nous honorer de leur présence et de porter leurs jugements sur ce travail.

# *Dédicace*

*À mes très chers parents et mon très cher mari qui ont  
été toujours là pour me soutenir;*

*À ma sœur et mon frère;*

*À ma belle famille;*

*À mes meilleurs amis;*

*Je dédie ce travail.*

*Iziane*

## DEDICACES

**A mes très chers parents**

Pour votre amour, votre présence et votre soutien inconditionnels. Que ce travail récompense vos sacrifices et votre dévouement, et qu'il concrétise autant vos rêves que les miens, je ne vous le dirais jamais assez : Merci.

Je vous aime

**A mon frère Reda**

Pour ta patience, tes sacrifices et ton amour. Tu as partagé mes angoisses et mes peines et tu as toujours su trouver le mot juste pour me redonner espoir.

**A soumaya**

Pour ton soutien et ta présence je ne te remercierai jamais assez. Merci pour tt ce que tu ma fais durant ces cinq années

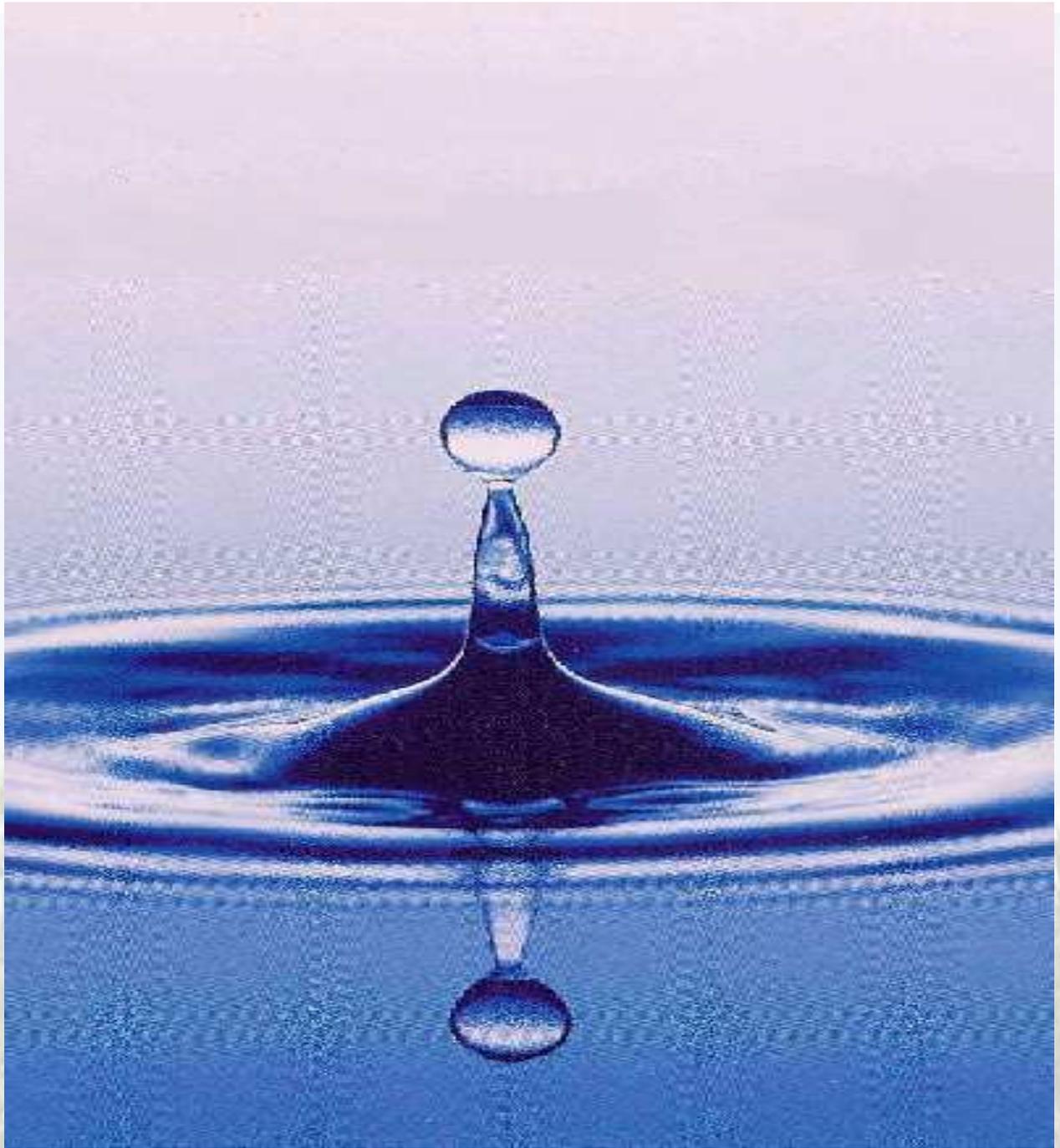
**A mon très cher binôme**

Pour l'encouragement et la bonté qu'il m'a accordés, j'exprime ma profonde reconnaissance et mon grand respect.

**A tous mes amis**

Spécialement Tifa, Otman, Meryem, Souhail, Leyla, Nawfal, Omar, Yousra, Amine, Amine ferda, yassin B6,younes,najat, et tous les autres que je n'ai pas cités mais qui ont leur place dans mon cœur.

Je dédie ce travail  
Mehdi



**" Et nous avons crée, à partir de l'eau toute chose vivante, ne croient-ils donc pas "**

[Verset du coran](#)

# Sommaire

---

---

<b>Introduction générale.....</b>	<b>7</b>
-----------------------------------	----------

## **Chapitre I : Etude bibliographique**

<b>I. Techniques de traitement.....</b>	<b>10</b>
I.1. Procédés de prétraitement .....	11
I.1.1. <i>Le dégrillage</i> .....	11
I.1.2. <i>Le dessablage</i> .....	11
I.1.3. <i>Le débouage</i> .....	12
I.2 Procédés de traitement .....	12
I.2.1. <i>Préchloration</i> .....	12
I.2.2 <i>Coagulation floculation</i> .....	12
I.2.3 <i>La décantation</i> .....	14
I.2.4 <i>La filtration</i> .....	14
I.2.5 <i>La désinfection</i> .....	15
<b>II. Réactifs de traitement.....</b>	<b>15</b>
II .1 Sulfate d'alumine.....	15
II .2. Chlorure ferrique .....	17
II .3. Polyhydroxychlorosulfate d'aluminium (P.C.B.A) ou WAC.....	18
<b>I. chimie complète.....</b>	<b>22</b>

## **Chapitre II : Méthodes expérimentales**

I.1. Détermination de la turbidité .....	22
I.2. Mesure de la température.....	22
I.3. Mesure du pH.....	23
I.4. Potentiel d'hydrogène de saturation (pHs) .....	24
I.5. Détermination de l'alcalinité.....	24
I.5.1 <i>Le titre alcalimétrique</i> .....	25
I.5.2. <i>Le titre alcalimétrique complet</i> .....	25
I.5.3. <i>Le titre alcalimétrique complet de saturation (TACs)</i> .....	25
I.6. Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium .....	26
I.7. Détermination du chlore résiduel libre .....	27
I.8. Détermination de la teneur en aluminium.....	27
I.9. Détermination de la teneur en fer et manganèse.....	28
<b>II. Détermination des doses optimales de réactifs ajoutés dans l'eau brute</b>	<b>28</b>
II.1 Demande en chlore .....	28
II.2. JAR-TEST .....	30

## **Chapitre III : Résultats et interprétation**

III.1. Eau de la station Daourat .....	33
--	----

III.2. Eau du Barrage Sidi Chahed .....	38
III.3. Eau de la retenue Sidi Mohammed Ben Abdellah (Entrée Station Bouregreg) .....	44
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>48</b>

## **Chapitre IV : Annexes**

<b>Annexe 1 : Norme marocaine de la qualité des eaux d'alimentation humaine .....</b>	<b>50</b>
<b>Annexe 2 : Décret relatif aux eaux destinées à la consommation humaine .</b>	<b>51</b>
<b>Annexe 3 : Fiche technique du Sulfate d'alumine.....</b>	<b>53</b>
<b>Annexe 4: Fiche technique du Wac: polychlorosulfate basique d'aluminium .....</b>	<b>54</b>
<b>Annexe 5: Fiche technique du Chlorure ferrique .....</b>	<b>55</b>
<b>Annexe 6 : Schéma du processus de l'essai Jar-test.....</b>	<b>55</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>56</b>

## **Introduction générale**

L'eau peut être une question de vie ou de mort. Y avoir accès en qualité et en quantités satisfaisantes constitue donc un droit humain fondamental à ne pas marchander. Tout organisme vivant a besoin d'eau pour vivre car l'eau est une composante essentielle de son corps.

Certes, Toutes les eaux de la nature ne sont pas potables. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle.

L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies.

Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc 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.

Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée : il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques pour lesquelles des " concentrations maximales admissibles " ont été définies. À l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme.

Une eau potable doit aussi être une eau agréable à boire : elle doit être claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Pour avoir bon goût, il lui faut contenir un minimum de sels minéraux dissous (de 0,1 à 0,5 gramme par litre), lesquels sont par ailleurs indispensables à l'organisme. Enfin, elle ne doit pas corroder les canalisations afin d'arriver "propre" à la sortie des robinets des consommateurs.

Quant aux eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable, le décret relatif aux normes de qualité des eaux les a subdivisées en trois catégories selon les procédés de traitement appropriés :

- La catégorie A1 pour les eaux nécessitant pour être potables un traitement physique simple notamment par filtration.
- La catégorie A2 pour les eaux nécessitant pour être potables un traitement normal physique, chimique et oxydation notamment par préchloration, coagulation, floculation, décantation, filtration et désinfection (chloration finale) .
- La catégorie A3 pour les eaux nécessitant, pour être potables, un traitement physique, chimique poussé : un affinage et désinfection notamment par préchloration au break point, coagulation, floculation, décantation, filtration, affinage (charbon actif) et désinfection (ozonation, chloration finale) (Voir l'annexe 2).

Durant le traitement de l'eau, l'injection et la préparation des réactifs doivent être correctement appliquées. Leurs ajouts inadéquats peuvent conduire à la formation des produits secondaires, non admissibles pour la consommation, et leurs éliminations demandent un traitement tertiaire très particulier et coûteux.

Le choix des procédés de traitement destinés à assurer la potabilité de l'eau produite selon les normes est également crucial et nécessite impérativement une étude visant le choix des réactifs coagulants appropriés aux différents types des eaux superficielles. Tel est l'objectif majeur du travail qu'on a réalisé à l'ONEP au niveau du laboratoire central.

Le présent rapport, divisé en trois grands chapitres, présente cette étude comparative effectuée entre trois coagulants: le chlorure ferrique, le sulfate d'alumine et le polychlorosulfate basique d'aluminium.( wac)

C'est ainsi que nous consacrons le premier chapitre à une étude bibliographique qui comprend tous les procédés de prétraitement et de traitement mis en oeuvre afin d'assurer la production d'une eau potable et saine, sans oublier les propriétés physiques et chimiques de chaque coagulant.

Dans le second chapitre, nous définissons et expliquons toutes les méthodes expérimentales effectuées au laboratoire y compris les analyses physico-chimiques, les essais jar-test et la demande en chlore ayant pour but de déterminer la dose optimale des réactifs ajoutés dans l'eau brute.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats des essais jar-test qu'on a réalisés et leurs interprétations concernant trois types de qualité d'eau: eau de la station Daourat, du barrage sidi Chahed et de la retenue sidi Mohammed ben Abdellah (entrée Bouregreg) afin de désigner par la suite le Coagulant le mieux adapté à chaque une d'entre elles.

# Chapitre I: Etude bibliographique

## I. Techniques de traitement

La potabilisation des eaux superficielles nécessite de faire appel à un ensemble de procédés de traitement physique, chimiques et biologique.

Les procédés de traitement de l'eau agissant comme des barrières infranchissables permettant de garantir de manière permanente la potabilité de l'eau produite et distribuée en assurant le degré adéquat de traitement de l'eau brute en fonction de degré de pollution.

Ces procédés plus ou moins complexes peuvent être classés en deux étapes essentielles dans une station des eaux de surface :

- Une étape de clarification comprenant une préchloration, coagulation, floculation, décantation et filtration
- Une étape de désinfection finale.

Dans la majeure partie du temps, ce traitement est suffisant pour répondre aux objectifs de l'ONEP, à savoir la conformité de l'eau produite aux normes de la continuité de l'approvisionnement. Cependant la dégradation de la qualité de l'eau brute, l'augmentation des exigences des consommateurs a obligé l'ONEP à procéder au renforcement du traitement soit par un prétraitement en tête de la filière pour abaisser la charge en matières en suspension au delà de 50 g/l, soit par l'utilisation du charbon actif en poudre ou en grain pour améliorer la qualité organoleptique de l'eau (saveur, odeur..).

## ***1.1. Procédés de prétraitement***

La station de prétraitement fonctionne quand les matières en suspension sont comprises entre 2g/l et 50g/l.( voir annex 2 .p.52)

### ***1.1.1. Le dégrillage***

Le dégrillage est le premier poste de prétraitement. Il consiste à retenir les matériaux encombrants susceptibles de provoquer le colmatage dans les différentes unités de l'installation, et qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements.

Cette technique est assurée soit par une grille à nettoyage manuel, soit, de préférence, par une grille à nettoyage automatique. Ces grilles sont composées généralement par des barreaux droits, ronds ou rectangulaires, pouvant être verticales ou inclinées de 60° à 80° sur l'horizontale. Les débris arrêtés par les grilles sont éliminés par des racleurs.

Généralement l'efficacité du dégrillage est fonction de l'écartement entre barreaux des grilles. On peut ainsi distinguer :

- Le dégrillage fin, caractérisé par un écartement inférieur à 10mm.
- Le dégrillage moyen, lorsque l'écartement est compris entre 10 et 40mm.
- Le pré dégrillage, lorsque l'écartement est supérieur à 40mm.

Par principe, la vitesse de passage à travers la grille doit être suffisante pour obtenir l'application des matières sur la grille, sans provoquer une perte de charge trop importante, ni entraîner un colmatage en profondeur ; la vitesse de passage entre barreaux communément admise sont de l'ordre de 0,60 à 1 m/s en moyenne.

