



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
LST : EAU ET ENVIRONNEMENT



Mémoire de projet de fin d'études

**Essais de traitement de l'eau potable de la ville de Safi
par la méthode du Jar Test : Etude comparative entre le
sulfate d'alumine et le chlorure ferrique en tant que
coagulants.**

Réalisé par : TAOUFIQ Hafsa et AOUAL Chaimae

Devant le Jury composé de :

Mr. ELAMARI Khalid (Encadrant, FSTG)

Mme. KHAMLI Nadia (Examineur, FSTG)

Soutenu : Le 28 Juin 2019

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2018/2019

Dédicace

Nous dédions ce travail :

A nos chères mères,

A nos chers pères,

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à notre égard de nous soutenir et de nous épauler pour qu'on puisse atteindre nos objectifs.

A nos frères et sœurs,

Pour leurs soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de nos études.

A nos chers amis(es),

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tous ceux qui nous aiment.

REMERCIEMENTS

« Louange à Dieu, Seigneur des mondes sans qui rien ne saurait exister »

Avant d'entamer la rédaction de ce rapport, nous tenons à témoigner de notre gratitude et exprimer nos remerciements tout d'abord à nos chers parents pour tous leurs sacrifices qu'ils ont consentis et le soutien qu'ils nous ont prodigué tout au long de notre vie. On tiens à exprimer nos sincères remerciements ainsi que toutes nos reconnaissances à notre encadrant de l'établissement monsieur ELAMARI Khalid qui nous a bénéficié de son savoir-faire, et de sa disponibilités et surtout les judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion , nous tenons aussi à remercier très vivement le directeur de L'Office National de l'Eau et l' Electricité Branche-Eau Safi monsieur MOUATASSIM Mohammed qui nous a accorder de passer le stage au sein du Laboratoire ,nos remerciements vont également à nos deux encadrants au laboratoire monsieur HMINA Khalid et madame ID MHMAD Fatima qui nous ont accompagnés tout au long de notre période de stage ,sans oublier tous les personnels de l'organisme pour leur sympathie et leur accueil .

Table des matières :

DEDICACE	2
REMERCIEMENTS.....	3
LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES PHOTOS.....	6
LISTE DES TABLEAUX.....	7
ACRONYMES.....	8
RESUME.....	9
INTRODUCTION GENERALE.....	10
CHAPITRE 1 : Etude bibliographique	
I- Introduction.....	11
II- Présentation de la zone d'étude	11
1. Cadre géographique	11
2. L'hydrologie	12
3. Climat.....	12
III- Présentation de l'organisme l'ONEE.....	13
VI- Les procédés de traitement de l'eau potable de la ville de Safi.....	16
1. Introduction.....	17
2. Processus de traitement de l'eau potable à la station.....	18
3. Conclusion.....	20
CHAPITRE 2 : Etude comparatif entre les deux coagulants : sulfate d'aluminium et chlorure ferrique.	
I- Introduction.....	21
II- Les techniques d'analyses d'eau.....	22
III- La pré-chloration.....	28
VI- Méthode de JAR TEST.....	29
1. Protocole de la méthode de Jar Test.....	29
2. Analyses d'eau pré-chlorée.....	31
3. Résultats et comparaison des essais de coagulation-floculation par le sulfate d'alumine et le chlorure ferrique sur l'eau pré-chlorée.....	31
3.1 Préparation des coagulants.....	31
3.2 Résultats et interprétation des essais.....	32
3.3 Choix et comparaison entre les meilleurs essais de chacun des deux coagulants.....	35
4. Conclusion.....	37

CONCLUSION GENERALE	38
ANNEXES.....	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	40

Liste des figures :

- Figure 1 : Délimitation de la province de Safi
- Figure 2 : Carte des ouvrages hydrauliques de la province de Safi
- Figure 3 : Les services de l'agence mixte Safi-Youssoufia
- Figure 4 : Les procédés du traitement de l'eau à potabilité au Maroc
- Figure 5 : Courbe de chloruration
- Figure 6 : Mécanisme Coagulation-Floculation
- Figure 7 : L'état d'une particule colloïdale
- Figure 8 : Neutralisation d'un colloïde
- Figure 9 : Courbe de la demande en chlore montrant le « Break point »
- Figure 10 : Décantation des floes
- Figure 11 : Schéma montrant la technique de filtration utilisée au laboratoire
- Figure 12 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le sulfate d'alumine
- Figure 12 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le chlorure ferrique

LISTE DES PHOTOS :

Photo 1 : Turbidimètre

Photo 2: pH-mètre

Photo 3: Jar test

Photo 4 : Décantation des floes

Photo 5 : Cristaux de sulfate d'alumine

Photo 6 : Cristaux de chlorure ferrique

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1 : Les normes marocaines de l'eau potable

Tableau 2 : Résultats du chlore résiduel en fonction des doses injectées de l'eau de Javel

Tableau 3 : Résultats d'analyses d'eau pré chlorée

Tableau 4 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le sulfate d'alumine

Tableau 5 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le chlorure ferrique

Tableau 6 : Dose d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ présentant le meilleur résultat

Tableau 7 : Dose du FeCl_3 présentant les meilleurs résultats de traitement

Tableau 8 : Les similitudes entre les 2 coagulants

Tableau 9 : Les différences entre les 2 coagulants

Acronymes :

ONEE	OFFICE NATIONALE DE L'EAU ET L'ELECTRICITE
RADEES	REGIE AUTONOME INTERCOMMUNALE DE DISTRIBUTION D'EAU ET D'ELECTRICITE
VMR	VALEUR MAXIMALE REQUISE
NTU	UNITE NEPHELOMETRIQUE
TA	TITRE ALCALIMETRIQUE

Résumé :

L'eau destinée à la consommation humaine peut contenir des substances polluantes et de la matière en suspension, c'est pour cela il faut le traiter. Dans ce mémoire nous nous sommes intéressées plus particulièrement à la diminution des différents micropolluants tels que : la turbidité et la matière colloïdale des eaux de la station de traitement au sein de l'office national d'eau potable et de l'électricité de Safi.

Afin d'améliorer la qualité des eaux de la station, nous avons effectuées une comparaison entre les 2 coagulants sulfate d'aluminium et chlorure ferrique.

Les résultats obtenus montrent que:

- Les deux produits permettent de réduire la turbidité des eaux décantées et des eaux filtrées à des valeurs de bonne pratique à l'ONEE.
- Le sulfate d'alumine est facile à préparer au niveau de la station de traitement de Safi, par contre, le chlorure ferrique peut provoquer des corrosions au niveau des équipements de la station.
- Le sulfate d'alumine est moins cher que le chlorure ferrique.

INTRODUCTION GENERALE :

L'eau est l'élément le plus indispensable à la vie humaine qui peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, gazeux) aux températures ordinaires ; de plus elle recouvre environ les trois quarts de la surface de la terre sous forme de lacs, de rivières et d'océans. En effet, avec la révolution industrielle, l'eau n'a plus l'unique intérêt vital mais aussi elle présente un intérêt économique et sanitaire.

Malgré son importance et la diversité de ses ressources, l'eau présente une richesse en danger pour des raisons de mal exploitation, de mauvaise distribution et surtout de problèmes de pollution causés généralement par certaines industries ou par sa circulation dans la sol à la surface de la terre qui la rendent non potable. Donc pour s'assurer de sa qualité, l'eau va subir une cascade de traitement physico-chimique et microbiologique et de contrôle nécessaire pour la rendre potable et servir les besoins humains et industriels.

Par conséquent, l'Office National de l'Eau et l'Electricité—Branche Eau de SAFI est chargé de la production de l'eau potable à l'échelle nationale au niveau urbain, effectue le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau sur tout son réseau, de la source de prélèvement jusqu'au consommateur.

L'objectif de ce mémoire est l'étude du traitement de l'eau potable dans la station de Safi, et pour atteindre cet objectif il faut passer par différentes étapes. Parmi ces étapes on a la coagulation et la floculation qui se fait soit par les sels d'alumine ou le fer. Donc on a effectués une étude comparative entre ces deux coagulants afin de choisir lequel de ces réactifs convient à l'eau de cette région.

Ce mémoire se compose principalement de deux chapitres :

Le premier chapitre : relatif à l'étude bibliographique, se compose de trois parties qui sont :

- La présentation de la zone d'étude.
- La présentation de l'ONEE.
- Le procédé de traitement de l'eau potable au sein de l'ONEE.

Le deuxième chapitre : où on va traiter la partie pratique qui consiste à une comparaison entre les deux coagulants : le sulfate d'alumine et le chlorure ferrique.

Chapitre 1 :

L'étude bibliographique

I –Introduction :

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.

Dans le chapitre 1 : nous allons vous présenter d'abord la zone d'étude, ensuite une brève définition de l'ONEE et ses différents structures et en dernier point les procédés de traitement de l'eau potable en général.

II -Présentation de la zone d'étude :

1. CADRE GEOGRAPHIQUE :

La province de Safi s'étend sur une superficie de 3433 km. Elle est délimitée au Nord par la province de Sidi Bennour, à l'Est par celle de Youssoufia, aux Sud par la province d'Essaouira et à l'ouest par la côte atlantique.

