



Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

***TECHNIQUES D'ANALYSE CHIMIQUE ET
CONTROLE DE QUALITE
(TACCQ)***

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Essais de coagulation-floculation
(Jar-test)**

Présenté par :

◆ **BOUHARROU Taouab**

Encadré par :

◆ **Pr EL MFEDDALI A. (ONEP Taounate)**

◆ **Pr BOUKIR A. (FST Fès)**

Soutenu Le 09 Juin 2014 devant le jury composé de:

- Pr BOUKIR A.
- Pr ZEROUALE A.
- Pr. IDRISSE KANDRI N.

Stage effectué à l'ONEP de TAOUNATE

Année Universitaire 2013 / 2014

Remerciements

Au terme de ce travail, j'aime adresser mes plus sincères remerciements :

- ✚ A monsieur le Directeur de l'Office National de l'Eau Potable de Taounate d'avoir accepté de m'accueillir, afin de passer mon stage de fin d'étude et à **Mr A. EL ABBADI** chef de production.
- ✚ A mon professeur encadrant **Mr A. BOUKIR** pour ses précieux conseils tout au long de ce stage et pour m'avoir dirigé lors de ce travail.
- ✚ A **Mr A. EL MFEDDALI, M^{lle} Z. HACHEM** pour l'aide précieuse, l'orientation, la grande compréhension, la disponibilité et le soutien durant la période du stage.
- ✚ A tous les membres de jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.
- ✚ A toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

Dédicaces

Comme symbole profond de gratitude et dévouement je dédie le fruit de ce travail en Premier lieu à:

- **Mes professeurs :**

Qui ont contribué à ma formation.

- **Mes parents :**

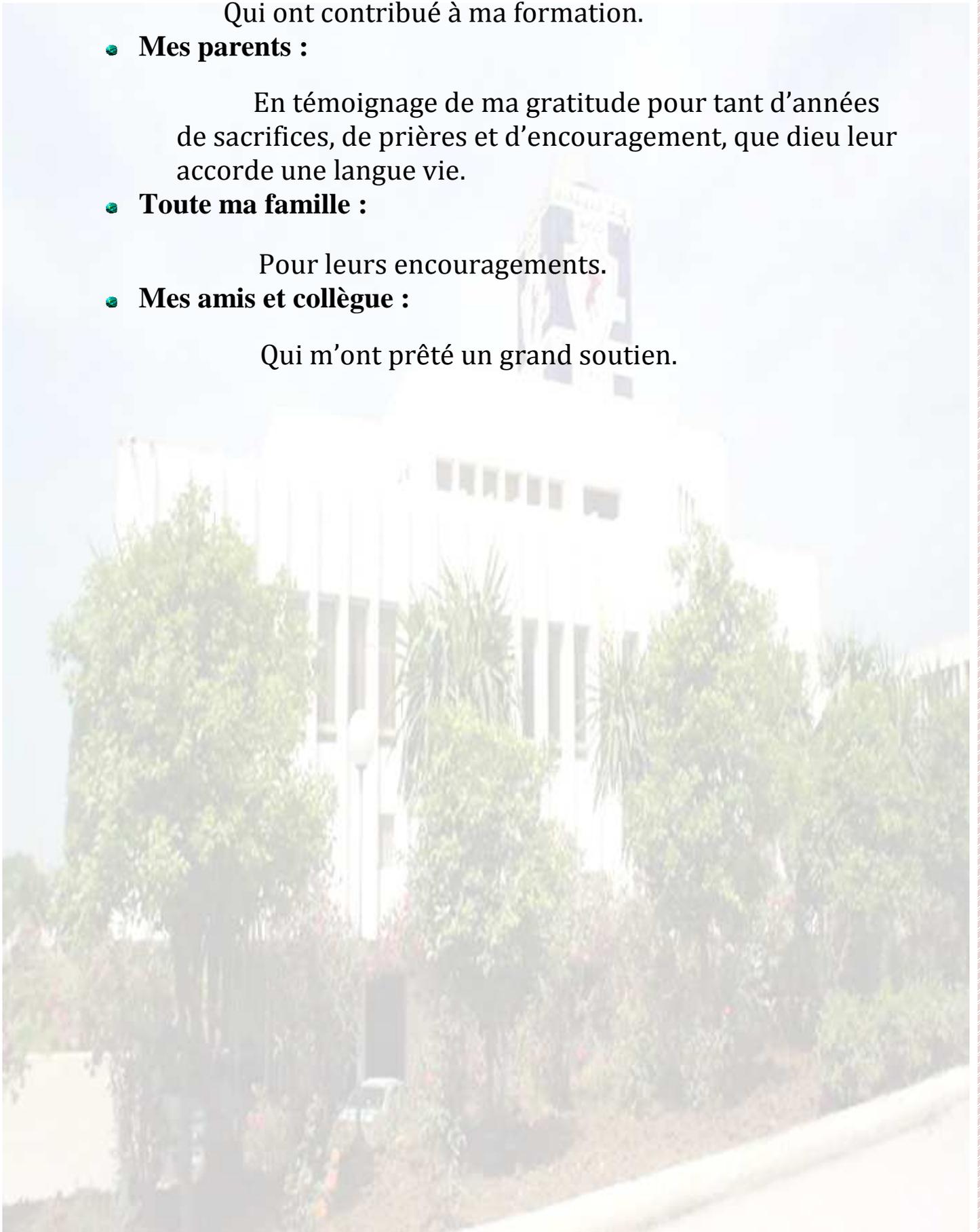
En témoignage de ma gratitude pour tant d'années de sacrifices, de prières et d'encouragement, que dieu leur accorde une longue vie.

- **Toute ma famille :**

Pour leurs encouragements.

- **Mes amis et collègues :**

Qui m'ont prêté un grand soutien.



Sommaire

Introduction

Chapitre I: Présentation de l'ONEP

I. Office National de l'Eau

Potable.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Mission principale de l'ONEP 4

2. Nouvelles orientations stratégiques de l'ONEP 4

3. Office national de l'eau potable de Taounate 5

4. Description du complexe de traitement de Rila-Taounate 5

Chapitre II: Description du procédé du traitement

I. Station de prétraiteme 9

1. Dégrillage 9

2. Le relevage 9

3. Dessablage 9

4. Aération 9

5. Débourbage..... 10

II. Station de traitement..... 11

1. Pré-chloration 11

2. Coagulation-floculation 11

a. Coagulation 11

b. Floculation 11

3. Décantation 12

4. Filtration **Erreur ! Signet non défini.**

5. Désinfection..... 13

Chapitre III : Contrôle de la qualité de l'eau

I. Analyses organoleptiques 15

1. Odeur 15

2. Gout 15

3. Couleur 15

II. Analyses physico-chimiques.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Turbidité 16

2. Potentiel hydrogène pH 17

3. Conductivité.....	17
4. Chlore résiduel.....	18
5. Température.....	19
6. Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC	19
a. Titre alcalimétrique	19
b. Titre alcalimétrique complet TAC	20
7. Titre hydrotimétrique.....	21
a. Mode opératoire	21
b. Expression des résultats :	22
8. Oxydabilité	22
a. Mode opératoire	23
b. Réactions du dosage.....	23
c. Expression des resultants	23
Chapitre IV : Essai de coagulation-floculation (Jar-test)	
I. Coagulation-floculation.....	26
1. Coagulation.....	26
2. Floculation	26
II. Jar-test (essai de coagulation-floculation).....	27
1. Demande en chlore	27
a. Mode opératoire	Erreur ! Signet non défini.
b. Interprétation.....	28
c. Expression des résultats	28
d. Résultats.....	29
2. Jar test.....	31
a. Définition	31
b. Matériel utilisé en expérience	31
c. Réactifs.....	31
d. Mode opératoire	32
e. Critères de choix de la dose optimale	34
f. Résultats des essais da floculation.....	34
g. Essais de coagulation-floculation	35
Conclusion.....	39

Liste des figures

Figure n° 1: Schéma descriptif des étapes de traitement des eaux brute.....	page 8
Figure n° 2: Photo du décanteur.....	page 12
Figure n° 3: Photo des filtres à sable.....	page 13
Figure n° 4: Turbidimètre.....	page 16
Figure n° 5: pH-mètre.....	page 17
Figure n° 6: Conductimètre.....	page 18
Figure n° 7: Chloromètre.....	page 19
Figure n° 8: Courbe de la demande en chlore (break point).....	page 29
Figure n° 9: Courbes des demandes en chlores effectuées.....	page 30
Figure n° 10: Dispositif expérimental de l'essai de floculation (Jar-Test).....	page 33