Ce procédé permet d'éliminer : le bois, le plastique, les papiers afin de protéger le matériel de la station contre les obstructions.

### ***1.1.2. Le dessablage***

Le dessablage consiste à retenir les sables entraînés avec l'eau. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe.

### *1.1.3. Le débouillage*

Le débouillage est une étape de séparation solide liquide qui précède la clarification des eaux de surface particulièrement chargée.

Le but de cette opération est d'éliminer la majorité des matières en suspension de l'eau brute, lorsque ces derniers dépassent une concentration de 2g/l et cela par ajout des réactifs chimiques permettant la formation de boues concentrées.

## *1.2 Procédés de traitement*

### *1.2.1. Préchloration*

La préchloration (ou préoxydation) permet essentiellement la dégradation des matières organiques afin de faciliter les opérations qui suivent. Les opérations de la préchloration peuvent être :

- L'oxydation de composés minéraux comme le Fer et le Manganèse ou l'Ammoniaque.
- L'élimination des goûts et des odeurs et l'oxydation de la matière organique.
- L'inhibition de la croissance algale dans les ouvrages de clarification.
- L'amélioration de la coagulation, floculation.
- Le maintien des ouvrages en bon état.

Pour chaque type de qualité d'eau, un essai pour la détermination de la consommation du chlore est effectué, c'est la demande en chlore.

### *1.2.2 Coagulation floculation*

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 répulsions intercolloïdales. Ces deux points confèrent aux colloïdes une vitesse de sédimentation extrêmement faible (que l'on peut même considérer comme nulle dans le cadre du traitement de l'eau).

La coagulation-floculation est un procédé permettant, en deux temps, de s'affranchir de cette absence de sédimentation.

La coagulation est un traitement visant à neutraliser les charges électrostatiques en surface des particules colloïdales. En effet ces matières en suspension portent des charges généralement négatives induisant des forces de répulsion entre les particules. C'est une étape indispensable et cruciale dans le traitement des eaux de surface. Elle permet d'éliminer les matières en suspension, la turbidité, la matière organique, la couleur, etc....

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde 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- CHAPMAN. 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.

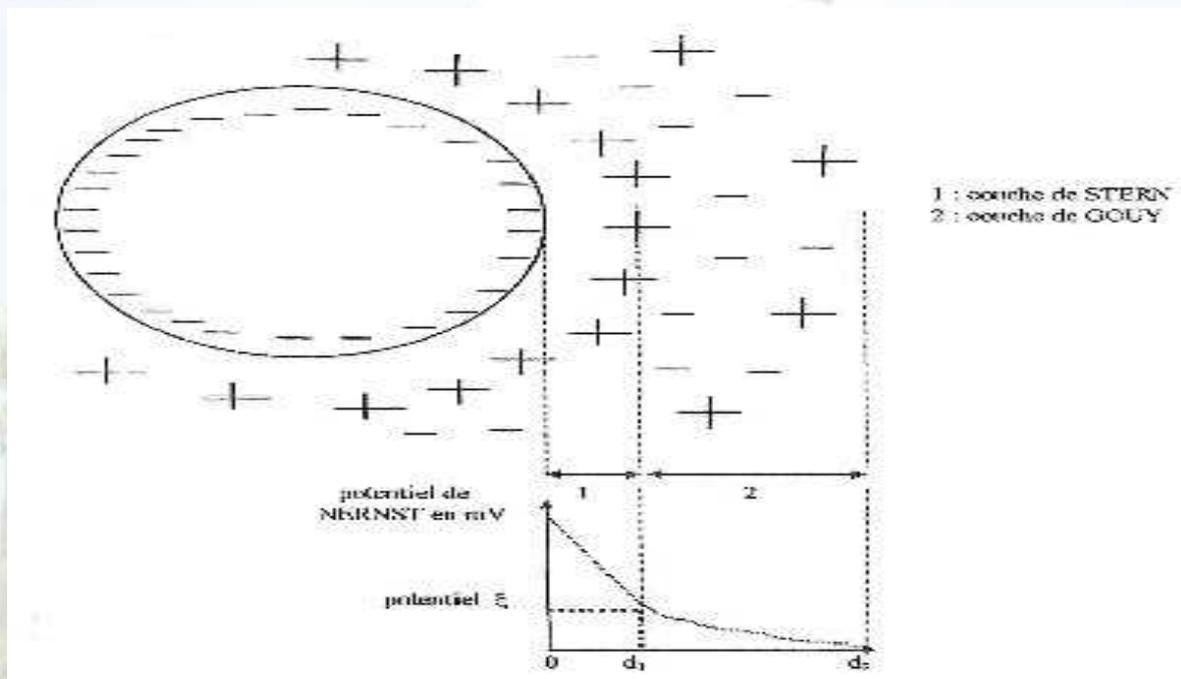


Figure 8 : Structure de colloïde

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 appelée 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.

Remarque : Pour déterminer le potentiel Zêta on utilise le zétamètre.

Les réactifs coagulants les plus utilisés sont :

- Le sulfate d'alumine.
- Le chlorure ferrique.

La floculation est un traitement produisant des agglomérats (flocs) de fines particules décantant beaucoup plus rapidement que les particules individuelles. Le réactif utilisé favorisant la floculation est le polyélectrolyte.

Les réactifs et leurs doses sont déterminés par des essais de traitement en fonction de chaque qualité d'eau : Essai Jar Test.

### *1.2.3 La décantation*

Elle consiste en un dépôt de matières en suspension au fond du bassin d'un décanteur.

Les décanteurs sont des ouvrages dans lesquels on réalise une séparation solide liquide c'est à dire entre les flocs et la phase aqueuse. Les flocs ont tendance à précipiter avec une vitesse plus ou moins grande que l'on augmente par les traitements de coagulations et de floculation.

Il existe de nombreux types de décanteurs utilisés à l'ONEP :Le décanteur circulaire, pulsateur, lamellaire...

On dimensionne essentiellement un décanteur par son débit, qui définit une surface et sa vitesse ascensionnelle. La vitesse ascensionnelle des eaux est donnée par le rapport entre le débit et la surface :  $V \text{ (m/h)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / S \text{ (m}^2\text{)}$ .

En principe, il faut et il suffit que la vitesse ascensionnelle soit inférieure à la vitesse de chute des flocs pour que l'eau soit totalement clarifiée.



### *1.2.4 La filtration*

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux.

La filtration sur le lit de sable élimine les derniers floccs, les particules en cours présentes dans l'eau sont alors retenues au fil au cours de leur cheminement dans le filtre (nettoyé régulièrement par l'envoi d'eau et d'air à contre courant pour permettre aux floccs de se détacher des grains de sable).



### 1.2.5 La désinfection

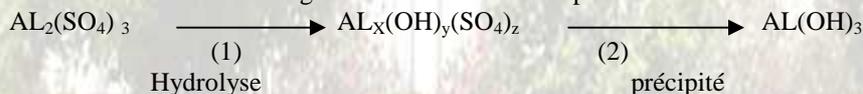
La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes pathogènes susceptibles de transmettre des maladies. Elle permet également de favoriser la coagulation et de protéger les ouvrages (décanteurs et filtres) contre le développement algal et peut être réalisée par des produits chimiques tels que: le Chlore, le Dioxyde de chlore, l'Ozone, le Brome, l'Iode, le Permanganate de Potassium ou par des moyens physiques tels que : l'ébullition, l'ultraviolets, les rayons gamma...

## II. Réactifs de traitement

Les réactifs de coagulation sont des produits d'origine minérale, des polymères naturels ou de synthèse.

### II .1 Sulfate d'alumine

La mise en solution d'un coagulant se déroule en 2 étapes :



Il est utilisé sous forme liquide(645ppm) ou solide(666pm). La forme solide se présente en plaquettes concassées, en noisettes ou en poudre de formule théorique  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ . Ce produit est défini en général par sa teneur en alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ; soit 17% environ.

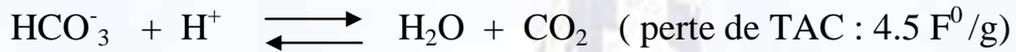
La forme liquide, comme la forme solide, est définie par sa teneur en alumine; cette concentration se situe en général entre 8 et 8,5 %.

Le sulfate d'aluminium étant le sel d'une base faible (hydroxyde d'aluminium) et d'un acide fort (acide sulfurique), ses solutions aqueuses sont très acides; leur pH varie entre 2 et 3,8 suivant le rapport molaire sulfate/ alumine.

La réaction de base est la formation d'un précipité d'hydroxyde d'aluminium avec libération d'une certaine acidité :

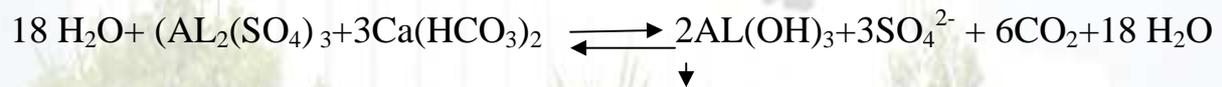


Cette acidité peut réagir sur certaines espèces en solution, notamment sur les ions bicarbonates :



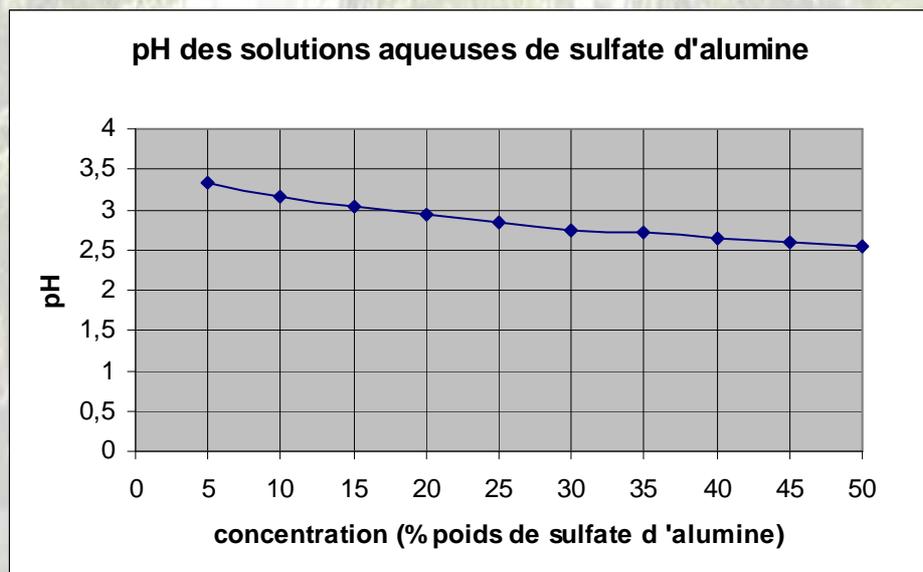
Cette acidité peut être compensée lors de l'ajout du coagulant par l'adjonction d'une base (chaux, soude, carbonate de sodium).

La réaction globale est :



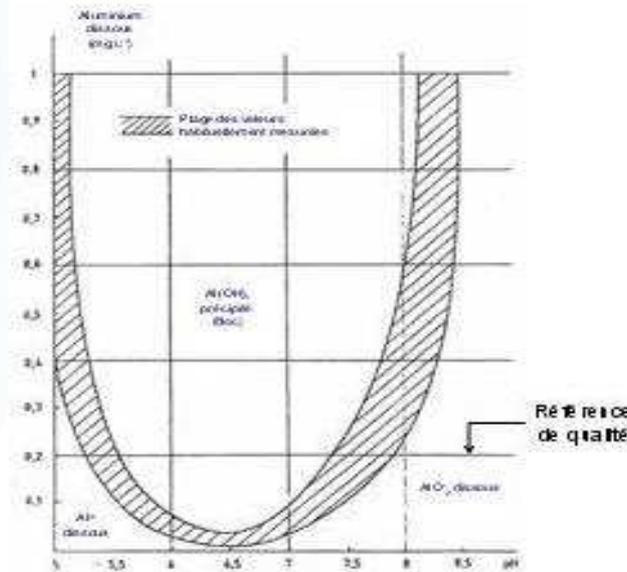
Dans des conditions de pH appropriées, l'hydroxyde d'aluminium est insoluble et peut former un polymère qui se présente comme un floc léger assez fréquemment utilisé pour la production de l'eau potable.

La figure ci-dessous montre que nous avons à faire à un produit nettement acide.



L'aluminium est un amphotère qui est soluble sous forme d'aluminate aux pH acides et sous forme d'hydroxyde aux pH basiques. Le minimum de solubilité se manifeste proche de la neutralité. (5.8-7.2) (pH)

Le graphique (Aluminium dissous (mg/l) en fonction du pH) illustre clairement la zone de pH après la floculation qui limitera l'aluminium soluble résiduaire:



La solubilité de l'aluminium dans l'eau augmente avec :

- le pH (évolution exponentielle) ;
- la température de l'eau (évolution proportionnelle) ;
- le taux de coagulant (évolution proportionnelle) ;

mais aussi avec les caractéristiques chimiques de l'eau (minéralisation – TAC – présence de fluor et de phosphates qui augmentent la solubilité de l'aluminium). Il ne peut donc être défini une zone de pH fixe pour toutes les eaux brutes, correspondant au minimum de solubilité.

Le pH optimal de coagulation floculation pouvant varier de 6 à 7,4. La zone hachurée du graphique donne l'ensemble des valeurs habituellement mesurées, la limite intérieure de la zone concerne les faibles dosages en coagulant. Il est à noter que dans tous les cas le minimum de solubilité correspond à un pH de l'ordre de 6,5.

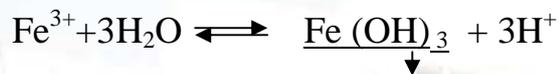
## II .2. Chlorure ferrique

Le chlorure ferrique existe sous forme solide et liquide, cette dernière étant la plus utilisée.

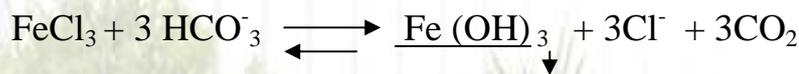
La forme solide a l'aspect d'une masse cristalline jaune brun de formule théorique  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ; elle doit être maintenue à l'abri de la chaleur, car elle fond dans son eau de cristallisation à  $34^\circ\text{C}$ .

