



Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

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

PROJET DE FIN D'ETUDES

Essai de coagulation-floculation Jar test

Présenté par :

◆ **BOUKHIR NADIR**

Encadré par :

◆ **Mr Diouri Salem (ONEE)**

◆ **Pr Chakroune Said (FST)**

Soutenu Le 13 Juin 2014 devant le jury composé de:

- **Pr F. Ouazzani Chahdi**

- **Pr k. Misbahi**

- **Pr S. Chakroune**

Stage effectué à ONEE

Année Universitaire 2013 / 2014

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me sont très chères, et avec lesquelles j'ai tout partagé :

A mes très chers parents :

Je leur présente mon travail si modeste, mais qui sera certes un premier pas pour leur rendre hommage et les remercier pour leurs grands efforts accomplis à mon égard.
Que Dieu les récompense et leur prête bonne santé et longue vie.

A mes chers frères:

Vous, qui êtes à mes côtés, pour partager mes joies. Je vous souhaite une vie comblée et toute la réussite

A mes collègues :

A toute la promotion LST TACQ 2013/2014, je vous souhaite une bonne continuation dans votre vie personnelle ainsi que professionnelle.

Remerciement

Je voudrais tout d'abord remercier tout particulièrement Mr le Directeur d' ONEE de m'avoir accepté.

Je tiens à remercier chaleureusement mon encadrent Mr. SAID CHAKROUNE pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes profond remerciement à Mr. SALEM DIOURI, mon encadrent de laboratoire pour son soutien, son écoute attentive et ses conseils avisés au long de formation.

Je souhaite remercier M^m. ANNOUH FOUZIA et Mr.EL FELLAH de m'avoir consacré de son temps avec beaucoup de sympathie.

Je saisi aussi l'occasion de remercier, les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail.

Et à tous ceux qui ont contribués soit de prés ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Sommaire

Introduction.....	1
Présentation de l'office national de l'eau potable (ONEP).....	2
<u>CHAPITRE I : CHAINE ELEMENTAIRE DE PRODUCTION D'EAU POTABLE D'OUED SEBOU</u>	
I. Station de prétraitement.....	4
1. Pré-grillage.....	5
2. Dégrillage.....	5
3. Relevage d'eau brute.....	6
4. Le déssablage.....	6
5. Le répartiteur.....	7
6. Les débourbeurs.....	7
II. Traitement.....	8
1. Pré-chloration.....	8
2. Coagulation-floculation.....	8
3. Décantation	9
4. Filtration.....	9

5. Désinfection.....	10
CHAPITRE II : QUALITE DE L'EAU	
I. Introduction.....	12
II. Facteur organoleptique.....	12
III. Analyses physiques.....	12
1. Turbidité.....	12
2. Température.....	13
3. Potentiel d'hydrogène-pH.....	14
4. Conductivité.....	15
IV. Analyses chimique.....	15
1. Détermination de l'alcalinité :TA et TAC :.....	15
2. Titre hydrotimétrique.....	17
3. Dureté calcique.....	18
4. Dureté magnésien.....	18
5. Oxydabilité.....	19
6. Détermination du chlore résiduel.....	20

CHAPITRE III : ESSAI DE COAGULATION-FLOCCULATION (JAR-TEST)

Introduction	22
I. Demande en chlore.....	22
II. Jar test : essai de floculation.....	24
III. Analyse de l'eau brute.....	28
Conclusion.....	33

Liste des' abréviations :

MES : Matière en suspension.

EDTA : Acide éthylène diamine tétra acétique.

TA : Titre alcalimétrique.

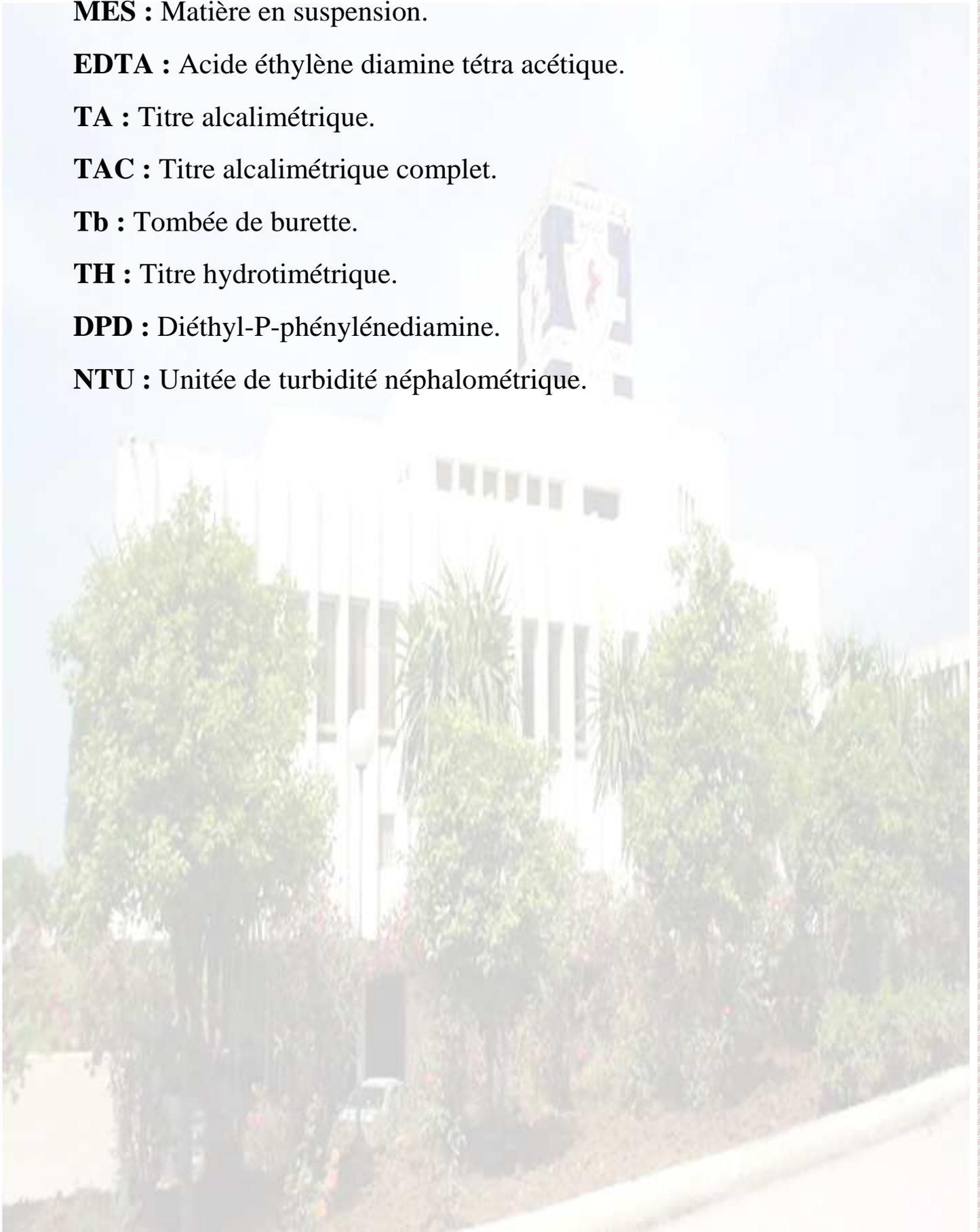
TAC : Titre alcalimétrique complet.

Tb : Tombée de burette.

TH : Titre hydrotimétrique.

DPD : Diéthyl-P-phénylénediamine.

NTU : Unitée de turbidité néphalométrique.