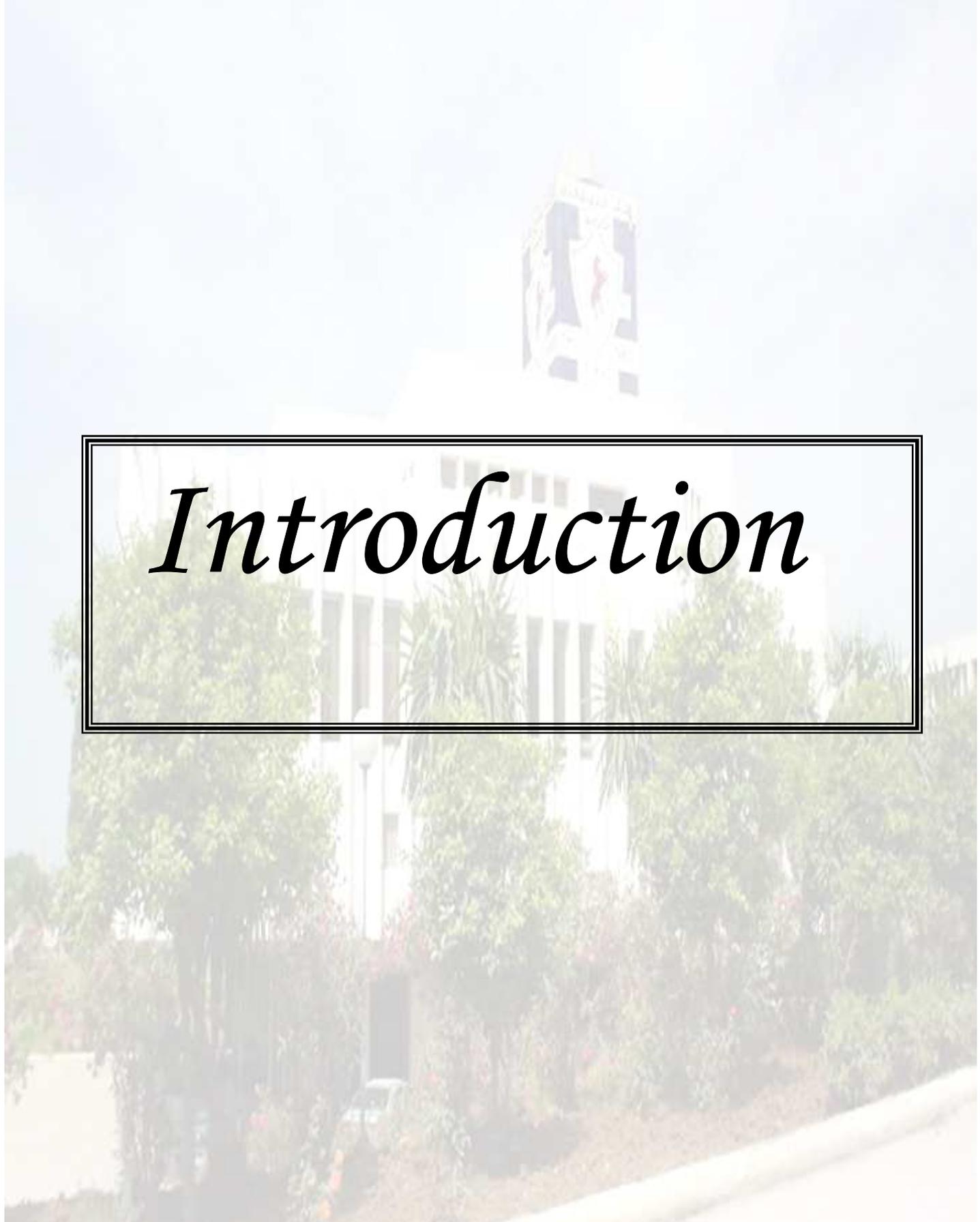
Liste des tableaux

Tableau n°1 : Mesure de la turbidité de 4 types d'eau (brute, décantée, filtrée et traitée).....	page 16
Tableau n°2 : Mesure du pH de 4 types d'eau (brute, décantée, filtrée et traitée).....	page 17
Tableau n°3 : Valeur de TAC.....	page 21
Tableau n°4 : Valeur de TH.....	page 22
Tableau n°5 : Mesure de l'oxydabilité.....	page 24
Tableau n°6 : valeurs du chlore résiduel.....	page 29

Tableau n°7 : Analyse physico-chimiques de l'eau brute.....page 34
Tableau n°8 : Optimisation du coagulant en absence de floculant.....page 35
Tableau n°9 : Optimisation du pH.....page 36
Tableau n°10 : Effet de changement de vitesse de coagulation sur les différents paramètres.....page 37
Tableau n°11 : Résultats des meilleures doses obtenues conformes aux normes.....page 37

ABREVIATIONS

DPD : Diéthyl-Para-Phénylénédiamine
CE : Conductivité Electrique
MES : Matière En Suspension
NTU : Nephelometric Turbidity Units
ONEP : Office National d'Eau Potable
pH : Potentiel Hydrogène
REI : Régie des Exploitations Industrielle
TA : Titre Alcalimétrique
TAC : Titre Alcalimétrique complet
Tb : Tomber de Burette
TH : Titre Hydrométrique
UV : Ultra Violet
VMA : Valeur Maximale Admissible



Introduction

L'eau potable est un bien vital qui constitue un facteur clé pour le succès de la stratégie du développement économique et social. Dans son ensemble elle est la base fondamentale de tout aménagement du territoire, puisque la couverture des besoins en eau potable permet de limiter l'exode et d'assurer les conditions d'hygiène nécessaire à une bonne santé, d'où la nécessité d'une politique appropriée pour sa bonne gestion en vue de répondre aux besoins, sans cesse croissants, des différentes utilisations.

La demande en eau potable dans le milieu urbain a connu un accroissement important suite à un ensemble de facteurs comme la croissance démographique, le développement économique et la sécheresse qu'a connu le Maroc dans les années précédentes...

Pour faire face à l'évolution de cette demande en eau potable, de très lourds investissements ont été réalisés et leurs financements ont été assurés en quasi-totalité par l'état.

Mon stage a été réalisé au sein du laboratoire de station de l'ONEP pour le traitement de l'eau du barrage Sahla. Mon travail consiste à optimiser l'opération de coagulation-floculation dans le but d'avoir une eau bien traitée et potable.

Ce mémoire comporte 4 chapitres :

- ✓ Le premier chapitre concerne la présentation de l'ONEP.
- ✓ Le deuxième chapitre s'intéresse à la production de l'eau.
- ✓ Le troisième chapitre est dédié au contrôle de la qualité de l'eau, il comprend toutes les analyses physico-chimiques effectuées au sein du laboratoire :
 - Turbidité, Potentiel d'hydrogène, Conductivité, Chlore résiduel, Température, Titre Alcalimétrique TA, Titre Alcalimétrique complet TAC, Titre hydrométrique TH et enfin l'oxydabilité.
- ✓ Dans le dernière chapitre nous nous sommes s'intéressé à étudier la coagulation suivie de la floculation réalisées dans une installation appelée Jar-test où on procède à optimiser certains de ses paramètres à savoir : la quantité du coagulant, la quantité du floculant, la vitesse d'agitation...



I. Office National de l'Eau Potable

L'office national de l'Eau potable a été créé en 1972 en substitution à la Régie des Exploitations Industrielle (R.E.I) par le Dahir n° 172103 du 3 avril 1972. L'office national de l'eau potable désigné sous le sigle « O.N.E.P » est un établissement semi-public à caractère doté de l'autonomie financière est placé sous la tutelle du ministère de l'eau potable et de l'environnement et sous le contrôle du ministère de finance.

1. Mission principale de l'ONEP

Le dahir n°172103 d'avril 1972, énumère les principales taches de l'ONEP comme suite :

- ✚ **Planifier** : l'approvisionnement en eau potable du royaume et la programmation des projets.
- ✚ **Etudier** : l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- ✚ **Gérer** : la production d'eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- ✚ **Contrôler** : la qualité des eaux produites et distribuées et la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.
- ✚ **Assister** : en matière de surveillance de la qualité de l'eau.
- ✚ **Participer** : aux études, en liaison avec les ministères intéressés, des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

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

2. Nouvelles orientations stratégiques de l'ONEP

Les efforts déployés par l'ONEP durant les trois dernières décennies ont permis d'améliorer le niveau de l'approvisionnement en eau potable en milieu urbain.

Aujourd'hui l'Office s'est fixé une nouvelle stratégie visant la généralisation de l'accès à l'eau potable à l'ensemble des citoyens et l'intervention dans le secteur de l'assainissement liquide dans une vision globale et intégrée du cycle de l'eau.