La forme liquide commerciale est obtenue par dissolution du fer en milieu acide chlorhydrique avec formation de chlorure ferreux. Celui-ci est ensuite oxydé par le chlore en chlorure ferrique. La solution aqueuse ainsi obtenue de coloration rouge brune contient 40% de  $\text{FeCl}_3$  (570g/l).

Le chlorure ferrique est employé comme coagulant. La concentration de la solution à introduire pour le traitement est d'environ 200g/l d'eau, est contrôlée par densimétrie et mise en œuvre par une pompe doseuse.  $\text{FeCl}_3$  agit efficacement dans une large gamme de pH comprise entre 4 et 8.5 d'où une économie de la consommation des réactifs pour ajuster le pH et des flocculants.



La réaction globale est:



À l'état liquide, il présente un certain nombre d'avantages relatifs à son acheminement (pas de perte de produits et l'économie énergétique des mélangeurs).

En revanche, le chlorure ferrique est toxique et hautement corrosif. La forme anhydre est un agent déshydratant très puissant. Il doit être manipulé avec précautions.

Il a un caractère d'acide fort et présente donc tous les risques dus aux produits corrosifs. Des projections dans les yeux peuvent causer des brûlures graves. Il faut porter des lunettes quand on le manipule. Une éclaboussure sur la peau doit être lavée sans délai. Un contact prolongé cause une irritation et peut provoquer une brûlure.

Il ne faut jamais le mettre dans une bouteille ou un récipient à usage alimentaire afin d'éviter toute confusion avec une boisson.

### ***II .3. Polyhydroxychlorosulfate d'aluminium (P.C.B.A) ou WAC***

Le polyhydroxychlorosulfate d'aluminium est un polychlorosulfate basique d'aluminium dont la formule est :(perte de TAC  $1^{\circ}\text{F} / \text{g}(\text{wac})$ )



dans laquelle, pour une valeur de n égale à l'unité, m est compris entre 1,35 et 1,80. Par rapport au chlorure d'aluminium on voit qu'environ 50% des anions ont été remplacés par des radicaux hydroxyles. On parle donc pour ce type de produit de <basicité>, celle-ci étant définie par le rapport :  $(m/3n)*100$ .

Le **P.C.B.A** est préparé par neutralisation progressive du chlorure d'aluminium par la soude. Des polymères d'aluminium se forment de façon homogène au cours de la neutralisation.

D'une part et contrairement à ce qui précède, le **P.C.B.A** est une molécule dont la constitution s'apparente à celle d'un polymère minéral de poids moléculaire élevé. En phase aqueuse il se forme un complexe polynucléaire d'ions hydroxo-aluminium qui ont un caractère cationique marqué.

D'autre part, la nature des anions présents dans la molécule modifie le type de polymérisation. L'intérêt de l'ion sulfate est de permettre la formation de polymère de taille considérable tout en ayant un produit commercial concentré et stable.

Lors de la coagulation on a donc un double mécanisme d'action : le premier classique propre aux coagulants minéraux, le second comparable à celui des polyélectrolytes organiques donne lieu à une sorte d'interaction mutuelle entre les polymères d'aluminium et les colloïdes. Cette constitution du **P.C.B.A** lui confère des propriétés exceptionnelles comme agent de coagulation et de floculation dans le traitement des eaux. L'efficacité coagulante par rapport au matières colloïdales et à dosage égale en ions  $\text{Al}^{3+}$ , 1.5 à 2.5 supérieure à celle des autres sels d'aluminium utilisés dans le même but. L'emploi d'adjuvant de floculation tels que la silice activée ou polyélectrolytes organiques peut, dans la majorité des cas être éliminé.

L'augmentation de la vitesse de la décantation des floccs permet d'augmenter la capacité de traitement des équipements installés ou de réduire, à capacité égale, le coût des investissements futurs.

Le WAC ou P.C.B.A possède maintes propriétés et avantages économiques qu'on peut regrouper dans le tableau ci dessous:

Propriétés	Avantages économiques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicité d'emploi : grâce à sa forme liquide, le WAC est très facile à manipuler et il peut être injecté à l'aide d'un matériel classique.</li> <li>-Efficacité coagulante et floculante : formation des floccs de taille appréciable, de dimension uniforme et qui décantent très rapidement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Economie de réactif de neutralisation : sa quantité nécessaire pour ramener l'eau à son pH d'équilibre est nettement moins importante qu'avec les autres sels métalliques de fer ou d'aluminium. ce fait est dû à la constitution chimique du WAC.</li> </ul>

- Emploi dans une large gamme de pH : entre 6 et 9 et dans certains cas il est possible de traiter l'eau à des pH compris entre 5 et 10.

- Emploi dans des unités surchargées : la vitesse de réaction est très élevée donne la possibilité de surcharger les installations sans diminuer pour autant la durée de vie des filtres.

- Efficacité en présence de turbidité élevée.

- Economie d'adjuvant de floculation.  
- consommation minimum de TAC

## **Chapitre II: Méthodes expérimentales**



Maintes analyses jugées primordiales pour la détermination des paramètres physico-chimiques de l'eau et le suivi de sa qualité, sont effectuées au niveau du laboratoire central.

Nous allons donc décrire les différents matériels ainsi que les méthodes de mesures utilisées.

## I. chimie complète

### I.1. Détermination de la turbidité

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

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'Opacimétrie.

➤ L'effet Tyndall : un liquide trouble s'éclaire vivement lorsqu'il est traversé par un faisceau lumineux, dû à la présence de particules insolubles en suspension diffusant latéralement une partie des rayons lumineux.

➤ L'opacimétrie : les éléments en suspension dans un liquide absorbant certaines radiations, cette absorption dépend principalement du nombre de particules en suspension, de leurs constitutions, de l'épaisseur du liquide traversé et enfin de la longueur d'onde de la radiation incidente.

L'unité utilisée est « formazines »FTU ou « néphélobimétrie »NTU.



Matériel : Turbidimètre

### I.2. Mesure de la température

Vu le rôle que joue la température dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité électrique, il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision.

Dans les eaux superficielles, la température est influencée par la température atmosphérique et ceci d'autant plus que leur origine est moins profonde.

La mesure de la température doit être effectuée sur place, au moment du prélèvement de l'échantillon, soit avec un thermomètre soit avec une sonde.

### **I.3. Mesure du pH**

Définition : Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline et il est fonction de l'activité des ions hydrogène  $H^+$  présents dans cette eau.

Dans les eaux naturelles cette activité est due à des causes diverses en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels.

$$pH = -\log [H^+]$$

La mesure du pH se réalise par deux méthodes :

-Soit par colorimétrie à l'aide d'indicateurs colorés. Cette méthode est valable pour la mesure du pH sur le terrain et ne doit être utilisée que pour des eaux naturelles dont le pH est compris entre 6 et 9.

-Soit par potentiomètre à l'aide d'électrode de verre. Cette méthode peut être utilisée pour la mesure du pH de tous les types d'eaux.

#### **Mesure potentiométrique du pH :**

Principe : Le principe de base de cette mesure est la détermination de l'activité des ions hydrogène et une électrode de référence.

#### **Matériel :**

- pH mètre : appareil constitué d'un montage potentiométrique amplificateur spécialement construit pour la mesure du pH accompagné d'une sonde pour récompenser la température.



Le pH de l'eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5. Des pH inférieurs à 7 peuvent provoquer une corrosion des tuyauteries métalliques.

#### I.4. Potentiel d'hydrogène de saturation (pHs)

Le pHs est le pH d'eau traité saturé en carbonate de calcium.

Principe : Le CO<sub>2</sub> réagit avec l'eau pour former un acide carbonique, ce dernier réagit une deuxième fois pour donner l'ion hydrogène-carbonate et l'ion carbonate.

L'ajout de carbonate de calcium CaCO<sub>3</sub> à l'eau donne la réaction suivante :



\*Si le pH-pHs < 0 l'eau est dite agressive.

L'équilibre se déplace dans le sens de disparition du calcaire.

\*Si le pH-pHs > 0 l'eau est dite incrustante.

L'équilibre se déplace dans le sens de dépôt du calcaire.

\*Si le pH-pHs = 0 l'eau est en équilibre calcocarbonique.

Mode opératoire : On remplit un flacon de 250ml d'échantillon, on ajoute une spatule de CaCO<sub>3</sub>.

On lance l'agitation pour trois heures puis on laisse décanter 24 heures.

On mesure le pH du surnageant, à l'aide d'un pH-mètre, qui représente le PH de saturation.



#### I.5. Détermination de l'alcalinité

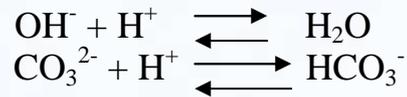
Définition : L'alcalinité d'une eau est sa teneur en ions hydroxydes OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Une solution est d'autant plus alcaline (ou basique) que son pH est élevé au dessus de 7. On distingue dans la mesure de l'alcalinité : le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet.

Réactif :

- Acide chlorhydrique.
- Indicateurs colorés : le phénophtaléine et l'hélianthine.

### ***1.5.1 Le titre alcalimétrique***

Il correspond à la neutralisation des ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  et la moitié des ions carbonates qui le transforme en hydrogène-carbonate  $\text{HCO}_3^-$  par un acide fort  $\text{HCl}$  en présence d'un indicateur coloré : le phénophtaléine.



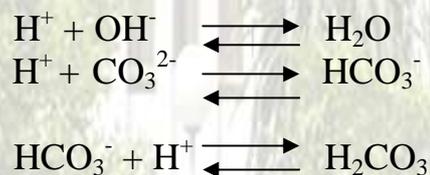
**Mode opératoire** : Introduire dans un erlenmeyer 100ml de l'échantillon, ajouter 1 à 2 gouttes du phénophtaléine Deux cas peuvent se présenter : soit la couleur de la solution devient rose ou bien la solution reste incolore.

\*Si la couleur est rose : l'eau est alcaline, on fait le dosage alcalimétrique en remplissant la burette de l'acide chlorhydrique, versant goutte à goutte jusqu'à la disparition de la couleur. On note le volume versé.

\*S'il ne se produit pas de coloration : l'eau est acide ( $\text{TA}=0$ ) on passe directement au titre alcalimétrique complet.

### ***1.5.2. Le titre alcalimétrique complet***

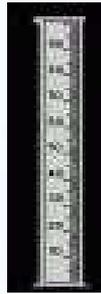
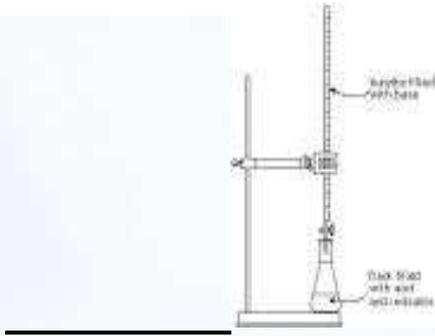
Il correspond à la neutralisation des ions hydroxydes  $\text{OH}^-$ , carbonates et bicarbonates par un acide fort en présence d'un indicateur coloré l'Hélianthine.



**Mode opératoire** : On ajoute au contenu de l'erlenmeyer ayant servi à la détermination de TA, 2 gouttes de l'hélianthine : on constate une coloration jaune puis on réalise le titrage par l'acide chlorhydrique en agitant après chaque goutte versée jusqu'à l'apparition de la couleur jaune orange.

### ***1.5.3. Le titre alcalimétrique complet de saturation (TACs)***

**Mode opératoire** : On remplit un flacon de 250ml d'échantillon, on ajoute une spatule de  $\text{CaCO}_3$  puis on lance l'agitation pendant 3 heures. On laisse décanter pendant 24 heures, on filtre l'échantillon et on mesure le titre alcalimétrique complet.



## I.6. Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium

Définition : L'indice permanganate d'une eau correspond à la quantité d'oxygène exprimée en milligrammes par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau dans les conditions définies par la présente norme.

Toute activité biologique est génératrice de composés organiques. Ces composés dérivent donc des sols, des organismes vivants et principalement de l'activité humaine (rejets agricoles, industriels, domestiques). L'oxydabilité permet de façon indirecte d'évaluer la quantité de matières organiques contenues dans l'eau.

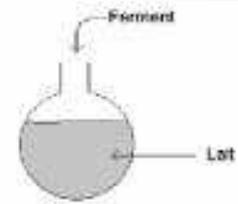
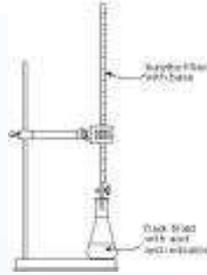
Principe : Oxydation, par un excès de permanganate de potassium, par de l'oxalate de sodium et titrage en retour de l'excès d'oxalate de sodium par le permanganate de potassium.

### Matériel :

- Dispositif permettant de porter à ébullition.



- Burette d'une capacité de 25 ml, en verre brun, graduée en 0,05 ml.



Mode opératoire : Dans une fiole rodée on met 100 ml de l'échantillon, on ajoute 2 ml de l'acide sulfurique concentré et 10 ml du permanganate de potassium puis on chauffe au bain marie à  $100^{\circ}$  pendant 13 minutes. On ajoute 1ml d'acide d'oxalique pour réduire le  $\text{KMnO}_4$  puis on réalise le dosage en retour par le permanganate de potassium.

### **I.7. Détermination du chlore résiduel libre**

Généralités : Ajouté à l'eau brute, le chlore réagit avec les matières organiques et les autres substances qui détruisent son pouvoir désinfectant. Pour qu'il ait un pouvoir bactériostatique, il faut donc en ajouter en excès, c'est-à-dire assez pour qu'il en reste après réaction avec les différentes substances présentes.

Définition : Le chlore est suivant la valeur du pH sous forme d'acide hypochloreux ou d'hypochlorite ou les deux à la fois. Le chlore résiduel peut être sous forme de dioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ ) quand ce dernier produit est utilisé pour la désinfection.

Mode opératoire : Introduire 5ml d'eau à analyser dans un tube à essai. Ajouter 5 gouttes de solution d'orthotolidine et effectuer la lecture avec un comparateur.

### **I.8. Détermination de la teneur en aluminium**

L'aluminium est un élément métallique très abondant dans la croûte terrestre, puisqu'il participe pour 8% à sa constitution. L'eau étant un solvant puissant, il est donc naturel de trouver de l'aluminium dissous dans les eaux brutes. L'emploi de coagulant à base d'aluminium constitue de plus un apport artificiel d'aluminium au cours de la clarification dans les usines de traitement d'eau potable. il a été mis l'hypothèse que ce métal pouvait constituer un facteur de risques dans le développement ou l'accélération de la maladie d'Alzheimer. La lecture de sa teneur se fait par colorimétrie à l'aide d'un comparateur.