La figure 1 montre la délimitation de la province de Safi.



Figure 1 : Délimitation de la province de Safi

2. L'HYDROLOGIE :

La carte hydrologique de la Province se présente comme suit :

- Zone à meilleure production : elle comprend
Bas Tensift (commune rurale Touabet et Sud de Sidi Chiker).
Gantour (Région s'étendant du Nord de la commune rurale Ras El Ain à Had hrara).
Région côtière (Au nord la commune rurale Moul Bergui. A l'Ouest la commune rurale Eyer située au Nord de Had Hrara).
- Zone à productivité moyenne : comprend la commune rurales Had Bkhati et Sidi Gorani.
- Zone à productivité insuffisante : comprend les communes rurales Sidi Aissa, Tlet Bougedra et Sebt Gzoula.
- Zone à faible productivité : comprend les communes rurales Sidi Aissa, Tnine Giate et Khattazakane.
- Zone à très faible productivité : comprend les commune ruraux Jnane Bouih, Sidi Tiji, Khmis N'Ga et Sidi Ahmed.

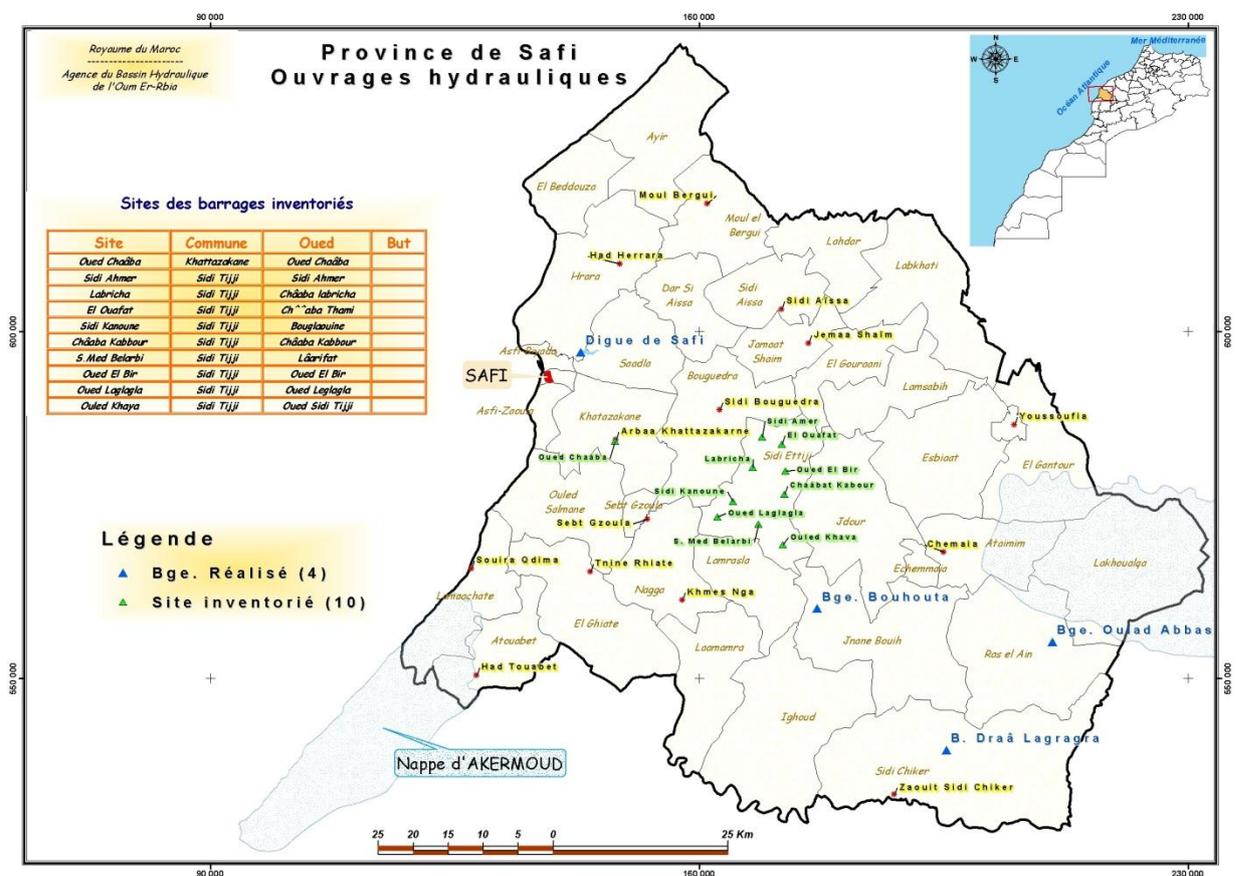


Figure 2 : Carte des ouvrages hydrauliques de la province de Safi

Ces données démontrent la faiblesse des ressources en eau de la province qui s'estime à 434 millions m³ qui sont répartis comme suit :

2.1. Les eaux superficielles :

L'Oued Tensift traverse le territoire de la Province. Il prend sa source dans l'Atlas et se jette dans l'Atlantique à Souira Kédima. En grande majorité les eaux d'Oued Tensift sont déversées dans l'Océan Atlantique faute d'un barrage permettant la mobilisation de ses eaux. La Province dispose par ailleurs, d'un lac artificiel qui s'alimente à partir d'un canal lié au barrage IMFOUT (Province d'El Jadida) destiné à alimenter les industries chimiques, certains centres urbains de la Province (Ville de Safi Centres Jemâa Shaim, Tlet Bouguedra et Sebt Gzoula) et le périmètre irrigué (Commune rurale de Sidi aissa).

2.2. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines se trouvent à des profondeurs importantes séparées généralement de la surface terrestre par des couches argileuses et marneuses défavorisant leur exploitation ; en plus de la nappe phréatique du sahel assez peu profonde et qui s'étend sur une superficie 4350km².

3. Le climat :

Particulièrement doux et ensoleillé, il caractérise une province semi- aride avec un été chaud et sec (de Mai à Novembre) et un hiver humide et tempéré (de Novembre à Avril). Les sols de la province ont une importante capacité de rétention d'eau et d'humidité apportée par la masse océanique. Selon la campagne agricole 2012/2013 la pluviométrie de la province est d'environ 300 mm/ans.

III -Présentation de l'organisme l'ONEE :

L'Office National de l'Eau et d'Electricité branche eau connu auparavant par ONEP, crée en 1972, est un acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière des équipements, et sous le contrôle financier du ministère des finances.

Les principales missions de l'Office dans le domaine de l'eau sont :

- ✓ **Planification :** De l'approvisionnement en eau potable à l'échelle du Royaume et programmation des investissements : eau potable et assainissement liquide .
- ✓ **Etudes & Equipement :** Des projets d'approvisionnement en eau potable / Assainissement liquide.

- ✓ **Gestion pour le compte des communes :** Du service d'eau potable et d'assainissement liquide dans les villes où il assure la distribution de l'eau potable .
- ✓ **Contrôle de la qualité :** Des eaux produites, distribuées et susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation en eau potable .
- ✓ **Participation et assistance :** Aux études menées par les départements ministériels en liaison avec le secteur de l'eau potable et de l'assainissement liquide, à l'élaboration des projets de textes législatifs et réglementaires en rapport avec les missions de l'Office.
- ✓ **Les axes stratégiques de l'Office pour l'activité eau :** Pérennisation, renforcement et sécurisation des infrastructures d'eau potable en milieu urbain , généralisation de l'accès à l'eau potable en milieu rural, maintenance et amélioration des performances des installations existantes.

Pour cela, l'Office National de l'Eau et d'Electricité Branche -Eau dispose de plusieurs stations de traitement et la surveillance de la qualité de l'eau réparties sur tout le territoire national dont la station de traitement de SAFI en fait partie.

Structure de l'ONEE Branche-Eau :

L'ONEE Branche-Eau se compose d'une direction centrale située à Rabat et neuf directions régionales à travers le royaume, parmi lesquelles on trouve la Direction Régionale de **TENSIFT (DR2) au sein de laquelle le présent stage a été effectué :**

- ◆ Direction Régionale du Sud AGADIR (DR1).
- ◆ Direction Régionale de **TENSIFT (DR2)** qui exerce son activité sur le territoire des provinces suivantes : Al HAOUZ ,CHICHAOUA ,EL KELAA DES SERAGHNA ,ESSAOUIRA ,MARRAKECH ,MARRAKECH ,OUARZAZATE ,SAFI ,ZAGOURA
- ◆ Direction Régionale du Centre de KHOURIBGA (DR3).
- ◆ Direction Régionale du Centre Nord-Ouest KENITRA (DR4).
- ◆ Direction Régionale du Centre FES (DR5).
- ◆ Direction Régionale du l'Orientale OUJDA (DR4).
- ◆ Direction Régionale du Centre Sud MEKNES (DR7).
- ◆ Direction des coordinations des Provinces sahariennes (DR8).
- ◆ Direction Régionale de l'Atlantique RABAT (DRC).