Introduction

L'eau est une source naturelle rare et vitale, aux caractéristiques physicochimique et biologique complexes. Elle constitue un bien primordial et une pierre angulaire de la vie humaine. Elle est non seulement une matière indispensable à l'humanité, mais également un facteur de base pour le développement socio-économique des sociétés et une garantie à l'hygiène et à la santé des populations.

Toutefois l'eau potable propre et non polluée devient de plus en plus rare dans la mesure où la pollution chimique par des eaux usées de l'industrie et l'agriculture, les eaux d'égout des ménages chargées de détergents et de lessive ainsi que l'infiltration de substances toxiques ont déjà atteint la nappe phréatique. De plus, les risques pour la santé provenant de la pollution d'eau ne sont pas encore assez étudiés. On connaît juste les effets de certaines substances nocives tels que le nitrate, le plomb, le cuivre, les phosphates et le chlore etc...

Ils sont soupçonnés de provoquer des cancers, des mutations, la stérilité, des troubles des systèmes nerveux, des dommages à l'ossature, des difficultés aux facultés intellectuelles et même, dans le cas du nitrate, la mort des nourrissons. Par conséquent, des normes ont été établies pour fixer notamment les teneurs limites de ces substances nocives.

Les matières polluantes existent toujours dans l'eau potable, mais leurs concentrations ont été jugées suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. C'est dans cette perspective que l'ONEP a été créé pour assurer l'approvisionnement en eau de qualité.

Ce mémoire est structuré en 3 chapitres suivis d'une conclusion générale. D'abord, le premier chapitre rappellera les caractéristiques générales de l'office national de l'eau potable, tout en détaillant plus le procédé sur lequel a porté notre étude. Dans cette section, nous parlerons tout spécialement de la chaîne de production d'eau potable d'oued Sebou (traitement des eaux de surface). Ensuite, le deuxième chapitre présentera l'ensemble des paramètres et des procédés assurant la qualité de l'eau. Et enfin, le troisième chapitre consistera à étudier la partie expérimentale.

Présentation de l'office national de l'eau potable (ONEP)

L'ONEP a été créé le 3 avril 1972 par le dahir N°172.103, en remplacement de la régie des exploitations industrielle (REI) qui assurait entre autres le service de distribution de l'eau potable depuis 1929, l'office national de l'eau potable est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), c'est l'un des véritables piliers de

l'économie marocaine. Il est doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placé précédemment sous la tutelle du ministère de l'équipement. Mais à partir de septembre 2002, avec le changement du gouvernement et avec la création du secrétariat d'état chargé de l'eau, le ministère de l'aménagement du territoire, de l'eau et de l'environnement est devenu tutelle de l'ONEP.

➤ Missions principales :

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

➤ Description du complexe de traitement des eaux d'oued Sebou :

Ce complexe de production est constitué de quatre stations :

- Station de prétraitement ;
- Station de pompage d'eau brut de l'oued Sebou
- Station de traitement ;
- Station de pompage d'eau traitée Ain Nokbi ;
-

➤ Laboratoire régional de Fès :

Le laboratoire est doté d'équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres tel que : TA, TAC, TH, oxydabilité...

Le laboratoire dispose de 5 salles :

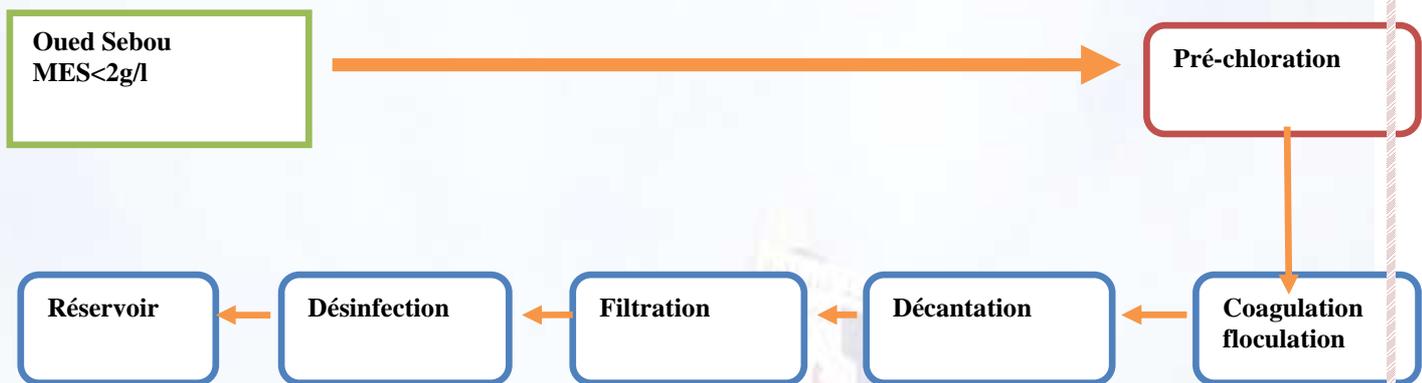
- Une salle pour les analyses physico-chimiques ;
- Une salle pour les analyses par spectrométrie d'absorption moléculaire ;
- Une salle pour les analyses par spectrométrie d'absorption atomique ;
- Une salle d'analyses bactériologiques ;
- Une salle de laverie.

Chapitre 1 :

Chaîne élémentaire de production d'eau potable d'oued Sebou

Chaîne de production :





- Si M.E.S est inférieur à 2 g/l : l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement.
- Si M.E.S est comprise entre 2 g/l et 50 g/l : l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être pompée vers la station de traitement
- Si M.E.S est supérieure à 50 g/l on fait arrêter les 2 stations de traitement et on a recours à la nappe de Saïs pour alimenter en eau potable la ville de Fès.

I. STATION DE PRETRAITEMENT

Elle est située près d'OUED SEBOU à 2,5 km de la station de traitement et elle est mise en service selon le taux des matières en suspension « M.E.S »

Elle est constituée de :

- Une prise d'eau équipée de 3 grilles et un dégrilleur
- Une station de relevage équipée de 3 vis d'Archimède
- 2 déssableurs
- Un répartiteur mélangeur
- 3 débourbeurs
- Une bâche de protection de 1600m³

1. le pré grillage :

C'est une étape préliminaire qui s'effectue à l'entrée de la prise d'eau brute par **3 grilles métalliques à commande automatique** qui, par un mouvement de va et vient de bas vers le haut, permettent l'élimination des matières volumineuses (branches et tronc d'arbre, herbes...)



Photo 1 : pré-dégrilleur

2. le dégrillage :

Il a pour rôle de faire passer l'eau à travers des grilles qui retiennent les corps flottants et gros déchets. Il s'agit d'un système de protection de la station d'objets susceptibles de provoquer un débouchage dans les différentes unités de l'installation. Il permet aussi de séparer les matières qui pourraient nuire à l'efficacité de l'eau ou de compliquer son exécution.



Photo 2 : dégrilleur

3. le relevage d'eau brute :

Il comprend trois **vis d'Archimède** qui relèvent l'eau de la cote minimale de l'oued vers les dessableurs (6.5m de hauteur). Le débit normal de chaque vis est **750 l/s** avec une fréquence de rotation de **35 tr/min**.



Photo 3 : vis d'Archimède

4. le dessablage :

C'est un ouvrage qui permet l'élimination des particules de taille moyenne (sable, gravier) en stockant l'eau dans deux bassins rectangulaires appelés dessableurs afin de permettre sa décantation. C'est un premier traitement physique de l'eau brute. Le lavage des dessableurs se fait par ajout du débit d'une vis d'Archimède supplémentaire et ouverture des purges selon un niveau de sable défini



Photo 4 : dessableur

5. le répartiteur :



C'est un ouvrage constitué de 4 bacs équipé d'un mélangeur et de 4 vannes départs. Un bac pour mélanger le polymère dans l'eau et les 3 autres pour répartir l'eau entre les déboueurs. A cette étape on fait injecter le polymère le seul réactif utilisé dans la station de prétraitement.