## I.9. Détermination de la teneur en fer et manganèse

Le fer et le manganèse, abondants à l'état naturel dans tout type de roches se retrouvent à l'état dissous dans bon nombre d'eaux souterraines, dont les eaux minérales. Ces deux éléments sont solubles à l'état réduit mais insolubles à l'état oxydé. il va être nécessaire de les éliminer ou d'en abaisser les concentrations, afin d'éviter des désagréments organoleptiques. la lecture de leur teneur se fait également par colorimétrie à l'aide d'un comparateur.

## II. Détermination des doses optimales de réactifs ajoutés dans l'eau brute

### II.1 Demande en chlore

Cette méthode permet de déterminer la quantité de chlore à injecter dans l'eau brute.

La préchloration et la désinfection constituent l'étape de traitement qui élimine tous les germes pathogènes et contribue à clarifier l'eau destinée à la distribution.

L'eau du robinet contient une légère dose de chlore pour transiter sans aléa dans les canalisations. L'homme est plus au moins sensible à l'odeur et au goût du chlore de ce traitement : Le seuil de sensibilité est de 0,4 mg/litre.

Pour déterminer la demande en chlore, on détermine le titre d'eau de javel.

On ajoute 10ml de KI à 1%, 10 ml d'acide acétique et 1ml d'eau de javel et 2 gouttes d'empois d'amidon et on titre avec le thiosulfate de sodium de normalité 0,1N jusqu'à ce que la solution devienne incolore.

La réaction globale est :



Titre d'eau de javel en g/l = Tombée de burette \* 3.55

#### □ Notion du break point:

*-Eau sans ammoniacque:*

Lorsque l'on ajoute du chlore en quantités croissantes à l'eau et que l'on mesure après un temps de contact donné (en général 30min) le chlore résiduel total et le chlore libre, on constate que sa teneur est nulle jusqu'à un certain taux du chlore injecté, à partir duquel il est décelé du chlore résiduel total. Cette consommation de chlore représente la demande en chlore de l'eau. Ensuite, le chlore résiduel total augmente proportionnellement avec le taux de chloration.

*- Eau contenant de l'ammoniacque:*

On retrouve le phénomène de la demande en chlore, puis en augmentant le taux de chloration, la teneur en chlore résiduel total:

- commence par croître.
- puis décroît jusqu'à un minimum, c'est le Break point.
- et de nouveau, se remet à croître.

Le chlore libre est nul tant que le chlore résiduel total n'a pas atteint ce minimum, et ce n'est qu'au delà qu'il commence à croître.

Le chlore combiné commence par croître puis décroît constamment. En effet:

-le chlore introduit est consommé prioritairement par les matières inorganiques (azotées, phénoliques) pour donner du chlore combiné (chloramines, les chlorophénols et les trihalométhanes) à faible pouvoir germicide.

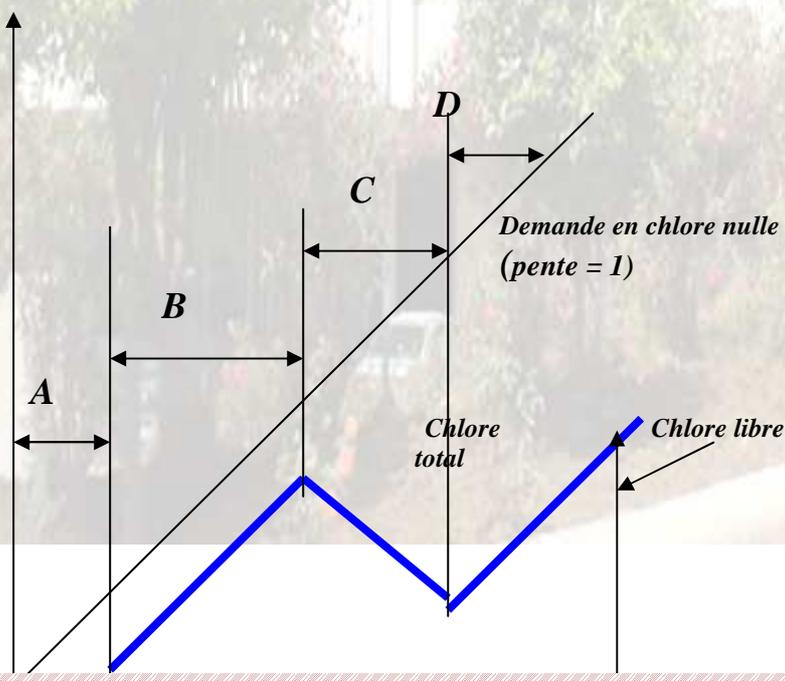
-dans un deuxième temps, le chlore ajouté sert à détruire le dichloramines .

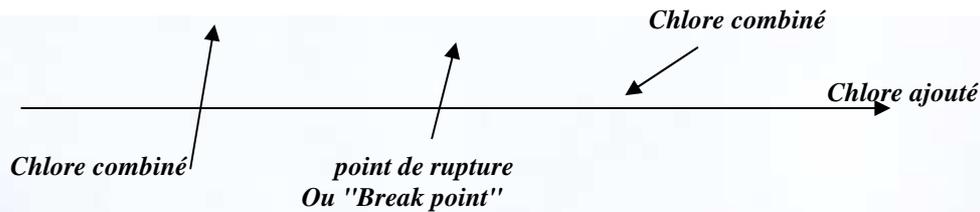
-dans une troisième phase, le chlore ajouté possède les propriétés désinfectantes recherchées et constitue le chlore libre résiduel (acide hypochloreux et hypochlorite).

Pratiquement, pour être sur de chlorer au delà du BP, il faudra avoir dans l'eau un chlore résiduel libre d'au moins 0,4 mg/l et une différence entre chlore résiduel total et chlore résiduel libre aussi faible que possible.

-On prépare une solution diluée d'eau de javel de concentration 0.1 mg/l à partir de laquelle on prépare des solutions de concentration 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 et 5mg/l. on laisse au repos 30min et on mesure le chlore résiduel libre à l'aide du comparateur. On trace le taux du chlore résiduel en fonction du chlore injecté, et on détermine le BP qui correspond à la demande en chlore.

Chlore résiduel(ppm)





Avec:

**A** : oxydation des composés minéraux.

**B** : formation de composés organiques et de chloramines, réduction des monochloramines et des dichloramines, formation et réduction des trichloramines; Break point, les monochloramines, dichloramines et trichloramines ont disparues.

**C** : destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire,

**D**: production de chlore actif. Tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux mais il reste un résiduel de trichloramines.

## II.2. JAR-TEST

Méthode qui permet de déterminer la nature des doses optimales de chaque réactif à ajouter dans l'eau pour sa clarification dans la station de traitement.

Matériel :

- Un flocculateur de laboratoire avec 6 agitateurs à hélice entraînés par un moteur électrique à vitesse variable en continu.
- Bêchers pouvant contenir 1 litre d'eau à traiter.
- Verrerie de laboratoire.
- Papier filtre bande blanche.

Réactifs :

Solutions mères de réactifs coagulants : on prépare des solutions de concentration de 100g/l.

Mode opératoire :

Avant d'entreprendre le jar test, un certain nombre de déterminations doivent être effectuées sur l'eau brute, celles-ci concernent :

- Le pH,
- L'alcalinité (TA et TAC),
- L'oxydabilité à chaud en milieu acide,
- La turbidité (sur eau brute et sur eau après filtration sur papier bande blanche),
- Les matières en suspension (MES),
- La température de l'eau au moment de l'essai,
- La demande en chlore de l'eau à traiter avec relevé du chlore résiduel, correspondant au <<break point>> éventuel,
- Fer, aluminium et manganèse par kits.

Ces déterminations permettent de se faire une première idée sur les réactifs à utiliser, elles doivent également permettre de juger l'efficacité de ces derniers par comparaison des résultats obtenus après le traitement effectué.

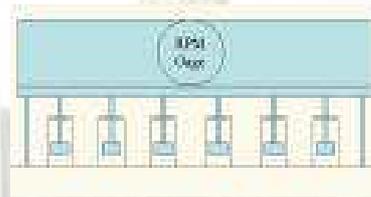
On remplit à l'aide d'une éprouvette d'un litre 6 béciers d'eau brute puis on injecte :

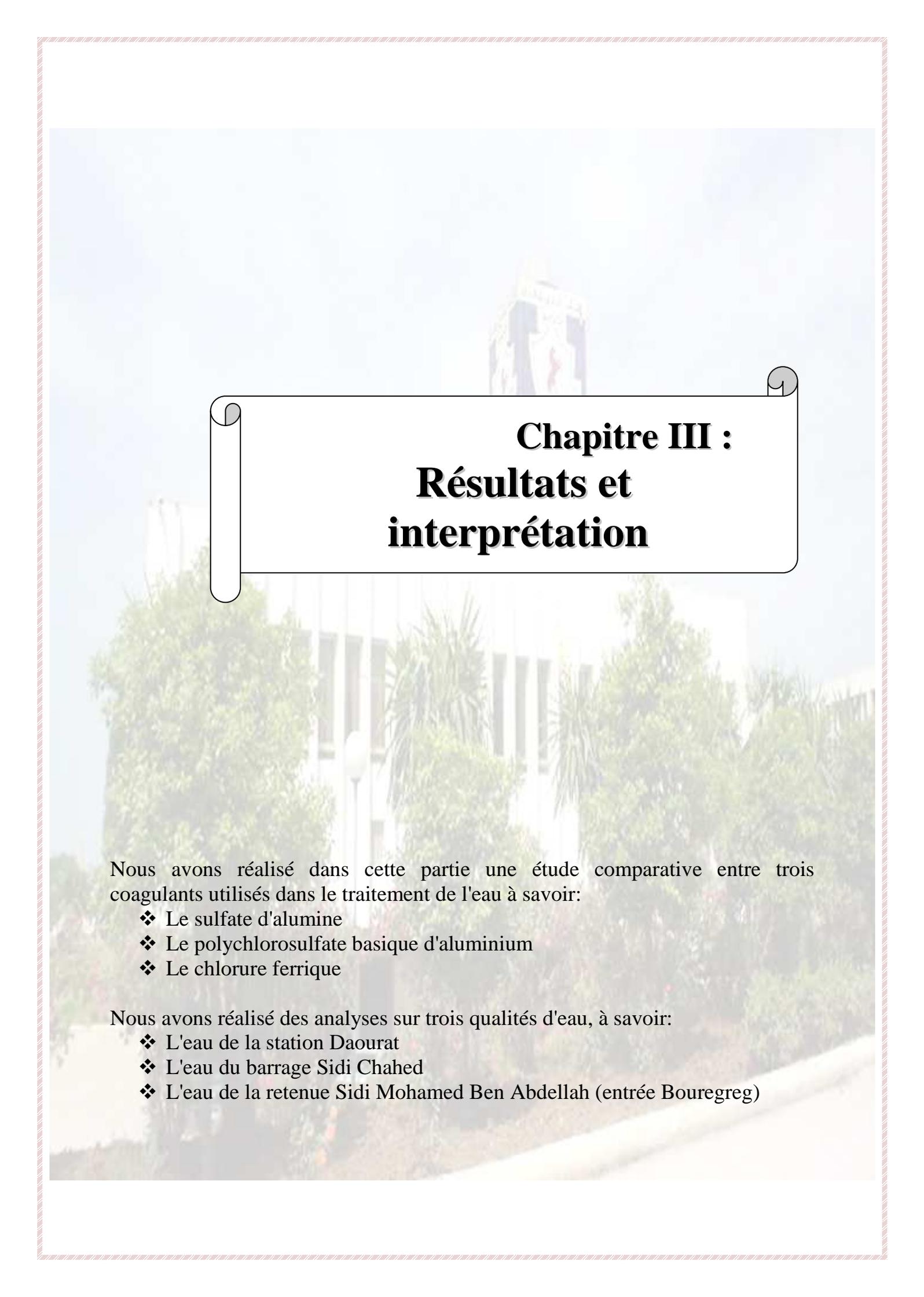
- La quantité de chlore obtenue lors de la demande en chlore sous agitation rapide pendant quelques secondes et on laisse au repos 20 minutes pour mesurer le chlore résiduel.

- Le sulfate d'alumine (5mg/l) par dose croissante avec une agitation de 120 tr/min pendant 2 minutes pour la coagulation. On met les béciers sous agitation mais avec une vitesse de 40 tr/min pendant 20 minutes pour la floculation. On Laisse décanter pendant 30 minutes et on remplit le bulletin de saisie après avoir effectuée les analyses suivantes:

- sur l'eau décantée : pH, turbidité, oxydabilité et chlore résiduel.

- sur l'eau filtrée: turbidité, TAC, Al, Mn et Fe. Le meilleur bécier qui donne de bons résultats est pris comme référence pour l'appliquer au niveau de la station.





## **Chapitre III : Résultats et interprétation**

Nous avons réalisé dans cette partie une étude comparative entre trois coagulants utilisés dans le traitement de l'eau à savoir:

- ❖ Le sulfate d'alumine
- ❖ Le polychlorosulfate basique d'aluminium
- ❖ Le chlorure ferrique

Nous avons réalisé des analyses sur trois qualités d'eau, à savoir:

- ❖ L'eau de la station Daourat
- ❖ L'eau du barrage Sidi Chahed
- ❖ L'eau de la retenue Sidi Mohamed Ben Abdellah (entrée Bouregreg)

Dans le but de déterminer la nature des doses optimales de chaque réactif à ajouter dans chaque qualité d'eau pour sa clarification, nous avons procédé par la méthode Jar test que nous avons décrit précédemment.

Nous avons travaillé avec des taux de traitement de l'ordre de 5, 10, 15, 20, 25 et 30mg/l. La comparaison des paramètres physico-chimiques a été effectuée au niveau des meilleurs bâteaux. Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux ci dessous.