L'agence mixte de SAFI/YOUSSOUFIA :

L'ONEE Branche-Eau de Safi assure la production de l'eau au niveau de la ville de Safi, Bien qu'au niveau des centres suivants, il assure sa production et sa distribution : AYIR ,BEDDOUZA ,CHEMAIA ,DOUARS TNIN GHIAT ,DOUARS YOUSSOUFIA/CHAMAIA ,IGOUD ,HAD HRARA ,MOUL LBERGUI ,RAS EL AIN ,SIDI AHMED ,SOUIRA KDIMA ,TNINE GHIAT ,YOUSSOUFIA .

Les différents services de l'agence mixte de Safi-Youssoufia sont présentés dans la figure 3

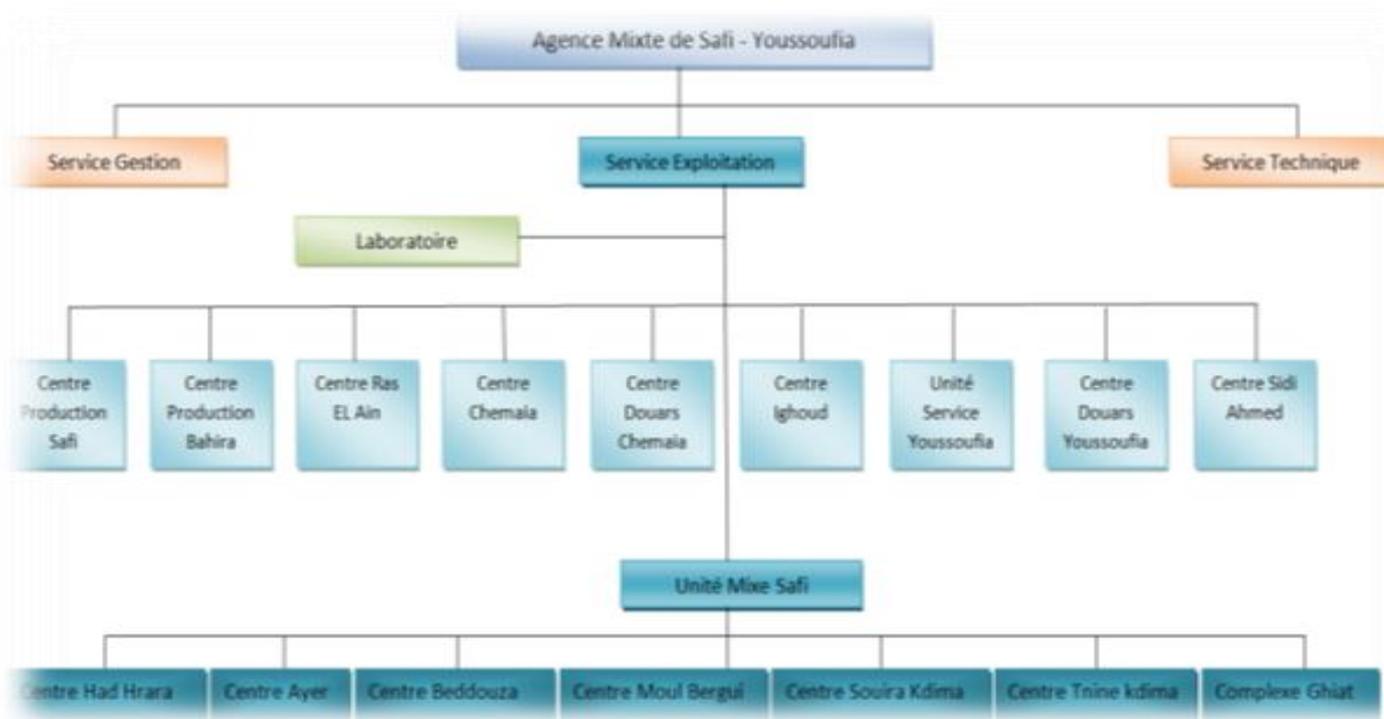


Figure 3 : Les services de l'agence mixte Safi-Youssoufia

Alimentation en eau potable de la ville SAFI :

L'Alimentation en eau potable de la ville se SAFI comprend l'ensemble des opérations d'approvisionnement de la population en eau potable, depuis le prélèvement du milieu naturel jusqu'à l'utilisateur. Elle cherche à répondre à deux objectifs :

- Production d'une eau de qualité, à partir d'une eau brute qui nécessite généralement un traitement,
- Distribution de l'eau produite à travers un ensemble d'installations et de réseaux afin de répondre à la demande des consommateurs de manière satisfaisante.

L'alimentation en eau potable de la ville de SAFI est assurée par :

- ✚ **O.N.E.E** : L'Office National de l'Eau Potable et l'électricité
- ✚ **R.A.D.E.E.S** : La Régie Autonome Intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de Safi

Les différents points de production de l'eau :

La production de l'eau potable de la ville de Safi est assurée par deux points de production :

- Adduction de la retenue de SAFI (**BARRAGE INFOUTE**) alimenté par le canal DOUKKALA et traité par la station de traitement de l'**ONEE-Branche eau**.
- Galerie **TAKABROTE** (eau souterraine).

Le barrage se trouve à 4 km au Nord-est de SAFI, sa capacité de 2.10^4 m^3 satisfait les besoins en eau d'une partie de la ville SAFI.

La Galerie TAKABROTE comporte trois petites sources :

- ✚ Galerie d'amenée da la source **Ain Ghor**.
- ✚ Forages **Tlet Bouariss** 1 et 2.
- ✚ Puits **Ain Rteim**.

Les différents réseaux de la ville SAFI :

Le réseau de distribution d'eau potable de la ville SAFI présente une structure étagée à la topographie du site. Il existe trois réseaux dans la ville de SAFI :

- **Réseaux bas** : Alimenté par la station ONEP. Il **concerne** 20% de la population et comporte les quartiers Trab-sini, Médina et une partie du quartier industriel.
- **Réseaux supérieur** : Alimenté par les ressources de TAKABROUT. Il **concerne** 7% de la population habitant les quartiers Sidi Bouzid, Sidi Abdelkrim, Chnguite.
- **Réseaux haut** : 73% de la population est concernée par ce réseau. Il est alimenté par la station de traitement ONEP mais surtout par le réservoir d'AzibDerai.

IV - Les procédés du traitement de l'eau potable de la ville de Safi :

1 -Introduction :

L'eau potable peut venir de différentes sources. Tout d'abord, elle peut être pompée du sol par des puits. Ces eaux souterraines sont ensuite épurées, de sorte qu'elles ne contiennent plus de contaminants et soient consommables. L'eau potable peut être également obtenue directement à partir des eaux de surface, telles que des fleuves, des lacs et des ruisseaux.

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans aucun traitement du fait des diverses substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer leur qualité (potabilité), elles nécessitent des traitements appropriés (physicochimiques ou biologiques) dans une chaîne de traitement classique.

La figure 3 montre le procédé de traitement de l'eau potable au Maroc :

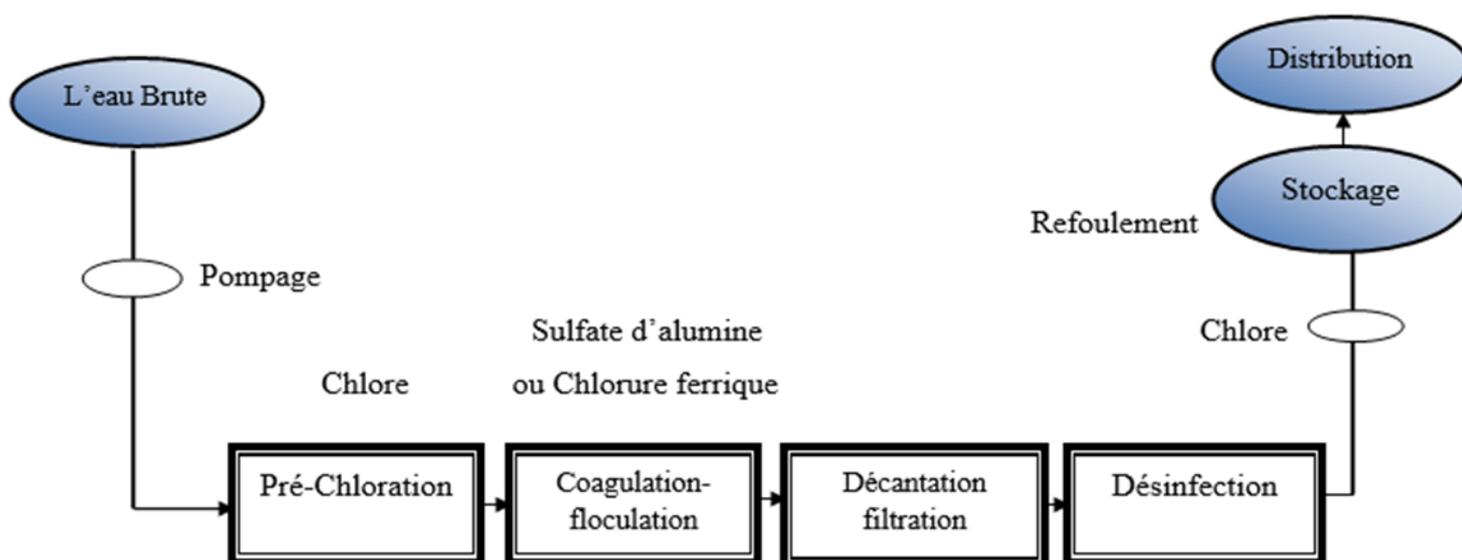


Figure 4 : les procédés du traitement de l'eau à potabilité au Maroc

2 -Processus de traitement de l'eau à la station de l'ONEE-Branche Eau de Safi :

Cette station traite les eaux de surface arrivant de la retenue. Elle est composée de quatre tranches :

- Une première réalisée et mise en service en 1972 avec un débit minimal de 70 l/s.
- Une deuxième mise en service en 1975 avec un débit minimal de 70 l/s.

