

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté des Sciences Exactes

Département de Chimie



Mémoire de Master

Présenté par :

M^{elle} **HIHAT Lydia**

M^{elle} **TOUATI Maâ**

*En vue de l'obtention du diplôme de **Master en Chimie***

*Option : **Analyses Chimiques***

Thème :

*Suivi des paramètres physico-chimiques et microbiologiques de
potabilisation des eaux de l'oued Agrioun (Bejaia)*

Soutenu le: 02/07/2017


Devant le jury composé de :

Nom & prénom	Département d'affiliation	Qualité
Mr. SAOU Abdelhamid	Hydraulique	Président
Mr. HENACHE Zahir	Chimie	Examineur
Mr. BOUKERROUI Abdelhamid	Chimie	Promoteur

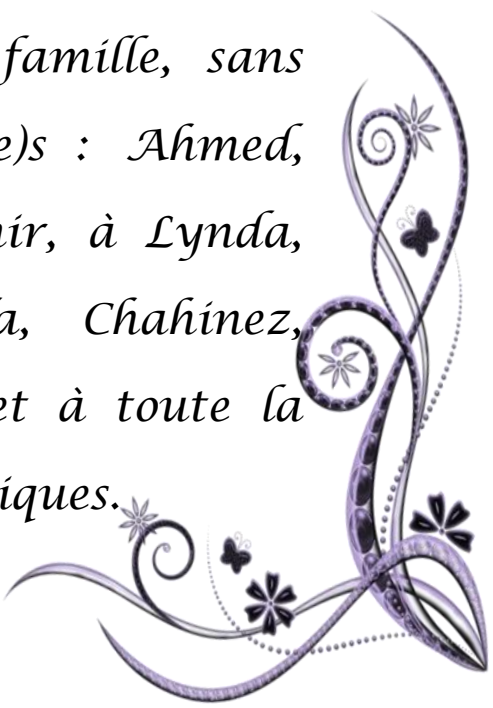
2016 - 2017

Dédicaces

Maâ



C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail à mes très chers, respectueux et magnifiques parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie ainsi qu'à ma sœur et mes frères, et en particulier ma binôme adorable LYDIA et à toute ma famille, sans oublier mes chers ami(e)s : Ahmed, Mehdi, Nouredine, Samir, à Lynda, Selma, Sabrina, Kamila, Chahinez, Meriem, Aïcha, Kenza et à toute la promotion Analyses Chimiques.





Lydia

C'est avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail à mes très chers, respectueux et magnifiques parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie ainsi qu'à ma sœur Yasmîna, mes frères Nassim, Ilyes et Farid et à ma petite nièce Ines et sa maman Lila, à mon adorable binôme et amie Maâ et à toute ma famille, sans oublier mes chers ami(e)s : Lynda, Salima, Dîhia et Katia ainsi que toute la promotion Analyses Chimiques.



Remerciements

Tout d'abord nous nous sommes tenus de remercier le bon Dieu sobhanou de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour achever notre travail.

Il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer cet ouvrage.

Nous remercions en particulier notre promoteur monsieur BOUKERROUI pour son suivi régulier et essentiel à la bonne réalisation de ce mémoire sans oublier monsieur SAOU et monsieur MERABET qui nous a ouvert les portes de son laboratoire afin de continuer notre travail.

Ainsi que tous nos professeurs qui nous ont enseigné durant nos études à la faculté des Sciences Exactes. Nous remercions également l'ensemble du laboratoire de l'unité de production ADE d'Akbou pour leurs aides précieuses, leurs conseils et leurs complaisances.

Enfin nous tenons à remercier tous nos collègues d'étude, particulièrement notre promotion 2016-2017.

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre I : Généralités sur les eaux.

I.1. L'eau élément..... 2

I.2. Principales propriétés physiques et chimiques de l'eau..... 2

I.2.1. Propriétés physiques..... 2

I.2.2. Propriétés chimiques 3

I.3. Qualités générales des eaux issus de diverses sources d'approvisionnement..... 4

I.3.1. Eaux de pluie 4

I.3.2. Eaux de surface 4

I.3.2.1. Eaux de rivière (partie amont) 4

I.3.2.2. Eaux de rivière (partie aval) 5

I.3.2.3. Eaux de lac..... 5

I.3.3. Eaux souterraines 5

I.3.4. Eaux de mer..... 6

I.4. Les eaux de consommation et normes de potabilité 6

Chapitre II : Sites de prélèvements et description de la station de traitement des eaux de Tichi-Haf