### III.1. Eau de la station Daourat

D'après des études préalables déjà établies à l'ONEP, le taux du coagulant (SA) du meilleur bâteau appartenait à la gamme 10, 15 et 20 mg/l, c'est pourquoi nous avons choisi de travailler dans cette gamme pour les deux coagulants.

concentration réactif (mg/l)	Eau brute	SA			WAC		
	0	10	15	20	10	15	20
pH	7.88	7.67	7.46	7.35	7.51	7.35	7.28
TAC (méq/l)		2.48	2.4	2.26	3.4	3.34	2.95
Turbidité décantée (NTU)	5.8	0.34	0.38	0.33	0.38	0.23	0.36
Turbidité colloïdale (NTU)	0.99	0.2	0.23	0.22	0.31	0.22	0.33
DAF (min,s)		0.2	0.2	0.2	3	3	3
ASF		4	6	6	2	2	2
VS		M	M	M	L	L	L
Oxydabilité (mg O <sub>2</sub> /l)		1.6	1.56	2.6	1.6	2.12	2.2
Cl <sub>2</sub> résiduel (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0
Al (mg/l)	0.5	0.35	0.07	0.07	0	0.07	0.12
Mn (mg/l)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0

DAF : délai d'apparition des floes,

ASF : aspect des floes,

1 : pas de floes

2 : légère opalescence,

4 : petits points,

6 : floes de dimension moyenne,

8 : bon floes

10 : excellents floes.

VS : vitesse de sédimentation

L : lente,

M : moyenne,

R : rapide.

D'après le tableau ci-dessus et après une comparaison des résultats, On peut dire que le meilleur bâteau présentant les meilleurs résultats est :

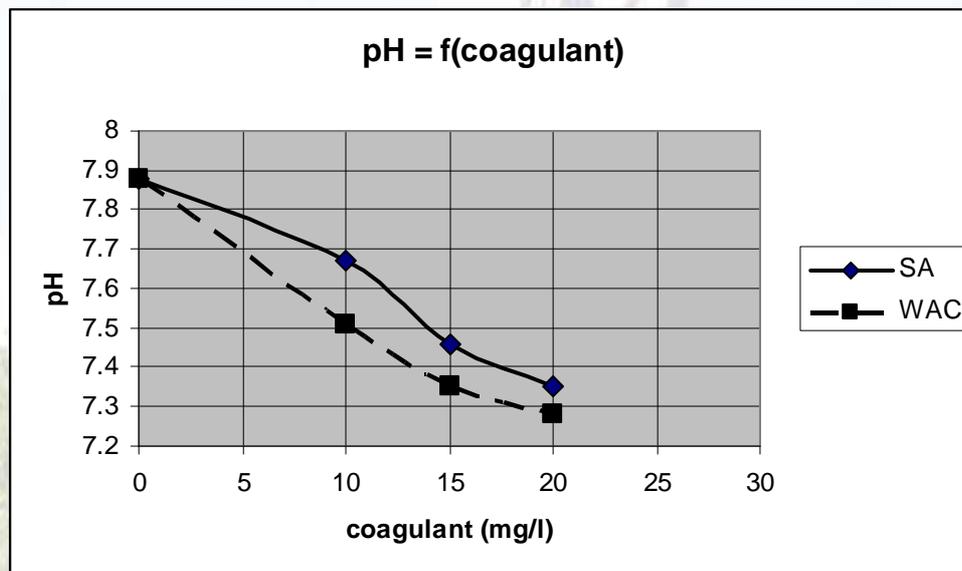
\* Celui où on a injecté 15 mg/l de sulfate d'alumine

\* Celui où on a injecté 10 mg/l du WAC

On peut constater déjà que le taux du traitement par le WAC est nettement plus inférieur que celui du sulfate d'alumine.

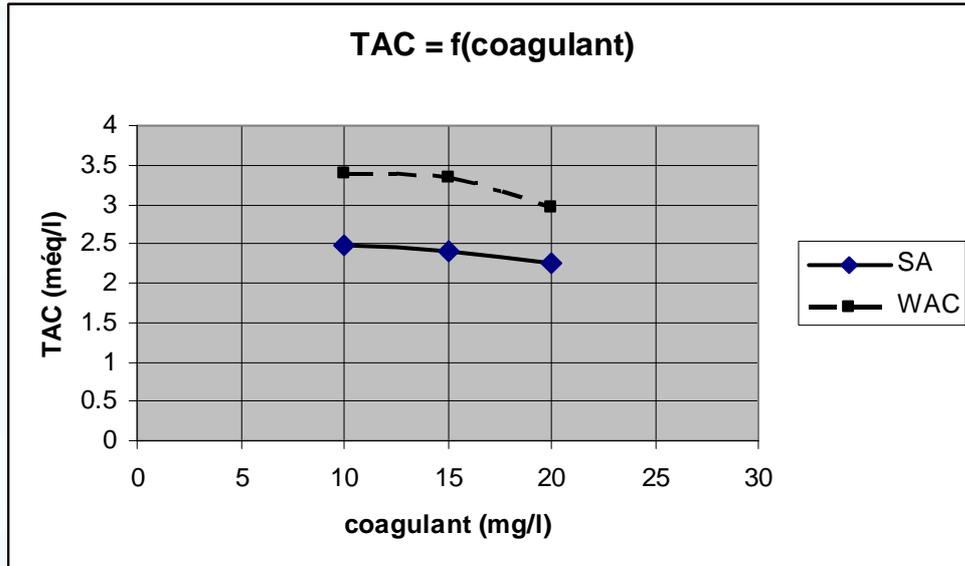
**Représentation graphique de la variation des paramètres physico-chimiques avec celle du taux de traitement :**

- pH :



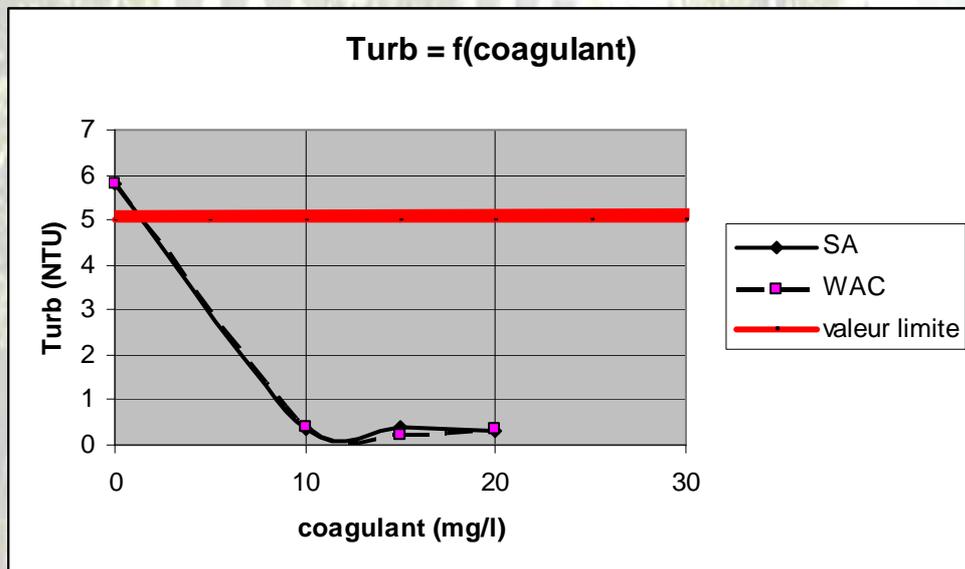
Le pH du meilleur bêcheur du SA est assez inférieure par rapport à celui du WAC.

- TAC :



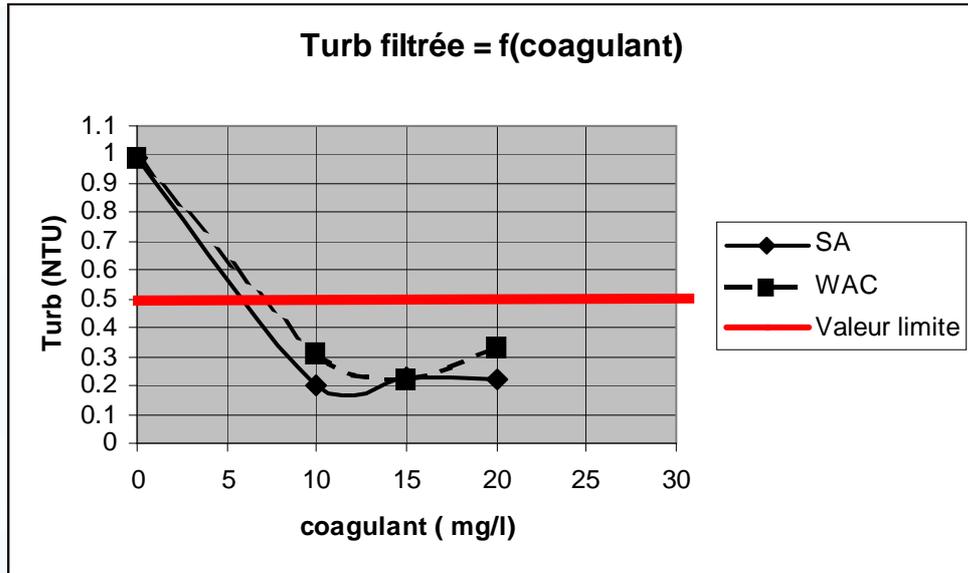
Conformément à ce qui était prévu, le TAC du meilleur bêcher du SA est inférieur à celui du WAC suivant la différence de pH.

- Turbidité décantée :



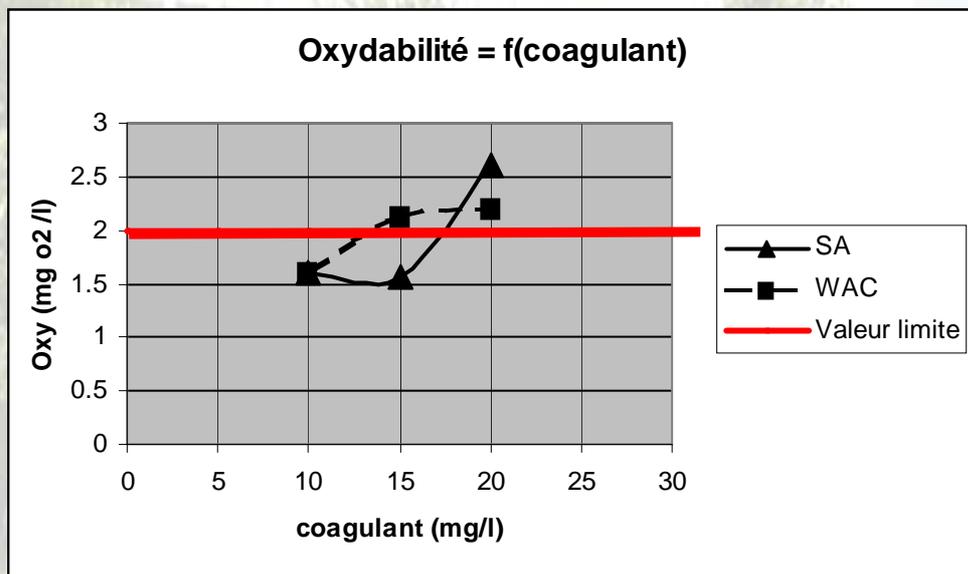
Les valeurs de turbidités d'eau décantée sont approximativement identiques et sont toutes inférieures à la valeur limite de traitement.

- Turbidité filtrée :



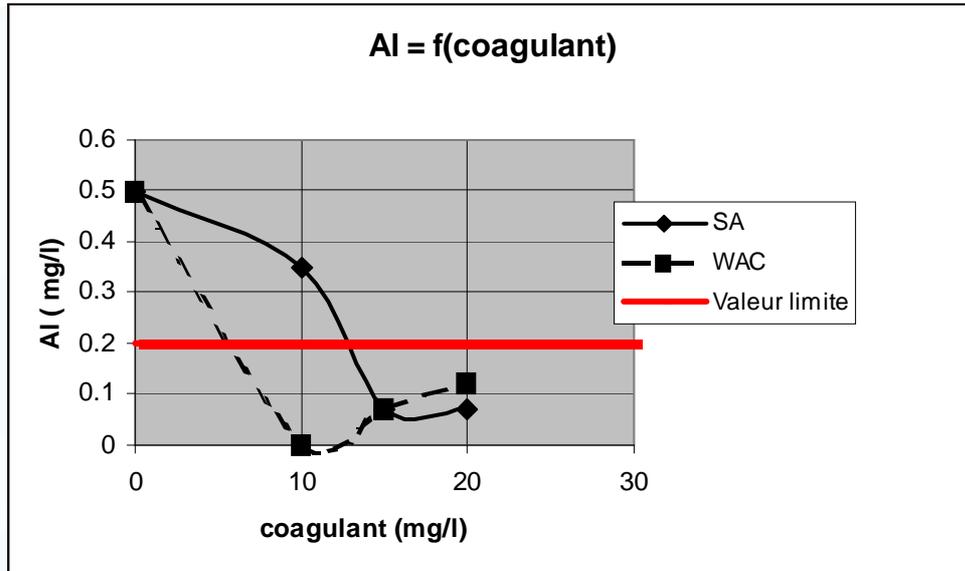
La turbidité de l'eau filtrée traitée par le SA est légèrement inférieure à celle traitée par le WAC sans qu'ils dépassent la valeur maximale admissible.

- Matières oxydables :



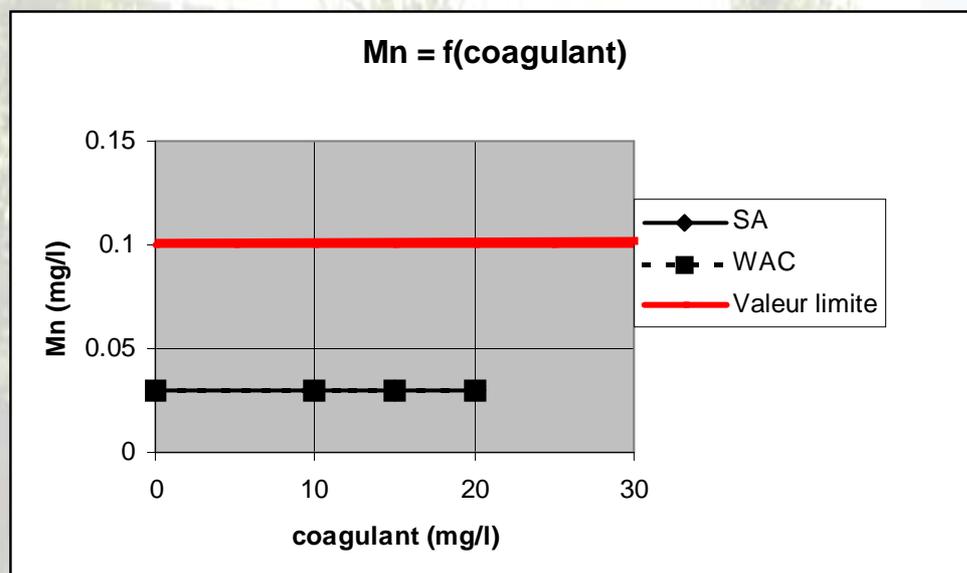
Le taux des matières oxydables est également identique pour les deux coagulants et inférieur à la norme.