- Une troisième réalisée en 1984 avec un débit minimal de 210 l/s,
- Une quatrième réalisée en 2002 avec un débit minimal de 190 l/s.

Le procédé de traitement de l'eau est le même que celui de la figure 4, utilisé partout au Maroc :

2.1 -La pré-chloration :

Cette opération a pour but d'éliminer toute matière dissoute indésirable : la suppression du goût, des odeurs, la destruction des germes pathogènes et l'oxydation des matières organiques. Elle s'effectue au niveau de la prise de l'eau pour permettre au chlore d'avoir un temps de contact suffisant pour une réaction optimale.

La pré-chloration consiste à ajouter une quantité du chlore à l'eau brute qui agit comme oxydant sur tous les corps dissous dans l'eau telle que les ions ferreux et manganés, l'Ammoniac, les matières organiques et les micro-organismes. Elle sert à favoriser l'élimination des bactéries présentes dans l'eau à traiter ce qui facilite la stérilisation.

Le chlore est stocké sous forme liquide, extrait sous forme gazeuse et injecté sous forme d'eau chlorée selon la réaction suivante :



On peut citer trois sortes de pré-chloration :

Pré-chloration simple : elle est utilisée surtout pour les eaux moins contaminées telles que les eaux de sources et les eaux souterraines.

Pré-chloration au break-point ou point critique: elle consiste à obtenir la destruction totale des germes pathogènes. Le break-point est le point bas de la courbe représentant la variation de la teneur en chlore résiduel d'une eau à traiter en fonction de la teneur en chlore introduit. Ce point correspond à la dose de chlore pour laquelle il ne subsiste plus de chloramines résiduelles dans l'eau, lorsque celle-ci contient l'origine des composés ammoniacaux.

Super-chloration : elle est utilisée pour les eaux très chargées comme les eaux de surface.

Par conséquent, avant de décider de la dose de chlore nécessaire pour désinfecter l'eau, il faut établir l'exigence de chlore, c'est-à-dire la quantité de chlore qui est consommée jusqu'à l'apparition du résiduel. Dans la figure 5 on montre la variation de la quantité de chlore résiduel en fonction du chlore ajouté pour un cas hypothétique général.

- Dans la première étape a lieu l'oxydation de substances réductrices spécialement inorganiques: Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S ,... Tout l'hypochlorite qu'on ajoute est consommé, ceci fait qu'il n'y ait pas de chlore disponible.

- Quand ces substances ont été détruites, il commencerait une étape dans laquelle se formeraient les composés chlorés, principalement les chloramines, qui agiraient comme chlore résiduel, ce qui donnerait un certain caractère désinfectant au système.

- Quand tout l'ammoniac et les amines organiques ont réagi au chlore, après le sommet de la courbe, il commence une étape de destruction de ces composés chlorés formés dans l'étape antérieure. Lorsqu'on ajoute du chlore, il n'y a pas un accroissement de la quantité de chlore disponible, bien au contraire on observe une diminution, car on consomme le chlore résiduel qui avait été formé, comme l'hypochlorite ajouté. Dans la réaction suivante on peut observer cet effet:



Alors la capacité désinfectante du système se réduit dans cette étape.

Juste Après le point de rupture (break point) tout le chlore qu'on ajoute reste comme chlore libre. Pour ceci on considère qu'à partir de ce point, soit la désinfection comme l'élimination de matière organique oxydable par chlore, ont déjà eu lieu, et l'eau contient une valeur donnée de chlore libre résiduel.

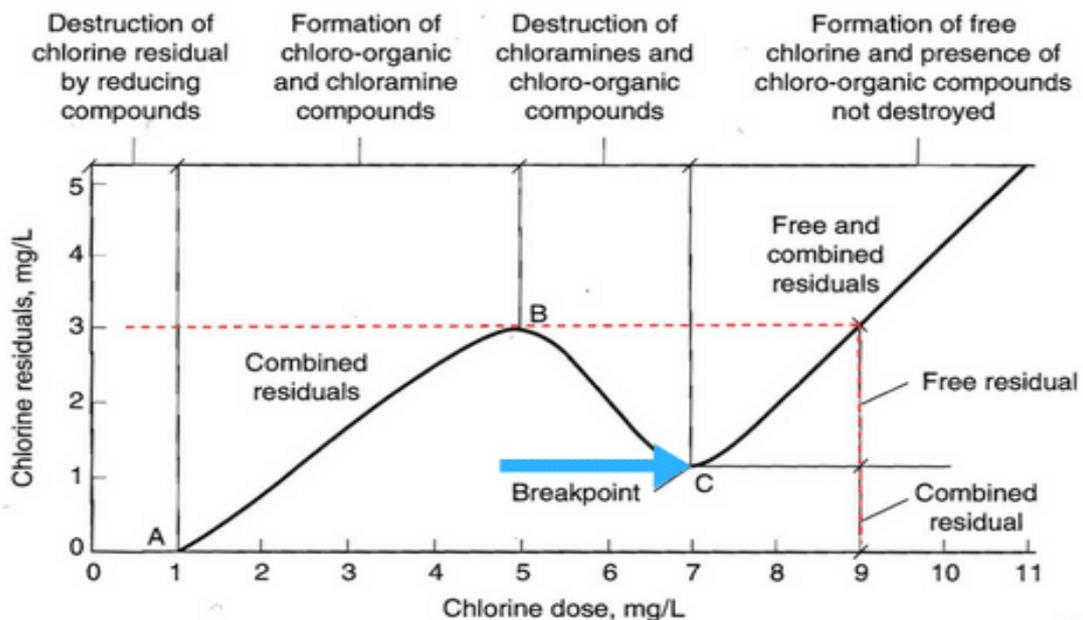


Figure 5 : Courbe de chloruration 'Break point'

2-2 -Coagulation-Floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules de petites taille dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois états suivants :

- **état de suspension qui regroupe les plus grosses particules.**
- **état colloïdal.**
- **état dissous de sels minéraux et de molécules organiques.**

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion inter-colloïdales.

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles.

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de floccs par absorption et agrégation montrés dans la figure Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

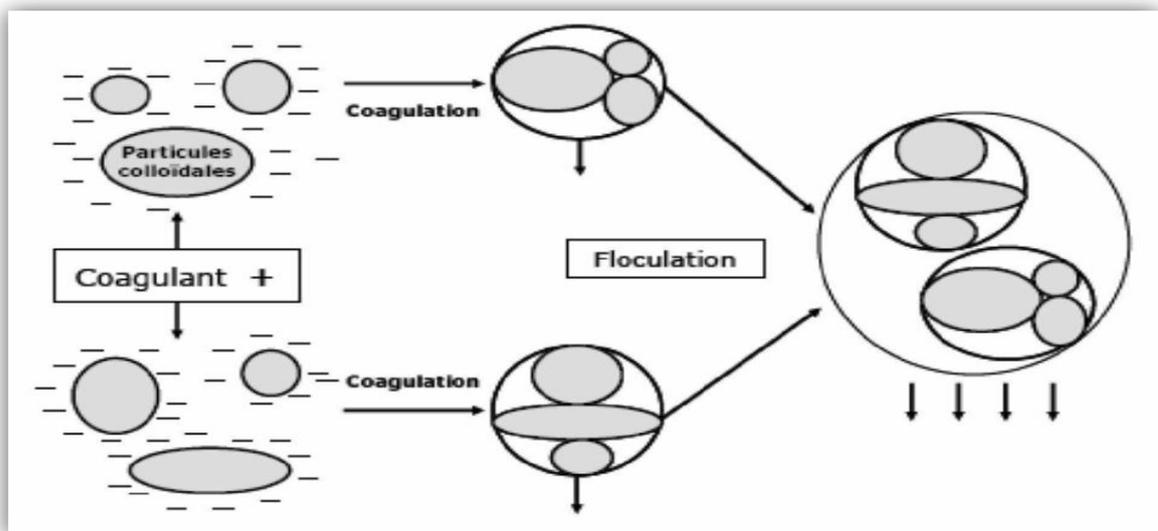


Figure 6 : Mécanismes de Coagulation-Floculation

Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent donc en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste en la déstabilisation des particules en suspension

par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants. Le procédé nécessite une agitation importante.