II.1. Analyse des eaux de l'Oued SOUMMAM..... 8

II.2. Oued Agrioun 9

II.3. Les eaux du barrage Tichi-Haf et station de traitement Tichi-Haf..... 10

II.3.1 Ouvrage d'entrée de la station de traitement. 10

II.3.2. Pré-chloration..... 11

II.3.3 Aération.....	11
II.3.4. Bassin de coagulation/floculation	12
II.3.4.1. Coagulation	12
II.3.4.2. Floculation.....	13
II.3.5. Décantation	13
II.3.6. La filtration	14
II.3.7. Désinfection	14
Chapitre III: Matériels et méthodes	
III.1. Prélèvement.....	16
III.2. Analyses physico-chimiques	16
III.2.1. Détermination de pH, conductivité, turbidité et température	16
III.2.2. Dosage des chlorures par la méthode de Mohr.....	16
III.2.3. Détermination de la dureté ou titre hydrotimétrique par titrimétrie à l'EDTA	17
III.2.4. Dosage de calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA	19
III.2.5. Alcalinité : Détermination du TA et du TAC par la méthode titrimétrique	19
III.2.6. Détermination des matières en suspension par filtration sur fibre de verre	21
III.2.7. Détermination de l'oxygène dissous par la méthode électrochimique	22
III.2.8. Détermination de la DCO par la méthode à reflux en système ouvert	23
III.2.9. Dosage du fer par spectrométrie d'absorption moléculaire.....	26
III.2.10. Dosage des sulfates.....	27
III.2.11. Dosage des phosphates par spectrométrie d'absorption moléculaire	29
III.2.12. Dosage des nitrates	30
III.2.13. Dosage des nitrites.....	31
III.2.14. Dosage de l'ammonium par spectrométrie à l'aide de salicylate de sodium.....	32
III.2.15. Indice de permanganate (Détermination des matières organiques).....	32
III.2.16. Demande en chlore	34

III.2.16.1. Dosage du chlore contenu dans l'eau de javel	35
III.2.16.2. Demande en chlore par le dosage du chlore résiduel total.....	36
III.2.16.3. Demande en chlore par Dosage du chlore résiduel libre par titrimétrie à la DPD.....	36
III.2.17. Jar test (coagulation-floculation)	37
III.2.17.1. Optimisation des concentrations de coagulant et des flocculant	37
III.2.17.2. Optimisation de la vitesse d'agitation rapide et du temps d'agitation lente	38
III.3. Analyses microbiologiques	38
III.3.1 Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-reducteurs (Clostridia) :	38
III.3.2. Recherches et dénombrement des streptocoques :.....	39
III.3.3. Recherche des coliformes totaux et fécaux	40
III.3.4. Dosage de la chlorophylle A et d'un indice phéopigments méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire	41
III.3.5. Recherches et dénombrement des microalgues	44
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1. Choix du site de prélèvements	45
IV.2. Analyses physico-chimiques de l'eau brute de l'oued Agrioun et traitée par la méthode Jar-Test	46
IV.3. Demande en chlore.....	48
IV.4. Essais de Jar-Test	49
IV.4.1. Optimisation des concentrations de sulfate d'aluminium et de polymère.....	49
IV.4.1.1. Optimisation de la concentration du sulfate d'aluminium.....	49
IV.4.1.2. Optimisation de la concentration de polymère	50
IV.4.3. Optimisation de la vitesse d'agitation de l'étape rapide.....	51
IV.4.4. Optimisation du temps d'agitation de l'étape lente.....	52
IV.5. Essais de Jar	53

IV.5.1. Optimisation de la concentration du sulfate d'aluminium	53
IV.5.2. Etude comparative entre les trois flocculants : Polymères, argile naturelle et argile traitée	54
IV.6. Analyses microbiologique.....	55
IV.6.1. Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs (Clostridia) :	55
IV.6.2. Recherches et dénombrement des streptocoques :	55
IV.6.3. Recherche des coliformes totaux et fécaux	56
IV.6.4. Recherches et dénombrement des microalgues et dosage de la chlorophylle A	59
Conclusion	60
Références bibliographiques	

Annexes

°f : Degré Français.

ASR : Anaérobie Sulfito- Réducteurs.

BCP : Pourpre de Bromocrésol.

BEA : Bille Esculine Azide.

CMA: Concentration Maximale Admissible.

CR : Concentration de référence.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DPD : Diéthyl Phénylène-1,4 Diamine.

EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne.

MES : Matières En Suspension.

MO : Matières Organiques.

NET : Noir Eriochrome T.

NPP : Nombre le Plus Probable.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

OD : Oxygène Dissout.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

PET : PolyTéréphtalate d'Ethylène.

pH : Potentiel en Hydrogène.

SCOR : Scientific Committee on Oceanic Research.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH: Titre Hydrotimétrique.

UNESCO: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization.

UV-Vis : Ultra Violet- Visible.

VF : Viande-Foie.

Figure II.1 : Localisation du bassin versant de l'Oued Agrioun.....	9
Figure II.2 : Photographie de l'ouvrage d'entré.	10
Figure II.3 : Photographie représentant la cascade d'aération.....	11
Figure II.4 : Schéma représentatif de la coagulation.	12
Figure II.5 : Schéma représentatif de la floculation.	13
Figure II.6 : Courbes représentatives du chlore injecté en fonction du chlore résiduel.	15
Figure IV.1 : Evolution de la demande en chlore.	48
Figure IV.2 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration d' $Al_2(SO_4)_3$	49
Figure IV.3 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la concentration du polymère.....	50
Figure IV. 4: Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation rapide.....	51
Figure IV.5 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction du temps d'agitation lente.	52
Figure IV. 6 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium.....	53
Figure IV. 7: Graphiques de la variation de la turbidité en fonction de la masse d'argiles, et de la concentration de polymère injectées.....	54
Figure IV.8 : Photographie représentant les colonies d'ASR formées.	55
Figure IV.9 : Photographie représentant les colonies observées sur milieu solide.....	55
Figure IV.10 : Photographie de la recherche des streptocoques sur milieu liquide.....	56
Figure IV.11 : Photographie représentant les milieux de culture liquide après confirmation.....	56
Figure IV.12 : Photographie représentant les colonies observées pour la recherche des coliformes sur milieu solide.....	57
Figure IV.13 : Photographie représentant les changements après incubation des milieux liquides pour la recherche des coliformes totaux.	57
Figure IV.14 : Photographie représentant les milieux de cultures liquides après confirmation des coliformes fécaux.....	58
Figure IV.15 : Espèces de microalgues contenues dans les eaux de l'oued Agrioun.	59