- Taux d'aluminium résiduel:



On remarque qu'il n'y a aucune trace d'aluminium dans l'eau traitée par le WAC, contrairement à celle traitée par le SA représentant une faible teneur et inférieure à la valeur maximale admissible.

- Taux du manganèse :



On voit qu'aucun changement du taux de manganèse n'a eu lieu ni pour le WAC ni pour le SA.

Quant au fer, aucune trace n'a été trouvée suite à son absence dans l'eau brute et les deux coagulants utilisés.

Globalement on peut conclure qu'en utilisant le WAC :

- Du point de vue Qualité, il n'y a pas de différence entre l'eau filtrée traitée par le WAC et celle traitée par le sulfate d'aluminium.
- En ce qui concerne la simplification de l'exploitation, l'élévation du pH par la chaux ou la soude nécessaire pour ramener l'eau à son pH d'équilibre peut être supprimée.
- Enfin, du point de vue économique, le coût est plus élevé, les lavages de filtres colmatés étant plus fréquents. Ceci est dû à la formation des floccs qui sont assez lente.

Finalement on peut constater que l'emploi du WAC pour ce type d'eau n'apporte pas d'avantage par rapport au SA qui fournit aussi des résultats satisfaisants répondant aux normes exigées par le législateur.

### III.2. Eau du Barrage Sidi Chahed

concentration réactif (mg/l)	Eau brute	SA					
	0	5	10	15	20	25	30
pH	8.26	8.1	7.94	7.88	7.68	7.57	7.45
TA (méq/l)	0.34	0.56	0.56	0.5	0.48	0.5	0.44
TAC (méq/l)	3.24	3.1	2.9	3	3.2	3	3.6
Turbidité (NTU)	36.6	9.95	5.16	4.43	1.43	1.25	1.37
Turbidité colloïdale (NTU)	2.05	3.67	1.73	1.15	0.61	0.4	0.58
DAF (min,s)		1.4	1.4	1	0.2	0.2	0.2
ASF		4	4	6	8	8	8
VS		L	L	M	M	M	M
Oxydabilité mg O <sub>2</sub> /l)	3.92	3.04	2.72	2.48	2.68	2.72	2.24
Cl <sub>2</sub> résiduel (mg/l)		0.15	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15
Al (mg/l)	0	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mn (mg/l)	0.5	0.06	0.03	0	0.03	0.03	0.06
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0

concentration réactif (mg/l)	WAC					
	5	10	15	20	25	30
pH	7.87	7.77	7.57	7.4	7.33	7.23
TA	0.2	0.12	0	0	0	0
TAC	3.14	3.38	3.46	3.3	3.24	3.29

Turbidité	1.4	0.85	0.93	0.65	0.66	0.84
Turbidité colloïdale	0.86	0.43	0.41	0.31	0.17	0.28
DAF (min,s)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ASF	8	8	8	8	6	6
VS	R	R	R	R	R	R
Oxydabilité (mg O <sub>2</sub> /l)	2.96	2.72	2.32	2.24	2.2	2
Cl <sub>2</sub> résiduel (mg/l)	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.2
Al (mg/l)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.07	0.07
Mn (mg/l)	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0

concentration réactif (mg/l)	Chlorure ferrique					
	5	10	15	20	25	30
pH	7.75	7.55	7.37	7.22	7.13	7.01
TA	0.26	0	0	0	0	0
TAC	3.5	2.9	3.1	2.86	3.1	3.04
Turbidité (NTU)	2.89	1.51	1.29	1.67	0.83	1.7
Turbidité colloïdale (NTU)	0.59	0.36	0.27	0.47	0.41	0.39
DAF (min,s)	1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ASF	4	6	8	8	8	8
VS	M	R	R	R	R	R
Oxydabilité (mg O <sub>2</sub> /l)	2.16	1.68	2.32	1.6	1.76	1.6
Cl <sub>2</sub> résiduel (mg/l)	0.3	0.3	0.4	0.6	0.45	0.55
Al (mg/l)	0	0	0	0	0	0
Mn (mg/l)	0	0	0	0	0	0
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0

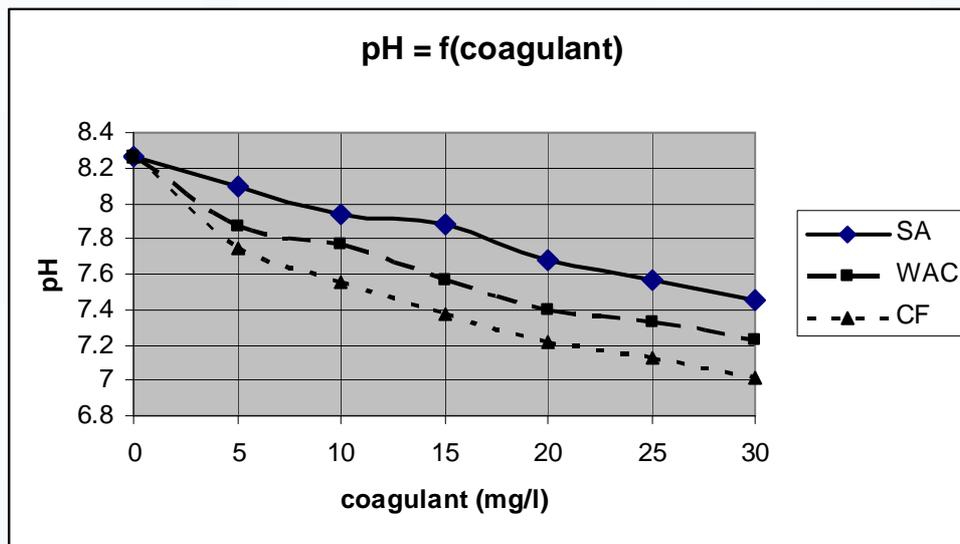
D'après les résultats ci-dessus on constate que le meilleur bêcheur est :

- Celui où on a injecté 30 mg/l du WAC
- Celui où on a injecté 20 mg/l du chlorure ferrique

Quant au sulfate d'alumine, aucun bêcheur ne peut être jugé comme meilleur puisque le taux d'aluminium 0,5mg/l dépasse la valeur limite admissible qui est de l'ordre de 0,2 mg/l.

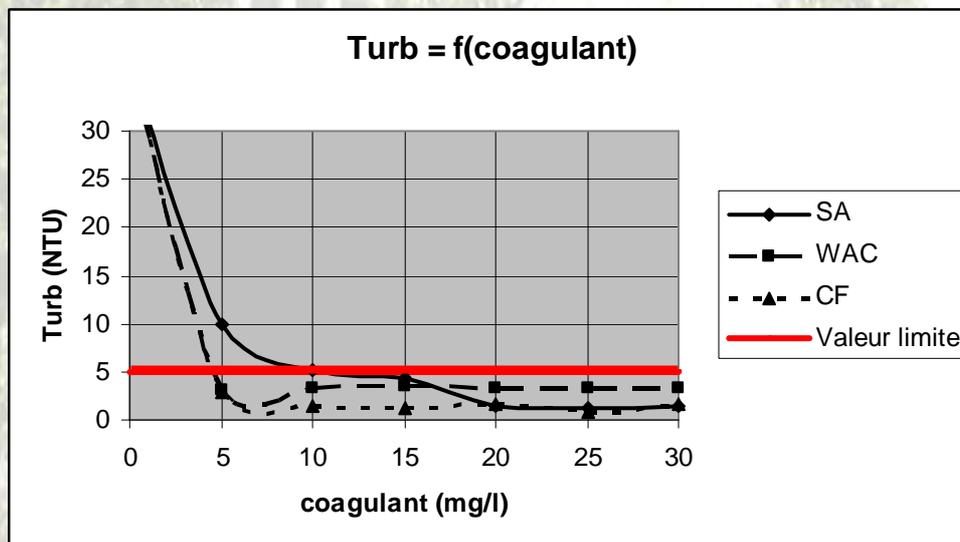
**Représentation graphique de la variation des paramètres physico-chimiques avec celle du taux de traitement :**

- pH :



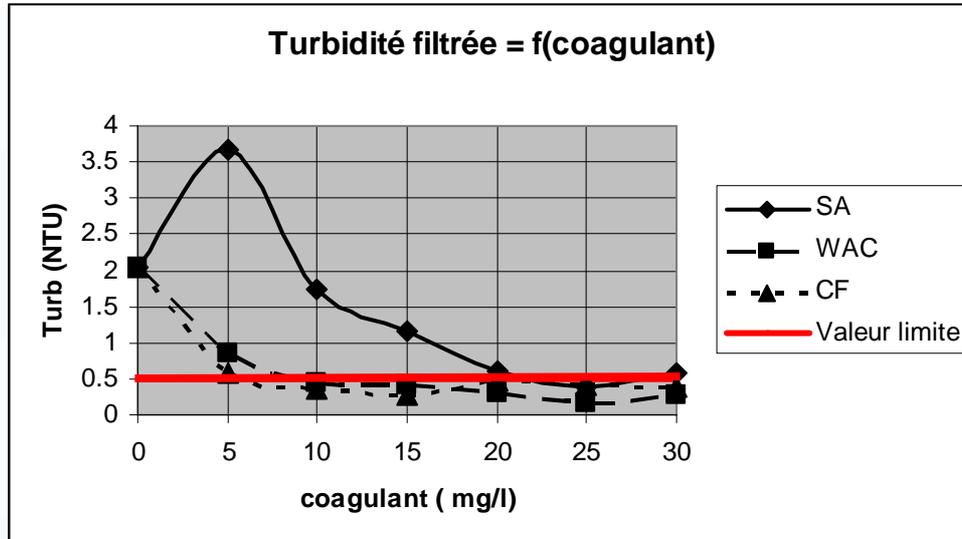
Le pH de l'eau traitée par le WAC et celui de l'eau traitée par le chlorure ferrique sont très proches.

- Turbidité décantée :



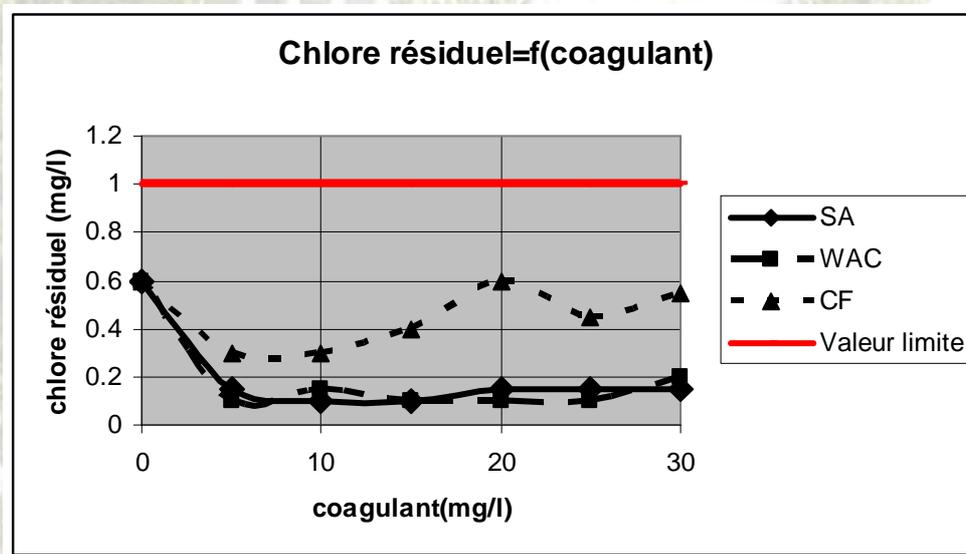
La turbidité de l'eau décantée traitée par le WAC est un peu plus élevée que celle traitée par le chlorure ferrique, cette augmentation peut être expliquée par un excès du polymère dans l'eau ou la présence des floes restants dans le surnageant.

- Turbidité filtrée :

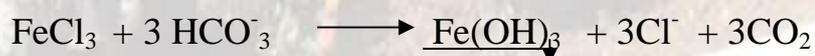


La turbidité de l'eau filtrée traitée par le WAC est inférieure par rapport à celle traitée par le chlorure ferrique. La filtration a permis de diminuer cette turbidité en retenant les floes restants.

- Teneur en Chlore résiduel :

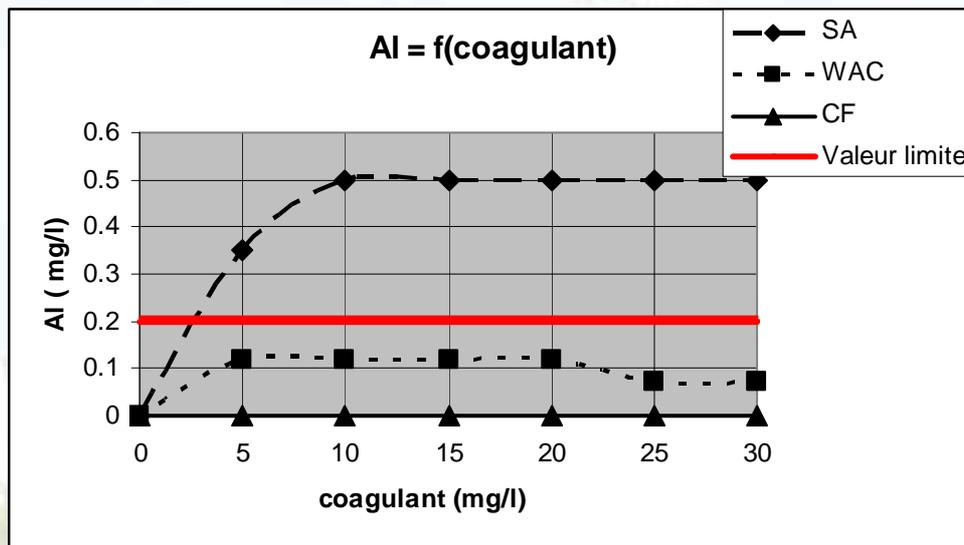


La teneur en chlore résiduel de l'eau traitée par le chlorure ferrique est supérieure à celle de l'eau traitée par WAC. On peut attribuer ceci à la présence du chlore provenant du chlorure ferrique suivant la réaction suivante :



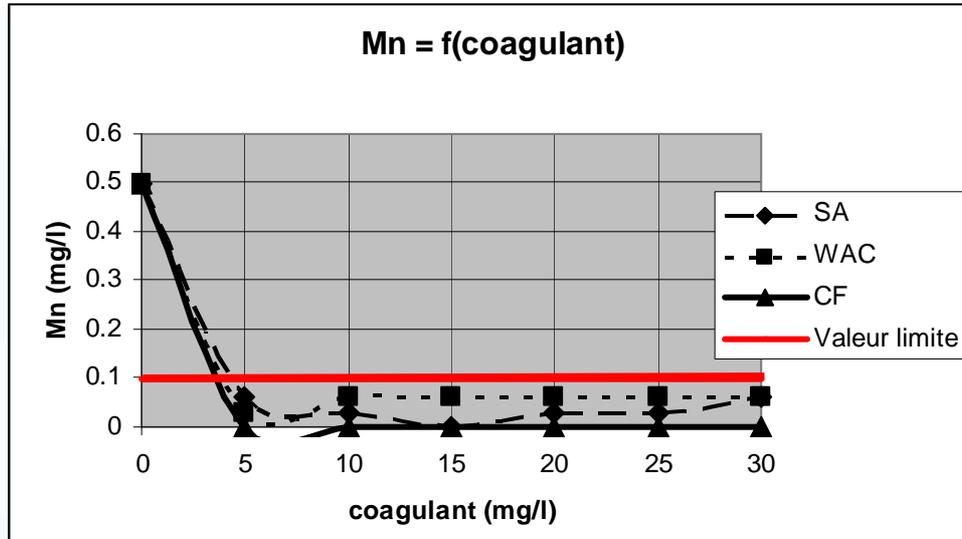
Plus le temps de contact du chlore avec les matières en question est prolongé, plus la quantité du chlore diminue jusqu'à une désinfection complète, c'est pourquoi elle a baissé après la coagulation-floculation et la décantation qui ont duré 52min.

- Teneur en Aluminium résiduel :



Aucune trace d'aluminium n'est détectée dans le filtrat traité par le  $\text{FeCl}_3$ , ce qui est tout à fait évident puisque l'eau brute n'en contient guère, contrairement au WAC qui a libéré une faible quantité dans la solution et qui ne dépasse pas la norme. En ce qui concerne l'eau traitée par le SA, on voit qu'elle est suffisamment supérieure à la VMA pour qu'elle soit éliminée.

- Teneur en Manganèse résiduel :



Aucune trace du manganèse aussi n'a été détectée dans le filtrat traité par le  $\text{FeCl}_3$ , ce qui est dû peut être à l'action du chlore présent en quantité élevée qui l'a oxydé en Mn (IV) solide. Cette oxydation provoque la précipitation de ce dernier et donc son élimination. Par contre il en existe une quantité non négligeable dans l'eau traitée par le WAC.

En ce qui concerne le fer, il n'existe nulle part, évidemment dans l'eau traitée par le WAC, quant à celle traitée par le  $\text{FeCl}_3$ , il se peut que le chlore l'a oxydé tout comme le manganèse en fer ferrique ce qui a mené à sa séparation.

En s'appuyant sur les résultats précédents, on peut affirmer les résultats suivants :

- Le sulfate d'aluminium n'est plus adéquat au traitement d'une telle qualité d'eau brute.
- Les valeurs obtenues lors des essais JAR-TEST avec le WAC et le  $\text{FeCl}_3$  ne dépassent pas les limites de la norme. En revanche, on ne peut pas nier que le chlorure ferrique a donné des résultats meilleures que le WAC.

Donc, On ne peut trancher entre les 2 réactifs qu'en procédant à une évaluation économique du coût opératoire de chacun d'entre d'eux sans oublier L'impact du chlorure ferrique sur les équipements de l'installation du fait de son caractère corrosif.

### ***III.3. Eau de la retenue Sidi Mohammed Ben Abdellah (Entrée Station Bouregreg)***

	<b>Eau brute</b>	<b>SA</b>					
<b>concentration réactif (mg/l)</b>	0	5	10	15	20	25	30
PH	7.78	7.86	7.8	7.54	7.6	7.53	7.45
TAC (méq/l)	2.6	2.7	2.72	2.52	2.5	2.6	2.49
Turbidité (NTU)	8.9	8.1	3.59	1.83	0.93	0.74	0.66
Turbidité filtrée (NTU)	4.58	4.32	0.62	0.3	0.28	0.28	0.25
DAF (min,s)	0	0	4	9	1	0.3	0.3
ASF	0	0	2	4	4	4	4
VS	0	M	M	M	M	M	M
Oxydabilité(mg O2/l)	2.68	1.47	2	1.96	1.8	1.44	1.92
Cl2 résiduel (mg/l)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.3	0.7	0.35
Al (mg/l)	0	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Mn (mg/l)	0.15	0.1	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0

	<b>WAC</b>					
<b>concentration réactif (mg/l)</b>	5	10	15	20	25	30
PH	7.9	7.79	7.61	7.54	7.54	7.42
TAC (méq/l)	2.9	2.76	2.6	2.36	2.44	1.76
Turbidité (NTU)	0.74	0.87	1.54	1.26	3	0.24
Turbidité filtrée (NTU)	0.22	0.18	0.28	0.48	0.24	0.55
DAF (min,s)	0.3	0.3	1	1	1	1
ASF	6	6	4	4	4	4
VS	M	M	L	L	L	L
Oxyabilité (mg O2/l)	2.2	2.12	1.92	2	1.76	1.76
Cl2 résiduel (mg/l)	0.8	0.4	0.35	1	0.3	0.2
Al (mg/l)	0.07	0.07	0.07	0	0	0
Mn (mg/l)	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.1
Fe (mg/l)	0	0		0	0	0

	<b>Chlorure ferrique</b>					
<b>concentration réactif</b>	5	10	15	20	25	30

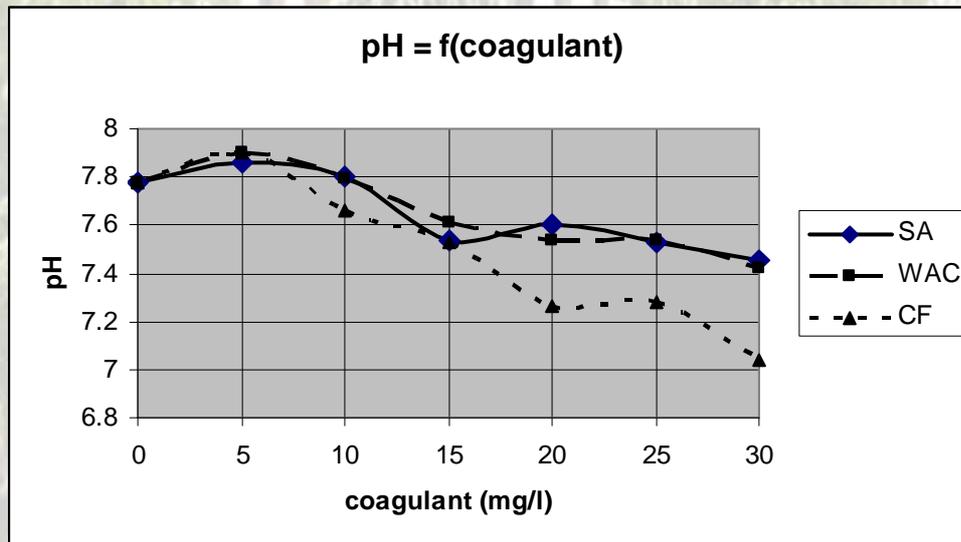
PH	7.9	7.66	7.53	7.26	7.28	7.04
TAC (méq/l)	2	2.48	1.9	2.1	1.96	1.88
Turbidité (NTU)	2.15	1.35	1.27	0.89	0.95	1.06
Turbidité filtrée (NTU)	0.45	0.38	0.3	0.32	0.29	0.3
DAF (min,s)	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2
ASF	2	6	8	8	8	8
VS	M	M	R	R	R	R
Oxydabilité (mg O <sub>2</sub> /l)	1.88	2	2	1.6	1.72	1.44
Cl résiduel (mg/l)	1	1	0.7	0.7	0.6	0.6
Al (mg/l)	0	0	0	0	0	0
Mn (mg/l)	0	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15
Fe (mg/l)	0	0	0	0	0	0

D'après les résultats ci-dessus on constate que le meilleur bêcheur est :

- Celui où on a injecté 30 mg/l du WAC.
- Celui où on a injecté 25 mg/l du sulfate d'alumine.
- Celui où on a injecté 20 mg/l du chlorure ferrique.

**Représentation graphique de la variation des paramètres physico-chimiques avec celle du taux de traitement :**

- pH :



Les pH des eaux traitées par les trois coagulants sont dans l'ordre croissant suivant :

- pH de l'eau traitée par le SA
- pH de l'eau traitée par le WAC
- pH de l'eau traitée par le FeCl<sub>3</sub>

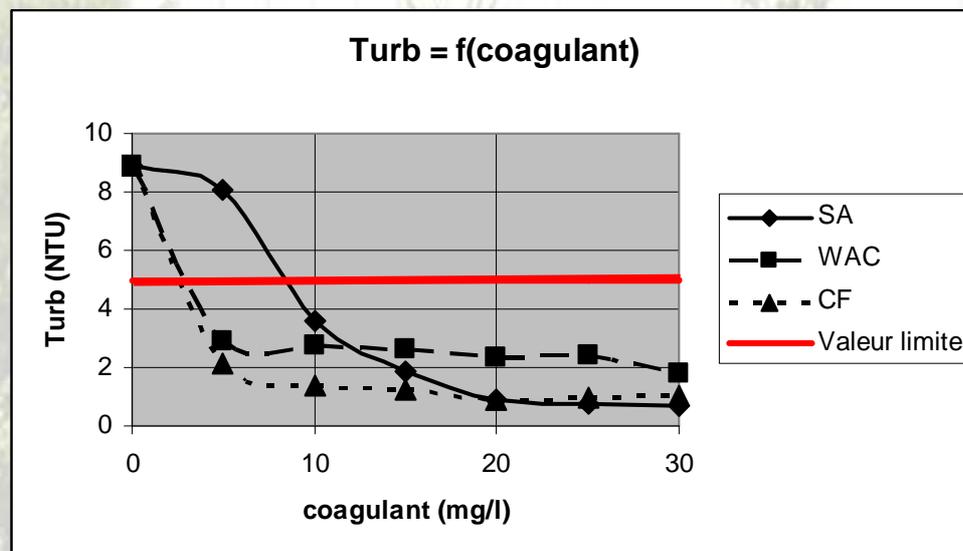
Le pH de l'eau traitée par le chlorure ferrique est très inférieur par rapport à ceux des deux autres coagulants à cause de son caractère d'acide fort.

- Titre Alcalimétrique complet :

	TAC du meilleur b�cher
SA	2.6
WAC	1.76
FeCl3	2.1

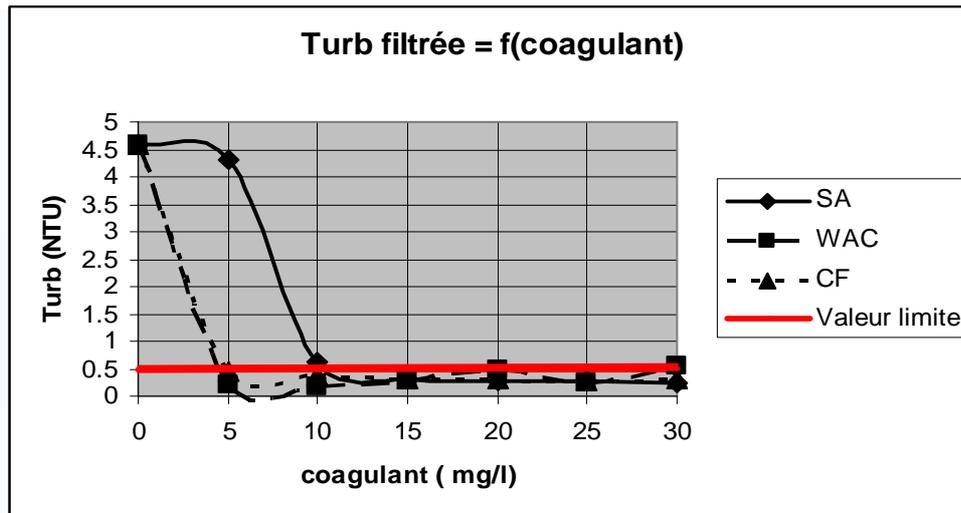
Le TAC de l'eau trait e par le SA et le WAC son identiques puisque les pH ont été voisins, alors que le TAC de celle trait e par le FeCl3 est beaucoup plus inférieure suivant son pH.

- Turbidité décantée



Les turbidités d cant es des eaux trait es par le SA et le FeCl3 sont légèrement proches et faibles par contre celle de l'eau trait e par le WAC est un peu  lev e probablement à cause de la présence d'un excès du polymère et des floccs dans l'eau décantée puisque la vitesse de sédimentation est assez lente.

- Turbidité filtrée :



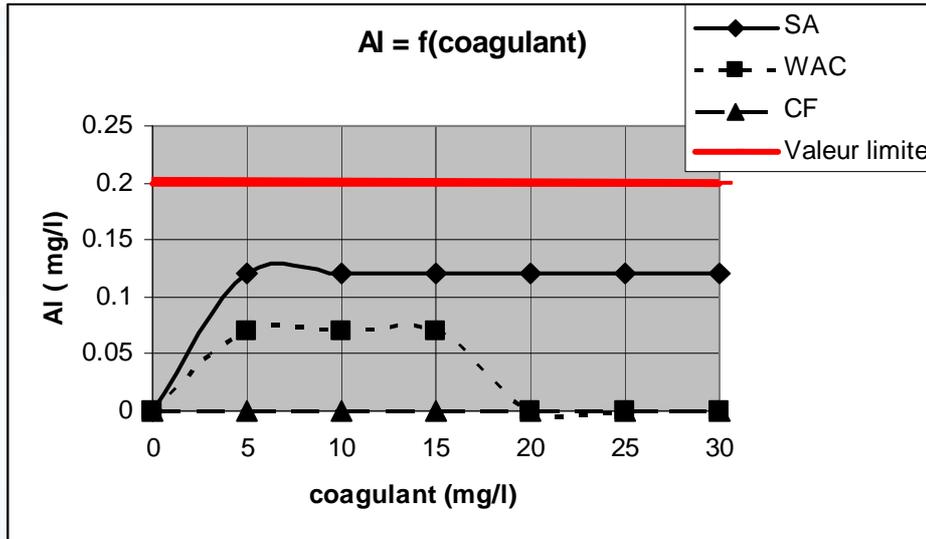
La classification des turbidités des eaux filtrées est identique à celle des eaux décantées. Le sulfate d'alumine reste le seul qui donne la turbidité la plus faible.

- Matières oxydables :

Teneur en matières organiques du meilleur bêcher	
SA	1.44
WAC	1.76
FeCl <sub>3</sub>	1.6

La teneur en matières organiques dans l'eau traitée par le FeCl<sub>3</sub> est la plus petite. En principe, elle doit être la plus faible que possible car elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous produits de désinfection cancérigènes, odeurs, saveurs...

- Teneur en Aluminium résiduel :



Le taux d'aluminium résiduel est à 0,12 mg/l dans l'eau traitée et inférieur à la norme par le sulfate d'aluminium alors qu'il est nul dans le cas du WAC et de FeCl<sub>3</sub>.

- Teneur en manganèse résiduel :

Teneur en manganèse du meilleur bêcher (mg/l)	
SA	0.1
WAC	0.1
FeCl <sub>3</sub>	0.1

La teneur en manganèse résiduel a diminué puisque ce dernier a été oxydé par le chlore et précipité et elle est devenue ensuite identique pour les 3 coagulants.

La teneur en fer est toujours nul.

D'après ce qui précède, on peut affirmer les résultats suivants :

- Le chlorure ferrique et le sulfate d'alumine sont les plus adéquats au traitement d'eau de la station Sidi Mohammed Ben Abdellah.
- Les valeurs obtenues lors des essais JAR-TEST avec le WAC, le FeCl<sub>3</sub> et le SA ne dépassent pas les limites des normes.
- Vu que le sulfate d'alumine est le plus commercialisé sur le marché et le moins coûteux, il reste le coagulant le plus adapté à cette qualité d'eau.

## Conclusion générale

L'objectif de ce présent travail a été de réaliser une étude comparative des trois coagulants : le sulfate d'alumine, le polychlorosulfate basique d'aluminium et le chlorure ferrique pour trois qualités d'eau différentes par la méthode Jar-test et de désigner judicieusement celui le plus adapté à chacune d'entre elles.

Dans le cas de L'eau de la station Daourat, on peut conclure qu'en utilisant le coagulant WAC :

- Du point de vue Qualité, il n'y a pas de différence entre l'eau filtrée traitée par le WAC et celle traitée par le sulfate d'aluminium.
- En ce qui concerne la simplification de l'exploitation, l'élévation du pH par la chaux ou la soude nécessaire pour ramener l'eau à son pH d'équilibre peut être supprimée.
- Enfin, du point de vue économique, le coût est plus élevé, les lavages de filtres colmatés étant plus fréquents. Ceci est dû à la formation des floccs qui est assez lente.

Finalement, on peut constater que l'emploi du WAC pour ce type d'eau n'apporte pas d'avantage par rapport au SA qui fournit aussi des résultats satisfaisants répondant aux normes exigées par le législateur.

En ce qui concerne l'eau du barrage Sidi Chahed, on peut affirmer les résultats suivants :

- Le sulfate d'aluminium n'est plus adéquat au traitement d'une telle qualité d'eau brute.
- Les valeurs obtenues lors des essais JAR-TEST avec le WAC et le  $\text{FeCl}_3$  ne dépassent pas les limites de la norme. En revanche, on ne peut pas nier que le chlorure ferrique a donné des résultats meilleurs que le WAC.

Donc, On ne peut trancher entre les 2 réactifs qu'en procédant à une évaluation économique du coût opératoire de chacun d'entre d'eux sans oublier l'impact du chlorure ferrique sur les équipements de l'installation du fait de son caractère corrosif.

Quant à l'eau de la station Sidi Mohammed Ben Abdellah, on peut affirmer les résultats suivants :

- Le chlorure ferrique et le sulfate d'alumine sont les plus adéquats au traitement d'eau de la station Sidi Mohammed Ben Abdellah.
- Les valeurs obtenues lors des essais JAR-TEST avec le WAC, le  $\text{FeCl}_3$  et le SA sont conformes aux normes.
- Vu que le sulfate d'alumine est le plus commercialisé sur le marché et le moins coûteux, il reste le coagulant le plus adapté à cette qualité d'eau.

Les résultats obtenus illustrent donc les conclusions suivantes:

- L'eau de la station Sidi Mohammed Ben Abdellah ne peut être traitée qu'avec le sulfate d'alumine.
- L'eau du barrage sidi chahed peut être traitée par le WAC et le chlorure ferrique.
- L'eau de la station Daourat peut être traitée par le WAC et le sulfate d'alumine.

## Chapitre IV : Annexes

### Annexe 1 : Norme marocaine de la qualité des eaux d'alimentation humaine

paramètres	Expression des résultats	VMA	commentaires
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
saveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20	
turbidité	Unité de turbidité néphélométrique	5	Turbidité médiane $\leq 1$ NTU et turbidité de l'échantillon $\leq 5$ NTU
température	°C	Acceptable	
Potentiel hydrogène	Unité pH	$6.5 < \text{pH} < 8.5$	Pour que la désinfection soit efficace, le pH doit être de préférence $< 8$
conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2700	

chlorures	Cl : mg/l	750	
sulfates	SO <sub>4</sub> : mg/l	200	
Oxygène dissous	O <sub>2</sub> : mg/l	5<O <sub>2</sub> <8	
aluminium	Al : mg/l	0.2	
ammonium	NH <sub>4</sub> : mg/l	0.5	
Oxydabilité au KMNO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> : mg /l	5	La valeur de 2mg/l doit être respectée au départ des installations de traitement
Hydrogène sulfuré	mg/l	Non détectable organoléptiquement	
Fer	Fe : mg/l	0.3	
Zinc	Zn : mg/l	3	

## **Annexe 2 : Décret relatif aux eaux destinées à la consommation humaine**

Catégorie			A1		A2		A3	
			G	I	G	I	G	I
<b>Paramètres organoleptiques</b>								
1	Couleur	mg pt/l	<10	20	50	100	50	200
2	Odeur à 25° C		<3	-	10	-	20	-
<b>Paramètres physico-chimiques</b>								
3	Température	° C	20	30	20	30	20	30
4	pH	pH	6.5-8.5	-	6.5-9.2	-	6.5-9.2	-
5	Conductivité à 20° C	us/cm	1300	2700	1300	2700	1300	2700
6	Chlorures	mg/l	300	750	300	750	300	750
7	Sulfates	mg/l	200	-	200	-	200	-
8	MES	mg/l	50	-	1000	-	2000	-
9	O <sub>2</sub> dissous	mg/l	7(90%)	-	5(70%)	-	3(50%)	-
10	DBO <sub>5</sub>	mg/l	3	-	7	-	10	-
11	DCO	mg/l	-	-	25	-	40	-
12	Oxydabilité	mg/l	2	-	5	-	10	-
<b>Substances indésirables</b>								
13	Bore	mg/l	-	1	-	1	-	1
14	Ammonium	mg/l	0,05	0,5	1	1,5	2	4
15	NTK	mg/l	1	-	2	-	3	-
16	Nitrates	mg/l	-	50	-	50	-	50
17	Phosphores	mg/l	0,4	-	0,7	-	0,7	-
18	Baryum	mg/l	-	1	-	1	-	1
19	Cuivre	mg/l	-	1	-	2	-	2
20	Zinc	mg/l	-	5	-	5	-	5
21	Manganèse	mg/l	-	0,1	0,1	0,1	1	-
22	Fer dissous	mg/l	-	0,3	1	2	1	3
23	Fluorures	mg/l	0,7	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5
24	Hydrocarbures dissous	mg/l	-	0,05	-	0,2	0,5	1

25	Phénols	mg/l	-	0,001	-	0,005	-	0,01
26	Détergents anioniques	mg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
<b>Substances toxiques</b>								
27	Arsenic	ug/l	-	50	-	50	-	100
28	Cadmium	ug/l	1	5	1	5	1	5
29	Chrome total	ug/l	-	50	-	50	-	50
30	Plomb	ug/l	-	50	-	50	-	50
31	Mercuré	ug/l	-	1	-	1	-	1
32	Sélénium	ug/l	-	10	-	10	-	10
33	Nickel	µg/l	-	50	-	50	-	50
34	Cyanures	µg/l	-	50	-	50	-	50
35	Pesticides par subst.	µg/l	-	0,1	-	0,1	-	0,1
36	Pesticides au total	µg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
37	HPA	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	0,2
<b>Paramètres bactériologiques</b>								
38	Coliformes fécaux	100/ml	20	-	2000	-	20000	-
39	Coliformes totaux	100/ml	50	-	5000	-	50000	-
40	Streptocoques fécaux	100/ml	20	-	1000	-	10000	-



### Annexe 3 : Fiche technique du Sulfate d'alumine

Masse molaire: 666.42 g/mol  
Formule brute:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

#### Propriétés physiques et chimiques

Forme: solide  
Couleur : blanc  
Odeur : inodore  
pH à 20 g/l  $\text{H}_2\text{O}$  ( 20 °C) ~ 2.5-4.0  
Point de fusion : 92 °C  
Point d'ébullition : non disponible  
Température d'inflammation : non disponible  
Point d'éclair : non disponible  
Dose en traitement des eaux : 50 à 100 g/m<sup>3</sup>  
Limites d'explosivité inférieure : non disponible supérieure non disponible  
Dose en traitement des eaux : 5jhxhx  
Densité : non disponible  
Densité apparente ~ 820 kg/m<sup>3</sup>  
Solubilité dans eau ( 20 °C) ~ 600 g/l  
Décomposition thermique > 90 °C

#### Identification des dangers

Risque de lésions oculaires graves.

#### Mesures de lutte contre l'incendie

Moyens d'extinction appropriés: Adapter aux produits stockés à proximité directe.

Risques particuliers: En cas d'incendie, peut se former :  $\text{SO}_3$ .

Indications annexes: Non combustible.

## Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle

Mesures à prendre en cas de dispersion accidentelle  
vers l'aval de la station de traitement

Page 27 Acheminer

### **Annexe 4: Fiche technique du Wac: polychlorosulfate basique d'aluminium**

Aspect: liquide jaune pâle

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%) : 10 min

Arsenic p.p.m 5 maxi

Métaux lourds en Pb p.p.m 20 maxi

Basicité 45-60

Autres caractéristiques :

Chlore (en Cl) % 9,2±1,2

Sulfate (en SO<sub>4</sub>) % 2,9±0,2

Fer % < 0,02

Masse volumique 25°C 1,20±0,01

pH á 25°C 2,7±0,3

pH (dilution 1/20) á 25°C 4,4±0,3

Viscosité 25°C cps 25±0,3

Point de congélation °C -12±1,0

Stabilité de la solution commerciale plusieurs années

### Annexe 5: Fiche technique du Chlorure ferrique

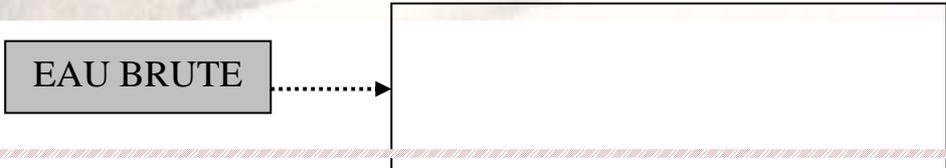
Formule chimique:  $\text{FeCl}_3$

Composition chimique:

- Chlorure ferrique 40% min
- Ion ferrique 13,75%
- Chlorure ferreux 0,2% max
- Teneur en HCl libre 0,2% max
- Insolubles 0,2% max
- Maximum d'impuretés (%)
  - Teneur en As 0,003
  - Teneur en Cr 0,003
  - Teneur en Mn 0,06
  - Teneur en Hg 0,0001
  - Teneur en Pb 0,003
  - Teneur en Se 0,0008
  - Teneur en Ag 0,003
  - Teneur en Cd 0,0008
- Poids moléculaire 162,2g
- Densité 1,425 à 20°C
- Utilisation coagulant pour traitement des eaux
- Dose de traitement 50 à 100g/m<sup>3</sup>
- Elimination de l'excès : neutralisation du produit avec du carbonate de soude ou de chaux

### Annexe 6 : Schéma du processus de l'essai Jar-test

EAU BRUTE



Température, pH, Turbidité,  
TAC, Oxydabilité, demande en  
chlore, MES

Préchloration  
Temps de contact 30mn

Acidification éventuelle  
Si pH élevé

Sulfate d'alumine

Adjuvant de floculation  
Polyélectrolyte ou alginate

Charbon actif en poudre  
En cas de présence du goût  
et odeur ou oxydabilité

Agitation rapide (120 tr/mn) en 2 mn  
Agitation lente (40 tr/mn) en 20 mn

Décantation  
30 mn

EAU DÉCANTÉE

pH, turbidité, oxydabilité  
MES, chlore résiduel,  
odeur

Filtration sur papier  
bande blanche

**Références** EAU FILTRÉE **Logographiques**

- Degremont : Techniques de l'eau, Tome 1.
- Société COELMA, S.A : usine de fabrication des produits chimiques à tétouan

- Norme marocaine de la qualité des eaux d'alimentation humaine (N.M 03.7.001), dernière version.
- Procédure de conduite des essais de floculation de l' ONEP.
- Manuel des analyses physico-chimiques de l'ONEP.
- WWW.GLS.fr
- Décret relatif aux eaux destinées à la consommation humaine.

---

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES – SAISS

☒ B.P. 2202 – Route d’Imouzzer – FES

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

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