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau.

Il existe deux principaux types de coagulant : les sels de fer (chlorure ferrique), et les sels d'aluminium (sulfate d'aluminium).

Le coagulant utilisé dans la station du traitement SAFI est le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$, qui est un sel métallique agit sur les colloïdes de l'eau par l'intermédiaire du cation Al^{3+} qui neutralise les charges négatives avant de précipiter. Après la pré-chloration et l'injection du sulfate d'alumine, l'ensemble passe par un mélangeur rapide de vitesse de 120 tr/min.

La floculation permet de s'attaquer au problème du faible diamètre des colloïdes. L'ajout de floculant « poly-électrolyte », permet l'agglomération des particules colloïdales pour avoir un poids plus en plus gros et peuvent précipiter. Cette phase de traitement est réalisée par un agitateur qui tourne à une vitesse de (40tr/min) dans le but de former des floes.

2-3 -Décantation :

C'est un procédé physique intervenant après la coagulation-floculation. L'eau, après coagulation-floculation, entre dans les décanteurs (de la station) à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. L'alimentation se fait par le bas, les particules et les floes étant formés se sédimentent sous l'effet de leur poids et peuvent être récupérées au fond, tandis que l'eau traitée est évacuée par le haut, par débordement. La vitesse de sédimentation est faible.

2-4 -Filtration :

La filtration est un procédé physique qui permet de faire passer l'eau à travers un milieu poreux, on utilise la filtration sur sable qui est une méthode très robuste pour enlever les solides en suspension de l'eau. Le filtre se compose de plusieurs couches de sable de taille et de densité différentes. Lorsque le milieu filtrant est encrassé ou colmaté, on lave le filtre en inversant le sens d'écoulement de l'eau, le milieu filtrant et alors en suspension, et les particules sont acheminées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage.

On lave le filtre par injection par le fond du filtre de l'air et de l'eau. L'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure un brassage suffisant pour décoller ces impuretés. Après l'arrêt des soufflantes, il faut toutefois continuer le lavage à l'eau afin d'entraîner toutes les impuretés vers les goulottes de lavage. Après le brassage l'eau et l'air vient le rinçage à l'eau seulement.

2.5 -Stérilisation :

La stérilisation consiste à assurer en permanence au consommateur une eau exempte de bactéries et d'organismes pathogènes, cela concerne les eaux traitées ainsi que les eaux de sources, car la potabilité d'une eau est liée à sa bonne stérilisation. Il existe différents agents stérilisants : L'ozone, Les rayons ultraviolets, L'argent et le brome pour les eaux de piscines et le chlore.

Le plus souvent, on utilise dans la station de traitement de SAFI le chlore car il est moins cher que les autres produits, et aussi capable de migrer à l'intérieur de la cellule bactérienne et ainsi de bloquer la diastase qui catalyse la formation des germes microbiens.

Les eaux traitées sont stérilisées aux sorties des filtres de la station de traitement puis stockées dans le réservoir de l'ONEP d'une capacité de 2000 m³.

2.6 – Stockage et Distribution :

•Stockage :

Pour garantir la conservation de la qualité obtenue, l'O.N.E.E fait stocker l'eau produit dans des réservoirs d'eau potable, afin de le protéger de la pollution.

•Distribution :

Par le biais des canalisations spéciales (des conduites en béton précontraint) l'eau potable est envoyée vers la R.A.D.E.E.S pour le distribuer. Ces canalisations ont un diamètre de 0.4m alimentées par des pompes qui provoquent un débit de 1000m³/h, on constate aussi que l'O.N.E.E distribue l'eau vers la médina par gravitation.

3. Conclusion :

Pour avoir une eau potable, il est nécessaire de passer par tous ces étapes et sans oublier les normes à suivre.

Chapitre 2 :

"Etude comparative entre deux coagulants utilisés pour le traitement de l'eau potable (Sulfate d'alumine et chlorure ferrique) par la méthode de Jar-Test"

I. Introduction :

La coagulation-floculation est une étape de clarification très importante dans le processus de traitement d'eau qui permet d'éliminer les matières colloïdales présentes sous forme minérale ou organique, et qui sont caractérisées par leur grande stabilité et leur faible taille. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, en facilitant leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques « **coagulants** » qui sont capable de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût. Le type de coagulant et la dose ont une influence sur :

- La qualité de l'eau clarifiée,
- Le fonctionnement de la floculation et de la filtration,
- Le coût d'exploitation.

Les colloïdes peuvent rester en suspension très longtemps et ont un temps de décantation qui peut varier de 2 à 200 ans. C'est pourquoi des coagulants sont utilisés. Ces colloïdes sont chargés négativement et ont donc tendance à se repousser, d'où l'utilisation des coagulants qui permettent l'agglutination des particules entre elles, c'est généralement du sulfate d'aluminium qui est utilisé.

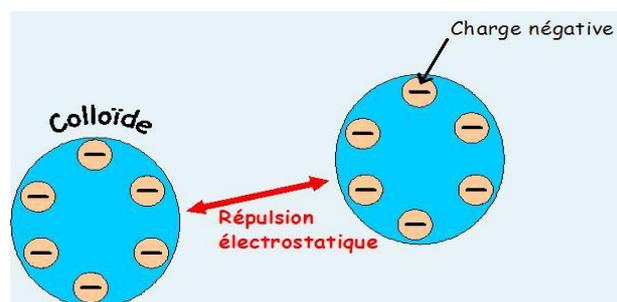


Figure 7 : l'état d'une particule colloïdale

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

Le sulfate d'aluminium est un solide ionique constitué d'ions aluminium (Al^{3+}) et d'ions sulfate (SO_4^{2-}). Comme tout solide, il est électriquement neutre et se compose de 2 ions aluminium pour 3

ions sulfate : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Lors de son ajout dans l'eau, le sulfate d'aluminium se dissout pour former des ions aluminium et des ions sulfate selon l'équation de dissolution:



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

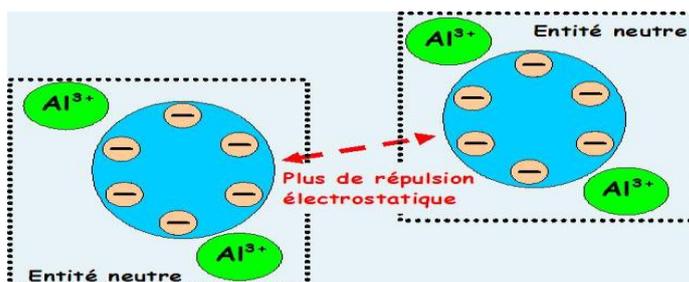


Figure 8 : neutralisation d'un colloïde

La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation.

Le processus de **coagulation-floculation**, malgré son apparente simplicité, fait intervenir divers mécanismes souvent complexes. La difficulté principale est de déterminer le type et la quantité optimale de coagulant à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. A l'heure actuelle, il n'existe pas de modèle de connaissance simple qui permet de déterminer le taux de coagulant en fonction des différentes variables affectant le procédé. La détermination du taux de coagulant est effectuée par analyse hors ligne au laboratoire, à l'aide d'un essai expérimental appelé « **Jar-test** ».

Durant notre stage effectué au laboratoire de l'ONEE Safi, on a eu l'occasion de faire appel à la méthode « Jar-Test » pour comparer entre les deux coagulants : sulfate d'alumine et chlorure ferrique. Donc on a effectuées les mesures des paramètres organoleptiques, physico-chimiques et biologiques.

II- Les techniques d'analyses d'eau :

1 –Les paramètres organoleptiques :

- **La turbidité :**

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou absorber la lumière incidente. La turbidité est donc un des facteurs de la couleur de l'eau.

La turbidité est due à la présence dans l'eau de particules en suspension minérales ou organiques, vivantes ou détritiques. Ainsi, plus une eau est chargée en biomasse phytoplanctonique ou en particules sédimentaires, plus elle est turbide.

Les conséquences de la turbidité concernent la pénétration de la lumière et des ultra-violet dans l'eau, et donc la photosynthèse et le développement des bactéries.

La turbidité est mesurée à l'aide d'un turbidimètre montré dans la photo suivante :



Photo 1 : Turbidimètre

- **La couleur :**

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées .Leur couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation de matières végétales. Le degré de couleur dépend non seulement de la concentration en matières colorantes, mais aussi du pH et de la turbidité.]. La mesure de la couleur d'une eau naturelle se fait par comparaison avec une échelle artificielle de couleur. La substance de référence choisie est le chloroplatine de potassium dans une solution de chlorure de Cobalt .L'unité de couleur est le Hazen correspondant à un mg/l de platine. On l'appelle aussi unité platino-cobalt ou unité de couleur vraie (uCV). Pour une eau potable, le degré de couleur maximale est de 15 Ucv.

- **Goût et odeur :**

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. Ces deux paramètres sont regroupés et font appel aux mêmes types de traitement (adsorption, oxydation, filtration...). La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels et les métabolites de certains

microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau. Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du fait du chlore résiduel.

2 –Les paramètres physico-chimiques :

- **Mesure de pH :**

Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions d'hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans : Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites des pH ; L'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration). Les mécanismes de la coagulation La détermination du pH est donc la mesure que l'on doit effectuer le plus fréquemment. Pour mesurer le pH, on utilise un pH mètre présenté dans la photo 2 .



Photo 2 : pH-mètre

- **Mesure de température :**

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc... Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C. Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité. La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux qu'elles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres.

- **Détermination de l'alcalinité totale (TA) :**

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH : - alcalinité au virage du rouge de méthyle : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3 , CO_3^{2-} et OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC. - alcalinité au point de virage de la phénophtaléine –. Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette TAC est nul pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3.

Mode opératoire :

On prend 100 ml d'un échantillon, on ajoute 3 à 4 gouttes de la phénophtaléine jusqu'à l'obtention de la première couleur de l'échantillon. Puis on dose par l'acide chlorhydrique jusqu'à la décoloration de l'échantillon.

TA c'est la quantité ajoutée de HCl. Si $\text{PH} < 8,3 \implies \text{TA} = 00$

La démonstration de la relation du titre alcalimétrique complet :

Au cours de l'expérience on réalise un dosage par HCL (0,1N)

On a $\text{Na} \cdot \text{Va} = \text{Nb} \cdot \text{Vb}$

Donc $\text{Na} = \text{Nb} \cdot \text{Vb} / \text{Va}$

$\Leftrightarrow \text{Na} = 0,1 \cdot \text{Vb} / 100$.

$\Leftrightarrow \text{Na} = 10^{-3} \cdot \text{Vb}$ (éq/l).

$\Leftrightarrow \text{Na} = \text{Vb}$ (méq/l)

Donc $\text{Na} = \text{TAC} = \text{Vb}$ (méq/l)

Vb : volume à l'équilibre de HCl.

Nb : normalité de HCl (0,1N).

Va : volume de la prise d'essai
100ml.

Na : normalité des alcalins

- **Détermination de l'Al et de Fer résiduel :**

- **Test d'Aluminium :**

C'est un test qui sert à détecter l'absence ou la présence d'aluminium dans l'eau traitée.

On Prend 5 ml de l'échantillon, on ajoute une spatule de (Al-1A) et 1,2 ml de (Al-2A) et 4 gouttes de (Al-3A), La lecture finale des résultats se fait après 7min. Chaque couleur correspond à une valeur et La variation des couleurs varie entre : jaune, verte, bleu

La valeur maximale admissible : 0,2 mg/L.

- **Test de fer :**

C'est un test sert à détecter la présence ou l'absence du Fer dans l'eau traitée.

On Prend 4mL de l'échantillon et on ajoute 3 gouttes du réactif (Fer⁻¹) et on laisse 3min ensuite on fait la comparaison de couleur.

La valeur maximale admissible : 0,3 mg/L

3–Les paramètres d'intérêts biologiques :

- **Oxydabilité au KMnO₄ :**

Cette mesure renseigne sur la concentration en matières organiques présentes dans une eau peu chargée .On utilise un oxydant, le permanganate de potassium (KMnO₄), qui, dans des conditions opératoires précises, va oxyder des molécules présentes dans l'eau. Ces molécules sont essentiellement des molécules organiques mais des molécules minérales peuvent être également oxydées et l'on devrait parler plutôt de matières oxydables. Le KMnO₄ n'attaque pas toutes les molécules organiques mais il est très utilisé pour suivre l'évolution de la matière organique dans une station de traitement. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid. La méthode à chaud est la plus utilisée à cause de sa rapidité.

Mode opératoire :

On met 100ml d'eau à analyser dans un ballon rodé de 250 ml puis on ajoute :

1ère étape:

- 2ml d'acide sulfurique concentré (H₂SO₄),
- 10 ml de KMnO₄ N/100,
- On chauffe au bain marie à 100°C pendant 13 min.

2ème étape :

- Juste après, on ajoute 10 ml de Na₂C₂O₄ (N/100), la solution devient incolore,

l'apparition - Le titrage, en retour, se fait par permanganate de potassium (N/100), jusqu'à d'une teinte rose.

Vérification :

- On ajoute 10ml de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (N/100), la solution devient incolore,
- Puis on fait le titrage par KMnO_4 (N/100) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose.

Résultats :

$$\text{M.O. (mg/L)} = 0.8 * \text{TB}$$

TB : Tombé de burette
M.O : Matière organique
Norms: $\text{VmR} = 2\text{mg/L}$

Le tableau 1 montre les valeurs maximale requise par les normes marocaines pour les paramètres cité précédemment :

Tableau 1 : Les normes marocaines de l'eau potable

SUBSTANCES INDESIRABLES ET/OU POUVANT DONNER LIEU A DES PLAINTES

paramètres physico-chimiques

PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	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 (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU.
Température	°C	Acceptable	
Potentiel hydrogène	Unités 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	$\mu\text{S/cm}$ à 20°C	2700	
Chlorures	Cl:mg/l	750	
Sulfates	SO4:mg/l	400	
Oxygène 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 2 mg 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	

III- La pré-chloration :

Avant d'entamer les essais de JAR-TEST, l'étape de pré-chloration est nécessaire dont on a effectués l'essai de la demande en chlore pour déterminer la dose du désinfectant (Eau de Javel) à injecter :

La demande en chlore :

La demande en chlore se réalise selon le protocole suivant :

- On a pris une série de 10 fiole avec des doses croissantes respectivement 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 4,5 ; 5 d'eau de javel.
- Pour jauger on ajoute 100ml d'eau brute
- On mesure le chlore résiduel pour chaque dose.
- Avant de décider la quantité de chlore nécessaire pour désinfecter il faut établir l'exigence de chlore, c'est-à-dire la quantité de chlore qui est consommé jusqu'à l'apparition du résiduel, c'est pour ça on trace la courbe de chloruration pour déterminer le « Break point ».

Le tableau 2 et la figure 8 montre les résultats obtenus :

Tableau 2 : Résultats du chlore résiduel en fonction des doses injectés de l'eau de Javel

Doses injectées(ml)	Chlore résiduel(mg/l)
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0,1
2,5	0,15
3	0,4
3,5	0,45
4	0,1
4,5	0,45
5	1

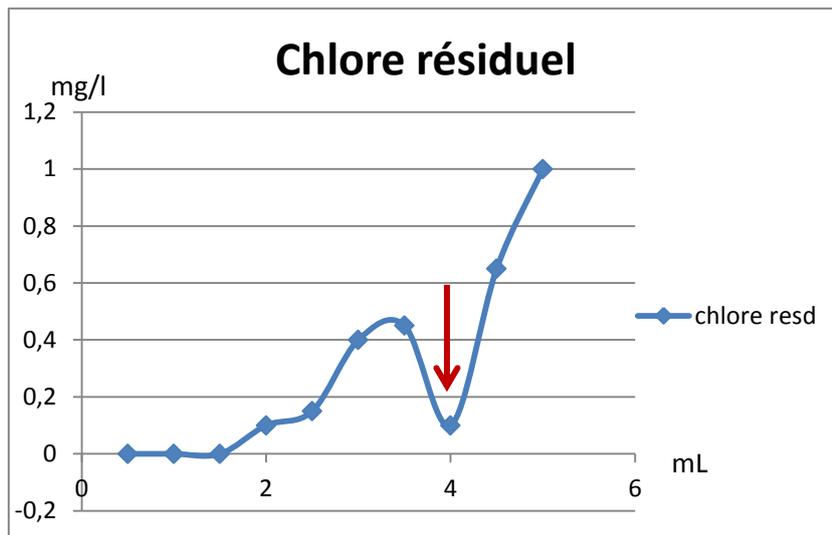


Figure 9 : Courbe montrant le point de rupture « BREAK POINT »

VI –Méthode de JAR TEST:

Il consiste en une rangée de béciers montrés dans la photo 3 alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béciers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent et que la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés.



Photo 3 : Jar Test

1 –PROTOCOLE DE LA METHODE DE JAR TEST :

Etape 1 : Injection des réactifs :

Sur une série d'échantillons contenant 1L Eau pré-chlorée, nous injectons des doses variables de coagulant.

Suite à l'injection, les échantillons sont soumis à une agitation rapide 120 t/min pendant 3 min, afin de favoriser la coagulation comme montrés dans la photo 3.

Etape 2 : Coagulation-Floculation :

Agitation lente pendant 20min à 40 tr/min. Cette vitesse évite de casser les floccs déjà formés tout en permettant un mélange pour favoriser leur polymérisation.

Etape 3 : Décantation

On laisse les floccs formés pendant l'agitation lente se décanter pendant 30 minutes comme montrés dans la photo 4, après 30 minutes de décantation, le surnageant de chaque échantillon est récupéré avec précaution pour mesurer ses paramètres.



Photo 4 : Décantation des floccs

Etape 4 : filtration :

Cette étape permet de filtrer le surnageant à l'aide d'un papier filtre, le filtrat récupéré est mesuré à l'aide d'un turbidimètre et titrer par acide sulfurique. La figure 9 montre le schéma de filtration .

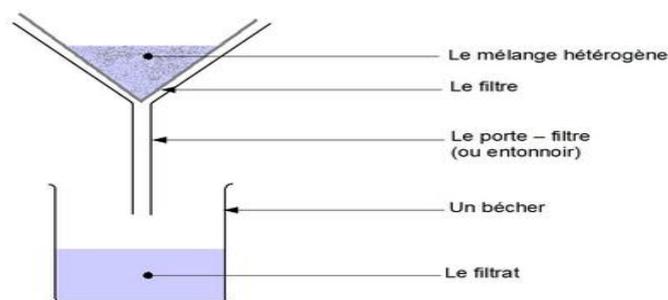


Schéma d'un montage de filtration

Figure 10 : Schéma montrant la technique de filtration utilisée au laboratoire

Pour obtenir les teneurs variables (0.5 ,1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3 ,3.5)ml, on prend 2.5g de sulfate d'Al (Poudre) et on la jauge avec 250ml d'eau pré-chlorée .

3.1.2 Chlorure ferrique :

Le chlorure de fer(III), également appelé chlorure ferrique ou perchlorure de fer, est un sel de fer de formule chimique FeCl_3 . C'est un composé très hygroscopique, qui émet des vapeurs dans l'air humide sous l'effet de l'hydrolyse. La réaction de dissolution dans l'eau est très exothermique et forme une solution acide marron. Ce liquide corrosif est utilisé pour traiter les eaux usées et les eaux d'adduction. Il est également utilisé pour des attaques métallographique sur des cuivreux (notamment ceux présents dans les circuits imprimés) ainsi que l'acier inoxydable.

Le chlorure de fer(III) montrés dans la photo 6 anhydre est un acide de Lewis assez puissant, utilisé comme catalyseur dans des réactions de chimie organique. La forme hexa-hydratée, jaune, est la forme commerciale la plus courante du chlorure ferrique. Sa structure est $[\text{FeCl}_2(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.



Photo 6 : cristaux de chlorure ferrique

Pour obtenir les teneurs variables (0.5 ,1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3 ,3.5)ml, on prend 5g de chlorure de fer et on la jauge avec 500ml d'eau pré-chlorée.

3-2 Résultats des essais :

- Pour savoir lequel des doses injectés des coagulants est convenable on fait recours aux paramètres physico-chimiques et biologiques mesurés par nous-même mentionnés dans les tableaux 4 et 5 :

✓ Essai de coagulation par le sulfate d'alumine :

Les conditions opératoires :

Afin de déterminer les paramètres physico-chimique et biologiques qui vont nous guider pour choisir lequel des doses injecter du sulfate d'alumine est convenable nous avons suivies le chemin suivant :

Dans une première étape, nous avons injectées des doses croissantes de sulfate d'alumine respectivement (1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3 ,3.5) sur 1L d'eau pré-chlorée sous une agitation rapide de 120t/min pendant 3min, ensuite en régleront l'agitateur à 40t/min pendant 20 min pour que les floccs ne se casse pas par l'agitation élevé. Après les 20min nous laisserons les échantillons se décanter pendant 30min et on récupère le surnageant à l'aide d'une pipette pour mesurer sa turbidité et son pH. Finalement on passe à la dernière étape qui est la filtration, dans cette étape on prend le surnageant

on le filtre à l'aide d'un papier filtre et on mesure la turbidité, le titre alcalimétrique, le test d'aluminium résiduel et oxydabilité du filtrat.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 3 et la figure 10.

Tableau 4 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le sulfate d'alumine

Essai de coagulation						
bécher N°	I	II	III	IV	V	VI
Le taux du coagulant mg/L	10	15	20	25	30	35
Délai d'apparition du floc pendant agitation lente	4 min	3 min	3 min	30 s	1 min	1 min
Aspect du floc, en fin d'agitation lente*	4	8	8	8	8	8
Première estimation de la vitesse de sédimentation**	M	R	R	R	R	R
Résultats après décantation : (temps de décantation : 30 mn)						
pH	7,72	7,59	7,54	7,49	7,44	7,37
Turbidité NTU	3,87	0,87	0,45	0,41	0,39	0,34
Chlore résiduel	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Résultats après filtration (filtration sur papier bande blanche)						
Turbidité NTU	0,65	0,52	0,30	0,19	0,14	0,12
T.A.C ° F	2,8	2,4	2,5	2,5	2,55	2,4
Aluminium résiduel mg/ L	0,25	0,2	0,2	0,12	0,12	0,12
Oxydabilité						
Tomber de burette	3	2	1.4	1.2	1	0.9
Taux d'oxydabilité mg/L	2.4	1.4	1.12	0.94	0.8	0.72

La figure 10 représente l'évolution du pH et de la turbidité en fonction des doses injectées :

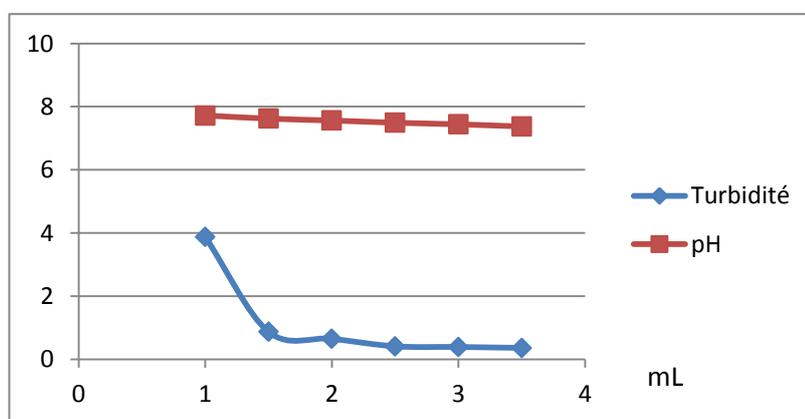


Figure 11 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le sulfate d'alumine

On remarque dans le tableau 3 et la figure 10 que à l'addition de 15 mg/L du coagulant une diminution de la valeur de la turbidité de 4.22 NTU de l'eau pré-chlorée de l'entrée de la station à 0,87 NTU, et avec l'augmentation de la concentration du coagulant ces valeurs de turbidité continuent à diminuer.

Cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter. On remarque aussi qu'avec l'augmentation de la concentration du coagulant la valeur du pH subit une diminution de 7,72 à 7,59 cela est dû à l'acidité du coagulant sulfate d'aluminium.

Ajoutant à cela on remarque que le taux d'oxydabilité diminue en fonction des doses injectées.

Donc pour choisir le taux de concentration du coagulant convenable, nous avons adopté aux normes :

- La turbidité filtrée des 2 premiers béciers est supérieur à la norme : (0,65 NTU, 0,52 NTU) > 0,5 NTU donc à éliminer.
- Les 4 derniers béciers répondent aux critères de choix, donc on va choisir le bécier 3: 20 mg/L puisqu'il contient moins de coagulant (raison économique) .

✓ Essai n°2 par le coagulant chlorure ferrique :

Les conditions opératoires :

Afin de déterminer les paramètres physico-chimique et biologiques qui vont nous guider pour choisir lequel des doses injecter du chlorure ferrique est convenable nous avons suivies le chemin suivant :

Dans une première étape, nous avons injectées des doses croissantes de chlorure ferrique respectivement (1 ,1.5 ,2 ,2.5 ,3 ,3.5)ml, sur 1L d'eau pré-chlorée sous une agitation rapide de 120t/min pendant 3min, ensuite en régleront l'agitateur à 40t/min pendant 20 min pour que les floccs ne se casse pas par l'agitation élevé. Après les 20min nous laisserons les échantillons se décanter pendant 30min et on récupère le surnageant à l'aide d'une pipette pour mesurer sa turbidité et son pH. Finalement on passe à la dernière étape qui est la filtration, dans cette étape on prend le surnageant on le filtre à l'aide d'un papier filtre et on mesure la turbidité, le titre alcalimétrique, le test du fer résiduel et oxydabilité du filtrat.

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 5 et la figure 11 :

Tableau 5 : Résultats des essais de Jar-test effectués sur l'eau pré-chlorée par le chlorure ferrique :

Essai de coagulation						
bécier N°	I	II	III	IV	V	VI
Le taux du coagulant mg/L	10	15	20	25	30	35
Délai d'apparition du flocc	1 min	30s	30s	20s	20s	20s

pendant agitation lente						
Aspect du floc, en fin d'agitation lente*	6	8	8	8	10	10
Première estimation de la vitesse de sédimentation**	M	M	R	R	R	R
Résultats après décantation : (temps de décantation : 30 mn)						
pH	7,50	7,41	7,34	7,21	7,16	6,10
Turbidité NTU	1,08	0,85	0,78	0,58	0,45	0,43
Chlore résiduel	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Résultats après filtration (filtration sur papier bande blanche)						
Turbidité NTU	0,24	0,20	0,17	0,17	0,16	0,16
T.A.C ° F	2,6	2,58	2,58	2,54	2,44	2,38
Fer résiduel mg/L	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02
Oxydabilité						
Tomber de burette	3,1	2,1	1,3	1,2	0,9	0,8
Taux d'oxydabilité mg/L	2,48	1,68	1,04	0,96	0,72	0,64

La figure 11 représente l'évolution du pH et de la turbidité en fonction des doses injectées :

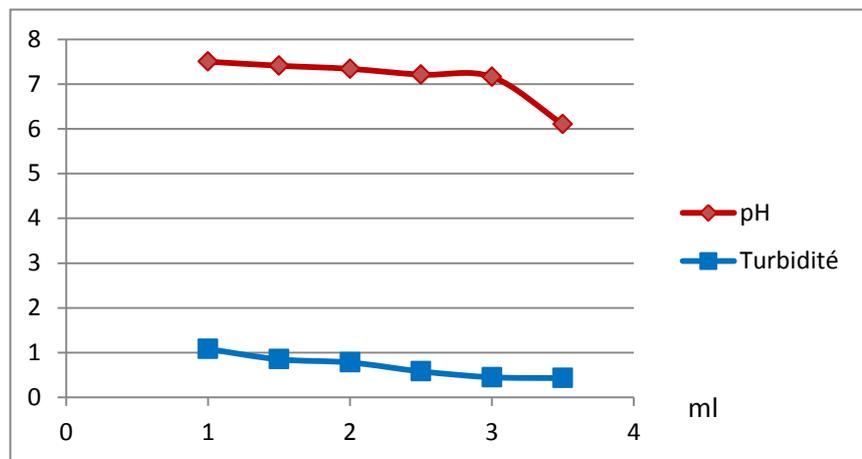


Figure 12 : Evolution du pH et de la turbidité dans l'eau contenant le chlorure ferrique

D'après les résultats obtenus dans le tableau 5 et la figure 11 on observe que la turbidité diminue en fonction de l'augmentation progressive de la concentration du coagulant (FeCl_3) pour atteindre 0,43 NTU pour 35 mg/L de coagulant. On remarque aussi qu'avec l'augmentation de la concentration du coagulant la valeur du pH subit une diminution de 7,50 à 6,10 cela est dû à l'acidité du coagulant (FeCl_3).

En ce qui concerne le taux d'oxydabilité on remarque aussi qu'il diminue en fonction des doses injectées.

D'après les résultats de la turbidité filtré, on constate qu'ils sont tous conforme aux normes, donc on fait recours à l'essai du fer résiduel qui va nous donner aussi des valeurs semblable donc on prend la valeur du fer résiduel qui correspond à la concentration de coagulant la moins élevée.

La concentration choisie : 30 mg/L

3-3 Choix et comparaison entre les meilleurs essais de chacun des deux coagulants :

Les résultats des meilleurs essais sont mentionnés dans les tableaux 6 et 7 :

Tableau 6 : Dose d'Al₂(SO₄)₃ présentant le meilleur résultat

N° du bécher	III
Coagulant mg/ L	20
pH	7.54
Turbidité de l'eau après décantation (NTU)	0.45
Turbidité de l'eau après filtration (NTU)	0.30
Chlore résiduel libre mg/L	1.7
TA	2.5
Aluminium résiduel mg/L	0.2

Tableau 7 : Dose du FeCl₃ présentant les meilleurs résultats de traitement

N° du bécher (meilleur bécher)	VI
Coagulant mg/ L	30
pH	7.14
Turbidité de l'eau après décantation (NTU)	0.45
Turbidité de l'eau après filtration (NTU)	0.14
Chlore résiduel mg/L	1.7
TA	2.44
Fer résiduel mg/L	0.02

Les tableaux 8 et 9 représentent les similitudes et les différences entre les meilleurs essais des deux coagulants pour comparer :

Tableau 8 : Les similitudes entre les deux coagulants :

	Meilleur essai sulfate d'alumine	Meilleur essai chlorure ferrique
pH	7.54	7.14
Chlore résiduel	1.7	1.7
Turbidité de l'eau après décantation (NTU)	0.45	0.45
Turbidité de l'eau après filtration (NTU)	0.30	0.14
TA	2.55	2.44

Tableau 9 : Les différences entre les deux coagulants :

	Meilleur essai sulfate d'aluminium.	Meilleur essai chlorure ferrique.
Délai d'apparition des floes	1 min	20s
Aspect des floes	Bon floe	Excellent

On déduit que l'efficacité obtenue à partir du coagulant chlorure ferrique et celle donnée par le coagulant sulfate d'aluminium est presque la même. Mais cela n'empêche pas que le sulfate d'aluminium est le plus facile à réaliser au niveau de la station de Safi et le plus adapté industriellement, car le chlorure ferrique présente plusieurs inconvénients parmi eux :

✓ **La couleur :**

La présence d'un résiduel de fer s'oxyde avec l'eau de javel (désinfectant), ce qui implique une apparition de couleur au niveau de l'eau.

✓ **Effet corrosif :**

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.

✓ **Méfais sur la santé :**

• **Effets principaux :**

- Irritant pour la peau; corrosif pour les muqueuses et les yeux.
- Risque d'altérations du foie.
- L'exposition chronique au produit peut provoquer une accumulation de fer dans les tissus (sidérose) caractérisée par des dépôts rouge-brun.

- **Inhalation :**

Irritation intense du nez et de la gorge. Toux et respiration difficile. En cas d'expositions répétées ou prolongées : risque de maux de gorge, de saignements de nez, de bronchite chronique. En cas d'expositions répétées ou prolongées : risque de coloration brune des dents.

- **Contacts avec les yeux :**

Irritation intense, larmoiement, rougeur des yeux et gonflement des paupières. Brûlures, Risque de lésions graves ou permanentes de l'œil.

✓ **Au niveau économique :**

Le chlorure ferrique est plus cher que le sulfate d'alumine.

Le sulfate d'alumine coute 3.28 DH/Kg

Le chlorure ferrique coute 11.84 DH/Kg

4. Conclusion :

Le choix entre les deux coagulants se base sur les critères cité précédemment, mais aussi sur la nature de l'eau brute .Certains ONEEs au Maroc utilisent par obligation le chlorure ferrique comme coagulant (par exemple : ONEE de Tétouane) vue que leur eau brute contient déjà une quantité de sulfate d'alumine, donc s'ils le traite avec ce dernier l'eau va dépasser les normes.

Conclusion général :

Notre travail a pour objectif l'amélioration de la qualité des eaux naturelles destinées à la consommation humaine, au sein de l'office national de l'eau potable et l'électricité de Safi, par le choix du coagulant convenable parmi les 2 coagulants : sulfate d'aluminium et chlorure ferrique.

Dans cet période de stage nous avons étudiées plus particulièrement les différentes techniques d'analyses d'eau comme les paramètres physico-chimiques , les paramètres organoleptiques et les paramètres d'intérêt biologiques pour déduire les caractéristiques de l'eau et la diminuer la matière en suspension, qui représentent un problème principal au niveau de la station .

Afin de cerner au mieux la problématique du thème choisi, l'élaboration d'une synthèse bibliographique a été nécessaire :

La première partie du mémoire a donc consistée en un état des connaissances sur la zone d'études (cadre géographique, l'hydrologie, le climat), la présentation de l'organisme (ONEE branche d'eau de Safi), et les processus de traitement de l'eau en générale au sein de la station.

La seconde partie de notre travail a été consacrée à la présentation des résultats d'essais expérimentaux que nous avons réalisés dans le cadre de cette comparaison. Structurés en plusieurs étapes , cette étude expérimentale a permis la description détaillée des coagulants utilisés (sulfate d'aluminium et chlorure ferrique) , ainsi que des protocoles expérimentaux suivis au cours des essais.

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à déterminer les caractéristiques physico-chimique de eau pré-chlorée de l'entrée de la station de traitement

Et afin de déterminer le meilleur coagulant et sa dose optimale à injecter dans l'eau pré-chlorée et les bonnes conditions du milieu, nous avons effectuées deux essais avec les deux coagulants puis nous avons déterminé la dose optimale de ces deux réactifs, qui nous aidera également dans le choix du meilleur coagulant.

Dans un seconde temps , Le suivi de cette étape à révéler 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 due au résidu de fer et cela peut constituer un risque 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.

ANNEXES

Annexe 1: Fiche technique du Sulfate d'alumine

Masse molaire: 444.42 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 H_2O (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/m³
Limites d'explosivité inférieure : non disponible supérieure non disponible
Dose en traitement des eaux :
Densité : non disponible
Densité apparente ~ 820 kg/m³
Solubilité dans eau (20 °C) ~ 400 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 : SO_3 .
Indications annexes: Non combustible.

Annexe 2 : Fiche technique du Chlorure ferrique

Formule chimique: 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 0,04
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 142,2g

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Des anciens PFE

Webographie :

- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation-floculation>
- www.onep.ma
- <http://www.radees.ma/>
- <https://www.water-quality-journal.org/>
- <https://maps.google.com/>