

<u>INTRODUCTION</u>	<u>1</u>
<u>PRESENTATION DE L'OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE</u>	<u>2</u>
<u>CHAPITRE I : CHAINE ELEMENTAIRE DE PRODUCTION D'EAU POTABLE D'OUED SEBOU</u>	<u>4</u>
<u>I. Prétraitement</u>	<u>5</u>
<u>1. Dégrillage :</u>	<u>5</u>
<u>2. Relevage :</u>	<u>6</u>
<u>3. Dessablage :</u>	<u>6</u>
<u>4. Mélangeur :</u> <u>.7</u>	<u>7</u>
<u>5. Débourage :</u>	<u>7</u>
<u>II. Traitement :</u>	<u>8</u>
<u>1. Pré-chloration :</u>	<u>8</u>
<u>2. Coagulation-floculation :</u>	<u>8</u>
<u>a)..... Coagulation :</u>	<u>8</u>
<u>b)..... Floculation :</u>	<u>9</u>
<u>3. Décantation :</u>	<u>9</u>
<u>4. Filtration :</u>	<u>10</u>
<u>5. Désinfection :</u>	<u>10</u>
<u>CHAPITRE II : QUALITE DE L'EAU</u>	<u>12</u>
<u>I. Introduction :</u>	<u>13</u>
<u>II. Facteurs organoleptiques :</u>	<u>13</u>
<u>1. Odeur :</u>	<u>13</u>
<u>2. Goût :</u>	<u>13</u>
<u>3. Couleur :</u>	<u>13</u>
<u>III. Analyses physiques :</u>	<u>13</u>
<u>1. Turbidité :</u>	<u>13</u>
<u>a. Principe :</u>	<u>14</u>
<u>b..... Résultats :</u>	<u>14</u>
<u>2. Température :</u>	<u>15</u>
<u>3. Potentiel d'hydrogène-pH :</u>	<u>15</u>
<u>a..... Principe de mesure :</u>	<u>15</u>

b.....	<u>Etalonnage :</u>	<u>15</u>
c.....	<u>Résultat :</u>	<u>16</u>
4. <u>Conductivité :</u>		<u>16</u>
IV. <u>Analyses chimiques :</u>		<u>17</u>
1. <u>Détermination de l'alcalinité ; TA et TAC :</u>		<u>17</u>
a.	<u>Le Titre Alcalimétrique TA :</u>	<u>17</u>
b.....	<u>Titre Alcalimétrique Complet TAC :</u>	<u>17</u>
c.....	<u>Mode opératoire :</u>	<u>18</u>
d.....	<u>Expression des résultats :</u>	<u>18</u>
2. <u>Titre hydrotimétrique :</u>		<u>19</u>
a.	<u>Principe :</u>	<u>19</u>
b.....	<u>Mode opératoire :</u>	<u>19</u>
c.....	<u>Expression des résultats :</u>	<u>20</u>
3. <u>Dureté calcique :</u>		<u>20</u>
a.	<u>Mode opératoire :</u>	<u>20</u>
b.....	<u>Expression des résultats :</u>	<u>20</u>
4. <u>Dureté magnésien :</u>		<u>20</u>
5. <u>Oxydabilité :</u>		<u>20</u>
a.	<u>Mode opératoire:</u>	<u>21</u>
b.....	<u>Expression des résultats :</u>	<u>22</u>
<u>CHAPITRE III : JAR-TEST(essai de Coagulation-Floculation).</u>		<u>23</u>
I. <u>Demande en chlore :</u>		<u>24</u>
1.	<u>Mode opératoire :</u>	<u>24</u>
2. <u>Expression des résultats :</u>		<u>25</u>
3. <u>Détermination du break-point :</u>		<u>25</u>

<u>4. Résultats :</u>	<u>26</u>
II. <u>Jar test : essai de floculation :</u>	<u>27</u>
1. <u>Définition</u>	<u>27</u>
2. <u>Objectif :</u>	<u>27</u>
3. <u>Matériel :</u>	<u>27</u>
4. <u>Réactifs :</u>	<u>28</u>
5. <u>Mode opératoire :</u>	<u>28</u>
6. <u>Critères de choix de la dose de traitement (meilleur bécher) :</u>	<u>32</u>
III. <u>Analyse de l'eau brute :</u>	<u>33</u>
<u>CONCLUSION</u>	<u>38</u>

INTRODUCTION

L'eau est une source naturelle rare et vitale, aux caractéristiques physicochimiques et biologiques 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 de 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 telles 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 du système 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.

D'ailleurs, le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. C'est dans cette perspective que l'ONEP (Office National de l'Eau Potable) 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 Nationale 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.

PRESENTATION DE L'OFFICE NATIONAL DE L'EAU POTABLE (ONEP)

L'ONEP a été Créé le 3 avril 1972 par le dahir №.172.103, en remplaçant la Régie des Exploitations Industrielles (**REI**) qui assurait entre autres le service de distribution de l'eau potable depuis 1929, l'Office National de l'Eau Potable est un Etablissement 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'Equipement. Mais, à partir de septembre 2002, avec le changement du gouvernement et avec la création du Secrétariat d'Etat 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 ;
- Étude, 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 I :

**CHAINE ELEMENTAIRE DE
PRODUCTION D'EAU POTABLE
D'OUED SEBOU**

I. Prétraitement

C'est un traitement préliminaire qui permet de réduire le taux de matière en suspension. La station de prétraitement est mise en service selon le taux des matières en suspension [M.E.S]. S'il est Inférieure à 2 g/l, l'eau brute est pompée directement vers la station de traitement s'il est supérieur à 2 g/l l'eau passe d'abord par un prétraitement avant d'être Pompée vers la station de traitement

La station de prétraitement est constituée :

- Une prise d'eau équipée de trois (3) grilles et un dégrilleur ;
- Une station de relevage équipée de trois (3) vis d'Archimède ;
- Deux déssableurs ;
- Un répartiteur mélangeur ;
- Trois débourbeurs ;
- Une bâche de protection de 1600 m.

1. Dégrillage :

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les gros déchets tels que les branches, les plastiques... En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau passe à travers une ou plusieurs grilles dont les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de système automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le disfonctionnement des pompes.

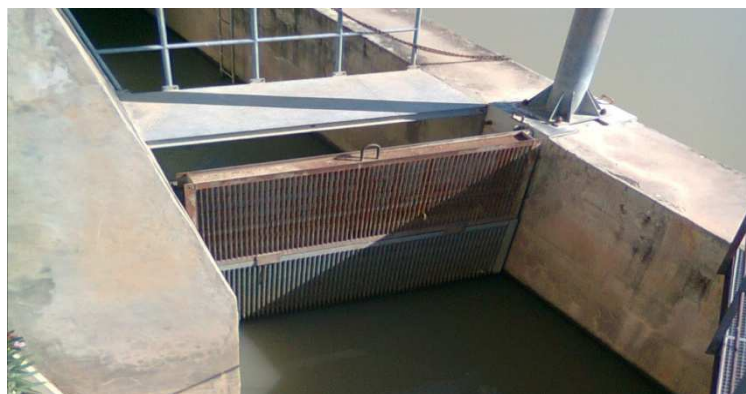


Figure 1 : Grille

2. Relevage :

La vis d'Archimède est une construction mécano soudée, constituée d'un noyau central sur lequel sont rapportées une ou plusieurs spires. La vis est supportée par deux paliers par l'intermédiaire de plateaux : un palier immergé en pied de vis et un palier supérieur positionné hors d'eau.

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



Figure 2 : Relevage

3. Dessablage :

Le dessablage est un prétraitement physique qui permet par décantation, de retirer les sables de l'eau.



Figure 3 : Dessableur

4. Mélangeur :

Le mélangeur assure à la fois le mélange de l'eau brute avec un polymère (poly-électrolyte) pour casser la stabilité colloïdale et augmenter la taille des particules contenues dans les eaux brutes ainsi la répartition de l'eau dans les débourbeurs (ce mélangeur fonctionne seulement si la [MES] est $> 2\text{g/l}$ période des crues).

5. Débourbage :

C'est une opération de séparation solide-liquide qui précède la clarification des eaux de surface. Le débouillage est une pré-décantation des matières en suspension « MES » (concentration supérieure à 2g/l) pour éviter d'engorger les ouvrages de pompage et de traitement par les boues.



Figure 4 : Débouilleur

II. Traitement :

L'eau brute captée en milieu est acheminée par des canalisations jusqu'au traitement de l'eau. Après les opérations de prétraitement qui permettent à l'eau d'être moins chargée en matières en suspension ($MES < 2g/l$), vient la phase de traitement qui permet de rendre l'eau potable, et pour réaliser cet objectif, on lui applique des traitements variés qui obéissent tous au même principe : éliminer les éléments de matières contenues dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques.

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. (Responsable de la couleur) ;
- Détruire les matières organiques. (Améliorer le goût et l'odeur de l'eau) ;
- Détruire 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 turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causés par des particules très petites 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 puisque leurs concentrations est très stable ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres, pour éliminer ces particules on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

Coagulation :

La Coagulation est l'une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. La difficulté principale est de déterminer la quantité optimale de réactif à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute, cette opération consiste à déstabiliser les particules en suspension c'est-à-dire de faciliter leur agglomération par la neutralisation des charges électrostatiques des particules colloïdales. En pratique ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produit chimique (sulfate d'alumine)

- o Le Coagulant utilisé est le Sulfate d'Alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

Floculation :

La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent le contact entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par la 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 pontages 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 elles 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 qualité 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 existe de nombreux types de décanteurs, ceux utilisés à la station sont au nombre de six, chacun possède un débit à traiter de 900 m³/h.

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



Figure 5 : Décanteur

4. Filtration :

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un matériau poreux afin d'éliminer les matières en suspension restants.

Le type de filtration le plus répandu est la filtration sur sable.

L'eau à filtrer passe donc à travers le lit de sable et se débarrasse de floccs non éliminés par la décantation.

Ce traitement doit réduire la turbidité de l'eau à des valeurs inférieures ou égales à 0.5 NTU. (Unité de turbidité néphélogométrique)



Figure 6 : Filtre à sable

5. 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, elle 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

chimique 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. Cette définition fait apparaître trois notions importantes : les désinfectants ; le temps de contact et la concentration en désinfectant.

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 du système 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. Goût :

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue 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 selon la méthode néphélogométrique, son unité est le NTU.

Pour l'eau décantée : ≤ 5 NTU

Pour l'eau filtrée : ≤ 0.5 NTU



Figure 7 : 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. Résultats :

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

Les résultats se présentent comme suit :

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
22/04/13	32	1.2	0.3	0.38
23/04/13	39	1.7	0.22	0.2
24/04/13	32	2.5	0.23	0.52
25/04/13	49	2.7	0.4	0.42
26/04/13	34	1.5	0.22	0.37

Tableau 1 : Résultats de turbidité obtenus pendant 5 jours.

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

La station de traitement Ain Noukbi vise à produire une eau traitée qui a une turbidité < 0.5.

La turbidité d'eau filtrée ne doit pas dépassée 0.5 NTU sinon les filtres nécessitent un lavage.

La turbidité d'eau décantée ne doit pas dépassée 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.

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



Figure 8 : 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 par une solution de pH=9.

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

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

Tableau 2 : Classification des eaux d'après leur pH.

c. Résultat :

Nous avons effectuées des mesures de pH pendant 5 jours :

Les résultats se représentent comme suit :

Date	Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée	Eau traitée
22/04/13	7.90	7.18	7.22	7.37
23/04/13	7.95	7.21	7.30	7.48
24/04/13	7.92	7.26	7.37	7.52
25/04/13	7.90	7.26	7.32	7.47
26/04/13	8.07	7.21	7.32	7.50

Tableau 3 : Résultats de pH obtenus pendant 5 jours.

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 est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Un ion est un atome (constituant de base de la matière) ou un groupe d'atomes qui possède une charge électrique positive (+) ou négative(-). Ainsi, plus l'eau contient des ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+),

potassium (K^+), bicarbonate (HCO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant

électrique et plus la conductivité mesurée est élevée.

Figure 9 : conductimètre.

IV. Analyses chimiques :

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

L'alcalinité de l'eau est essentiellement due à la présence des hydroxydes (OH^-), des carbonates (CO_3^{2-}) et des hydrogencarbonates « bicarbonates » (HCO_3^-).

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'où : $\text{TA (m\acute{e}q/l)} = \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$

b. Titre Alcalimétrique Complet TAC :

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

Les réactions mises en jeu :



D'où: $\text{TAC(m\acute{e}q/l)} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$

c. Mode opératoire :

On introduit 100 ml de l'eau à analyser dans un erlenmeyer, puis on ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine.

- S'il y a apparition d'une coloration rose c'est-à-dire que le $\text{pH} > 8.3$, on passe au dosage avec HCl jusqu'à décoloration. Cette décoloration de la solution par l'acide chlorhydrique correspond à la neutralisation des ions OH^- et la transformation de la moitié des ions CO_3^{2-} en HCO_3^- .
- S'il n'y a aucune coloration $\text{pH} < 8.3$, donc le TA est nul ($\text{TA} = 0$). Dans le même échantillon ayant servi pour la détermination de TA, on ajoute de l'hélianthine, et on le titre par HCl N/10 jusqu'au virage du jaune au jaune-orange de la solution.



d'hélianthine



Coloration après
Coloration jaune-orange après



dosage par HCl

d. Expression des résultats :



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

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

Avec :

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 effectuées des mesures de TA et TAC pendant 5 jours :

Les résultats se représentent comme suit :

Pendant ces 5 jours les valeurs du TA ont été Nul (=0), car le pH de l'eau brute n'a pas dépassé 8.3.