Photo 5 : répartiteur

6. les débourbeurs :

Les trois débourbeurs disponibles permettent de décanter les floques formés par action du polymère en éliminant la totalité des sables fins dont la concentration dépasse **2g/l** par une pré-décantation. Chaque débourbeur est équipé **d'un mélangeur, un racleur de boue** et de **2 motopompes** d'évacuation de boue.



Photo 6 : débourbeurs

II. Traitement :

Surveillée et protégée, l'eau brute à l'état actuel ne représente encore qu'une matière première, qui va être transformée, élaborée, pour devenir conforme aux normes définies par la réglementation.

Les caractéristiques des eaux brutes sont extrêmement variées. Il existe un certain nombre de procédés élémentaires destinés à les traiter.

Le traitement complet de l'eau brute comprend généralement 5 étapes :

1. pré-chloration :

La première étape du traitement est constituée par une pré-chloration de l'eau brute, cette opération a pour but :

- D'oxyder le fer et le manganèse contenus dans l'eau brute.
- D'évacuer les matières organiques.
- D'éliminer les micro-organismes et inhiber la croissance des algues.

On utilise souvent le chlore car il est plus économique et plus facile à utiliser.

2. coagulation-floculation :

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau.

a) La coagulation :

Dans un premier temps, la coagulation permet de supprimer les répulsions inter colloïdales, par l'ajout d'un sel métallique (généralement fer ou l'aluminium), ces cations se lient aux colloïdes et les neutralisent, les particules colloïdales peuvent désormais se rencontrer.

✚ Le coagulant utilisé est souvent le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)18H_2O$.

b) La floculation :

La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent le contact entre les particules destabilisées. ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par décantation.

Le réactif utilisé dans la station est de nature organique : polymère (poly-électrolyte) sous forme de poudre ajouté à l'eau, afin d'accélérer la vitesse de décantation, il réagit par pontage entre les particules. C'est le rôle des adjuvants de floculation, souvent dénommés floculant.

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. Lorsque les eaux qui arrivent sur les filtres contiennent des grandes quantités de particules de floc qui encrassent rapidement ces filtres, ce qui nécessite des lavages fréquents des filtres (perte d'eau et d'énergie). Par ailleurs lorsque le floc est fragile il se brise en petites particules de floes qui peuvent traverser les filtres et altérer la quantité de l'eau produite.

3. Décantation :

C'est une méthode de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, il y a décantation.

Il y a **trois** décanteurs à recyclage de boue (1987) et **les trois** autres sont des décanteurs à racleur (1995) ont un débit nominal de **960 m³/h** et un diamètre de **23m**.

L'eau sera ensuite acheminée vers les filtres qui enlèveront les plus petites particules qui n'ont pas sédimenté ou décanté.



photo 7 : Décanteur à recyclage de boue



photo 8 : décanteurs à racleur

La partie d'eau claire passe à travers des goulottes et se dirige vers les filtres. Chaque décanteur est lié à **2** filtres.

4. Filtration :

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers des filtres à sable d'une hauteur de **1 mètre**, la couche du sable est supportée par un plancher constitué de dalles de béton qui contient **1000 buses**. La buse est serrée sur le plancher par filetage, elle contient des petites fissures qui permettent seulement le passage de l'eau et éviter le passage des particules de sable.



Photo 9 : les filtres

L'eau filtrée se dirige vers des vasques, chaque 2 filtres versent l'eau dans une vasque, il y a 6 vasques dont trois sont à siphon et les 3 autres sont à grille.

Le siphon et la grille ont le même rôle c'est de diminuer la pression de l'eau qui vient des filtres avec un très grand débit.



Photo 11 : Vasque à grille

Ce traitement doit réduire la turbidité de l'eau à des valeurs inférieures ou égales à 0,5 NTU.



Photo 10 : vasque à siphon

5. Désinfection :

Les eaux filtrées sont acheminées à travers des conduites vers les citernes où on collecte les eaux après une chloration finale ou désinfection.

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes : bactéries, virus et parasites, ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. C'est une post-oxydation. En eau potable, celle est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone et dans un certain nombre de cas, par un procédé physique comme le rayonnement UV. Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

Après désinfection, l'eau est devenue potable et prêt à être acheminée vers le réservoir de Bâb El Hamra de la **RADEEF**.



CHAPITRE II :

QUALITE DE L'EAU

I. Introduction :

On sait à quel point est important d'avoir de l'eau propre et potable à sa disposition. La seule façon de connaître la salubrité de cette eau est de la faire analyser par un laboratoire. Une analyse régulière est importante pour les raisons suivantes :

- ✚ elle permet de définir les problèmes existants ;
- ✚ elle garantit une eau potable sûre ;
- ✚ elle permet de vérifier l'efficacité des systèmes de traitement ;

II. Facteurs organoleptiques :

L'eau doit être agréable à boire, claire, fraîche et sans odeur. C'est principalement par ces aspects que le consommateur apprécie la qualité d'une eau. Ce sont les paramètres de confort.

1. Odeur :

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

2. Gout :

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique communes perçues par les organes gustatifs lorsqu'ils sont en contact avec l'eau à tester.

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.

III. Analyses physiques :

1. Turbidité :

La turbidité se définit comme étant l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon, cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon.

En laboratoire, elle peut être mesurée par le turbidimètre, son unité est le NTU.

Pour l'eau décantée : ≤ 5 NTU

Pour l'eau filtrée : $\leq 0,5$ NTU



photo 13 : turbidimètre

a. Principe :

Son principe repose sur la comparaison de l'intensité de la lumière diffractée (effet de Tyndall) par l'échantillon à celle de référence dans les mêmes conditions (longueur d'onde, angle entre le rayon incident et le rayon diffracté).

b. Résolution :

Nous avons effectué des mesures de la turbidité pendant 5 jours :

Tableau 1: résultats de turbidité obtenus pendant 5 jours.

Date	Turbidité de l'eau brute en NTU	Turbidité de l'eau décantée en NTU	Turbidité de l'eau filtrée en NTU	Turbidité de l'eau traitée en NTU
16 /04/14	33	1,3	0,35	0,31
17/04/14	37	1,5	0,24	0,25
18/04/14	32	2,1	0,4	0,5
21/04/14	46	2,3	0,36	0,29
22/04/14	35	1,5	0,23	0,4

La turbidité de l'eau traitée est généralement inférieure à 1 NTU, cela démontre l'efficacité de la station de traitement.

La station de traitement Ain Nokbi vise à produire une eau traitée qui a une turbidité inférieure ou égale à 0,5.

La turbidité d'eau filtrée ne doit pas dépasser 0,5 NTU sinon les filtres nécessitent un lavage.

La turbidité d'eau décantée ne doit pas dépasser 5 NTU sinon les décanteurs nécessitent une purge des boues qui se trouvent au fond.

2. Température :

La température 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 du gaz, les réactions chimiques et biochimiques, l'effet catalytique des enzymes, la teneur en oxygène dissout.

3. Potentiel d'hydrogène –pH :

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est en fonction de la concentration des ions H^+ contenus dans l'eau.

Dans les eaux naturelles l'activité des ions H^+ est due à des causes diverses, en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et des sels.

Le pH-mètre :

a. Principe de mesure :

Le principe de base de cette méthode est la détermination de l'activité des ions hydrogène par mesure potentiométrique.

b. Etalonnage :

On étalonne un pH-mètre avec des solutions tampon. Selon les mesures que l'on va effectuer, on étalonne par une solution de pH=4 puis par une solution de pH=7 et enfin une solution de pH=9.