Cette nouvelle stratégie qui s'inscrit dans les orientations de Sa Majesté LE ROI MOHAMMED VI confirmée dans son discours d'ouverture de la 9ème session du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat à Agadir le 21 Juin 2001, s'articule autour des trois axes suivants:

- Généralisation de l'accès à l'eau potable.
- Assainissement liquide.
- Maintien des acquis.

3. Office national de l'eau potable de Taounate

L'alimentation et la distribution en eau potable de la ville de Taounate est assurée totalement par l'ONEP.

Les ressources utilisées par l'ONEP de Taounate sont :

- Ressource superficielle : l'eau du barrage SAHLA.
- Ressources souterraines : qui sont principalement les puits situés au niveau d'Oued SRAA.

4. Description du complexe de traitement de Rila-Taounate

Pour répondre aux besoins de la ville de Taounate en eau potable, l'ONEP a créé en 1993 un complexe de traitement de l'eau du barrage SAHLA avec une capacité de production initiale de 48.15 l/s. Ce complexe de production est constitué de deux stations :

- Station de prétraitement

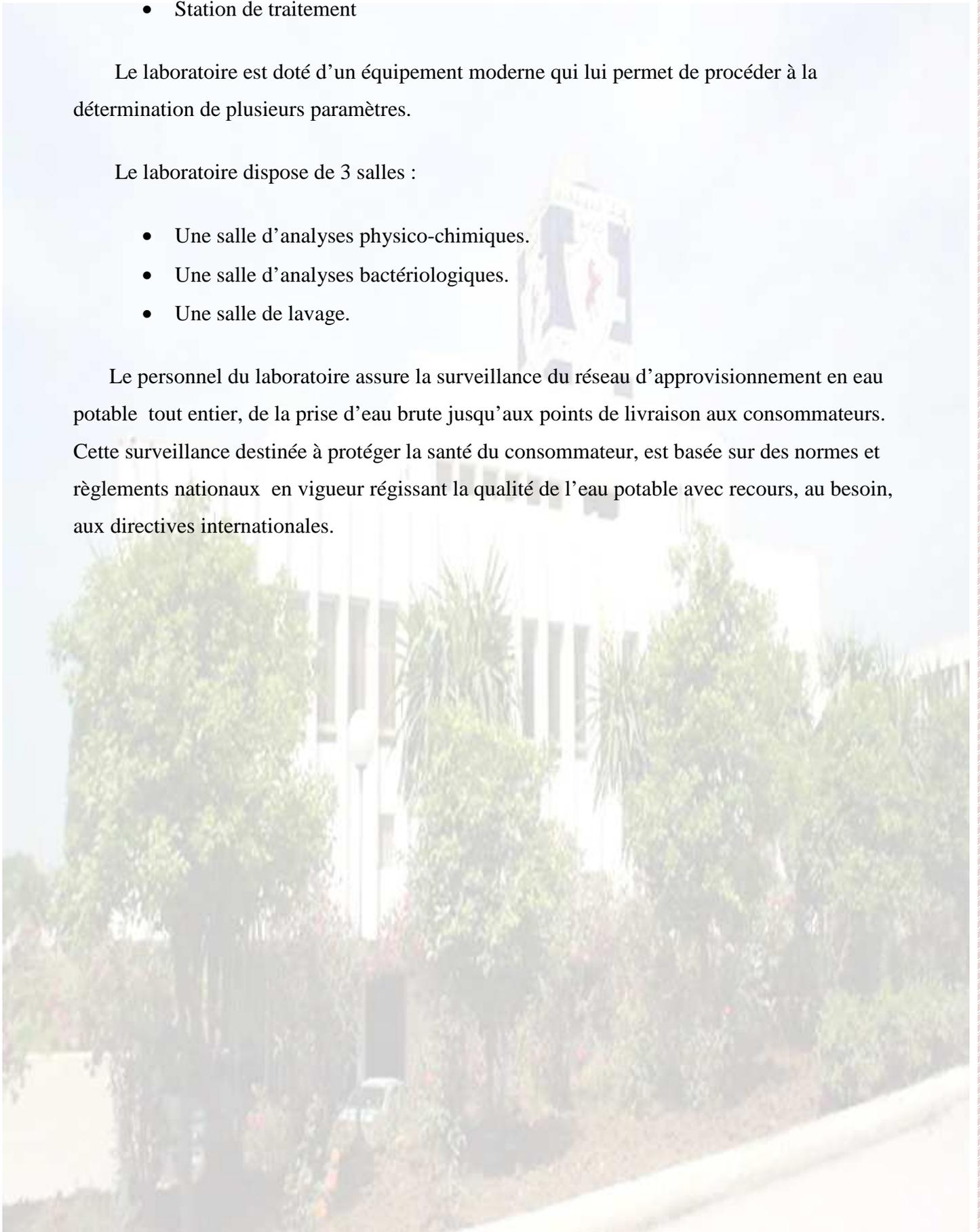
- Station de traitement

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

Le laboratoire dispose de 3 salles :

- Une salle d'analyses physico-chimiques.
- Une salle d'analyses bactériologiques.
- Une salle de lavage.

Le personnel du laboratoire assure la surveillance du réseau d'approvisionnement en eau potable tout entier, de la prise d'eau brute jusqu'aux points de livraison aux consommateurs. Cette surveillance destinée à protéger la santé du consommateur, est basée sur des normes et règlements nationaux en vigueur régissant la qualité de l'eau potable avec recours, au besoin, aux directives internationales.





*Chapitre II : Description
du procédé du traitement*

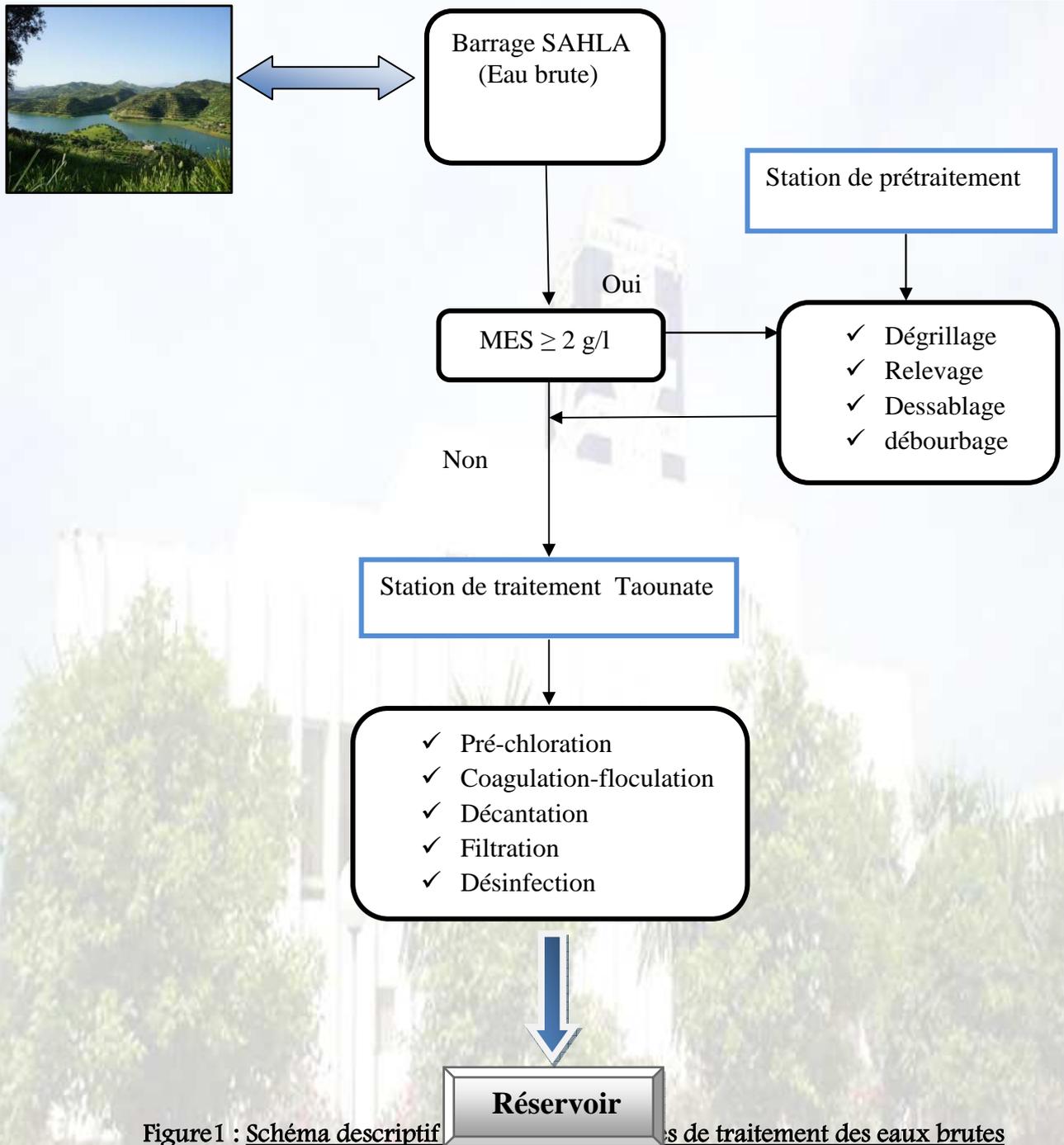


Figure1 : Schéma descriptif des de traitement des eaux brutes

On peut envisager plusieurs types de traitement de l'eau brute d'après sa qualité :

- Si la quantité des matières en suspension est **supérieure à 2g/l**, l'eau brute passe d'abord par l'étape de prétraitement ensuite elle passe au traitement.
- Si la quantité des matières en suspension est **inférieure à 2g/l**, l'eau brute passe directement au traitement.