Date	Eau brute	Eau traitée
25/04/13	5.4	4.7
26/04/13	5.5	4.9
28/04/13	5.5	4.8
29/04/13	5.2	5
01/05/13	5.6	5

Tableau 4 : Résultats de TAC obtenus pendant 5 jours.

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

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 Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA). Le noir eriechrome est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale

b. Mode opératoire :

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



100ml de l'échantillon
+5ml de la solution tampon TH

une pincée de l'indicateur
coloré « noir eriechrome »



Dosage par la solution d'EDTA à 0,02 mol/l
Jusqu'à l'obtention d'une couleur Bleue

c. Expression des résultats :

$$\text{TH (még/l)} = \text{Tb} \times 0.4$$

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 de l'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 5 ml de la solution tampon (NaOH a 2mol/l), une petite spatule d'indicateur coloré (calcon) et on titre par l'EDTA jusqu'au virage du rose au bleu.

b. Expression des résultats :

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

4. dureté magnésien :

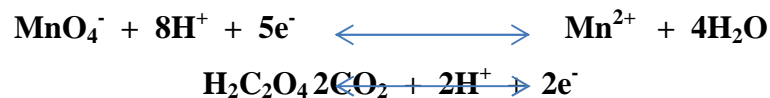
Elle est calculée à partir du titre hydrotimétrique et de la dureté calcique :

$$\text{Teneur en } \text{Mg}^{2+} \text{ (mg/l)} = [(\text{TH még/l}) - (\text{Ca}^{2+} \text{ még/l})] \times 12.15$$

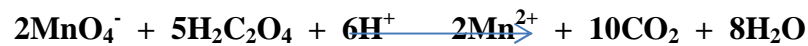
5. Oxydabilité :

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium (KMnO_4) à chaud, ce test conventionnel permet de déterminer la teneur en matière organique en même temps que d'autres substances oxydables.

Les matières oxydables contenus dans l'eau à analyser sont oxydées par un excès de permanganate de potassium (KMnO_4) en milieu acide et à chaud pendant 13 min, ensuite le KMnO_4 est réduit par l'acide oxalique en excès, et on effectue un dosage en retour de cet excès par le KMnO_4 selon les réactions 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 (H_2SO_4) concentré et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO_4) et on maintient à ébullition pendant 13 min exacte. On refroidi rapidement et on ajoute 1 ml d'acide oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) pour réduire les ions MnO_4^- en Mn^{2+} puis on effectue un dosage en retour (titrage de l'excès de l'acide) par le permanganate de potassium (KMnO_4).



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

13min à ébullition



Chgmt de couleur



on ajoute 1ml de l'acide
oxalique

dosage en retour par
KMnO₄

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 effectuées des mesures de l'oxydabilité pendant 5 jours :

Les résultats se représentent comme suit :

Date	Eau brute	Eau traitée
22/04/13	2.08	1.2
25/04/13	2	0.72
28/04/13	2.08	0.8
29/04/13	1.20	0.16
01/05/13	1.84	0.8

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

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

CHAPITRE III

JAR TEST **ESSAI DE COAGULATION-FLOCCULATION**

Avant d'entamer cette étude, on doit d'abord déterminer la quantité du chlore pour tracer la courbe du break point :

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 :



2. Expression des résultats :

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

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

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

3. Détermination du break-point :

- ↪ On diluera la solution de l'eau de javel avec de l'eau distillée de façon à avoir une solution à 0.1g/l ;
- ↪ On prépare 12 flacons de verre brun de volume 250 ml, que l'on numérote. On introduit dans chacun des flacons 100ml d'eau à analyser, puis on ajoute des quantités connues de solutions chlorés, croissantes de flacon en flacon, de façon à avoir des concentrations précises en chlore actif ;
- ↪ On laisse les flacons à l'obscurité pendant 30 min après les avoir bouchés et agités ;
- ↪ Au bout de 30 min (temps de contact) exactement on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactif colorimétrique habituel DPD n°1 ;
- ↪ On trace la courbe du chlore résiduel en fonction du chlore injecté.

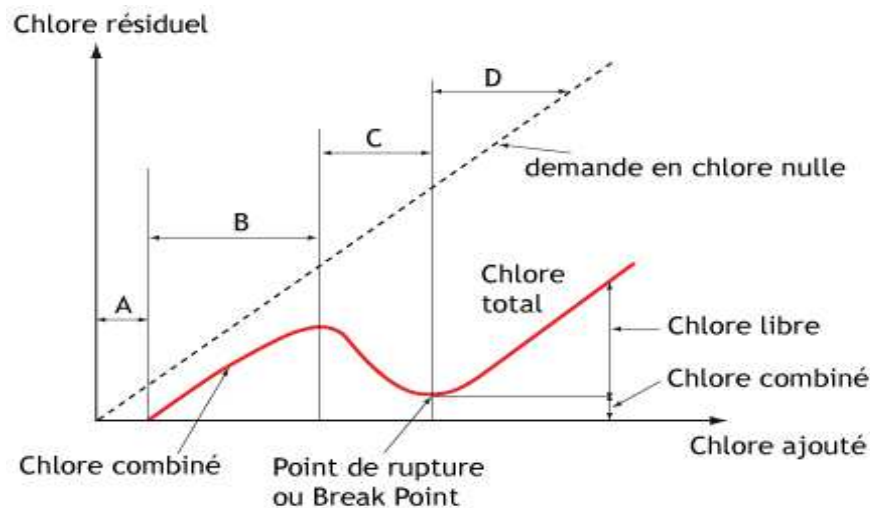


Figure 10 : chloration au break-point

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

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

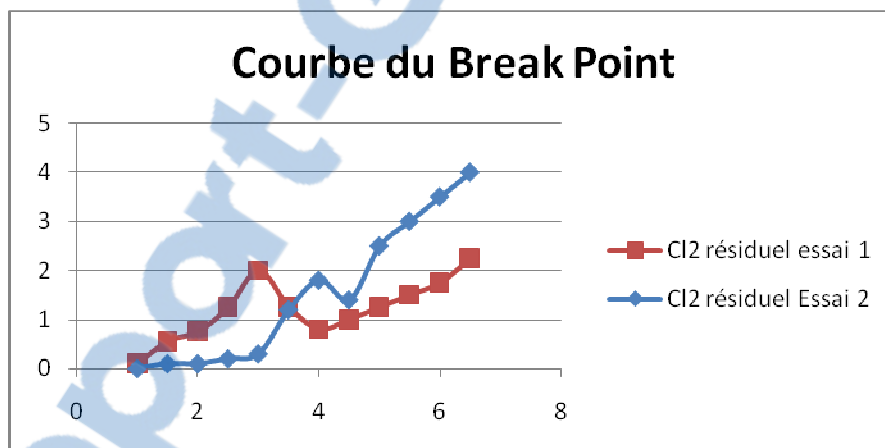
Zone C : destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire, Break point (point de rupture), les mono, di et tri-chloramines ont pratiquement disparu ;

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

4. Résultats :

N° de flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ₂ injecté en mg/l	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 1	0.1	0.55	0.75	1.25	2	1.25	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2.25
Cl ₂ résiduel en mg/l Essai 2	0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.2	1.8	1.4	2.5	3	3.5	4

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



La quantité du chlore a injecté correspondante au break point :

	Essai 1	Essai 2
Pré-chloration	4	4.5

Tableau 7 : La dose du chlore a injecté.

II. Jar test : essai de floculation :

1. Définition

L'essai de floculation 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 H_2SO_4 et substance alcaline...).

2. 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 industrielle.

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

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

3. Matériel :

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

- Un floculateur de laboratoire avec 6 agitateurs à hélice par moteur électrique à vitesse variable et continu ;
- Bêcher peuvent contenir 1 litre d'eau à traiter ;
- Verrerie de laboratoire ;
- Papier-filtre bande blanche.

4. Réactifs :

- Solution mère de l'eau de javel ;

- Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 1 g/l qu'on ajoute dans les béchers ;
- Solution intermédiaire d'eau de javel de concentration 0,1 g/l qu'on utilise pour la demande en chlore ;
- Solution de sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ comme coagulant de concentration 10 g/l ;
- Solution de poly-électrolyte comme floculant de concentration 0,1 g/l ;
- Solution d'acide sulfurique en cas d'acidification (diminue le pH).

5. Mode opératoire :

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

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

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

- ↪ Dans chacun des béchers on verse 1 litre d'eau brute et on les place sur le banc de floculation ;
- ↪ On agite l'eau rapidement pendant 5min ;

- ↪ Dans les 6 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/minute ;
- ↪ On ajoute aussi rapidement que possible au six béchers en traitement des quantités croissantes du coagulant ;
- ↪ On maintient l'agitation rapide pendant 2 minutes ;
- ↪ Après on ajoute le poly-électrolyte et on diminue l'agitation a 40 tours/minute ;
- ↪ On maintient l'agitation lente pendant 20 minutes ;
- ↪ On note le délai d'apparition du floc (en minute et en seconde) à partir du début de l'agitation lente.



Figure 11: essai de coagulation-floculation

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

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

↪ On relève les hélices et on laisse décanter toutes les portions pendant 30 minutes 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 passe le surnageant de chacun des béchers sur du papier filtre bande blanche disposé dans les entonnoirs. Cette filtration est celle qui produit les résultats les plus comparables à ceux obtenus par filtration sur sable ;

↪ On détermine la turbidité et l'alcalinité sur chaque échantillon ;

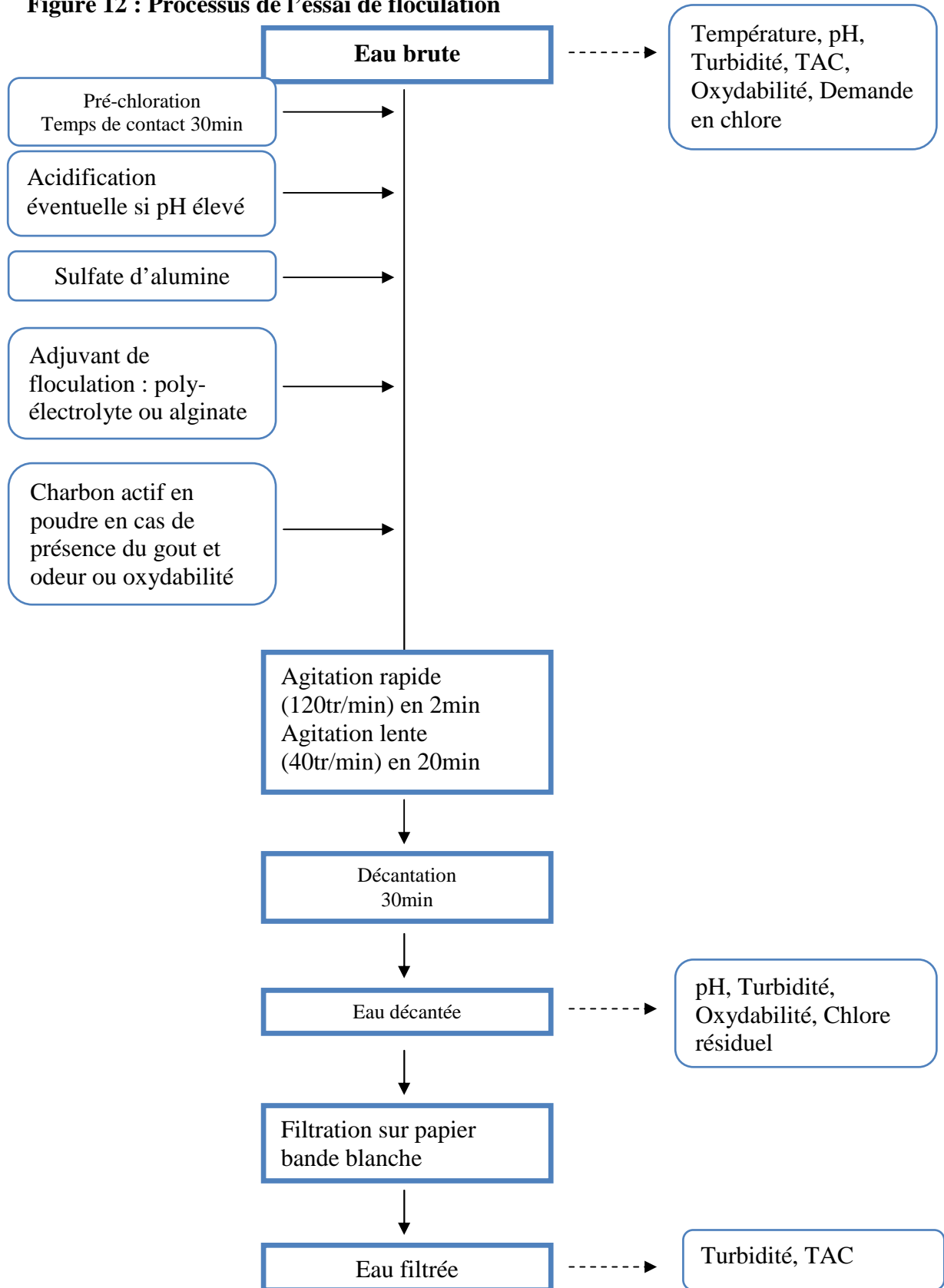
↪ On détermine aussi la teneur en aluminium par kit.

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, 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 0.2 mg/l.

Figure 12 : Processus de l'essai de floculation



6. Critères de choix de la dose de traitement (meilleur bécber) :

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

- Taille des floes > 6 ;
- Turbidité de l'eau décantée < 5 NTU ;
- Turbidité filtrée sur papier bande blanche < 0.5 NTU ;
- pH de floculation entre 7.00 et 7.40 ;
- Oxydabilité à chaud pendant 13min < 2mg/l ;
- Aluminium < 0.2 mg/l.

L'étude effectuée au laboratoire consiste à utiliser :

- ↳ Coagulant seul (sulfate d'alumine) ;
- ↳ Coagulant (sulfate d'alumine) + Floeulant (poly-électrolyte) ;
- ↳ Acidification ;
- ↳ Variation de l'intensité d'agitation lente.

III. Analyse de l'eau brute :

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

Eau brute	Essai 1 et 2	Essai 3,4 et 5
pH	7.87	8.12
Température	20.9	22
TA en méq/l	0	0
TAC en méq/l	6.00	6.3
Oxydabilité en mg/l	2.3	2.56
Turbidité en NTU	12.6	32.2
Demande en chlore en mg/l	4	4.5
Chlore résiduel en mg/l (break-point)	0.8	1.4

Tableau 8 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute.

○ **Essai n° 1 : absence de flocculant**

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

Les béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration en mg/l	4	4	4	4	4	4
Coagulant	20	30	40	50	60	70
Aspect des floccs	02	04	04	06	06	06
pH	7.82	7.67	7.56	7.40	7.31	7.29
OxydabilitéMg/l	1.28	2.32	0.96	1.12	1.12	0.64
Turbidité décanté NTU	5.19	3.82	3.71	2.71	3.36	3.56
Chlore résiduel	1	1.2	1	1	1.2	1.2
Turbidité filtrée NTU	0.24	0.2	0.24	0.31	0.29	0.23
TAC	4.78	4.76	4.70	4.5	4.3	4.3
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.4	0.35	0.2	0.2	0.2	0.12

Tableau 9 : Optimisation du coagulant en absence de flocculant.

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

- L'aspect des floccs des 3 premiers béchers < 6, donc à éliminer ;
- Les 3 derniers béchers présentent les meilleures caractéristiques car ils respectent les

critères de sélections.

On peut donc choisir le béccher N° IV car il contient moins de coagulant

Donc la dose optimale du sulfate d'alumine est **50 mg/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.

Les béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration mg/l	4	4	4	4	4	4
Coagulant mg/l	50	50	50	50	50	40
Floculant mg/l	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3
Aspect des floccs	04	08	08	08	08	08
pH	7.44	7.4	7.38	7.35	7.32	7.3
Oxydabilité Mg/l	0.48	0.96	0.56	0.8	0.64	1.44
Turbidité décanté NTU	1.09	0.7	0.62	0.61	0.53	0.68
Chlore résiduel	0.8	0.8	0.8	0.8	0.75	0.8
Turbidité filtrée NTU	0.17	0.16	0.12	0.18	0.17	0.21
TAC	4.6	4.5	4.45	4.6	4.6	4.6
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12

Tableau 10 : Optimisation du floculant en présence d'une dose fixe de coagulant.

Les résultats obtenus et les critères de choix, montrent que le meilleur bécher choisi sera le bécher N°II car il respecte toutes les normes souhaitées.

Donc la dose optimale du polymère est **0.1 mg/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 de 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.

Les béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration mg/l	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Coagulant mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect des floccs	04	06	08	08	08	08
pH	7.91	7.79	7.66	7.54	7.51	7.39

Oxydabilité Mg/l	0.96	0.56	0.56	1.36	0.4	0.96
Turbidité décanté NTU	1.26	0.94	0.93	0.87	0.57	0.82
Chlore résiduel	1	0.8	1	1	1	1
Turbidité filtrée NTU	1.15	0.36	0.14	0.37	0.47	0.26
TAC	5.5	5.4	5.3	5.2	4.9	4.82
Al³⁺ résiduel mg/l	0.35	0.2	0.2	0.2	0.12	0.12

Tableau 11 : Optimisation du coagulant en présence de floculant.

Les résultats obtenus et les critères de choix, montrent que le meilleur bécher choisi sera le bécher N°V car il respecte toutes les normes souhaitées.

On peut aussi choisir le bécher N° VI, mais vu que la quantité du sulfate d'alumine du bécher N° V est < au bécher N° VI, on choisit donc le V (question du cout).

○ **Essai n° 4 : Acidification**

Ce test a pour but d'optimiser le pH, c'est pour cela on a injecté des doses différentes d'acide sulfurique pour stabiliser le pH à (7.8/7.5/7.2/7/6.8/6.5), et on a fixé le coagulant à 50 mg/l et le floculant à 0.1 mg/l.

Les béchers	I	II	III	IV	V	VI
pH après acidification	7.80	7.50	7.20	7.00	6.80	6.50
Pré-chloration mg/l	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Coagulant mg/l	50	50	50	50	50	50
Floculant mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect des floes	06	06	06	06	06	06
pH	7.56	7.37	7.12	7.11	6.76	6.64
Oxydabilité Mg/l	0.96	0.4	0.4	0.4	0.96	0.96
Turbidité décanté NTU	1.27	1.23	0.8	0.81	0.67	0.54
Chlore résiduel	0.90	0.50	0.70	0.70	0.60	0.70
Turbidité filtrée NTU	0.26	0.21	0.13	0.25	0.24	0.17
TAC	5.1	4.9	4.4	4.2	3.78	2.76
Al³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12

Tableau 12 : Optimisation du pH.

Les résultats obtenus et les critères de choix, montrent que le meilleur bécher est le bécher N° III car il respecte toutes les normes souhaitées.

Donc le pH optimal pour un essai de floculation est : **pH=7.2.**

- ❖ L'acidification permet d'améliorer les résultats de traitement surtout le pH, car cela a un avantage lors de la désinfection (plus le pH de l'eau est faible au voisinage de 7, plus la désinfection est efficace).

○ **Essai n° 5 : changement de la vitesse de floculation**

Pour réaliser cet essai, on a effectué un changement au niveau de la vitesse de l'agitation lente en l'augmentant jusqu'à 60 tr/min.

Les béchers	I	II	III	IV	V	VI
Pré-chloration mg/l	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Coagulant mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant mg/l	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect des floes	04	04	06	06	06	06
pH	7.94	7.81	7.71	7.68	7.45	7.38
Oxydabilité Mg/l	1.60	1.76	0.40	0.80	1.60	1.20
Turbidité décanté NTU	2.34	1.35	0.69	1	1.2	0.9
Chlore résiduel	2.50	2	2	2	1	1
Turbidité filtrée NTU	0.36	0.16	0.14	0.27	0.36	0.28
TAC	4.70	4.50	4.40	4.40	4.30	4.20
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.50	0.50	0.35	0.2	0.12	0.12

Tableau 13 : changement de la vitesse.

D'après ces résultats on constate que :

- L'aspect de floc dans les 2 premiers béchers < 6, donc à éliminer ;
- Le pH du dernier bécber appartient à la zone des critères de choix ;

Donc le meilleur bécber est le bécber N° VI.

Le fait d'augmenter la vitesse à 60tr/min n'a pas d'effet sur les résultats obtenus.

❖ **Comparaison entre les résultats de l'essai n° 3 et l'essai n° 5 :**

D'après les résultats obtenus, il est préférable d'utiliser une vitesse d'agitation lente de 40 tr/min pour ne pas produire des floes trop petits ou trop légers. D'après l'essai n° 5, l'augmentation de la vitesse d'agitation produit des floes fragiles qui vont se briser facilement en petites particules et donc arriver jusqu'au filtres ce qui nécessite des lavages fréquents de ces derniers.

* **Résultats des meilleurs :**

Dans ce tableau on a regroupé les résultats du meilleur bécher de chaque essai.

Essai	I	II	III	IV	V
Pré-chloration mg/l	4	4	4.5	4.5	4.5
Coagulant mg/l	50	50	50	50	60
Floculant mg/l	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Aspect des floes	06	08	08	06	06
pH	7.40	7.4	7.51	7.12	7.38
Oxydabilité Mg/l	1.12	0.96	0.4	0.4	1.20
Turbidité décanté NTU	2.71	0.7	0.57	0.8	0.9
Chlore résiduel	1	0.8	1	0.70	1
Turbidité filtrée NTU	0.31	0.16	0.47	0.13	0.28
TAC	4.5	4.5	4.9	4.4	4.20
Al ³⁺ résiduel mg/l	0.2	0.12	0.12	0.12	0.12

Tableau 14 : Résultats des meilleurs béchers.

CONCLUSION

A l'Office National de l'Eau Potable, avant d'obtenir une eau potable de qualité, l'eau brute subit un ensemble d'étapes de traitement.

Au cours de ce travail nous avons essayé de décrire ces différentes étapes de traitement. La coagulation-floculation a été bien explicité vu l'intérêt qu'elle représente dans le procédé de traitement.

L'étude de ce traitement (coagulation-floculation) a été effectuée au laboratoire régional de Fès sur des échantillons de l'eau de Oued Sebou, cette étude nous à permet d'optimiser les doses de coagulant, floculant et le pH dans l'objectif de produire une eau potable de bonne qualité.

Lorsqu'on utilise le coagulant et le floculant comme réactif, on obtient des résultats mieux que celle obtenus en présence du coagulant seul. Alors que lorsqu'on acidifie l'échantillon en baissant le pH jusqu'à 7.2, nous améliorons la clarification d'eau brute et nous diminuerons le taux d'aluminium résiduel.