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

Tableau 2 : Classification des eaux selon leur pH.

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

c. Résultat :

Nous avons effectué des mesures de pH pendant 5 jours :

Tableau 3 : Résultats de pH obtenu

Date	Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée	Eau traitée
05/05/14	7.8	7.21	7.3	7.32
06/05/14	7.97	7.18	7.26	7.41
07/05/14	8.1	7.24	7.22	7.38
08/05/14	7.9	7.29	7.31	7.45
09/05/14	8.2	7/23	7.29	7.51

Les valeurs de pH de l'eau traitée sont inférieures à celle de l'eau brute, cette diminution est due au traitement.

4. Conductivité :

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



Photo 14 : Conductimètre

IV. Analyses chimiques :

1. Détermination de l'alcalinité : TA et TAC :

L'alcalinité d'une eau est due à la présence des bicarbonates (HCO_3^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et des hydroxydes (OH^-) ; elle est déterminée par le calcul de deux titres :

a. Titre alcalimétrique TA :

le titre alcalimétrique TA correspond à la neutralisation des ions OH^- et à la transformation de la moitié des ions CO_3^{2-} en HCO_3^- par un acide fort en présence d'un indicateur coloré.

Les réactions mises en jeu :



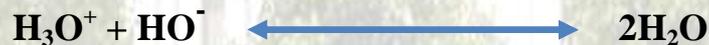
D'ou:

$$\text{TA (még/l)} = \frac{1}{2}[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

b. Titre alcalimétrique complet TAC :

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la neutralisation des ions HO^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , par un acide fort en présence d'un indicateur coloré (l'hélianthine).

Les réactions mise en jeu :



D'ou:

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

c. Mode opératoire :

TA:

On introduit 100 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer puis on y ajoute deux gouttes de phénophtaléine.

- Si la coloration est rose ($\text{TA} \neq 0$) et le ($\text{pH} > 8,3$), on dose alors avec l'acide chlorhydrique ($\text{HCl} : \text{N}/10$) jusqu'à décoloration.

- Si pas de coloration rose (TA=0), on passe alors au titre alcalimétrique complet.

TAC :

on ajoute au contenu de l'erlenmeyer servie auparavant à la détermination de TA ,3 gouttes d'hélianthine (coloration jaune) puis on dose avec (HCl : N/10) jusqu'au virage jaune orange.



Coloration jaune après ajout
D'hélianthine

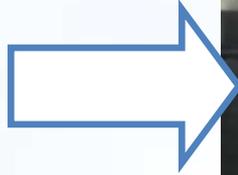


Photo10 :T.A.C

Coloration orange après dosage
par HCl 0,1N

d. Expression des résultats :

Détermination du TA : TA(en még/l)=V (ml) versé

Détermination du TAC : TAC(en még/l)=V' (ml) versé

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

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

Nous avons effectué des mesures de TA et TAC pendant 5 jours, et nous avons remarqué que pendant ces 5 jours les valeurs du TA ont été nulles (=0), car le pH de l'eau brute n'a pas dépassé 8,3.

Les résultats se représentent comme suit :

Tableau 4 : résultats de TAC obtenus pendant 5 jours.

Date	Eau brute TAC (még/l)	Eau traitée TAC (még/l)
21/05/14	5,5	4,6
22/05/14	5,4	4,9
23/05/14	5,2	4,7
24/05/14	5,6	4,9
25/05/14	5,4	5

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

2. Titre hydrotimétrique :

Le titre hydrotimétrique (dureté de l'eau) correspond à la teneur de l'eau en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

a. Principe :

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présentés dans l'eau sont complexés par l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA).le noir erichrome est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale.

b. Mode opératoire :

On met 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 5ml de solution tampon ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), une petite spatule d'indicateur de noir érichrome et on titre avec la solution complexométrique (EDTA) jusqu'au virage du rouge au bleu royal.

c. Expression des résultats :

$$\text{TH (méq/l)} = \text{Tb} \times 0,4$$

3. Dureté calcique :

La dureté calcique d'une eau fait partie de son titre hydrotimétrique, c'est la concentration en ions calcium Ca^{2+} .

a. Mode opératoire :

On met 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 5 ml de la solution tampon NaOH (2mol/l), une petite spatule d'indicateur coloré (Calcon), puis on titre au moyen de la solution EDTA jusqu'au virage du rose au bleu.

b. Expression des résultats :

$$\text{Teneur en } \text{Ca}^{2+} \text{ (mg/l)} = \text{Tb} \times 8$$



Figure 1: dureté calcique

100 ml de l'échantillon à analyser
+5 ml d'une solution tampon (NaOH).

+une pincé d'indicateur coloré (Calcon)



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

4. Dureté magnésien :

Elle est calculée à partir du titre hydrotimétrique et de la dureté calcique :

$$\text{Teneur en Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = [(\text{TH meq/l}) - (\text{Ca}^{2+} \text{ méq/l})] \times 12,5$$

5. Oxydabilité :

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium (KMnO₄) à chaud, ce test conventionnel permet de déterminer la teneur en matière organique en même temps que d'autres substances oxydables.

Les matières oxydables contenues dans l'eau à analyser sont oxydées par un excès de permanganate de potassium (KMnO₄) en milieu acide et à chaud pendant 13 min, ensuite l'excès de KMnO₄ est réduit par l'acide oxalique en excès, et on effectue un dosage en retour de cet excès par le KMnO₄ selon les réactions suivantes :



La réaction de dosage est :



a. Mode opératoire :

Dans un ballon on introduit 100 ml de l'eau à analyser, on additionne 2 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO₄, N/100), puis on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes. On ajoute après 1 ml d'acide oxalique (C₂H₂O₄:0,05M), on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par les permanganates de potassium.

b. Expression des résultats :

La quantité d'oxygène nécessaire est donnée par l'expression :

$$[\text{O}_2] = \text{Tb} \times 0,8 \text{ en mg/l}$$

Nous avons effectué des mesures de l'oxydabilité pendant 5 jours :

Les résultats se représentent comme suit :

Tableau 5 : résultats d'oxydabilité obtenus pendant 5 jours.

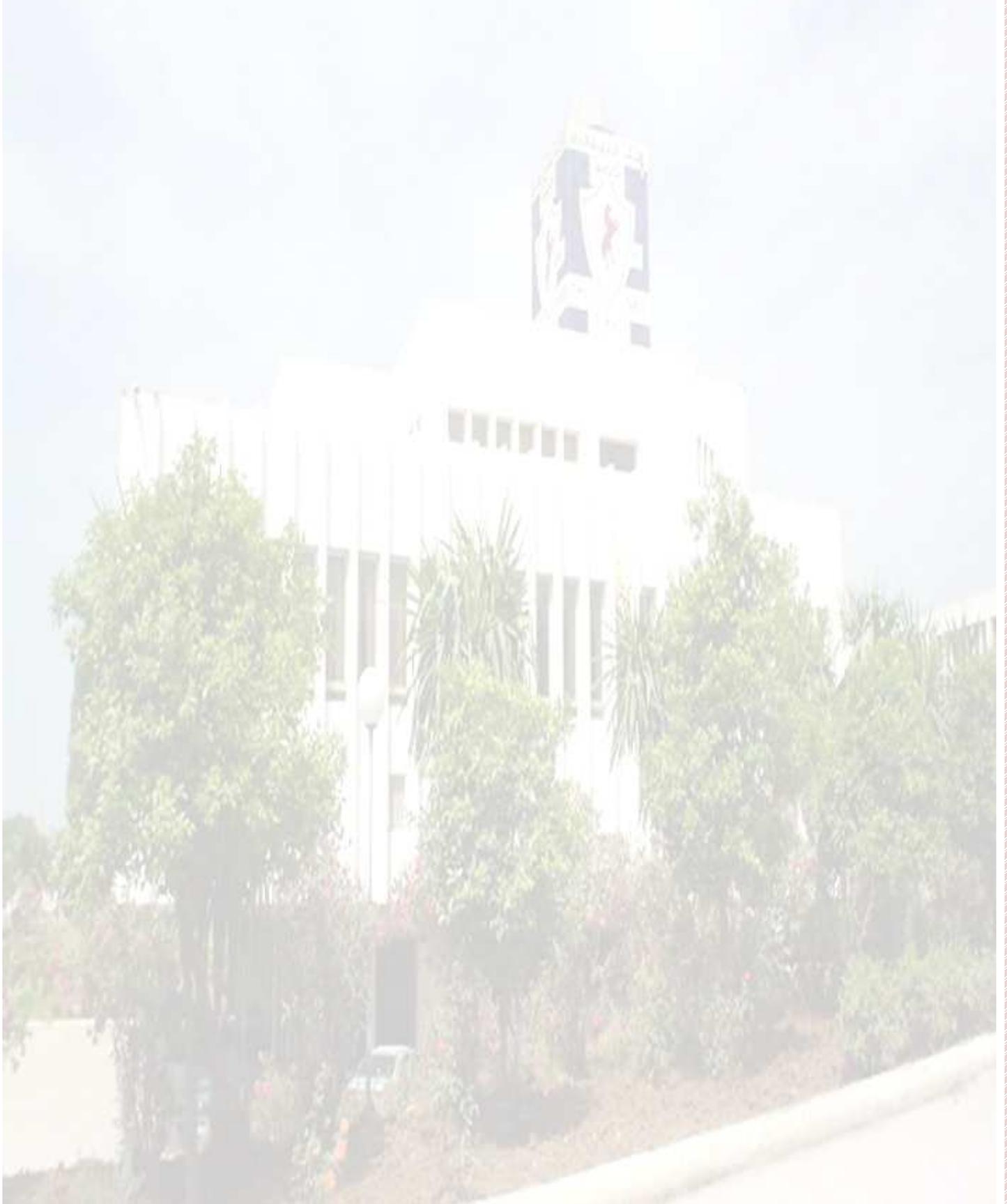
Date	Eau brute [O ₂] en mg/l	Eau traitée [O ₂] en mg/l
12/05/14	2,06	1,2
13/05/14	2,01	0,86
14/05/14	1,9	0,76
15/05/14	1,3	0,71
16/05/14	2	1,5

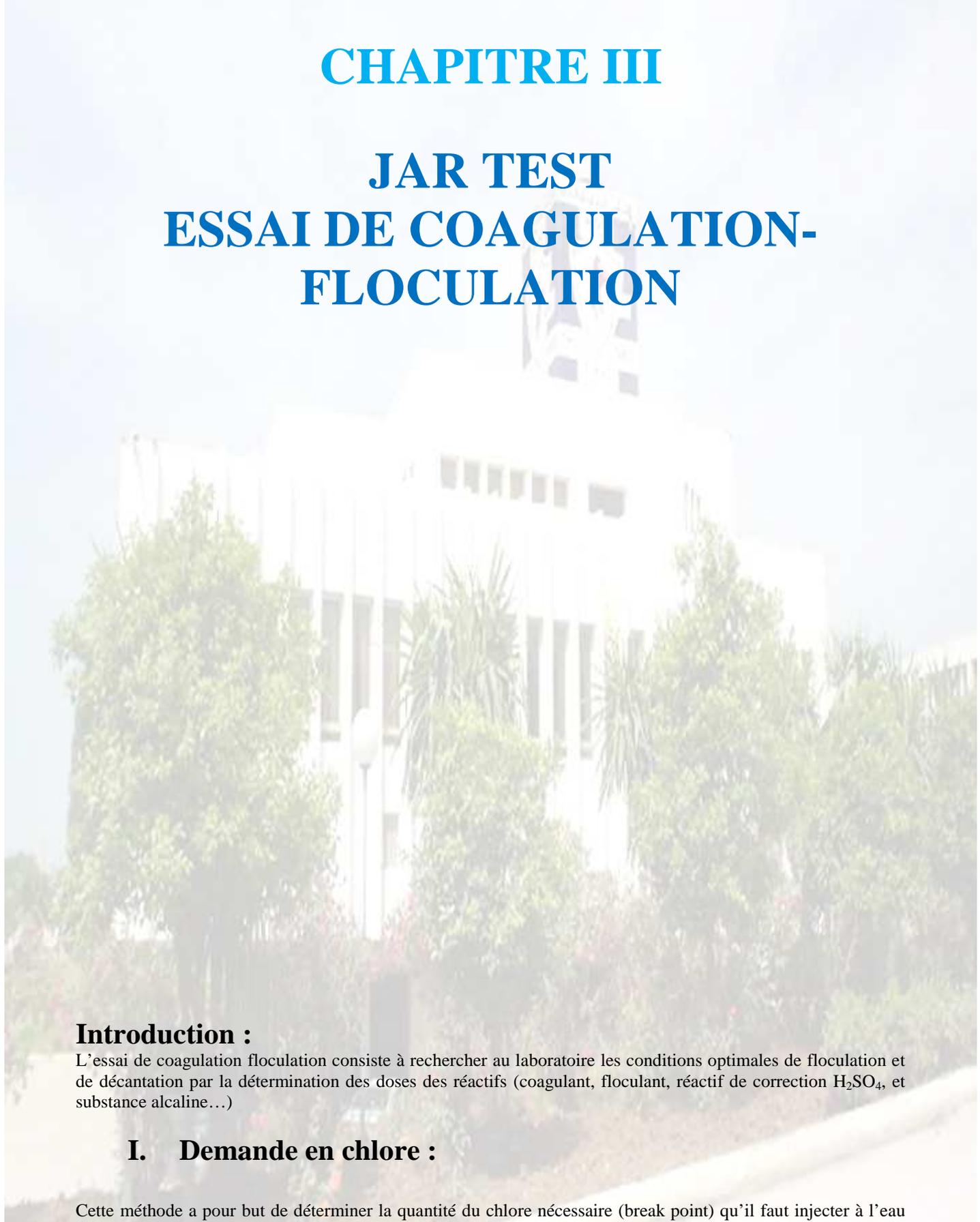
L'oxydabilité doit être inférieure à 2mg/l pour une eau destinée à l'alimentation humaine ce qui est le cas pour l'eau produite au niveau de la station du traitement Ain nokbi.

6. Détermination du chlore résiduel libre :

Le chlore résiduel libre dans une eau traitée est déterminé par le test de DPD : diéthyle paraphénylène diamine, indicateur d'essai au moyen d'un comparateur visuelle.

Ce test consiste à ajouter un comprimé réactif à l'échantillon ce dernier donne une coloration qui sera ensuite comparée aux couleurs de comparateur , on détermine enfin la quantité du chlore résiduel présente dans l'eau en mg/l





CHAPITRE III

JAR TEST

ESSAI DE COAGULATION- FLOCCULATION

Introduction :

L'essai de coagulation flocculation consiste à rechercher au laboratoire les conditions optimales de flocculation et de décantation par la détermination des doses des réactifs (coagulant, flocculant, réactif de correction H_2SO_4 , et substance alcaline...)