I. Station de prétraitement

1. Dégrillage

Le dégrillage permet d'évacuer, aussi bien des eaux de surfaces que des eaux résiduaires, les gros objets du type tronc d'arbre, bidon et des matières de taille plus faible (branches, feuilles, objets métalliques ...). Tous ces rejets peuvent être mis dans la classe : "matières grossières".

Il permet de protéger les ouvrages en aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation (que ce soit chez des industriels ou dans les stations de traitement ou d'épuration). Il rend également plus efficace les traitements suivants car ils ne sont pas gênés par ces matières grossières et s'appliquent donc directement sur l'eau.

2. Relevage

C'est une opération qui consiste à pomper l'eau du fleuve vers les dessaleurs (6,5m de hauteur) par l'intermédiaire d'un système de trois vis d'Archimède dont le débit normal de chacun est de 750 l/s.

3. Dessablage

C'est un prétraitement physique qui consiste à l'élimination des particules douces (sables, gravier) des eaux brutes afin d'éviter l'abrasion rapide des ouvrages et des équipements de traitement.

- Le dessablage concerne les particules de granulométrie supérieure à 200 μm , si la granulométrie inférieure à 200 μm on parle de décantation ou débouillage.
- Le rôle d'un dessableur peut être remplacé par celui d'un débouilleur (si celui est prévu dans la filière de traitement).

4. Aération

C'est une opération qui consiste à mettre en contact intime l'eau et l'air dans le but de transformer quelques substances volatiles et d'augmenter la concentration en oxygène.

- **Objectifs :**

- ❖ Elimination des gaz indésirables ou en excès :

- O₂ responsable de la corrosion.
- CO₂ responsable de la corrosion.
- H₂S responsable d'odeurs désagréables et mauvais goût.
- Eliminer des différents composés organiques (odeurs et goûts).

- ❖ Introduction d'oxygène :

- Pour augmenter sa teneur dans l'eau.
- Pour assurer l'oxydation de certains corps réducteurs (Fe, Mn,...) qui précipitent et peuvent alors être éliminés par filtration.

Avant d'être distribuée aux usagers, l'eau brute n'est qu'une matière première, qui va subir une série de traitements pour être une eau potable destinée à l'alimentation.

Les principales étapes du traitement sont :

5. Débourbage

C'est un pré-décantation des matières en suspension pour éviter d'engorger les ouvrages de pompage et de traitement par les boues.

- Débourbeurs : formes rectangulaires ou circulaires avec ou sans racleurs de boues.
- Pour une concentration supérieure à **3 g/l**, on ajoute des réactifs pour améliorer le rendement du décanteur.

Remarque: Dans la Station de Taounate, l'eau brute est faiblement chargée en matière en suspension c'est pour cela qu'elle passe directement à la station du traitement.

II. Etapes de traitement

1. Pré-chloration

La pré-chloration est la première étape du traitement, elle s'effectue normalement sur l'eau brute et permet essentiellement d'augmenter la dégradation des matières organiques.

Cette opération a pour but :

- ✚ L'oxydation des minéraux tels que : le fer et le manganèse,
- ✚ L'oxydation de la matière organique,
- ✚ La décoloration de l'eau,
- ✚ Le maintien des ouvrages en bon état,
- ✚ L'amélioration de la coagulation,
- ✚ Empêche la prolifération des algues et des micelles.

2. Coagulation-floculation

Les colloïdes sont des particules de très faible diamètre et sont notamment responsables de la couleur et de la turbidité de l'eau de surface. En raison de leur très faible vitesse de sédimentation, la seule solution pour éliminer les colloïdes est de procéder à une coagulation et une floculation.

a. Coagulation

La coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. Elle consiste à déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En effet, ces matières en suspension portent des charges généralement négatives induisant des forces de répulsions inter colloïdales. Elle se fait soit par l'addition de sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ou encore de chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

b. Floculation

La floculation permet de s'attaquer aux colloïdes de faibles diamètres. Le véritable souci est en fait la masse qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement. La floculation permet de provoquer, grâce à l'ajout de flocculant, une agglomération de particules colloïdales. Par la suite, ces agglomérats de colloïdes appelés floes disposent d'une masse suffisante pour pouvoir se décantent. Le flocculant ajouté est généralement un polymère jouant le rôle de colle entre les colloïdes.

Remarque : Il est très important que le procédé coagulation-floculation soit utilisé correctement. En effet la production d'un floc trop petit ou trop léger entraîne une décantation insuffisante. Les eaux qui arrivent sur les filtres, contiennent de grandes quantités de particules de floccs qui encrassent rapidement ces derniers, ce qui nécessite des lavages fréquents (perte d'eau et d'énergie). Par ailleurs lorsque le floc est fragile, il se brise en petites particules pouvant traverser les filtres et altérer la qualité de l'eau produite.

3. Décantation



Figure 2: Photo du décanteur

La décantation permet d'éliminer un grand nombre de matières en suspension. Elle consiste à laisser reposer l'eau pendant plusieurs heures, le temps que les impuretés s'accumulent au fond du récipient. Puis on récupère l'eau claire, soit en la versant doucement dans le récipient destiné à la chloration, soit en la filtrant.

L'eau décantée n'est pas salubre pour autant car seules les grosses particules sont éliminées, tandis que les germes et micro-organismes nocifs sont encore présents.

4. Filtration



Figure 3: Photo des filtres à sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes.

Un filtre à sable est constitué par une couche de sable de qualité adéquate, à travers laquelle l'eau circule à vitesse relativement faible. Le filtre à sable purifie l'eau de trois manières différentes :

- La filtration permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter.
- Flocculation pendant laquelle les substances se collent à la surface du sable et viennent grossir la taille de ce dernier.
- Assimilation par des micro-organismes qui se nourrissent des polluants de l'eau.

Par contre, les virus et bactéries peuvent toutefois passer au travers des filtres c'est pourquoi l'étape finale de désinfection est obligatoire.

5. Désinfection

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

Après désinfection l'eau devient potable et prêt à être acheminée vers le réservoir, elle est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, ozone, dioxyde de chlore, rayonnement UV ...etc.

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

I. Analyses organoleptiques

Ce sont des paramètres qui n'ont pas de signification sanitaire ils peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des stations de traitement ou de distribution. Il s'agit de l'odeur, du goût et de la couleur.

1. Odeur

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

2. Gout

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue par l'organe gustatif lorsqu'ils sont en contact avec l'eau testée.

3. Couleur

- Couleur réelle : c'est la couleur due aux substances en solution dans l'eau.
- Couleur apparente : c'est la couleur due aux substances en suspension dans l'eau.

II. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques sont effectuées quotidiennement sur des prélèvements de l'eau brute, l'eau décantée, l'eau filtrée ainsi que l'eau traitée.

Les analyses effectuées sont :

- Mesure de la turbidité, de la température, du pH et de la conductivité.
- Mesure de titre alcalimétrique, de titre alcalimétrique complet, de titre hydrotimétrique, de la dureté calcique et de l'oxydabilité.

1. Turbidité

La turbidité désigne la teneur en matières troublant un liquide. Elle est causé par des particules en suspension qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière.

Son principe est basé sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet deTyndall) par l'échantillon à celle de référence dans les mêmes conditions (longueur d'onde, angle entre le rayon incident et le rayon diffracté). Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre selon la méthode néphélogométrique. Son unité est le NTU.



Figure 4: Turbidimètre

- **Résultats :**

Tableau 1 : Mesure de la turbidité de 4 types d'eau (brute, décantée, filtrée et traitée)

Date	Turbidité de l'eau brute en NTU	Turbidité de l'eau décantée en NTU	norme	Turbidité de l'eau filtrée en NTU	norme	Turbidité de l'eau traitée en NTU	norme
21/04/2014	0.72	0.45	5	0.06	0.5	0.1	0.5
22/04/2014	2.95	0.15	5	0.09	0.5	0.3	0.5
23/04/2014	1.35	0.58	5	0.13	0.5	0.15	0.5
24/04/2014	1.05	0.48	5	0.12	0.5	0.16	0.5

La station de traitement vise à produire une eau traitée qui a une turbidité inférieure à 0.5 NTU.

La turbidité de l'eau filtrée ne doit pas dépasser 0.5 NTU sinon les filtres doivent être lavés.

La turbidité de l'eau décantée ne doit pas dépasser 5 NTU sinon les décanteurs nécessitent une purge des boues du fond.

2. Potentiel hydrogène pH

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

électrode de référence au calomel plongeant dans la même solution. La différence de potentiel existant entre ces deux électrodes donne une valeur qui s'affiche sur l'écran de l'appareil, c'est le pH de l'échantillon.



Figure 5: pH-mètre

- **Résultats :**

Tableau 2 : Mesure du pH de 4 types d'eau (brute, décantée, filtrée et traitée)

Date	Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée	Eau traitée
21/04/2014	7.55	7.55	7.55	7.50
22/04/2014	7.60	7.65	7.70	7.60
23/04/2014	7.90	7.75	7.70	7.70
24/04/2014	8.05	7.70	7.70	7.7

On constate que les valeurs du pH de l'eau traitée sont inférieures à celle de l'eau brute.

3. Conductivité

La conductivité électrique (EC) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Ce paramètre a pour but de donner une idée sur la salinité d'eau puisque les sels minéraux en solution sont de bons conducteurs, la conductivité électrique s'exprime en micro siemens/cm.

La conductivité augmente en fonction de la température.



Figure 6: Conductimètre

4. Chlore résiduel

La présence de chlore libre résiduel dans le réseau de distribution constitue une assurance qualité. La réglementation marocaine ne définit pas de VMA (valeur maximale admissible) pour le chlore résiduel mais précise que ses teneurs dans l'eau destinée pour la consommation doivent être comprises entre 0,1 et 1,00 mg/l à la distribution.

Dans l'eau potable le chlore résiduel peut se trouver sous différentes formes : Le chlore résiduel libre, qui est selon la valeur du pH soit sous forme d'acide Hypochloreux ou d'hypochlorite ou les deux à la fois. Le chlore résiduel combiné qui correspond au chlore sous forme de chloramines. DPD (diéthyle-para-phénylène diamine) sous forme de comprimé donne en présence de chlore résiduel une coloration rose susceptible d'un dosage colorimétrique. Des disques colorés étalonnés spécifiques pour chaque réactif et un comparateur en lumière du jour sont utilisés pour la déduction des différentes teneurs en chlore.



Figure 7: Chloromètre

5. Température

La température joue un rôle important 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 tension de vapeur saturante à la surface, la solubilité de gaz, les réactions chimiques et biochimiques, l'effet catalytique des enzymes, la teneur en oxygène dissout.

6. Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC

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

a. Titre alcalimétrique

Le TA correspond au dosage de la moitié des ions carbonates (CO_3^{2-}) et la totalité des ions hydroxydes (OH^-) à un pH de 8.3.

- **Réactions chimiques :**



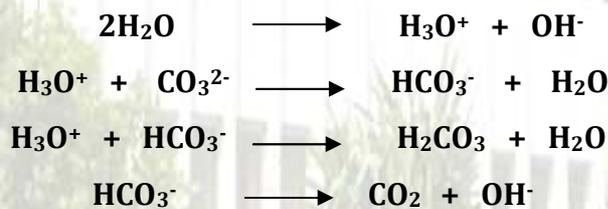
Le TA est donné par la formule:

$$\text{TA (méq/l)} = \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{H}_2\text{O}]$$

b. Titre alcalimétrique complet TAC

Le TAC correspond à la neutralisation des ions hydroxydes, carbonates et bicarbonates par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.

- **Réactions chimiques :**



Le TAC est donné par la formule:

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

- **Mode opératoire :**

On prélève 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml, puis on ajoute deux gouttes de phénophtaléine.

- S'il y a apparition d'une coloration rose (TA#0), c'est-à-dire que le pH >8,3 alors on passe au dosage avec HCl (N/10). On verse goutte à goutte jusqu'à décoloration et on note le volume versé V.
- Au cas où aucune coloration n'apparaît, Le pH < 8,3 donc le titre alcalimétrique est nul (TA=0).

Pour déterminer le TAC, on utilise l'hélianthine, qu'on ajoute à 100 ml d'eau pour donner une coloration jaune, ce qui nécessite un dosage par HCl, on ajoute un volume V' d'acide chlorhydrique à l'aide d'une burette, tout en agitant après chaque versé jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune orangée.



Coloration jaune après ajout d'hélianthine



coloration jaune-orange après dosage par HCl

- **Résultats :**

Tableau 3 : Valeur de TAC

Date	Eau brute	Eau traitée
17/04/2014	2.55	2.40
18/04/2014	2.55	2.40
21/04/2014	2.55	2.45
22/04/2014	2.50	2.45
24/04/2014	2.50	2.35

Le TAC diminue lors du passage de l'eau brute à l'eau traité car il y'a une diminution des concentrations des ions OH^- , HCO_3^- et CO_3^{2-} .

7. Titre hydrotimétrique

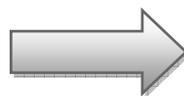
La dureté totale ou le TH d'une eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents et trivalents dans cette eau.

a. Mode opératoire

A 100ml d'eau à analyser on ajoute 5 ml de la solution tampon (couple acide-base), une petite pincée d'indicateur de noir d'ériochrome. On dose au moyen de la solution complexométrique (EDTA) jusqu'au virage au bleu royal.



100ml de l'échantillon



Dosage par la solution d'ETDA à

+ 5ml de la solution tampon pH
+ une pincée d'indicateur coloré
"noir eriochrome"

0.02 mol/l jusqu'à l'obtention
d'une couleur bleue

b. Expression des résultats :

$$TH (^{\circ}F) = Tb \times 2$$

Tb : tombée de burette

Tableau 4: Valeur de TH

Date	Eau brute	Eau traitée
17/04/2014	20	20
18/04/2014	20.5	20
21/04/2014	19.6	19.6
22/04/2014	20.6	20
24/04/2014	19.6	19.2

8. Oxydabilité

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

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

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

a. Mode opératoire

Dans un ballon, on introduit 100 ml de l'eau à analyser, et on ajoute 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et 10 ml de permanganate de potassium ($KMnO_4$, N/10), 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), et on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par le permanganate de potassium.



100 ml de l'échantillon
+ 2 ml de H_2SO_4
+ 10 ml de $KMnO_4$

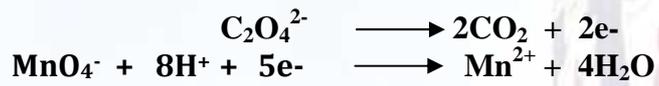


On ajoute après le chauffage pendant
13 minutes, 1ml d'acide oxalique



Dosage en retour par KMnO_4

b. Réactions du dosage



c. Expression des resultants

$$[\text{O}_2] = \text{Tb} \times 0.8 \text{ (mg/l)}$$

Tb: Volume lors du dosage

Tableau 5: Mesure de l'oxydabilité

Date	L'oxydabilité de l'eau brute (mg/l)	L'oxydabilité de l'eau traitée (mg/l)	Norme (mg/l)
17/04/2014	3.84	1.36	2
18/04/2014	1.20	0.96	2
21/04/2014	1.40	0.80	2
22/04/2014	5.28	1.60	2
24/04/2014	3.28	1.12	2

Chapitre IV : Essai de coagulation-floculation (Jar-test)

I. Coagulation-floculation

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau. Elle facilite l'élimination des MES (matière en suspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floccs. Leur séparation s'effectue par décantation et filtration. Ces colloïdes sont des particules de très faible diamètre contenant des charges négatives ce qui les conduit à se repousser et à les maintenir en suspension.

1. Coagulation

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdes par addition d'un réactif chimique, le coagulant apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique. Le coagulant utilisé est $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Ces cations sont attirés et adsorbés sur la surface des colloïdes. La mise en solution d'un coagulant s'effectue en deux étapes :



Etape 1: phase d'hydrolyse

- Formation d'intermédiaires polychargés positives
- Neutralisation de la charge des colloïdes
- Déstabilisation des particules chargées négativement (forme coagulant).

Etape 2 : formation du précipité de $\text{Al}(\text{OH})_3$

La réaction de la formation de $\text{Al}(\text{OH})_3$ dépend de l'agitation du milieu qui assure la coalescence de colloïdes déstabilisés (forment des floes).

2. Flocculation

La flocculation permet de favoriser, à l'aide d'un polymère, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules forment un floc qu'on peut éliminer par décantation.

II. Jar-test (essai de coagulation-flocculation)

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 plus tôt possible après le prélèvement à une température voisine de celle que possèdera effectivement l'eau au cours de son traitement à la station de traitement.

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

- ✓ Pré-chloration par le chlore au break-point (la demande en chlore) ;
- ✓ Ajout de sulfate d'aluminium, ou de chlorure ferrique ;

- ✓ Amélioration de la floculation par l'utilisation d'adjuvant de floculant : l'alginate, le 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).

1. Demande en chlore

La demande en chlore nous permet de déterminer la quantité du chlore (break point) qu'il faut injecter à l'eau brute lors de la pré-chloration. Le chlore a pour rôle d'empêcher et limiter la prolifération des bactéries et des algues afin de ne pas causer de problème à un stade avancé du traitement. La pré-chloration enlève l'odeur et contrôle la croissance biologique partout dans le système de traitement. Le chlore oxyde aussi le fer, le manganèse et /ou le sulfure d'hydrogène présent lors du processus de sédimentation.

Tout d'abord, on détermine la concentration du chlore présent dans l'eau de javel

a. Mode opératoire

Dans un bécher, on introduit :

- 1 ml de l'eau de javel ($NaOCl$, $NaCl$) ;
- 10 ml de solution d'iodure de potassium (KI à 10%) ;
- 10 ml de solution d'acide acétique (CH_3COOH) 9N .

Enfin, on titre par une solution de thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$ (N/10) jusqu'à décoloration.

b. Interprétation

En milieu acide (CH_3COOH) l'hypochlorite de sodium $NaOCl$ (eau de javel) est décomposé avec dégagement de chlore qui déplace l'iode d'une solution d'iodure de potassium KI. L'iode libéré est dosé par une solution titrée de thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_4$.





Après le dosage (Incolore)

c. Expression des résultats

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

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

Tb : est le volume (ml) de thiosulfate de sodium (N/10) au point d'équivalence.

Pour déterminer la demande en chlore on procède de la façon suivante :

- Préparation de deux solutions de concentration différente de l'eau de javel (1g/l) et (0.1g/l) ;
- On introduit dans chacun des flacons 100 ml d'eau à analyser puis on ajoute des quantités connues de solutions chlorées, croissantes de flacon en flacon, de façon à avoir des concentrations précises en chlore actif ;
- On laisse les flacons à l'obscurité pendant 30 minutes (temps de contact) après les avoir bouchés et agités ;
- Après 30 minutes on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactifs colorimétriques (DPD : Diéthyle-para-Phenylène Diamine) ;
- On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

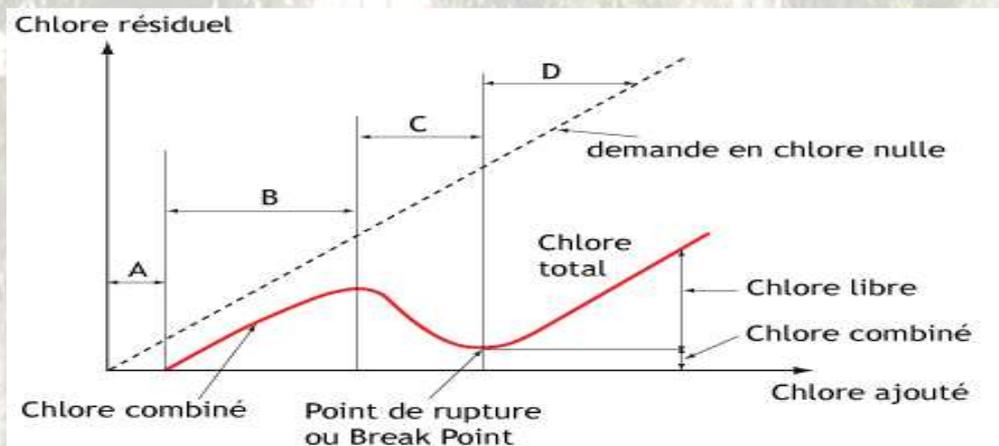


Figure 8: Courbe de la demande en chlore (break point).

Zone A : destruction du chlore par les composés minéraux (Fer, Manganèse...) Tout l'hypochlorite est consommé.

Zone B : formation de composés chlorés, principalement des chloramines.

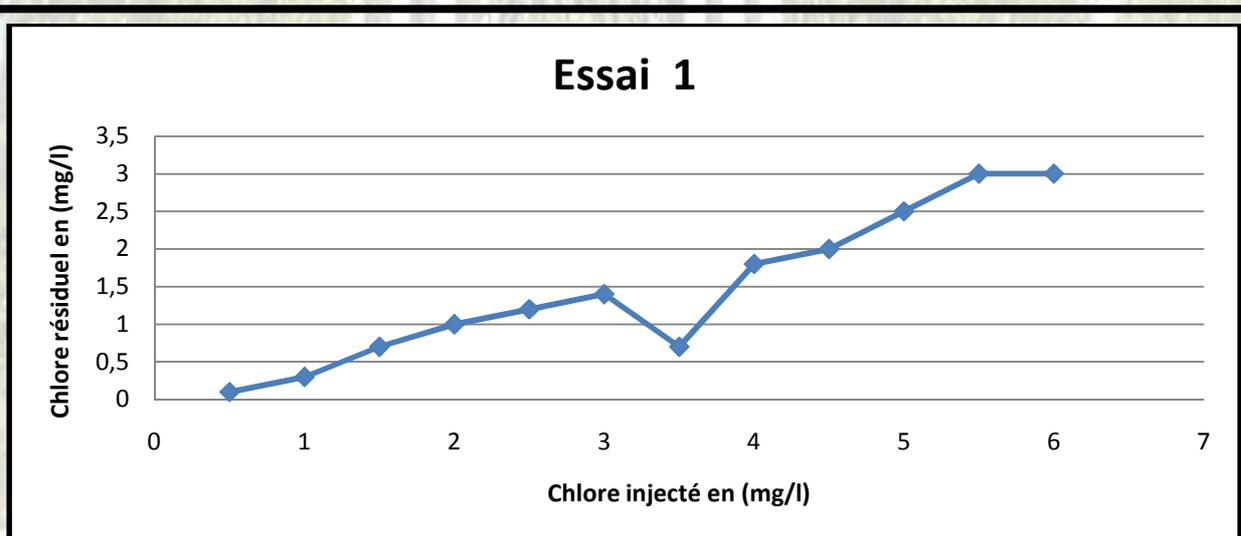
Zone C : destruction des composés chlorés formés antérieurement.

Zone D : tout le chlore ajouté reste sous forme de chlore libre.

d. Résultats

Tableau 6: Valeurs du chlore résiduel

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ₂ injecté en mg/l	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
Cl ₂ résiduel en mg/l (Essai 1)	0.1	0.3	0.7	1	1.2	1.4	0.7	1.8	2	2.5	3	3
Cl ₂ résiduel en mg/l (Essai 2)	0.1	0.4	0.6	1	1.4	1.6	1.6	1.2	2.5	3	3	3.5



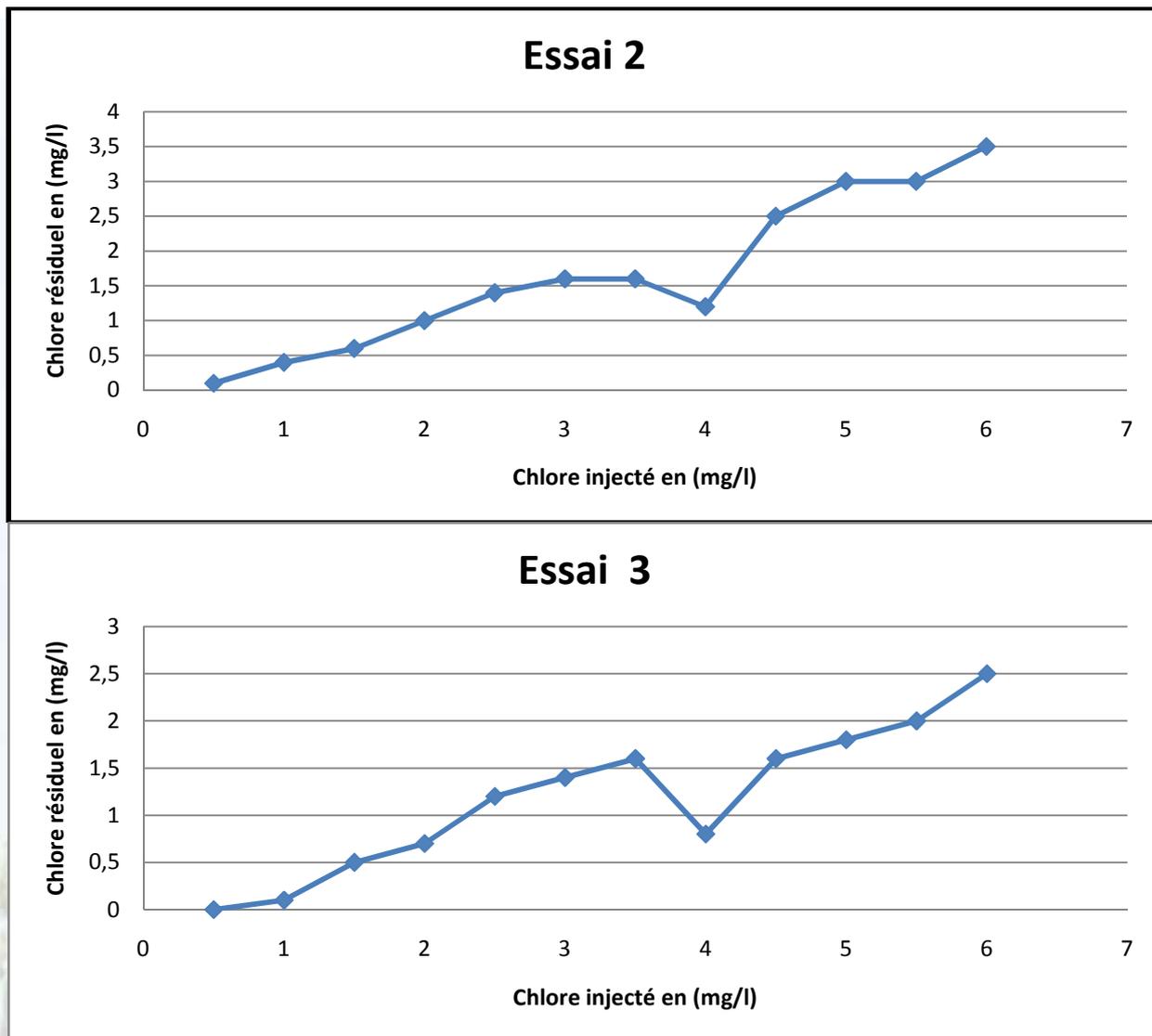


Figure 9: Courbes des demandes en chlore effectuées

Résultats du Break-Point tirés à partir des courbes (figure : 9)

Essais	I	II	III
Pré-chloration	3.5	4	4

Le break-point varie généralement entre 3.5 et 4.

2. Jar test

a. Définition

L'essai consiste à rechercher au laboratoire les conditions optimales de floculation et de décantation par la détermination des doses de réactifs (coagulant, floculant, réactifs de correction de pH...) en préparant une série de 6 béchers de 1 l d'eau à floculer selon le protocole bien connu de **Jar Test** et qui sont agités de façon identique.

b. Matériel utilisé en expérience

Le matériel utilisé pour réaliser ce procédé :

- Un flocculateur de laboratoire avec 6 agitateurs à hélice entraînés par un moteur électrique à vitesse variable en continu ;
- 6 béchers pouvant contenir chacun 1 L d'eau à analyser
- Verrerie de laboratoire ;
- Papier-filtre bande blanche.

c. Réactifs

- Solution d'eau de javel 1g/l (préparée à partir de la solution mère d'eau de javel de concentration connue), qu'on ajoute dans les béchers ;
- Solution de sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ comme coagulant de concentration 10g/l ;
- Solution d'acide sulfurique en cas d'acidification.

d. Mode opératoire

On doit d'abord chercher des paramètres pour l'eau brute à analyser :

- ✓ pH ;
- ✓ L'alcalinité TA et TAC ;
- ✓ L'oxydabilité ;
- ✓ La température ;
- ✓ La turbidité de l'eau brute et la turbidité colloïdale (eau brute filtrée directement sur papier-filtre) ;
- ✓ La demande en chlore de l'eau à traiter.

Ces analyses donnent une idée sur les réactifs à employer, et leur efficacité par comparaison avec les résultats obtenus après traitement.

- Dans chaque bécher on verse 1 L d'eau brute et on les place sur le banc de floculation ;
- On ajoute aux béchers la dose de l'eau de javel déjà déterminée d'après la courbe de demande en chlore ;

- En mettant en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tr/min ;
- On ajoute rapidement des quantités croissantes du coagulant et on laisse agiter pendant 2 minutes ;
- Ensuite on diminue l'agitation à 40 tr/min pendant 20 minutes ;
- On note le délai d'apparition du floc (en minutes et en seconde) à partir du début de l'agitation lente.



Figure 10: Dispositif expérimental de l'essai de floculation (Jar-Test)

Après l'agitation, l'aspect des floccs est noté par :

- 0** – pas de floc.
 - 2** – légère opalescence.
 - 4** – petits points.
 - 6** – floccs de dimensions moyennes.
 - 8** – bon floc.
 - 10** – excellent.
- On laisse décanter pendant 30 minutes ;
 - On regarde s'il reste des floccs en suspension ;
 - On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant ;
 - On passe le surnageant de chacun des béchers sur du papier filtre bande blanche disposé dans les entonnoirs. Cette filtration donne des résultats comparables à ceux obtenus par filtration sur sable.
 - On détermine la turbidité et l'alcalinité de chaque échantillon ;

- On détermine la teneur en aluminium par kit.

L'origine principale d'aluminium est le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$. Pour mesurer la quantité d'aluminium on utilise un test kit.

e. Critères de choix de la dose optimale

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

- o Taille des floes supérieure à 6 (taille de floes moyenne) ;
- o Turbidité de l'eau décantée inférieure à 5 NTU ;
- o Turbidité filtrée inférieure à 0.5 NTU ;
- o pH de floculation entre 7.00 et 7.40 ;
- o Quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières oxydables contenues dans l'eau doit être inférieure à 2 mg/l ;
- o Concentration de l'aluminium inférieure à 0.2 mg/l.

f. Résultats des essais de floculation

Avant de faire chaque essai, on doit effectuer des analyses physico-chimiques de l'eau brute

Tableau 7: Analyses physico-chimiques de l'eau brute

Eau brute	Essai 1	Essai 2	Essai 3
pH	7.95	7.90	7.85
Température en °C	17.90	19.50	18.00
TA en méq/l	0	0	0
TAC en méq /l	2.65	2.55	2.50
Oxydabilité en mg/l	1.20	2.44	1.76
Turbidité de l'eau brute en TNU	1.02	0.71	0.91
Turbidité filtrée en NTU	0.85	0.45	0.55
Demande en chlore en mg/l	3.50	4	4
Chlore résiduel en mg/l (break-point)	0.70	1.20	0.80

g. Essais de coagulation-floculation

Essai n° 1 : Absence du flocculant

- **Résultat :**

Cet essai permet de déterminer la dose optimale du coagulant en absence de flocculant.

Tableau 8: Optimisation du coagulant en absence du flocculant ($v_{\text{coagulation}} = 40 \text{ tr/min}$, $\text{pH} = 7.95$ et $T = 17.9$).

Echantillons	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration (mg/l)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Coagulant (mg/l)	05	10	15	20	25	30
Aspect des floes	0	04	06	06	06	08
pH	7.78	7.67	7.4	7.39	7.35	7.31
Oxydabilité (mg/l)	2	1.92	1.2	1.36	1.6	1.6
Turbidité de l'eau décantée en NTU	0.9	0.45	0.25	0.21	0.15	0.20
Chlore résiduel (mg/l)	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7
Turbidité de l'eau filtrée en NTU	0.44	0.24	0.18	0.14	0.11	0.13
TAC (még/l)	2.60	2.55	2.50	2.45	2.40	2.30
Al résiduel (mg/l)	0.2	0.2	0.12	0.07	0.07	0.07

- **Interprétation :**

D'après les critères de choix du meilleur béccher :

- L'aspect des 2 premiers bécchers < 6 donc à éliminer ;
- Les 4 derniers bécchers répondent aux critères : on va choisir le béccher n° III puisqu'il contient moins de coagulant.

Essai n° 2 : Acidification

- **Résultat :**

Pour optimiser le pH, on fixe la dose du coagulant à 15 mg/l puis on ajoute des doses différentes l'acide sulfurique aux 6 bécchers pour diminuer leur pH. Les nouvelles valeurs de pH sont respectivement 7.8, 7.5, 7.2, 6.75 et 6.5.

Tableau 9: Optimisation du pH ($\text{pH} = 7.9$, $T = 19.5 \text{ }^\circ\text{C}$)

Echantillon	I	II	III	IV	V	VI
-------------	---	----	-----	----	---	----

pH après acidification	7.8	7.5	7.2	7	6.75	6.5
Pré-chloration (mg/l)	4	4	4	4	4	4
Coagulant (mg/l)	15	15	15	15	15	15
Aspect des floccs	06	06	06	06	06	06
pH	7.54	7.4	7.21	7.14	7	6.95
Oxydabilité (mg/l)	1.4	1.28	1.6	1.72	1.36	1.28
Turbidité décanté NTU	0.40	1.30	0.80	1.60	1.05	0.42
Chlore résiduel (mg/l)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Turbidité filtrée NTU	0.25	0.52	0.30	0.24	0.23	0.17
TAC (méq/l)	2.4	2.4	2.2	2.2	1.7	1.6
Al résiduel (mg/l)	0.12	0.12	0.07	0.07	0.07	0.07

- **Interprétation :**

Le bécher n° III présente les meilleures caractéristiques, donc le pH optimal est **7.2**.
L'acidification permet d'améliorer les résultats de traitement surtout le pH. En effet, plus le pH est faible au voisinage de 7 plus la désinfection est efficace.

Essai n° 3 : Changement de la vitesse de floculation

Dans cet essai on va changer la vitesse de floculation pour voir son effet sur le procédé. On augmente alors la vitesse à 60 tr/min.

- **Résultat :**

Tableau 10: Effet de changement de vitesse de coagulation sur les différents paramètres (pH, turbidité...)

Echantillon	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration (mg/l)	4	4	4	4	4	4
Coagulant (mg/l)	05	10	15	20	25	30

Aspect des floccs	02	04	04	06	06	06
pH	07.6	7.65	7.55	7.5	7.43	7.31
Oxydabilité (mg/l)	2.08	2.08	2.16	1.84	1.04	1.92
Turbidité décanté NTU	0.97	1	0.30	0.40	0.45	0.74
Chlore résiduel (mg/l)	1	1	0.8	1	1	1
Turbidité filtrée NTU	0.45	0.50	0.17	0.35	0.36	0.38
TAC (még/l)	2.50	2.45	2.40	2.30	2.25	2.25
Al résiduel (mg/l)	0.07	0.07	0.12	0.07	0.07	0.07

- **Interprétation :**

D'après les critères de choix de meilleur bécber :

- Les 3 premiers bécbers à éliminer : l'aspect des floccs < 6 ;
- Les bécbers N° IV et V ne respectent pas le critère du pH donc à éliminer ;
- Le bécber N° VI est le meilleur.

Dans ce tableau on a regroupé les résultats du meilleur bécber de chaque essai :

Tableau 11: Résultats des meilleures doses obtenues conformes aux normes

Echantillon	I	II	III
Pré-chloration (mg/l)	3.5	4	4
Coagulant (mg/l)	15	15	30
Aspect des floccs	06	06	06
pH	7.4	7.21	7.31
Oxydabilité (mg/l)	1.2	1.6	1.92

Turbidité de l'eau décantée en NTU	0.25	1.56	0.74
Chlore résiduel (mg/l)	0.5	0.1	1
Turbidité de l'eau filtrée en NTU	0.18	0.45	0.38
TAC en (méq/l)	2.50	2.20	2.25

D'après la comparaison entre ces résultats on remarque qu'il a les meilleures valeurs pour la plupart des paramètres ce qui justifie les conditions optimales qu'on a établies. Au cours de cette expérience qui comporte 3 essais on a démontré que la clarification de l'eau brute est améliorée :

- Lorsqu'on acidifie l'eau brute ;
- Lorsqu'on travaille à une vitesse de floculation lente pour ne pas risquer de briser les floes ce qui pose un problème de filtration (turbidité de l'eau filtrée anormale) dans la station de traitement, puisque ces petites particules arrivent jusqu'aux filtres ce qui nécessite des lavages fréquents pour ces derniers.

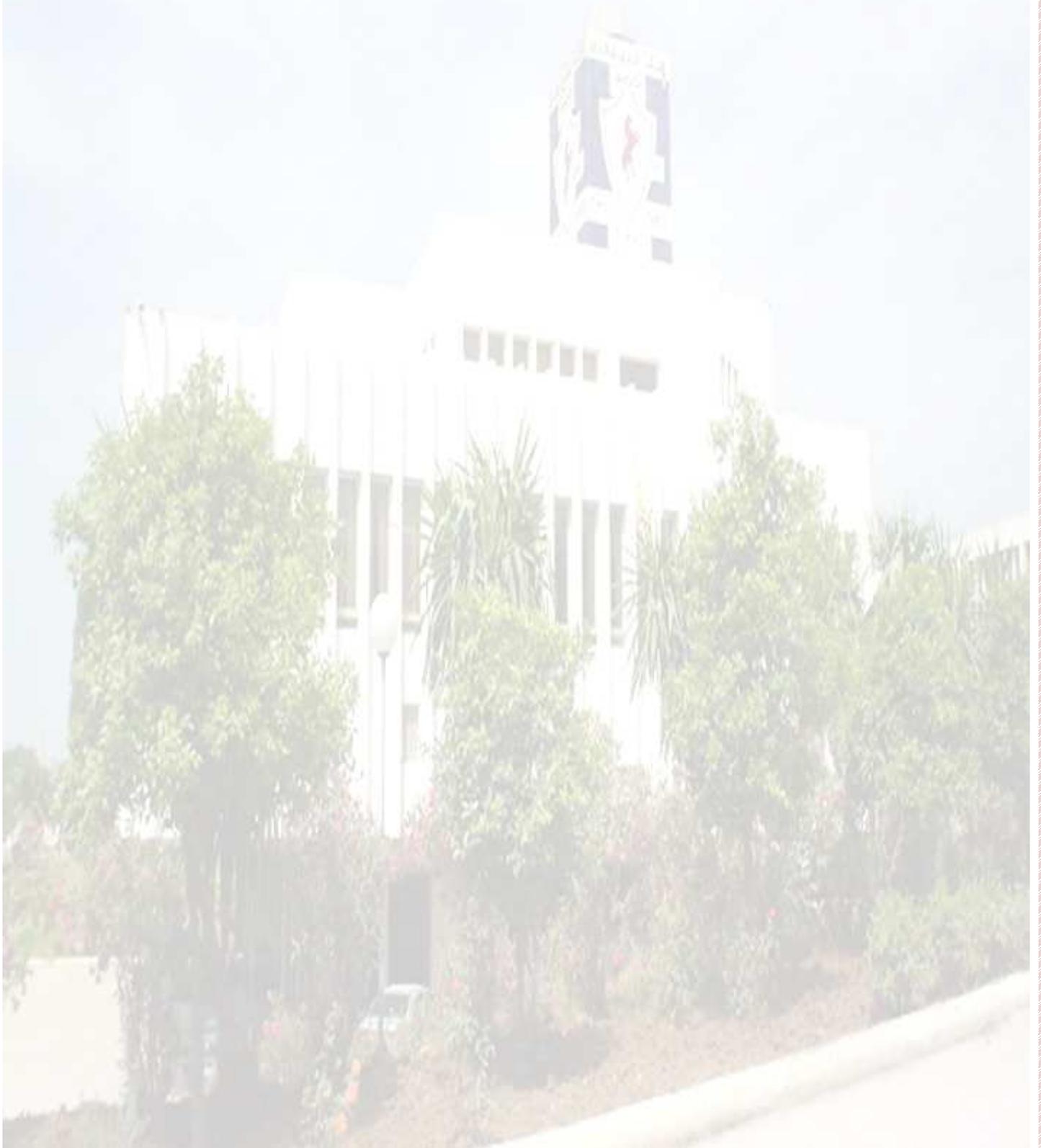
Conclusion

Au cours de cette étude nous nous sommes essayé d'optimiser certaines conditions d'essais de coagulation-floculation vu son intérêt au cours du traitement de l'état brute jusqu'au produit fini. Les résultats obtenus montrent une conformité aux normes et aussi avec ceux de la station de traitement.

Ainsi, mon stage de fin d'études effectué au sein de l'office national de l'eau potable, m'a permis de mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation universitaire, et m'a permis aussi de me confronter aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipe.

J'espère avoir traité dans ce rapport les points essentiels concernant le fonctionnement du travail au sein de l'office national de l'eau potable, surtout le service laborantin qui a une

fonction très importante au sein de cette entreprise dans le but de produire une eau potable de bonne qualité.



Références bibliographiques

- **Document interne de l'ONEP**
- **EL BALGHMI I., Optimisation des conditions de l'essai de floculation (Jar-test), (2012/2013), mémoire de fin d'études, Licence GC, Faculté des Sciences et Techniques Fès**
- **HAJIB S., Essais de coagulation-floculation (Jar-test), (2012/2013), mémoire de fin d'études, Licence TACCQ, Faculté des Sciences et techniques Fès**