Tableau I.1 : Caractéristiques essentielles de l'eau.	3
Tableau I.2 : Objectifs de qualité des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations	7
Tableau III.1 : Etablissement de la courbe d'étalonnage du fer.	27
Tableau III.2 : Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates.....	28
Tableau III.3 : Etablissement de la courbe d'étalonnages des phosphates.....	29
Tableau IV.1 : Résultats d'analyse de la conductivité et des chlorures.....	45
Tableau IV.2 : Résultats de l'analyse physicochimique de l'eau brute et de l'eau traitée.	46
Tableau IV.3 : Résultats de la recherche des coliformes et des streptocoques.....	58
Tableau IV.4 : Absorbances mesurées pour le dosage de la chlorophylle A.....	59
Tableau IV.5 : Résultats du dosage de la chlorophylle A.....	59

L'eau est un élément essentiel dans la vie, chaque personne devrait se sentir concernée par cette ressource qui de plus en plus apparait comme rare et dont la qualité doit être préservée ou améliorée; en particulier lorsque des phénomènes climatiques à caractères exceptionnels engendrent inondations et sécheresse [1].

D'après un rapport établie par le World Ressources Institute (WRI) ; l'Algérie clôt la liste des trente premiers pays qui auront à affronter de graves pénuries en eau d'ici 2040 [2]; la croissance démographique, le développement des villes et la concentration des populations dans les régions du nord Algérien, ont fait que les besoins de ménages, de l'industrie et de l'agriculture se sont considérablement accrus, alors que le rythme du développement du secteur hydraulique étant très lent.

Effectivement ; malgré que l'Algérie soit un pays ayant de grandes ressources en eaux, et un littoral de 1200 km ; la gestion intelligente de celles-ci peine à venir, la ressource en eau doit être gérée en fonction des différents usages, en vue de satisfaire au mieux ses usagers et qui correspondent à des besoins évoluant sans cesse dans le temps.

Les eaux susceptibles d'être utilisées comme eaux potables sont les eaux superficielles ; mais malheureusement ces eaux sont de plus en plus polluées. Ceci exige ; afin de les rendre potables, des traitements longs et couteux. En effet, les eaux de surfaces contiennent à des concentrations très diverses de nombreux composés organiques et minéraux dissout et en suspension.

L'objectif de notre travail est de faire une étude des eaux superficielles (oued) ; en particulier Oued Soummam et Oued Agrioun ; afin de les traiter et de les potabiliser si possible par la méthode de coagulation-floculation en utilisant le sulfate d'aluminium comme coagulant et comme floculant : un polymère, une argile naturelle ou traitée. Le traitement de cette eau sera terminé par une désinfection en utilisant la chloration.

I.1. L'eau élément

Malgré une structure simple, la molécule d'eau possède des propriétés remarquables et des anomalies (on recense actuellement une trentaine d'anomalie de comportement de l'eau). Ces anomalies sont par exemple une valeur de point triple élevé, des températures de fusion et d'ébullition très importante, une trop faible compressibilité, une densité augmentant avec la température, etc. Ses particularités proviennent d'une part de sa structure intramoléculaire (liaisons de covalence entre les atomes d'hydrogène et d'oxygène) et d'autre part de sa liaison intermoléculaire (liaison hydrogène) avec ses voisins.

On peut rappeler qu'une particularité essentielle de l'eau réside dans le fait qu'à température ambiante, celle-ci devrait être un solide et non un liquide. Paradoxalement, des études thermodynamiques montrent que l'eau, toujours à température ambiante, s'apparente bien à un solide et non à un liquide. En fait cette situation peut s'expliquer en étudiant de manière détaillée la structure de la liaison hydrogène qui n'est autre que la liaison intermoléculaire oxygène-hydrogène-oxygène. C'est aussi la liaison hydrogène qui explique que la compression de l'eau liquide augmente sa fluidité à l'inverse de ce que l'on observe pour d'autre corps.

I.2. Principales propriétés physiques et chimiques de l'eau

I.2.1. Propriétés physiques

Au-delà des aspects moléculaires de l'eau, la première propriété physique de ce corps et bien évidemment sa mobilité, son aptitude à s'écouler, à s'étaler dans l'espace et remplir aisément les récipients. Cette mobilité est due, et ceci bien que certains chercheurs ne soient pas tout à fait d'accord sur les processus physiques sous-jacents, aux liaisons hydrogène.

En effet cette mobilité est parfois assimilée à la rupture des liaisons puis en leur recombinaison ou encore parfois, à la déformation possible des liaisons sans pour autant qu'il y'ait un mécanisme de rupture.

Parmi les autres propriétés physiques de l'eau le fait que la masse volumique de la glace est plus faible que celle de l'eau. En fait la densité maximale de l'eau est obtenue pour une température de 3,984°C.

On soulignera encore qu'à l'exception de l'ammoniac NH_3 , l'eau est le corps qui possède la plus grande chaleur spécifique. Ceci explique sa mauvaise conductivité thermique

et sa grande capacité régulatrice en terme climatique. Cette capacité régulatrice est encore renforcée par des valeurs de chaleur de fusion et de chaleur d'ébullition très élevées. Il s'ensuit qu'il est donc nécessaire d'aborder une grande quantité de chaleur à l'eau pour augmenter sa température ainsi que pour l'évaporer.

Enfin, rappelons que l'eau se présente comme un liquide clair, incolore sous faible épaisseur, bleu verdâtre sous forte épaisseur et inodore.

Tableau I.1 : Caractéristiques essentielles de l'eau [3].

Paramètre	Valeur numérique
Masse molaire	18,0153 g/mole
Volume molaire	18,0182 cm ³
Masse volumique solide	917 kg/m ³
Masse volumique liquide	998 kg/m ³
Température de fusion	0 °C
Température d'ébullition	100 °C
Chaleur latente de fusion	3,30.10 ⁵ j /kg
Chaleur latente de vaporisation	23.10 ⁵ j /kg
Chaleur massique solide (à 0°C)	2,6.10 ³ j /kg/K
Chaleur massique liquide	4,18.10 ³ j /kg/K

I.2.2. Propriétés chimiques

L'eau est un excellent solvant. En effet, l'eau est le liquide qui dissout le plus grand nombre de substances. Ceci explique le fait que l'eau soit un milieu favorable au développement de la vie puisqu'on y trouve un grand nombre d'éléments primaires qui lui sont nécessaires.

La salinité de l'eau de mer résulte également du pouvoir dissolvant de l'eau. Ce dernier est dû à sa forte constante diélectrique qui est définie comme le rapport entre l'intensité d'un champ électrique dans le vide et le champ dans le corps considéré.

Un second aspect particulier est son caractère amphiprotique. L'eau doit être considérée non seulement comme une base c'est-à-dire qui libère des ions OH^- mais aussi comme un acide c'est-à-dire qui libère des ions H^+ . La déshydratation de l'ion hydronium H_3O^+ qui est un acide conduit à considérer l'eau comme sa base conjuguée tandis que la dissociation de l'eau montre que l'ion OH^- peut être considéré comme la base conjuguée de l'eau, alors vue comme un acide. Les deux réactions suivantes illustrent cette propriété [3] :



I.3. Qualités générales des eaux issus de diverses sources d'approvisionnement

On retrouve quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de surfaces, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant.

I.3.1. Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissout, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau.

I.3.2. Eaux de surface

On peut repartir les eaux de surfaces en trois catégories : eaux de rivières (partie amont), eaux de rivières (partie aval) et eaux de lac. La dureté de toutes les eaux de surfaces est modérée.

I.3.2.1. Eaux de rivière (partie amont)

L'amont d'une rivière est en général situé dans une région montagneuse, où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques des ces eaux sont présentées ci-dessous.

- Turbidité élevée : le régime des rivières étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension.
- Contamination bactérienne faible : La pollution causée par l'homme ou une industrie environnante est pratiquement inexistante.

- Température froide : Ces eaux proviennent soit de sources, soit de fonte des neiges et des glaciers.
- Indice de couleur faible : Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des matières végétales, principales sources de couleur.

I.3.2.2. Eaux de rivière (partie aval)

L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous.

- Contamination bactérienne élevée. Cette contamination est surtout imputable au déversement des égouts domestiques et agricoles.
- Contamination organique et inorganique élevée. Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques.
- Indice de couleur pouvant être élevé. Dans beaucoup de cas, les eaux ont le temps de dissoudre des matières végétales, qui le colorent.

I.3.2.3. Eaux de lac

On peut considérer un lac comme bassin naturel de décantation dont la période de rétention est longue. La turbidité de l'eau y est donc faible et la contamination bactérienne habituellement peu importante. Les caractéristiques des eaux de lac varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surfaces et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux du lac et en augmenter ainsi brusquement la turbidité.

I.3.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps et les usines de purification ne peuvent pas résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous.

- Turbidité faible. Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.

- Contamination bactérienne faible. Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de matières organiques ne favorisant pas la croissance des bactéries.
- Température constante. Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- Indice de couleur faible. Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
- Débit constant. Contrairement à celles des eaux de rivières, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année. Dureté souvent élevée. Les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalent (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsables de la dureté.
- Concentration élevée de fer et de manganèse. Ces métaux, souvent présents dans le sol, sont facilement dissouts lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissout.

I.3.4. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissouts ; c'est ce qu'on appelle la salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/L [4].

I.4. Les eaux de consommation et normes de potabilité

L'eau est indispensable à la vie et tous les hommes doivent disposer d'un approvisionnement satisfaisant en eau (suffisant, sûr et accessible). Un meilleur accès à une eau de boisson saine peut se traduire par des bénéfices tangibles pour la santé. Tous les efforts doivent être consentis pour obtenir une eau de boisson, aussi saine que possible.

Selon la définition qui est donnée par les Directives, une eau de boisson saine ne présente aucun risque notable pour la santé d'une personne qui la consommerait, compte tenu des variations de sensibilité éventuelles entre les différents stades de la vie. Les plus exposés au risque de maladie véhiculée par l'eau sont les nourrissons et les jeunes enfants, les personnes affaiblies ou vivant dans des mauvaises conditions d'hygiène et les personnes âgées. Une eau de boisson saine se prête à tous les usages domestiques habituels, et notamment à l'hygiène personnelle [5].

Tableau I.2 : Objectifs de qualité des eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau potable des populations [32], [7].

Paramètre	unité	Norme Algérienne		Norme OMS	
		CR	CMA	CR	CMA
pH	-	6.5 / 8.5		7 / 8.5	6.5 / 9.2
Température	°C	20	25	-	-
Conductivité	uS/cm	-	2800	-	-
Résidu sec à 105 °C	mg/l	-	2000	500	1500
Turbidité	NTU	1	2	1	5
Dureté totale (TH)	mg/l	100	500	100	500
Calcium	mg/l	75	200	-	-
Magnésium	mg/l	-	150	-	150
Sodium	mg/l	-	200	-	-
Potassium	mg/l	-	20	-	-
Sulfate	mg/l	200	400	-	250
Chlorure	mg/l	200	500	200	250
Nitrate	mg/l	-	50	-	50
Nitrite	mg/l	-	0,1	-	0,1
Aluminium	mg/l	-	0,2	-	0,2
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	-	0,5
Phosphate	mg/l	-	0,5	-	-
Matières Organiques	mg/l	-	3	-	-
Métaux lourds	mg/l	0,05	0,3	0,05	
Fer	mg/l	-	0,3	0,1	0,3
Manganèse	mg/l	-	0,5	0,05	0,1
Coliformes totaux	N 1ml	< 10		< 10	
E-Coli	N 1ml	< 10		< 10	

NB : Pour la teneur en MES, OD et DCO il n'existe pas de lignes directives selon l'OMS.

II.1. Analyse des eaux de l'Oued SOUMMAM

L'Oued Soummam figure parmi les plus grands cours d'eaux d'Algérie. Il s'étend le long de la vallée et se jette dans la mer. Cet Oued coulait toute l'année et ces eaux étaient très poissonneuses. Il offrait de belles « gueltas » où enfants et adultes s'adonnaient aux plaisirs de la baignade. L'eau était propre et on pouvait se désaltérer n'importe où, sans crainte de pollutions quelconques.

Jusqu'à la fin des années 60, on observait des colonies de canards et d'oies sauvages, des aigrettes et des poules d'eau. Les berges étaient dominées par du roseau et du peuplier, sur les dépôts alluviaux de parts et d'autres existaient des domaines à vocation maraîchère et fruitière. Les agriculteurs y pratiquaient une agriculture vivrière.

L'Oued Soummam a connu des périodes de crues violentes et dévastatrices, les plus violentes ont eu lieu entre fin décembre 1957 et début janvier 1958 d'un débit de pointe de 4000 m³/s. En cette période, l'Oued débordait très largement de son lit mineur et provoquait des submersions importantes, et les cultures étaient endommagées par l'érosion des berges. Certaines zones urbaines étaient envahies comme la région de Sidi-Aich. L'Oued Soummam faisait donc peser une menace continue à la fois sur les cultures et sur les infrastructures.

L'Oued Soummam qui draine une superficie de 9125 km² est le résultat de la jonction près de la ville d'Akbou, de deux Oueds : l'Oued Sahel venant de l'Ouest et Oued Boussellam venant de l'Est. Son lit mineur de 80 km de longueur, se développe dans une vallée comprise entre deux massifs montagneux : les Bibans-Babors à l'Est et l'Akfadou-Gouraya à l'Ouest.

Le fond de la vallée proprement dit a une largeur moyenne de 2 km et des resserrements jusqu'à 100 m de largeur dans la gorge, à l'amont de Sidi-Aich et des élargissements de 4 à 5 km dans la région d'El-Kseur ou la plaine de Béjaia à l'embouchure.

La direction générale de la vallée est du sud-ouest vers le nord-est. La ville d'Akbou est située à l'extrémité sud-ouest (limite amont) et la ville de Bejaia au bord de la mer méditerranée à la limite nord-ouest.

II.3. Les eaux du barrage Tichi-Haf et station de traitement Tichi-Haf

Le barrage de Tichi-Haf est situé près du village de Mahfouda commune de Bouhamza, daïra de Seddouk, wilaya de Bejaia, (36° 23'26'' Nord, 4° 23'25'' Est), sur l'oued Boussellam. Il s'étend sur 8 à 12 km. Le barrage a créé une réserve d'eau sur le bas oued Boussellam qui vise l'allègement des contraintes hydrique sur la vallée du sahel et de la basse de la Soummam. Le barrage représente l'une des sources les plus importantes pour l'alimentation en eau potable et industrielle du couloir Akbou-Bejaia.

II.3.1. Ouvrage d'entrée de la station de traitement

La chambre de comptage amont permet le contrôle et la régulation du débit d'arrivée d'eau brute. Il sert également de poste de pré-chloration via une canne d'injection dans la conduite située après la vanne de régulation. Il une vanne de survitesse est installé à l'entrée de la chambre de mesure de débit, permettant de couper complètement l'alimentation de la station de traitement en cas de surcharge hydraulique. Le déclenchement de la vanne de survitesse est assuré par un appareil de mesure de vitesse dédié exclusivement. Il est situé en amont du débitmètre électromagnétique.



Figure II.2 : Photographie de l'ouvrage d'entrée.

II.3.2. Pré-chloration

Elle permet d'obtenir une meilleure filtrabilité en aidant la coagulation, et une meilleure qualité de l'eau.

Elle a pour objet :

- Assurer la destruction de micro-organismes (algues, bactéries, planctons) existants et susceptibles de se développer dans les ouvrages et dans le lit de boues.
- Assurer la propreté des décanteurs et des filtres.
- Eviter les remontées de boues dans les décanteurs.
- Faciliter l'oxydation des matières organiques qui pourraient former des complexes organo-solubles.
- L'oxydation de l'ammoniaque.
- La diminution du seuil de goût.
- L'amélioration de la décoloration de l'eau.

II.3.3 Aération

L'aération a été conçue avec trois déversements successifs sur une hauteur totale de 1,50 m, longueur 17,70 m.

L'aération de l'eau brute a pour objectifs :

- Assurer l'oxygénation de l'eau brute pour permettre une saturation en O_2 dissouts nécessaire à l'oxydation de certains éléments minéraux et organiques.
- Eliminer l'excès de CO_2 dissout contenu dans l'eau : opération de stripage qui permet de saturer l'eau en oxygène dissouts.
- Permettre aux bactéries nitrifiantes de proliférer (bactéries aérobies).



Figure II.3 : Photographie représentant la cascade d'aération.

II.3.4. Bassin de coagulation/floculation

II.3.4.1. Coagulation

La coagulation a lieu dans un bassin de mélange rapide ayant un volume unitaire de 150 m³. Le temps de séjour au débit nominal de production dans le bassin est de l'ordre de 1,5 minute.

Canal de répartition :

Le contrôle et la répartition du débit vers les décanteurs sont réalisés dans un ouvrage de répartition constitué d'un canal de distribution et de deux compartiments.

Afin d'assurer une bonne répartition du débit vers les déversoirs d'alimentation des deux compartiments. Ceux-ci sont équipés d'un déversoir réglable.

Des vannes batardeaux sont prévues sur les déversoirs permettant l'isolation d'un décanteur.

Contrôle du pH de coagulation :

L'acide sulfurique H₂SO₄ permet de diminuer le pH après ajout de sulfate d'aluminium, la coagulation étant optimale à un pH situé entre 6,4 et 7,2.

- Le dosage optimal d'acide sulfurique injecté est déterminé par jar test.
- Le dosage sera ajusté en contrôlant que le pH de l'eau coagulée reste proche du pH optimal déterminé par jar test.

Coagulation avec le sulfate d'aluminium :

Le sulfate d'aluminium cristallisé Al₂(SO₄)₃, 18H₂O est utilisé pour la coagulation des matières en suspension très fines et colloïdales contenues dans l'eau brute.

Pour être efficace, le coagulant doit être immédiatement dispersé dans l'eau pour obtenir une répartition homogène avant la formation d'hydroxydes d'aluminium. Pour cela, on agite fortement le mélange eau-coagulant grâce à un agitateur de vitesse de rotation élevé. L'injection du sulfate d'aluminium a aussi une influence sur le pH de l'eau qui fait diminuer le pH.

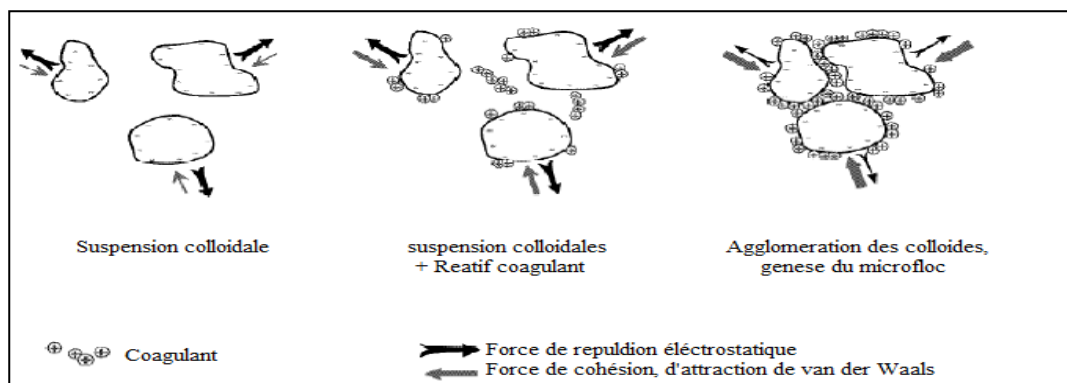


Figure II.4 : Schéma représentatif de la coagulation [7].

II.3.4.2. Floculation

L'agglomération des particules colloïdales neutralisées est appelée la floculation. Les microflocs s'agrègent ensuite en flocons plus volumineux et décantables. Cette floculation est améliorée par l'ajout d'un réactif « adjuvant de floculation » qui est un polymère anionique.

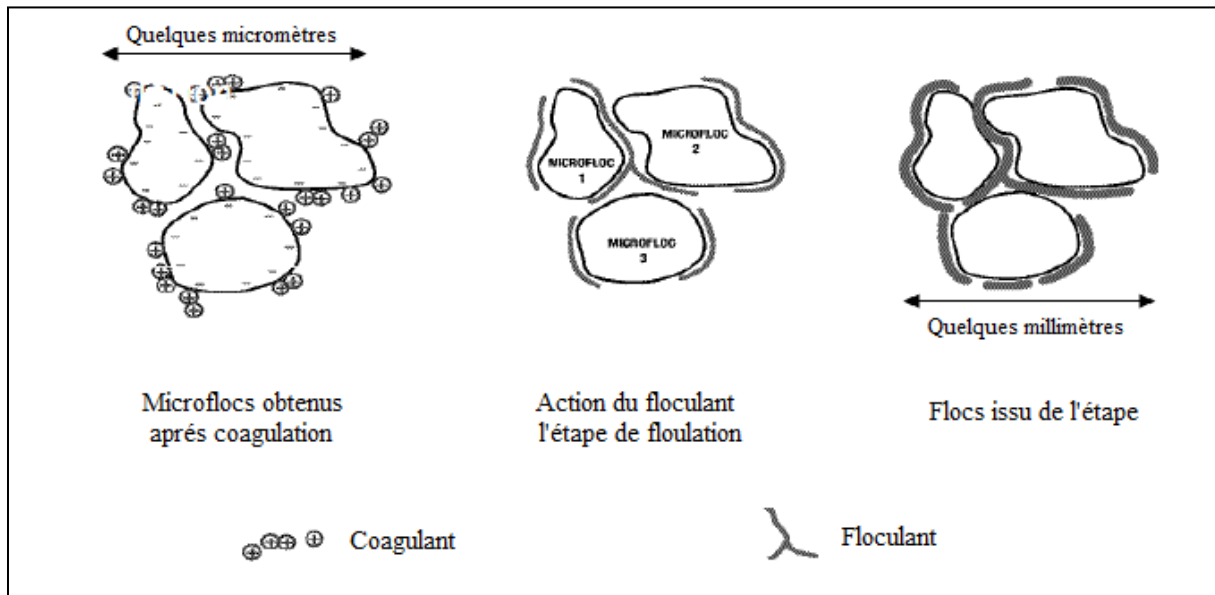


Figure II.5 : Schéma représentatif de la floculation [7].

II.3.5. Décantation

Les flocons obtenus en phase de coagulation / floculation vont naturellement décanter du fait de leur poids plus important. La vitesse de décantation varie en fonction de la taille des flocons ainsi que du type de décanteur prévu (statique ou dynamique).

Les décanteurs sont des ouvrages spécialement conçus pour permettre aux flocons d'être récupérés et concentrés afin d'être ultérieurement évacués.

Sur la station, des décanteurs de type PULSATUBE ont été mis en place et permettent une vitesse de passage de 4 - 6 m/h.

Ces décanteurs sont à lit de boue pulsée et permettent des rendements 2 à 3 fois supérieur que pour un décanteur statique.

II.3.6. La filtration

L'installation comprend des filtres Mediazur B, à double cellule, à fonctionnement par gravité, le filtre Mediazur B est un filtre bicouche ouvert à courant descendant. Il est constitué d'une cuve rectangulaire en béton armé, muni d'un plancher à dalles sur lesquelles sont disposées les beselures à fentes en matière plastique.

Ce plancher, d'une épaisseur de 10 cm, est surmonté d'une couche de gravier support (quelques centimètres) et d'une combinaison de deux matériaux de granulométries et de densité différentes :

- Anthracite TEN 1,5 mm sur une hauteur de 60 cm.
- Sable TEN 0,75 mm sur une hauteur de 40 cm.

II.3.7. Désinfection

L'injection de chlore au niveau du réservoir d'eau traitée est nécessaire pour s'assurer de l'absence totale d'éléments pathogènes.

La solution d'eau chlorée est préparée à partir de chlore gazeux.

La quantité de chlore à injecter est obtenue en laboratoire à partir d'un « test de demande en chlore » qui consiste à injecter progressivement du chlore dans l'eau et de mesurer le chlore résiduel (chlore non consommé) donc actif.

Le chlore résiduel assure une protection contre des contaminations extérieures et doit être supérieur à 0,3 ppm au niveau du réservoir de stockage .

Le chlore doit être introduit dans l'eau très rapidement (ici dans une chambre de contact) pour permettre au chlore injecté de se mélanger de façon homogène. Le temps de contact dépend de la cible visée et est supérieur à 30 minutes.

L'efficacité du chlore dépend du pH et de la température :

- Diminue si le pH augmente.
- Augmente si la température augmente.

Des analyseurs de chlore sont installés au niveau des chambres de chloration pour assister à la régulation du dosage, et des réservoirs pour contrôler en permanence la concentration en chlore résiduel [7].

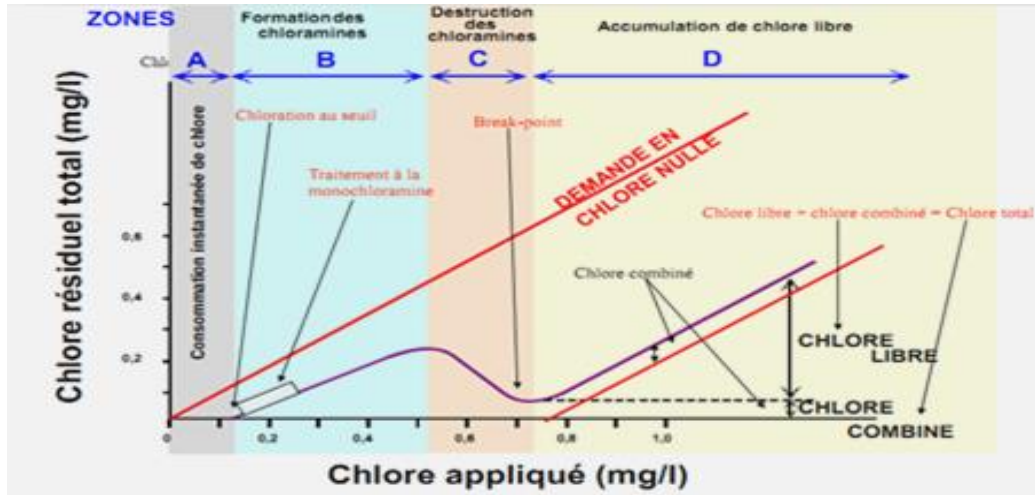


Figure II.6 : Courbes représentatives du chlore injecté en fonction du chlore résiduel [7].

III.1. Prélèvement

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissout, matières en suspension, etc.).

En fonction du but à atteindre, le prélèvement sera manuel instantané ou automatique en continu.

Les échantillons d'eau ont été transportés dans des bouteilles en PET, ainsi que des flacons en verre brun stérilisés (pour les analyses microbiologiques), dans une glacière à 4 °C.

Les bouteilles et les flacons sont d'abord rincés à l'eau à analyser puis remplis et bien bouchés.

III.2. Analyses physico-chimiques

III.2.1. Détermination de pH, conductivité, turbidité et température

Pour ces paramètres, les analyses sont effectuées par la méthode instrumentale en utilisant un pHmètre, un conductimètre, un turbidimètre et un thermomètre, après avoir versé une quantité d'eau à analyser dans un bécher.

III.2.2. Dosage des chlorures par la méthode de Mohr

Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

Réactifs

- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent à 0,1 N.

Mode opératoire

Introduire 100 mL d'eau à analyser, ajouter 3 gouttes de la solution de chromate de potassium à 10 %.

Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisé.

Pour une prise d'essai de 100 mL :

$V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau [8].

III.2.3. Détermination de la dureté ou titre hydrotimétrique par titrimétrie à l'EDTA

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium.

La dureté est encore appelée la dureté calcique ou magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 . Elle est aussi très souvent donnée en degré français (°f).

La méthode titrimétrique, permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium, avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'élément libres à doser est décelée par le virage de l'indicateur spécifique, le noir ériochrome T, en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

Réactifs

- Solution du NET à 0,5 %.
- Solution tampon pH 10.
- Solution d'EDTA.
- Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L.
- Eau distillée.

Mode opératoire

Etalonnage de l'EDTA

Prélever 20 mL de solution étalon de calcium, les diluer à 50 mL puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire. La concentration de la solution d'EDTA en mol/ L est donnée par l'expression :

$$c = 0,01 \times \frac{V_1}{V_2}$$

V_1 = Volume en mL de la solution étalon.

V_2 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

Introduire 50 mL d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 mL, ajouter 4 mL de solution tampon et trois gouttes de solution de NET. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10.

En maintenant une agitation constante, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA [9].

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression :

$$1\ 000 \times \frac{c \times V_1}{V_2}$$

c = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V_1 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

V_2 = Volume d'échantillon.

III.2.4. Dosage de calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA

Principe

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois comme le dosage se fait à un pH élevé (12- 13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde qui n'intervient pas dans la réaction. Par ailleurs, l'indicateur choisi, le calcon, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

Réactifs

- Solution d'EDTA à 0,02 N (0,01 M).
- Solution d'hydroxyde de sodium 2 N.
- Indicateur : Calcon.
- Solution étalon de calcium 0,01 M.
- Eau distillée.

Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 mL, introduire successivement : 50 mL d'eau à analyser, 2 mL de solution d'hydroxyde de sodium et 0,2 g environ d'indicateur.

Ajouter la quantité de solution d'EDTA nécessaire pour avoir un virage au bleu. Soit y le nombre de millilitres versés.

Effectuer le dosage une deuxième fois. Prendre la moyenne des deux résultats. Soit V le volume ainsi déterminé [10].

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 mL, la teneur en calcium est égale à

La teneur en carbonate de calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg/L)} = \frac{V \times f \times 0,4008 \times 1\,000}{50}$$

f = Rapport entre le titre ainsi mesuré de la solution d'EDTA et le titre théorique (0,01 M).

III.2.5. Alcalinité : Détermination du TA et du TAC par la méthode titrimétrique

A l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acide faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte de la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes.

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC). L'unité utilisée est le degré français ($1^{\circ}f = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3 = 0,2 \text{ meq/L}$).

$$TA = [\text{CO}_3] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_2\text{CO}_3] - [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$TAC = [\text{HCO}_3] + 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Principe

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%.
- Solution de méthyl orange et de rouge de méthyl.
- Eau distillée.

Mode opératoire

➤ Détermination du TA

Prélever 10 mL d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 mL de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$).

Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

➤ Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthyl orange et de rouge de méthyl et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration jaune orangé et apparition de la couleur rouge ($\text{pH} 4,5$). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage.

Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage [11].

Expression des résultats

1) TA :

$\frac{V}{5}$ Exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

V Exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

2) TAC :

$\frac{V'}{5}$ Exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

V' