



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Etude Comparative entre deux coagulants :

- Sulfate d'Aluminium $Al_2(SO_4)_3$
- Sulfate Ferreux $FeSO_4$

Présenté par :

- ◆ IDRISSI CHOUAHDI Amine

Encadré par :

- ◆ Pr. BOUAYAD Abdessalam (FST)
- ◆ Mr. EL FILALI Rachid (ONEE)

Soutenu Le 7 Juin 2017 devant le jury composé de:

- Pr ABS. BOUAYAD
- Pr K. MISBAHI
- Pr AW. BOUAYAD

Stage effectué à l'ONEE Fès

Année Universitaire 2016 / 2017

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE I : PRODUCTION ET TRAITEMENT DE L'EAU	2
I. PRESENTATION DE L'ONEE	3
1. L'O.N.E.E	3
2. Missions principales de l'O.N.E.E ;	3
3. Description du lieu du stage :	4
4. Laboratoire régional de Fès :	4
II. PRETRAITEMENT DE L'EAU D'OUED SEBOU :	4
1. Dégrillage	5
2. Relevage :	5
3. Dessablage :	6
4. Mélangeurs :	6
5. Débourage :	6
6. Préchloration	7
III. TRAITEMENT DE L'EAU D'OUED SEBOU :	7
1. Coagulation Flocculation :	7
2. Décantation :	8
3. Filtration :	8
4. Désinfection :	9
PARTIE II : METHODES D'ANALYSES	10
I. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :	11
1. Les analyses physiques :	11
2. Les analyses chimiques :	13
II. ANALYSES ORGANOLEPTIQUES :	16
III. LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES :	17
PARTIE III : ETUDE COMPARATIVE ENTRE DEUX COAGULANTS:	20
I. Introduction :	21
1. Propriétés des coagulants $Al_2(SO_4)_3$ et $FeSO_4$:	21
a. Sel d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$:	22

b. Sel de Fer FeSO_4 :	23
2. Demande en chlore:	23
a. Mode opératoire:	24
b. Expression des resultats:	24
c. Détermination du break point :	24
d. Résultats :	25
3. Jar test :	26
a. Principe :	26
b. Réactifs :	27
c. Mode opératoire :	27
d. Critères de choix de la dose optimale de traitement (meilleure bêche) :	28
II. Resultats :	29
1. Analyses de l'eau brute :	29
2. Résultats des Essais :	30
3. Conclusion et résultats :	31
CONCLUSION GENERALE	33
ANNEXE	
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION GENERALE

L'eau qui coule à nos robinets est un produit élaboré, qui a fait l'objet de nombreux traitements et contrôles. Il n'existe pratiquement plus, à l'état naturel, d'eaux propres aux usages alimentaires et à l'hygiène corporelle. Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux brutes varient en fonction de la nature du sol et des activités locales (agricoles, industrielles et domestiques). Pour être exploitables, les eaux brutes doivent répondre à des critères de qualité fixés par la réglementation. Le choix des procédés et des équipements dépendra du niveau de qualité de chaque ressource en eau et sera homologué par le ministère de la santé.

Le type de traitement dépend de la qualité de l'eau brute captée : de la simple désinfection, éventuellement couplée à une filtration rapide, pour les eaux souterraines bien protégées par leur profondeur et la nature géologique des terrains traversés, à des traitements plus poussés (prétraitement, coagulation, floculation et procédés d'affinage avant désinfection) pour des eaux superficielles ou des eaux souterraines de moins bonne qualité. Le mot "traitement" est souvent associé, dans notre esprit, à l'idée de produits chimiques. Or dans les faits, le traitement de l'eau fait appel pour une très large part à des procédés naturels, physiques (dégrillage, filtration, décantation...), à des procédés biologiques (élimination des nitrates à l'aide de cultures bactériennes...) et à des procédés physico-chimiques (coagulation floculation). Les traitements chimiques sont essentiellement des traitements de désinfection par le chlore ou l'ozone.

Mon stage a été effectué au sein du laboratoire de l'ONEE, j'ai passé une période précieuse pour mettre la main sur le procédé de traitement de l'eau d'Oued Sebou, dont l'objectif est de faire une étude comparative entre deux coagulants (sulfate d'aluminium et sulfate ferreux).

Pour présenter mon travail, j'ai procédé comme suit :

- Dans la première partie, j'ai donné une brève présentation de du lieu de stage et ensuite j'ai cite les différentes étapes du procédé de traitement de l'eau brute.
- Dans la deuxième partie, j'ai donné un aperçu sur le laboratoire, les analyses effectuées avec leurs principe et but.
- Dans la troisième partie, j'ai détaillé mon sujet technique : comparaison entre les différents coagulants (sulfate d'aluminium et sulfate ferreux).

PARTIE I
PRODUCTION ET TRAITEMENT DE
L'EAU

I. PRESENTATION DE L'ONEE

1. L'O.N.E.E

L'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable (ONEE) est le pilier de la stratégie énergétique et bras armé de l'Etat dans le secteur de l'eau et de l'assainissement au Maroc. Depuis le milieu des années 1990, l'Office est sur tous les fronts : généralisation de l'accès à l'électricité et à l'eau potable, épuration des eaux usées et développement du service de l'assainissement liquide, modernisation et élargissement des réseaux de production, de commercialisation et de distribution des ressources électriques et hydrauliques, lutte contre le gaspillage et implémentation de nouveaux instruments et techniques d'économies de l'eau et d'électricité...

L'ONEE, né du regroupement en 2012 de l'Office National de l'Électricité (ONE) créée en 1963 et l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) créée en 1972, s'investit pleinement dans de grands projets structurants pour le Maroc, le dotant d'infrastructures de production, transport et de distribution d'électricité et d'eau ainsi que d'épuration des eaux usées indispensables au développement durable du pays.

Dans le domaine de l'eau, en tant que garant de la continuité de l'alimentation du pays en eau potable ainsi qu'un intervenant principal en assainissement liquide, l'ONEE a arrêté une stratégie axée particulièrement sur la sécurisation de l'approvisionnement du pays en eau potable aux meilleures conditions de coût et de qualité de service, la diversification des sources de production, la maîtrise de la demande, l'accès généralisé aux services de l'eau potable, l'intervention active en assainissement liquide et la préservation de l'environnement.