I. Demande en chlore :

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

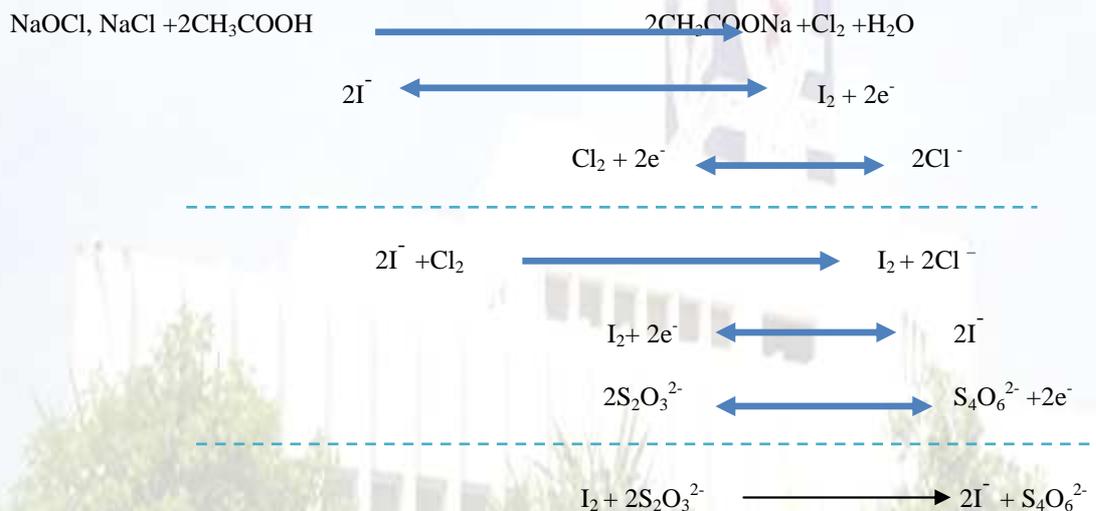
On commence d'abord par la détermination de la concentration du chlore qui se trouve dans l'eau de javel.

1. Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer on introduit successivement :

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

Les réactions mises en jeu sont :



1.

Expression des résultats :

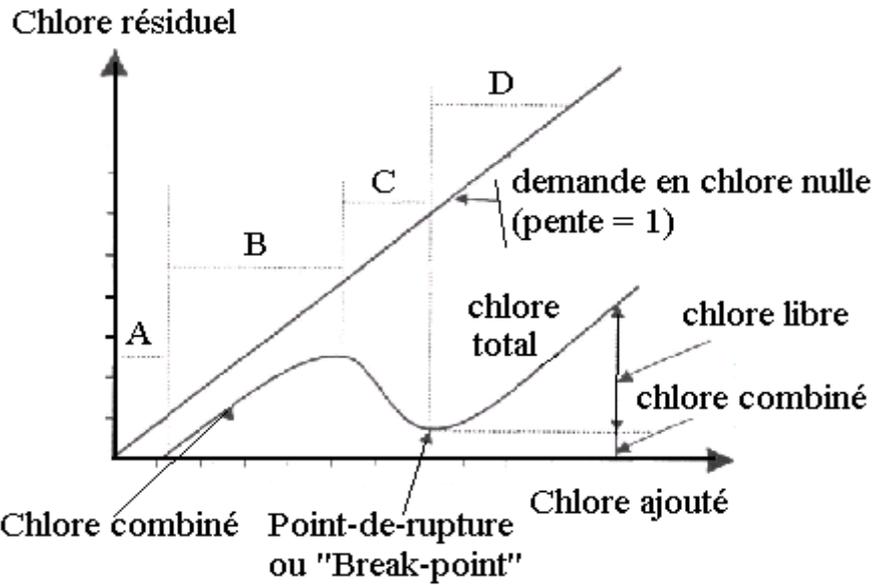
Le titre de l'eau de javel est donné par la relation suivante :

$$[\text{Eau de javel}] = \text{Tb} \times 3,55 (\text{g/l})$$

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

2. Détermination du break-point :

- ❖ on diluera la solution de l'eau de javel avec de l'eau distillée de façon à avoir une solution à 0,1g/l
- ❖ on prépare 12 flacons de verre brun de volume 250ml, que l'on numérote. On introduit dans chacun des flacons 100ml 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 30min après les avoir bouchés et agités ;
- ❖ au bout de 30min (temps de contact) exactement on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactif colorimétrique habituel DPD n°1 ;
- ❖ on trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.



Chloration au break-point

Zone A : destruction du chlore par les composés minéraux (fer, manganèse.)

Zone B : formation de composés chlorés organiques et chloramines, réduction des mono-chloramine et di-chloramines, formation des tri-chloramine.

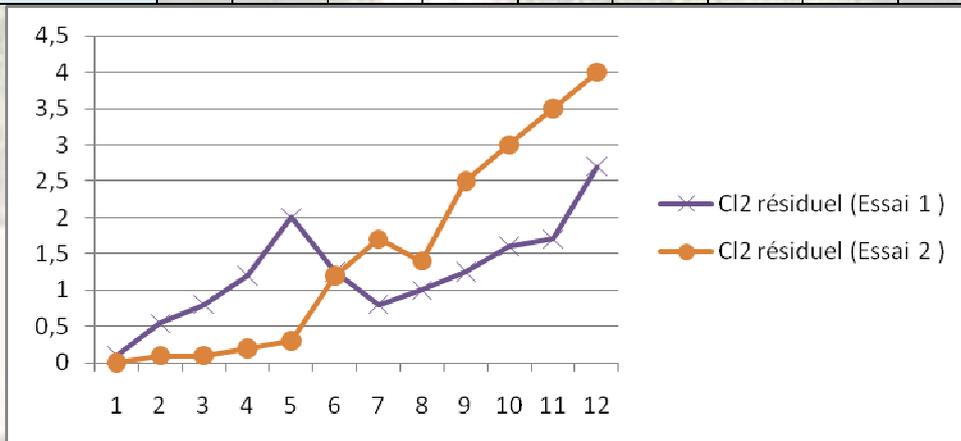
Zone C : destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire, break point (point de rupture), les mono, di et tri-chloramines ont pratiquement disparu.

Zone D : production de chlore actif, tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux (HClO), mais il reste du chlore libre.

3. Résultats :

Tableau 6 : valeurs du chlore résiduel obtenu pour différentes concentrations de chlore ajoutées dans l'eau.

N° flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ₂ injecté en mg/g	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 1	0,1	0,54	0,8	1,2	2	1,25	0,8	1	1,25	1,6	1,7	2,7
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 2	0	0,1	0,1	0,2	0,3	1,2	1,7	1,4	2,5	3	3,5	4



La quantité du chlore à injecté correspondant au break point :

Tableau 7: La dose du chlore à injecter.

	Essai 1	Essai 2
Pré-chloration	4	4.5

II. JAR TEST : Essai de floculation :

1. Objectif :

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

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

- Pré-chloration par le chlore au break-point ;
- Essai au sulfate d'alumine, ou chlorure ferrique ;
- Amélioration de l'essai par l'utilisation d'adjuvant de floculation ; l'alginate, poly-électrolyte ;
- Utilisation d'autres réactifs d'amélioration et de correction tels que le permanganate de potassium, le charbon actif, la chaux et l'acide sulfurique ;
- Acidification par H_2SO_4 (variation du pH)

2. Matériel :

Pour réaliser ce procédé, nous avons besoin du matériel suivant :

- ◆ Un floculateur de laboratoire avec 3 agitateurs à hélice par moteur à vitesse variable et continu ;
- ◆ Bêchers peuvent contenir 1 litre d'eau à traiter ;
- ◆ Verrerie de laboratoire ;
- ◆ Papier filtre bande blanche ;

3. Réactifs :

- ◆ Solution mère de l'eau de javel ;
- ◆ Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 1g/l qu'on ajoute dans les bêchers ;
- ◆ Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 0,1g /l qu'on utilise pour la demande en chlore ;
- ◆ Solution de sulfate d'alumine : $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$ comme coagulant de concentration 10g/l ;
- ◆ Solution de poly-électrolyte comme floculant d'une concentration 0,1g/l ;
- ◆ Solution d'acide sulfurique en cas d'acidification (diminue le pH).

4. mode opératoire :

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

- ◆ le pH ;
- ◆ l'alcalinité (TA, TAC) ;
- ◆ l'oxydabilité à chaud en milieu acide ;

- ◆ la turbidité ;
- ◆ la température de l'eau au moment de l'essai ;
- ◆ la demande en chlore de l'eau à traiter avec relevé du chlore correspondant au break-point éventuel.

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

- ❖ Dans chacun des béchers on verse 1 litre d'eau brute et on les place sur le banc de floculation ;
- ❖ On agite l'eau rapidement pendant 5min ;
- ❖ Dans les 3 béchers on ajoute une dose de l'eau de javel correspondante à la demande en chlore précédemment déterminée ;
- ❖ On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tours/min ;
- ❖ On ajoute aussi rapidement que possible aux trois béchers en traitement des quantités croissantes du coagulant ;
- ❖ On maintient l'agitation rapide pendant 2min
- ❖ Après on ajoute le poly-électrolyte et on diminue l'agitation à 40tours/min ;
- ❖ On maintient l'agitation lente pendant 20minutes ;
- ❖ On note le délai d'apparition du floc (en minute et en seconde) à partir du début de l'agitation lente.

Après l'agitation lente on note l'aspect des floes :

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

- ❖ On relève les hélices et on laisse décanter toutes les portions pendant 30minutes dans les béchers ;

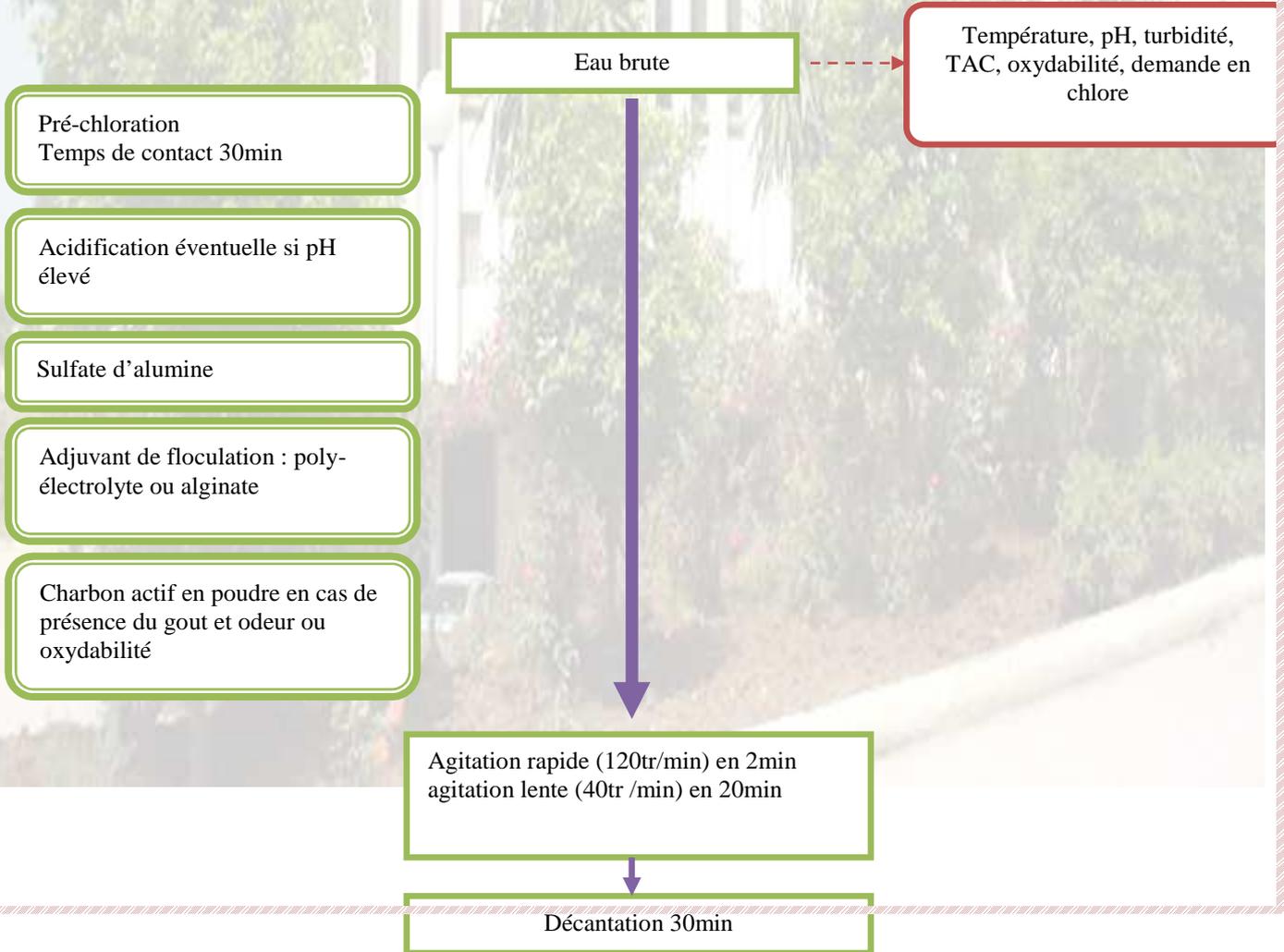
Au cours de ce temps de décantation on estime la vitesse de sédimentation des floes formés (rapide, moyenne ou lente) ;

- ❖ On observe après cette période s'il reste des floes en suspension ;
- ❖ On détermine le pH, la turbidité, l'oxydabilité et le chlore résiduel du surnageant ;
- ❖ On filtre les trois béchers dans un erlenmeyer à l'aide d'un papier filtre disposé dans les entonnoirs. cette filtration est celle qui produit les résultats les plus comparables à ceux obtenus par filtration sur sable ;
- ❖ On détermine la turbidité et l'alcalinité sur chaque échantillon ;
- ❖ On détermine aussi la teneur en aluminium par kit.

L'origine principale d'aluminium est le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)$. Pour mesurer la quantité d'aluminium on utilise un test kit, plus il y a d'aluminium plus la bandelette se colore en bleu foncé.

Remarque :

La valeur maximale admissible de la teneur en aluminium dans une eau de boisson ne doit pas dépasser 0,2mg/g.



The diagram illustrates a water treatment process. It begins with 'Eau brute' (raw water) in a central box. A red dashed arrow points from this box to a red-bordered box on the right containing parameters: 'Température, pH, turbidité, TAC, oxydabilité, demande en chlore'. A thick purple arrow points downwards from 'Eau brute' to a box detailing 'Agitation rapide (120tr/min) en 2min' and 'agitation lente (40tr /min) en 20min'. To the left of this arrow are five green-bordered boxes listing treatment steps: 'Pré-chloration Temps de contact 30min', 'Acidification éventuelle si pH élevé', 'Sulfate d'alumine', 'Adjuvant de floculation : poly-électrolyte ou alginate', and 'Charbon actif en poudre en cas de présence du gout et odeur ou oxydabilité'. A final purple arrow points from the agitation box to a bottom box labeled 'Décantation 30min'.

Eau brute

Température, pH, turbidité,
TAC, oxydabilité, demande en
chlore

Pré-chloration
Temps de contact 30min

Acidification éventuelle si pH
élevé

Sulfate d'alumine

Adjuvant de floculation : poly-
électrolyte ou alginate

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

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

Décantation 30min

Figure : processus de l'essai de floculation

5. Critères de choix de la dose de traitement (meilleur béccher) :

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

- Taille des floes > 6 ;
- Turbidité de l'eau décantée <5 NTU ;
- Turbidité de l'eau filtrée sur le papier <0.5 NTU ;
- pH de décantation entre 7.00 et 7.4 ;
- oxydabilité à chaud pendant 13min <2mg/l ;
- aluminium <0.2mg /l ;

L'étude effectuée au laboratoire consiste à utiliser :

- ✓ coagulant seul (sulfate d'alumine) ;
- ✓ coagulant (sulfate d'alumine) + floculant (poly-électrolyte) ;
- ✓ variation de l'intensité d'agitation lente ;

III. Analyse de l'eau brute :

Avant de commencer chaque essai de jar-test, on doit d'abord faire des analyses physico-chimiques de l'eau brute :

- pH ;
- température ;
- TA en méq/l ;
- TAC en méq/l ;
- Oxydabilité en mg/l ;
- Demande en chlore ;
- Chlore résiduel en break point ;

Essai n°1 : absence de floculant

Ce test a pour but d'optimiser la dose de coagulant en absence de floculant, c'est pour cela on a injecté des doses croissantes de sulfate d'alumine.

Tableau 8 : optimisation du coagulant en absence de floculant.

Les bécchers	1	2	3
Pendant le déroulement			
Pré-chloration mg/l	4	4	4
Coagulant mg/l	50	60	70
Aspect des floes	06	06	06
Observation après la décantation			
pH	7.4	7.33	7.26

Oxydabilité mg/l	1.13	1.4	0.67
Turbidité décanté NTU	2.75	3.4	3.48
Chlore résiduel	1	1.2	1.25
Observation après la filtration			
Turbidité filtrée NTU	0.32	0.27	0.23
TAC	4.5	4.4	4.2
Al³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.2	0.13

D'après les critères du choix de meilleure qualité de l'eau traitée :

On peut choisir le béccher n°1 car il contient moins de coagulant donc la dose optimale du sulfate d'alumine est 50mg/l.

Essai n°2 : présence d'une dose fixe de coagulant

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

Tableau 9 : optimisation du floculant en présence d'une dose fixe de coagulant.

Les bécchers	1	2	3
Pendant le déroulement			
Pré-chloration mg/l	4	4	4
Coagulant mg/l	60	60	60
Floculant mg/l	0.05	0.1	0.15
Aspect des floes	04	08	08
Observation après la décantation			
pH	7.51	7.34	7.37
Oxydabilité mg/l	0.48	0.97	0.54
Turbidité décanté NTU	1.1	0.71	0.63
Chlore résiduel	0.8	0.8	0.8
Observation après la filtration			
Turbidité filtrée NTU	0.18	0.17	0.13
TAC	4.6	4.5	4.44
Al³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.13	0.13

Les résultats obtenus et les critères de choix, montrent que le meilleur béccher choisi sera le béccher n°2 car il respecte toutes les normes souhaitées.

Donc la dose optimale du polymère est 0.1mg/l .ceci coïncide avec les taux de traitement injectés au niveau de la station pendant les périodes normales :

- Demande en chlore : entre 3,5 et 5,5
- Sulfate d'alumine : entre 50 et 70 mg/l
- Poly-électrolyte : entre 0,05 et 0,1 mg/l

Essai n°3 : présence d'une dose fixe du floculant

Pour optimiser la dose du sulfate d'alumine en présence du poly-électrolyte on a injecté des doses croissantes du sulfate d'alumine et une dose fixe du poly-électrolyte.

Tableau 10 : optimisation du coagulant en présence de floculant.

Les béchers	1	2	3
Pendant le déroulement			
Pré-chloration mg/l	5	5	5
Coagulant mg/l	50	60	70
Floculant mg/l	0.1	0.1	0.1
Aspect des floes	06	08	08
Observation après la décantation			
pH	7.42	7.37	7.38
Oxydabilité mg/l	1.37	0.45	0.95
Turbidité décanté NTU	0.86	0.51	0.8
Chlore résiduel	1	1	1
Observation après la filtration			
Turbidité filtrée NTU	0.38	0.46	0.27
TAC	5.1	4.9	4.81
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.21	0.13	0.13

Les résultats obtenus et les critères de choix, montrent que le meilleur bécber choisi sera le bécber n°2 car il respecte les normes souhaitées.

On peut choisir le bécber N°3 mais la quantité de sulfate d'alumine dans le bécber n°2 est inférieure à celle dans le bécber N°3 (**question de cout**)

Essai n°4 : Changement de la vitesse de floculation

Pour réaliser cet essai, on a effectué un changement au niveau de la vitesse de l'agitation au lieu de 40tr/min on l'augmente à 60tr/min.

Tableau 11: changement de la vitesse.

Les béchers	1	2	3
Pendant le déroulement			
Pré-chloration	3,5	3,5	3,5
Coagulant mg/l	50	60	70
Floculant	0.1	0.1	0.1
Aspect des floes	04	06	08
Observation après la décantation			
pH	7.46	7.41	7.32
Oxydabilité mg/l	0.8	1.5	1.2
Turbidité décanté NTU	1.12	1.3	1.06
Chlore résiduel	2	1	1
Observation après la filtration			
Turbidité filtré NTU	0.28	0.3	0.26
TAC	4.50	4.40	4.20
Al ³⁺	0.2	0.14	0.12

D'après ces résultats on remarque que :

L'aspect de floc dans le 1^{er} bécber est inférieure à 4 donc à éliminer ;

Le pH du dernier bécber appartient à la zone des critères de choix ;

Donc le meilleur bécber c'est le n°3 ;

L'augmentation de la vitesse à 60 tr/min n'a pas d'effet sur les résultats obtenus.

Interprétation entre les résultats de l'essai n°3 et n°4 :

D'après les résultats obtenus, il est préférable d'utiliser une vitesse d'agitation lente de 40tr/min pour ne pas produire des floccs trop petits ou trop légers.

L'augmentation de la vitesse d'agitation produit des floccs fragiles qui vont se briser facilement en petites particules et donc arriver jusqu'au filtres ce qui nécessite des lavages fréquents de ces derniers.

Tableau 12 : Résultats des meilleurs béchers dans les 4 essais :

Essai	1	2	3	4
Pendant le déroulement				
Pré-chloration	4	4	5	3.5
Coagulation	50	50	60	70
Floculation	-	0.1	0.1	0.1
Aspect des floccs	06	08	08	08
Observation après décantation				
pH	7.38	7.34	7.37	7.32
Oxydabilité	1.13	0.97	0.45	1.2
Turbidité décanté NTU	2.75	0.71	0.51	1.06
Chlore résiduel	1	0.8	1	1
Observation après filtration				
Turbidité filtré NTU	0.32	0.17	0.46	0.26
TAC	4.5	4.5	4.9	4.2
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.13	0.13	0.12

Conclusion

A fin de rendre l'eau potable, il faut nécessairement passer par des tests à l'échelle de laboratoire à partir des quels on détermine les conditions optimales appliqués au niveau de la station.

L'eau potable est donc une denrée rare et précieuse qui a un cout et qu'il ne faut pas gaspiller.

Ce stage a été très bénéfique, car il m'a permis de découvrir le monde de travail, d'approfondir mes connaissances acquises pendant mon cursus d'études, tant sur le plan pratique que sur le plan théorique.

J'espère avoir traité dans ce rapport les points essentiels concernant le fonctionnement du travail dans l'office, surtout les procédés de traitement utilisés dans la station.