2. Missions principales de l'O.N.E.E

- Planification de l'approvisionnement en eau potable du royaume ;
- Etude, réalisation et gestion des adductions d'eau potable ;
- Gestion de la distribution d'eau potable et de l'assainissement dans les communes qui la demandent ;
- Assistance technique en matière, de surveillance de la qualité de l'eau.
- Contrôle de la qualité des eaux et protection des ressources en eau susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.

3. Description du lieu du stage

Ce complexe de production est constitué de quatre stations :

- **Station de prétraitement a Sebou** : Sa construction remonte à 1989 son rôle est l'extraction de l'eau brute et la diminution du taux de matière en suspension jusqu'à une valeur inférieure à 2g/l et de la refouler jusqu'à la station de traitement.
- **Station de pompage d'eau brut de l'oued Sebou** ;
- **Station de traitement** ; édifée le 19 mars 1987.Elle a pour **missions** :
 - ✓ le traitement des eaux reçues de la station de prétraitement.
 - ✓ Le contrôle de la qualité des eaux traitées (dans le laboratoire régional).
- **Station de pompage d'eau traitée Ain Nokbi.**

4. Laboratoire régional de Fès

Le laboratoire est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres.

Le laboratoire dispose de 5 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
- Une Salle de lavage et de stérilisation.

II. PRETRAITEMENT DE L'EAU D'OUED SEBOU

La station de prétraitement est située près de OUED SEBOU à 2,5 Km de la station de traitement et 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 s'il est compris entre 2 g/l et 50 g/l, l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement.

Enfin, si la qualité de matière en suspension est supérieure à 50 g/l on fait arrêter les 2 stations de traitement et on a recours à la nappe de sais pour alimenter en eau potable la ville de Fès.

Ce prétraitement comporte quatre opérations majeures :

- Le dégrillage/Relevage.
- Le dessablage.
- Le débouage.
- Pré chloration.

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement à un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opération généralement physiques et mécanique, qui consiste à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments solides en suspension ou en flottation qui peuvent gêner les traitements ultérieurs.

La station de prétraitement de FES est située sur la rive gauche de oued SEBOU à la sortie de la ville à environ 8 km et à 2 km de la station de traitement, elle fonctionne quand la matière en suspension dans l'eau brute est entre 2g /l et 50 g/l notamment lors des crues. Elle comporte plusieurs opération chacune d'elle a son efficacité et complète celle qui suit:

1. Dégrillage

La première étape de prétraitement, qui est le dégrillage permet :

- ✓ De protéger les ouvrages en aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer le colmatage dans les différentes unités de l'installation.
- ✓ De séparer les matières qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements, par une grille métallique qui retient les éléments volumineux comme les plastiques et les morceaux de bois.

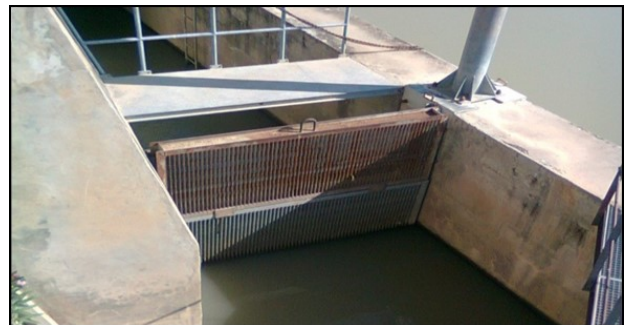


Figure 1: Degrillage

2. Relevage

- Le relevage est assuré par trois vis d'Archimède constituées d'un tube en acier spécial sur lequel sont soudées des spires, qui permettent le relevage et le pompage de l'eau vers le déssableur.

- La station de relevage dispose de trois vis d'Archimède pour transporter l'eau de l'oued qui se trouve à un niveau plus bas que la destination souhaité (vers les dessaleurs) en assurant un débit de 750 l/s chacune.



Figure 2:Relevage

3. Dessablage

Le dessablage est une opération physique qui consiste à retenir les sables entraînés avec l'écoulement des eaux brutes, afin d'éviter les dépôts dans les canalisations et à protéger les pompes.



Figure 3:Dessableur

4. Mélangeurs

Composé de deux bacs il permet:

- ✓ Le mélange du polymère avec l'eau brute ; un réactif (appelé également le poly électrolyte) utilisé pour casser la stabilité colloïdale et augmenter artificiellement la taille des particules contenues dans les eaux brutes.
- ✓ La répartition de l'eau dans les débourbeurs.

5. Débourbage

Le débouillage a pour but de supprimer les particules en suspension par un pré décantation dans les débouilleurs.



Figure 4:Debourbeur

6. Préchloration

Le chlore est injecté par une pompe à la rentrée de la station, donc il est injecté sur une eau qui brute, la préchloration permet :

- L'oxydation des minéraux comme : le fer et le manganèse.
- La décoloration de l'eau.
- L'amélioration de la décantation.
- Empêche la prolifération des algues et micelles.

III. TRAITEMENT DE L'EAU D'OUED SEBOU

La turbidité et la pollution chimique et microbiologique sont les trois anomalies qui sont éliminées dans la station de traitement de AIN NOKBI.

Afin d'obtenir une eau qui est potable et destinée à l'alimentation humaine, l'eau doit subir plusieurs étapes de traitement :

1. Coagulation Flocculation

Dans l'eau brute existe des particules de très faible diamètre qu'on appelle Colloïdes, elles sont responsables de la couleur de l'eau et de la turbidité de l'eau de surface.

Ces colloïdes doivent être éliminés des eaux mais à cause de leur faible diamètre leur décantation prendra beaucoup de temps. Alors une Coagulation Floculation doit être faite pour favoriser la décantation.

- La coagulation c'est pour les déstabiliser en éliminant la charge électrostatique (négative) de manière à favoriser leur rencontre par addition d'un coagulant qui est le sulfate d'alumine.
- La floculation est l'agglomération des particules déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux appelé Floc par addition d'un floculant comme le Polyélectrolyte.

2. Décantation

Après avoir ajouter le coagulant et le floculant on laisse décanter dans un décanteur comme le montre la photo suivante :

Lors de la décantation seul les particules qui ont une densité qui est supérieure à celle de l'eau vont décantées et vont s'accumuler au fond du bassin du décanteur.



Figure 5:Decanteures

3. Filtration

Elle a pour but de supprimer les dernières matières en suspension, on utilise un filtre à sable d'une hauteur de 0.95 m et d'une porosité de 0.85 mm. L'eau à filtrer passe à travers le lit de sable et se débarrasse de flocons non éliminé par la décantation.

Pour que le filtre nous donne toujours de bons résultats ; alors il faut extraire tout le filtrat par un lavage du filtre qui s'effectue généralement chaque 48 h, Son lavage est réalisé automatiquement par un passage d'eau, ou d'air et d'eau, à contre-courant, et l'efficacité de la filtration est attestée par la valeur de la turbidité qu'on mesure par un turbidimètre.



Figure 6:Filtres a sable

4. Désinfection

La désinfection est la dernière étape de traitement dans la station de AIN NOKBI. Elle est essentielle pour la prévention des épidémies d'origine hydrique. Elle a pour rôle d'assurer la destruction des microorganismes pathogènes de l'eau et pour cela on utilise un désinfectant qui est le chlore.

IL existe d'autres désinfectants : ozone, dioxyde de chlore, rayonnements UV,...

Le choix de cet agent dépend :

- De l'efficacité sur les pathogènes
- De respecter les qualités organoleptiques de l'eau
- du coût



Figure 7:Eau filtrée

PARTIE II
METHODES D'ANALYSES

I. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

1. Les analyses physiques

a- La température T°

La mesure de la température doit être faite sur place au moment de prélèvement à l'aide soit d'un thermomètre soit d'une sonde (en $^{\circ}\text{C}$).

Elle est mesurée, car elle peut influencer dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociations. Elle agit sur la conductivité électrique et le pH, elle influe sur la densité, la viscosité, la pression de vapeur saturante à la surface, la solubilité du gaz, les réactions chimiques et biochimiques, l'effet des enzymes et la teneur en oxygène dissout.

b- Potentiel hydrogène pH

Le pH est un facteur important dans le traitement de l'eau car certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH spécifique pour être efficaces. Par exemple, les réactions mettant en jeu le chlore, n'ont lieu que pour des pH de l'ordre de 6.5 à 8.

Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène libre (H^+) contenus dans la substance. L'acidité est un des paramètres les plus importants des propriétés de l'eau. L'eau est un solvant pour presque tous les ions et le pH permet de comparer les ions les plus solubles dans l'eau.

Le résultat d'une mesure de pH est défini par les quantités d'ions H^+ et d'ions OH^- présentes dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7.



Figure 8:pH metre

*** Utilité :**

L'utilité de la mesure de pH d'eau est la détermination de l'agressivité d'eau.

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques 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

Tableau 1: pH d'eau

c- Conductivité

La conductivité électrique permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée due au fait que la majorité des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions. Elle permet donc d'approcher la quantité de sels dissous dans l'eau.



Figure9: Conductimetre

d- Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui le troublent.

- La turbidité peut être causée par :
 - ◆ **des particules organiques** comme des matières animales ou végétales décomposées ou des organismes vivants (par exemple des algues),
 - ◆ **des particules inorganiques** (limon, argile et composés chimiques naturels tels que le carbonate de calcium).
- *La turbidité dans les plans d'eau de surface est généralement attribuable à des matières organiques et inorganiques. Elle est causée par :*
 - des pluies abondantes, des inondations et l'écoulement printanier,
 - des glissements de terrain et l'érosion des berges,
 - les fleurs d'eau,
 - l'activité humaine et animale, ou la présence de bateaux dérangeant le lit d'eau,
 - l'activité humaine perturbant la terre (par exemple la construction),
 - la pollution par les eaux d'orage provenant de régions urbaines.
- Les particules organiques et inorganiques dans l'eau peuvent :
 - donner à l'eau une apparence trouble, ainsi qu'une odeur et un goût déplaisants;
 - transporter des micro-organismes et nuire à la désinfection;
 - augmenter la quantité de chlore nécessaire pour désinfecter l'eau;

On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (NTU) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau.



Figure10: Turbidimètre

2. Les analyses chimiques

a- Le chlore résiduel

Lorsque du chlore est ajouté à l'eau, il attaque les matières organiques et tente de les détruire. Si suffisamment de chlore est ajouté, une partie restera dans l'eau une fois que tous les organismes sensibles au chlore auront été éliminés. Ce qui reste est appelé chlore résiduel libre.

La méthode la plus rapide et la plus facile pour tester la présence de chlore résiduel est le test DPD (diethyl paraphenylene diamine) en utilisant un comparateur colorimétrique. Une pastille de DPD est ajoutée à un échantillon d'eau teint l'eau en rose. L'intensité de la couleur est comparée visuellement à celle d'une échelle de couleur afin de déterminer la concentration en chlore.

b- Détermination de l'alcalinité : TA et TAC

TA et TAC permettent de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau, d'autre façon l'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

L'alcalinité se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minéral. Le point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés :

- La phénophtaléine pour le TA, virant du rouge à l'incolore à un pH de 8,3.
- L'hélianthine pour le TAC, virant du jaune à l'orangé à un pH de 4,3.

- Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonates à pH de 8,3.
- Le TAC correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates.
- Donc on peut dire :

→ Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en hydroxydes la moitié de la teneur en carbonates :

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2} [CO_3^{2-}]$$

→ Le titre alcalimétrique complet ou dureté temporaire TAC correspond à la teneur de l'eau en hydroxydes, carbonates et hydrogécarbonates :

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

c- Titre Hydrométrique : TH

Une eau est dite dure quand elle contient une forte proportion d'ions calcium et magnésium; cela se traduit par une eau qui mousse difficilement en présence de savon, d'autre façon c'est la teneur de l'eau en sels de chaux et sels de magnésie qui détermine sa dureté ou sa

douceur, en langage courant la teneur en calcaire. Pour mesurer la dureté (le titre hydrométrique) on va utiliser le degré de dureté qui correspond à une concentration de carbonate de calcium (CaCO_3) en mg par Litre (mg/l) ou une concentration de chaux (CaCO).

On distingue :

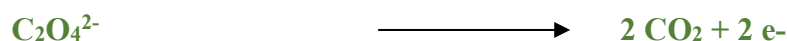
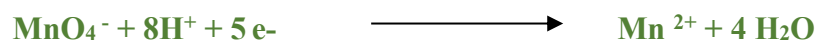
- ◆ Dureté totale ou TH indique globalement la teneur en sels de calcium et de magnésium : $\text{TH} = \text{TH Ca}^{2+} + \text{TH Mg}^{2+}$
- ◆ Dureté calcique TH Ca^{2+} indique la teneur en sels de calcium
- ◆ Dureté magnésienne TH Mg^{2+} indique la teneur en sels de magnésium
- ◆ Dureté permanente ou non carbonatée P indique la dureté qui persiste après ébullition de l'eau
- ◆ Dureté temporaire indique la différence entre la dureté totale et la dureté permanente : **TH-P**

d-Oxydabilité au permanganate de potassium

L'oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO_4), Consiste à oxyder les matières oxydables contenues dans un échantillon par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à ébullition, Son augmentation indique une contamination de l'eau par la matière organique (végétaux en décomposition, bactéries,...).

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

- ☞ La matière oxydable contenues dans l'eau à analyser est oxydé par un excès de permanganate de potassium en milieu acide à chaud pendant 13 min ensuite le KMnO_4 est réduit par l'acide oxalique en excès et on effectue un dosage en retour de cet excès par le KMnO_4 , selon les réactions :



Mode opératoire :

- Dans un ballon on introduit 100 ml de l'eau à analyser, on additionne 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et 10 ml de permanganate de potassium ($KMnO_4$, N/100), puis on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes. On ajoute après 1 ml d'acide oxalique ($C_2H_2O_4$:0,05M), on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par les permanganates de potassium.

II. 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.

* Odeur et goût:

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur « non Désagréable». La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une Odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur.

Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère.

Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO_2 ou le sulfure d'hydrogène H_2S ; ou organiques comme les esters, les alcools, les nitrites, les dérivés aromatiques et des composés plus ou moins bien identifiés résultant de la décomposition de matières animales ou végétales (comme les algues) ou encore dus à la pollution.

* Couleur :

Une eau naturelle, même une fois traitée n'est jamais rigoureusement incolore (Si on la compare, par exemple à une eau distillée). Elle peut être due à certaines impuretés minérales (fer) mais également à certaines matières organiques (acides humiques, fulviques). Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire. L'élimination de la couleur s'accompagne

également de celles de certaines matières organiques indésirables (précurseurs de composés haloformes). Cette élimination devra alors être effectuée à l'usine de traitement avant l'entrée de l'eau dans le réseau.

III. LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celle qui est susceptible d'être pathogène, soit celles qui sont indicatrices de contamination fécales. Le type d'analyses bactériologiques dépend de la nature de l'eau à analyser : eau brute ou eau traitée.

- **Les types d'analyses**

Il y a trois types d'analyses qui s'effectuent selon la nature des eaux analysés :

1. la méthode de la membrane filtrante pour les eaux traitées.
2. la méthode d'incorporation en gélose pour les eaux traitées.
3. la méthode du nombre le plus probable (NPP) pour les eaux brutes.

La méthode de la membrane filtrante pour les eaux traitées

La méthode de filtration sur membrane consiste à recueillir, identifier et dénombrer à la surface d'une membrane filtrante stérile les bactéries recherchées dans un échantillon d'eau.

Principe de la méthode

- pour les bactéries coliformes, il s'agit de filtrer à travers la membrane d'une porosité de $0.45 \mu\text{m}$ un volume déterminé de l'échantillon et d'incuber ensuite cette membrane pendant 21 ± 3 heures à 44 ± 4 heures à $36^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ sur un milieu sélectif gélosé lactosé (Tergitol 7).
- pour l'*Escherichia coli*, il s'agit de filtrer à travers la membrane d'une porosité de $0.45 \mu\text{m}$ un volume déterminé de l'échantillon et d'incuber ensuite cette membrane à $44^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures à 44 ± 4 heures sur un milieu sélectif gélosé lactosé (Tergitol 7).
- pour les Entérocoques intestinaux, il s'agit de filtrer à travers la membrane d'une porosité de $0.45 \mu\text{m}$ un volume déterminé de l'échantillon. le filtre est placé sur le milieu sélectif solide contenant de l'azoture de sodium (pour inhiber la croissance des bactéries Gram négatives) et du TTC, un colorant incolore qui est réduit en formazan rouge par les entérocoques intestinaux après incubation pendant 44 ± 4 heures à $36^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.
- pour les spores de microorganismes anaérobies sulfato-réducteurs (*Clostridia*), il s'agit de filtrer à travers la membrane d'une porosité de $0.2 \mu\text{m}$ un volume déterminé de l'échantillon.

Le filtre est placé sur le milieu sélectif suivi de l'incubation dans les conditions d'anaérobies stricte à $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures à 44 ± 4 heures et énumération des colonies noires.

La méthode d'incorporation en gélose pour les eaux traitées

▪ Principe et méthode

La méthode d'incorporation en gélose consiste à dénombrer les microorganismes viables présents dans une portion d'échantillon à analyser.

On verse 1 ml d'eau à analyser dans chacune de deux boites de pétrie d'un diamètre de 9 cm et on fait couler la gélose nutritive préalablement fondue. Après agitation pour homogénéiser le mélange, on laisse les boites lentement refroidies. L'incubation est faite à 22°C pendant 72h pour une boite et à 37°C pendant 24h pour l'autre.

Les colonies sont comptées à l'aide d'un appareil de comptage et les résultats sont exprimés pour 1 ml d'eau.

▪ Ensemencement de l'échantillon

- Bien agiter le flacon contenant l'échantillon ;
- Prélever aseptiquement à l'aide d'une pipette stérile les volumes requis (1.0 ml) de l'échantillon et les déposer dans les boites de pétri de 90 mm de diamètre. le couvercle de la boite de pétri doit être entrouvert au minimum pour déposer l'inoculum.
- Verser ensuite environ 20 ml de gélose à l'extrait de levure tempérée à $47^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Mélanger doucement par un mouvement circulaire et un mouvement de balancement pour assurer un mélange homogène. Ne pas éclabousser la gélose dans le couvercle du pétri ;
- laisser refroidir et solidifier les géloses sur une surface plane et froide (paillasse)

▪ Incubation

- Placer les boites en position retournée et incuber une boite $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures, incuber l'autre boite à $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures. Examiner les boites aussitôt qu'elles sont retirées des étuves.

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

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.

Elle est pratique pour les eaux brutes et a pour but de rechercher les coliformes totaux, fécaux et les streptocoques fécaux.

PARTIE III

ETUDE COMPARATIVE ENTRE
DEUX COAGULANTS

- SULFATE D'ALUMINIUM



- Sulfate ferreux FeSO_4

I. Introduction

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination des MES (matières en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flot-tation et/ou filtration.

Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liés aux fractions particulaires inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (micro algues planctoniques ; micro- invertébrés, en particulier les kystes des protozoaires parasites : amibes, Giardia, Cryptosporidium... ; bactéries) ; ils assurent aussi l'élimination de la fraction « floculable » des matières organiques (macromo-lécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales (dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau).

1. Propriétés des coagulants $Al_2(SO_4)_3$ et $FeSO_4$

Les réactifs de coagulation et de floculation sont des sels minéraux, simples ou polymérisés, et des poly-mères organiques, naturels ou de synthèse. Le tableau ci-dessous (page 22) récapitule les caractéristiques des formes commerciales des différents réactifs.

En effet, les coagulants minéraux sont utilisés pour des raisons :

- d'innocuité (parfois remise en cause dans certains pays pour l'aluminium : risque possible du rôle de celui-ci dans la maladie d'Alzheimer) ;
- d'efficacité (cations trivalents) ;
- de coût,

Les coagulants principalement utilisés sont à base de sels d'aluminium ou de fer. On peut également, dans certains cas, utiliser des produits de synthèse, tels que les poly électrolytes cationiques décrits plus loin.

Désignation	Masse molaire	Emploi	Formes disponibles	Caractéristiques	Densité	Solubilité à 20 °C	Point de cristallisation °C	Observations
Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$	666	Coagulation	Noisette Grainde riz Poudre Liquide	15,2 % Al_2O_3 7,5 à 8 % Al_2O_3 (630 à 650 g·L ⁻¹ en $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$)	1 1,30	660 g · L ⁻¹	+3	Produit acide, mais peu dangereux
Hydroxy- chlorosulfate d'aluminium $Cl_{(m)}SO_{4(n)}$ $Al(OH)_{3-(m+2n)}$		Coagulation	Liquide	Al_2O_3 8-10 % en poids				Produit acide. Nombreux produits disponibles sur le marché
Sulfate ferreux $FeSO_4, 7H_2O$	278	Coagulation	Poudre verte	20 % de Fe	0,9	390 g · L ⁻¹	17,64	Produit acide peu dangereux
Chlorure ferrique ● $FeCl_3, 6H_2O$ solide	270	Coagulation	Cristallisé Subli- mé	60 % $FeCl_3$ 99 % $FeCl_3$		1 026 g·L ⁻¹		Produit acide corro- sif. Fond à + 34 °C
● $FeCl_3$ en solution	162	Coagulation	Liquide	41 % $FeCl_3$ (600 g · L ⁻¹)	1,45	-	- 10	
Chloro-sulfate de fer ($FeClSO_4$)	187	Coagulation	Solution brun-rouge	14 % de Fe (200 g · L ⁻¹)	1,5	-	- 8	Produit acide (cristal- lisation solution à 160 g · L ⁻¹ : - 30 °C)
Silicate de sodium $n SiO_2, Na_2O$	122	Floculation (pré- paration de la silice activée)	Liquide	24-26 % SiO_2 26-28 % SiO_2 27-28 % SiO_2	1,35 1,38 1,4		0	Solutions visqueuses
Aluminate de sodium $n Na_2O, Al_2O_3, H_2O$	-	Floculation Desiliciage	Cristallisé Liquide	20 à 40 % Al_2O_3 35 % Na_2O 21 % Al_2O_3 (310 g · L ⁻¹) 18 % Na_2O 60 % H_2O	1 1,48c	1 000 g·L ⁻¹ -	 - 20	

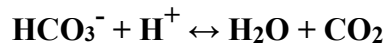
Tableau 2: principaux réactifs utilisés en traitement d'eau

a. Sel d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$:

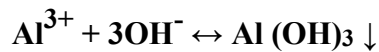
La réaction de base, lors de l'ajout de l'ion Al^{3+} dans l'eau est la formation d'un précipité d'hydroxyde d'aluminium avec libération d'une certaine acidité :



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 (soude, chaux, carbonate de sodium).

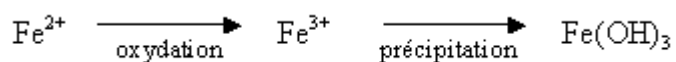


Le réactif qu'on va employer à base d'aluminium est :

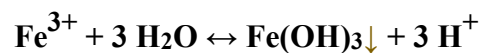
- **le sulfate d'aluminium**, soit cristallisé : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14$ ou $18 \text{H}_2\text{O}$, soit liquide : solution à 600 ou 720 g · L⁻¹ de sulfate cristallisé 18H₂O ; couramment appelé sulfate d'alumine ou encore « Alum » en anglais. de réaction :



b. Sel de Fer FeSO₄:



Le principe de la réaction est le même que pour les sels d'aluminium avec :



↳ L'ion ferrique peut induire une coloration à l'eau traitée.

Le réactif qu'on va employer à base de fer est :

- **Sulfate ferreux: FeSO₄**



2. Demande en chlore

Cette méthode a pour but de déterminer la quantité de chlore nécessaire (break point) qu'il faut injecter à l'eau brute lors de pré-chloration.

On commence d'abord par la détermination de la concentration de chlore qui se trouve dans l'eau de javel.

a. Mode opératoire

Dans un erlenmeyer on introduit successivement :

- 1ml de l'eau de javel (NaOCl, NaCl) ;
- 10ml de solution d'iodure de potassium (KI à 10%) ;
- 10ml de solution d'acide acétique (CH₃COOH) 9N ;
- On titre l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) N/10 jusqu'à décoloration.

Les réactions mis en jeu :



Les réactions d'oxydo-réduction sont:



L'équation du dosage :



b. Expression des resultats

Le titre de l'eau de javel est donné par la relation suivante :

$$[\text{Eau de javel}] = \text{Tb} \times 3.55 \text{ g/l}$$

Tb (tombée de burette) : représente le volume exprimé en ml de thiosulfate de sodium N/10 versé au point d'équivalence.

c. Détermination du break point

- On diluera la solution de l'eau de javel avec de l'eau distillée de façon à avoir une solution à 0.1g/l ;

- On prépare 12 flacons de verre brun de volume 250 ml, que l'on numérote. On introduit dans chacun des flacons 100ml d'eau à analyser, puis on ajoute des quantités connues de solutions chlorés, croissantes de flacon en flacon, de façon à avoir des concentrations précises en chlore actif ;
- On laisse les flacons à l'obscurité pendant 30 min après les avoirs bouchés et agités
- Au bout de 30 min (temps de contact) exactement on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactif colorimétrique habituel DPD n°1 ;
- On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

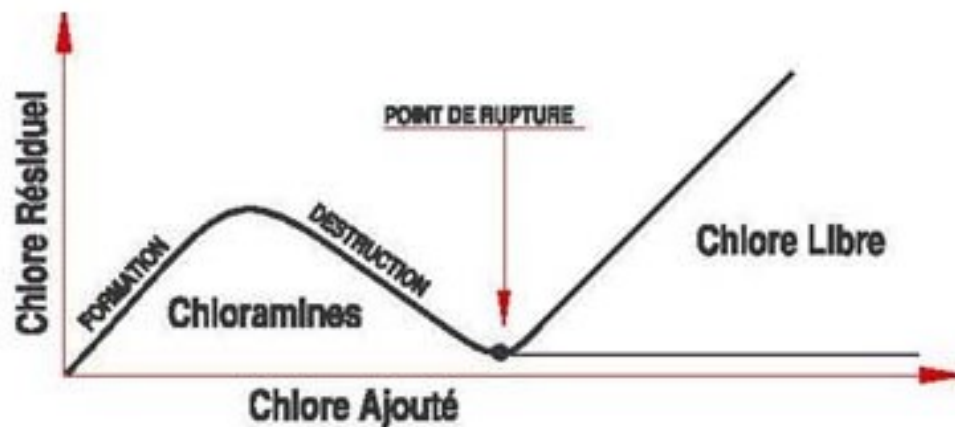
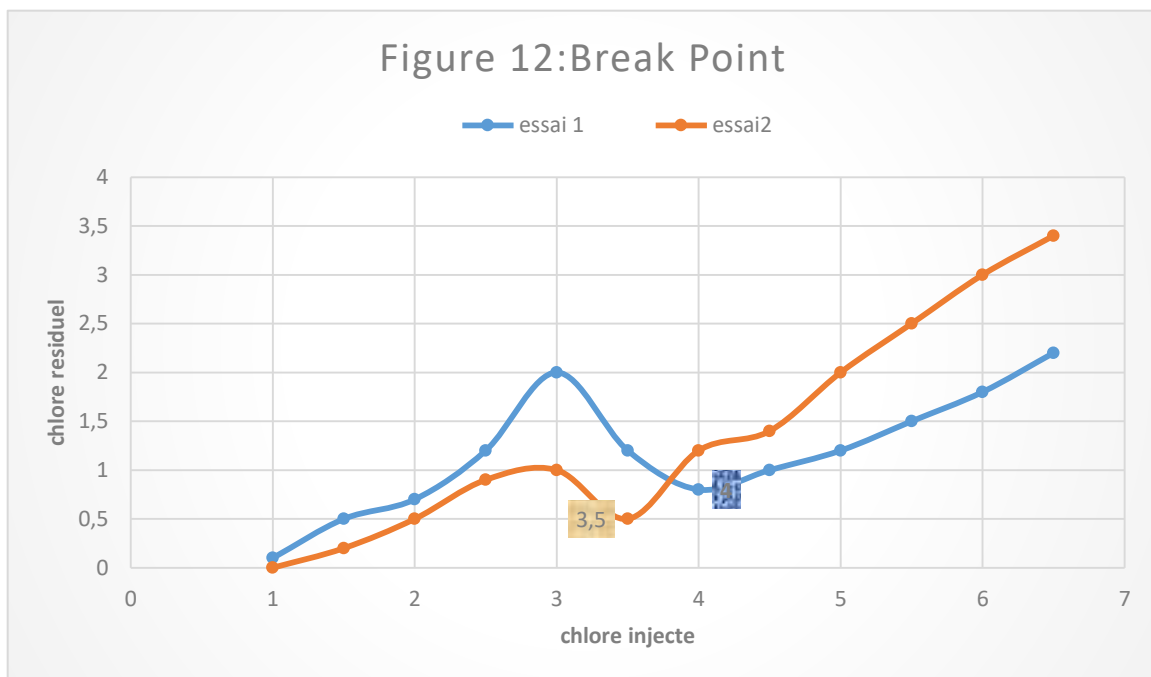


Figure 11: Diagramme du Break point

d. Résultats :

N° de flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ₂ injecté en mg/l	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 1	0.1	0.5	0.7	1.2	2	1.2	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.2
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 2	0	0.2	0.5	0.9	1.0	0.5	1.2	1.4	2.0	2.5	3.0	3.4

Tableau 3: Essai chlore residuel



La quantité du chlore a injecté correspondante au break point :

	Essai 1	Essai 2
Pré-chloration	4	3,5

Tableau 4: Break point

3. Jar test

a. Principe

Procédure expérimentale simulant la coagulation/floculation qui permet de déterminer les conditions optimales de coagulation (pH, [coagulant]...).

L'essai a pour but de déterminer la nature et les doses probables des réactifs permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement. Il faut réaliser l'essai le plutôt possible après le prélèvement à une température voisine de celle que possédera effectivement l'eau au cours de son traitement industrielle.

Le procédé adopté par le laboratoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- ◆ Pré-chloration par le chlore au break-point ;
- ◆ Essai au sulfate d'alumine, ou Sulfate ferreux;
- ◆ Amélioration de l'essai par l'utilisation d'adjuvant de floculant : l'alginate, poly-électrolyte ;

- ◆ Utilisation d'autres réactifs d'amélioration et de correction tels que le permanganate de potassium, le charbon actif, la chaux et l'acide sulfurique ;
- ◆ Acidification par H_2SO_4 (variation du pH).

b. Réactifs :

- Solution mère de l'eau de javel ;
- Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 1 g/l qu'on ajoute dans les béchers ;
- Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 0,1 g/l qu'on utilise pour la demande en chlore ;
- Solution de sulfate d'alumine : $(Al_2(SO_4)_3)$ ou $(FeSO_4)$ comme coagulant de concentration 10 g/l ;
- Solution de poly-électrolyte comme flocculant de concentration 0,1 g/l ;

c. Mode opératoire :

⚠ Avant d'entreprendre le Jar-test, un certain nombre d'analyses doivent être effectuées sur l'eau brute. Celle-ci concerne :

- Le pH ;
- L'alcalinité (TA et TAC) ;
- L'oxydabilité à chaud en milieu acide ;
- La turbidité ;
- La température de l'eau au moment de l'essai ;
- La demande en chlore de l'eau à traiter avec relevé du chlore correspondant au break-point éventuel.

Ces déterminations préliminaires permettent de se faire une première idée sur les réactifs à employer. On peut ainsi éviter de nombreux tâtonnements. Ces analyses doivent également juger de l'efficacité des réactifs par comparaison avec les résultats obtenus après traitement.

→ Dans chacun des béchers on verse 1 litre d'eau brute

- On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tours/minute ;
- On injecte la dose du chlore correspondante au break point ;
- On ajoute aussi au six béchers en traitement des quantités croissantes du coagulant utilise avec une agitation rapide de 120 tours/minute pendant 2 minutes ;

- On ajoute 0.1 ml de poly-électrolyte (floculant) à 1g/l par bêcher, avec une agitation de 40 tours/min pendant 20 min pour la floculation.
- On relève les hélices et on laisse décanter toutes les portions pendant 30 minutes dans les bêchers.

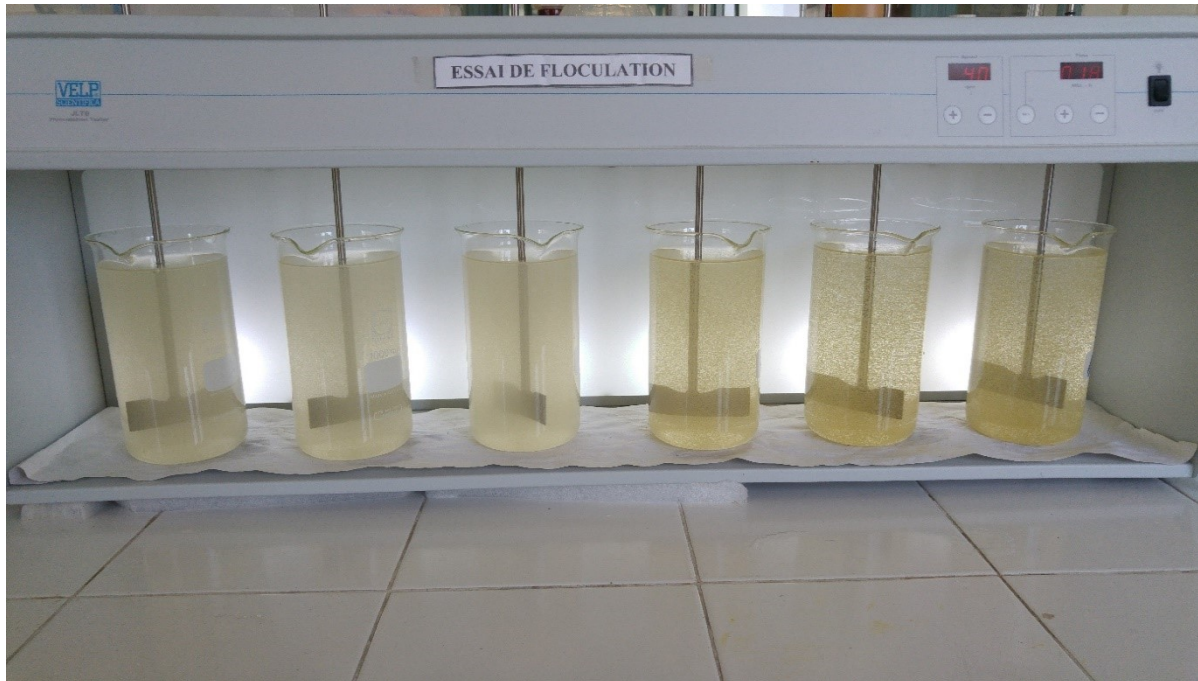


Figure 13 : Jar-Test

Au cours de ce temps de décanter on estime la vitesse de sédimentation des floccs formés (Rapide, moyenne ou lente) ;

- On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant ;
- On passe le surnageant de chacun des bêchers sur du papier filtre bande blanche disposé dans les entonnoirs. Cette filtration est celle qui produit les résultats les plus comparables à ceux obtenus par filtration sur sable ;
- On détermine la turbidité et l'alcalinité sur chaque échantillon ;

d. Critères de choix de la dose optimale de traitement (meilleure bêcher) :

L'objectif de l'essai de floculation est de déterminer les conditions optimales pour avoir une eau potable qui présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Taille des floccs > 6 ;

- 0 – pas de floc ;
- 2 – légère opalescence ;
- 4 – petits points ;
- 6 – flocons de dimensions moyennes ;
- 8 – bon floc ;
- 10 – excellent.

- ✓ Turbidité de l'eau décantée < 5 NTU ;
- ✓ Turbidité filtrée sur papier bande blanche < 0.5 NTU ;
- ✓ pH de floculation entre 7.00 et 7.40 ;
- ✓ Oxydabilité à chaud pendant 13min < 2mg/l ;
- ✓ Aluminium < 0.2 mg/l.
- ✓ Fer < 0.3 mg/l.

Plan de travail :

J'ai effectué 2 essais de coagulation-floculation "Jar-Test", sur des échantillons prélevés à des jours différents et ayant des valeurs de pH proches dans le but de faire une comparaison entre les deux coagulants sujet d'étude, en comparant les meilleurs béchers.

On procède comme suivant :

- ❖ **Essai 1** : Doses croissantes de coagulant " $Al_2(SO_4)_3$ ", avec :
 - 3 Béchers (1-2-3) **avec** une dose fixe de floculant "poly-électrolyte".
 - Les 3 restants (4-5-6) **sans** floculant.
- ❖ **Essai 2** : Doses croissantes de coagulant " $FeSO_4$ " avec :
 - 3 Béchers (1-2-3) **avec** une dose fixe de floculant "poly-électrolyte".
 - Les 3 restants (4-5-6) **sans** floculant.

II. Resultats

1. Analyses de l'eau brute

Avant d'entreprendre chaque essai de Jar-test, on doit d'abord faire des analyses physico-chimiques de l'eau brute. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Eau brute	Essai 1 15/05/2017	Essai 2 24/05/2017
pH	8.32	8.20
Température	24.3	25.2
TA en méq/l	0.45	0.4
TAC en méq/l	5.5	5.6
Oxydabilité en mg/l	2.3	2.56
Turbidité en NTU	117	122
Chlore résiduel en mg/l (break-point)	4	3.5
Conductivite	1010	1001

Tableau 5: Analyses des prélèvements d'eau brute

2. Résultats des Essais

Essai 1 :

Les béchers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration en mg/l	4	4	4	4	4	4
Coagulant $Al_2(SO_4)_3$	30	40	50	30	40	50
Floculant	0.1	0.1	0.1	-	-	-
Aspect des floes	04	06	06	0.4	0.4	0.4
pH	7.8	7.66	7.52	8.07	7.96	7.76
Oxydabilité Mg/l	0.96	1.1	1.1	1.1	1.1	0.6
Turbidité décanté NTU	0.74	0.86	0.74	1.84	2.7	1.62
Chlore résiduel	1	1.1	1	1	1.2	1.2
Turbidité filtrée NTU	0.23	0.20	0.18	0.13	0.185	0.19
TAC	5.3	5.25	5.1	4.7	5.2	5.7
Al^{3+} résiduel mg/l	0.2	0.12	0.1	0.2	0.12	0.12

Tableau 6: Essai Jar-Test n°1

↳ D'après les critères de choix du meilleur bécber :

- L'aspect des 3 dernières bécbers < 6 donc à éliminer ;
- Le bécber n° 1 : Al résiduel = 0.2 mg/l donc à éliminer ;
- On va choisir le bécber n° 3 puisqu'il répond aux critères .

Essai 2 :

Les bécbers	1	2	3	4	5	6
Pré-chloration en mg/l	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Coagulant FeSO ₄	30	40	50	30	40	50
Floculant	0.1	0.1	0.1	-	-	-
Aspect des floccs	06	06	08	04	04	06
pH	7.82	7.58	7.5	7.6	7.76	7.68
Oxydabilité Mg/l	1.2	1.23	2.04	2.1	1.9	1.6
Turbidité décanté NTU	2.68	3.92	4.18	3.1	2.71	2.31
Chlore résiduel	1	0.8	0.7	0.8	1.1	0.7
Turbidité filtrée NTU	0.3	0.2	0.69	0.54	0.21	0.65
TAC	5	5	4.9	5.1	5	4.9
Fe ³⁺ résiduel mg/l	0	0	0.1	0	0	0.1

Tableau 7: Essai Jar-Test n°2

↳ D'après les critères de choix du meilleur bécber :

- L'aspect des 4^{eme} et 5^{eme} bécbers < 6 donc à éliminer ;
- Turbidité filtrée du 3^{eme} et 6^{eme} bécber >0.5 donc à éliminer ;
- On va choisir le bécber n° 2 puisqu'il répond aux critères.

3. Conclusion et résultats

Le Tableau ci-dessous rassemble les résultats des meilleurs bécbers pour les deux essai :

Essai	1	2
Pré-chloration mg/l	4	3.5
Coagulant mg/l	Al ₂ (SO ₄) ₃ : 50	FeSO ₄ : 40
Floculant mg/l	0.1	0.1
Aspect des floes	06	06
pH	7.52	7.58
Oxydabilité Mg/l	1.1	1.23
Turbidité décanté NTU	0.74	3.92
Chlore résiduel	1	0.8
Turbidité filtrée NTU	0.18	0.2
TAC	5.1	5
Fe ³⁺ et Al ³⁺ résiduel mg/l	0.1	0

Tableau 8 : Comparaison des meilleurs Béchers

↪ Comme conclusion les deux béciers sont dans les normes et repondent aux critères de choix de la dose optimale de traitement mais les résultats d'utilisation de sulfate d'aluminium sont plus mieux qu'on utilisant le sulfate ferreux.(par rapport au cout)

CONCLUSION GENERALE

Mon stage à l'ONEE m'a permis d'une part d'exploiter les notions scientifiques que j'ai acquies durant ma formation universitaire, et d'autre part de me familiariser avec le monde professionnel afin de développer le sens de la responsabilité et de la recherche.

En effet, J'ai traité dans mon rapport, le procédé de traitement au sein de la station Ain Nokbi .La Coagulation-floculation a été bien explicité vu l'intérêt qu'elle représente dans ce dernier.

Afin de déterminer le meilleur coagulant et sa dose optimale à injecter dans l'eau brute et les bonnes conditions du milieu, j'ai effectué deux essais avec les deux coagulants dans l'eau et j'ai travaillé aussi sur la détermination de la dose optimale de ces deux réactifs, qui nous aidera également à déterminer le meilleur coagulant.

Le suivi de cette étape a révélé que l'utilisation du sulfate d'aluminium peut nous faire gagner en quantité de coagulant utilisée, Cela n'est pas uniquement bénéfique au niveau financier, mais aussi au niveau santé, vue que l'utilisation d'un sel ferrique, sulfate ferreux dans notre cas, à dose élevée induit souvent une coloration rouille (jaune ou marron) de l'eau traitée du au résidu de fer et cela peut constituer un risque potentiel pour la santé.

L'étude a aussi révélée que les doses du coagulant déduites à partir de la méthode du Jar-test donnent une fois utilisées de bons résultats étant donné que l'eau traitée est dans les normes de potabilisation.

ANNEXE

Paramètre physico-chimique liée à la qualité (norme de qualité) :

Paramètres	Expression des Résultats	VMA	Commentaire
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
Serveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réel	Unité Pt mg /l	20	
Turbidité	Unité de Turbidité néphélométrie (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU
Potentiel hydrogène	Unité pH	$6,5 < \text{pH} < 8,5$	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$ à 20 ° C	2700	
Chlorures	Cl	750	
Sulfates	SO_4 : mg / l	400	
O ₂ dissous	O ₂ : mg O ₂ / l	$5 \leq \text{O}_2 \leq 8$	
Aluminium	Al : mg/l	0,2	
Ammonium	NH ₄ : mg/l	0,5	
Oxydabilité au KMnO ₄	O ₂ : mg O ₂ / l	5	La valeur de 2mg O ₂ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
Hydrogène sulfuré		Non détectable organoleptiquement	
Fer	Fe : mg / l	0,3	
Zinc	Zn : mg/l	3	
Température	° C	Acceptable	

A. Norme marocaine relatif au Contrôle et surveillance de l'eau NM 03.7.002/2011 :

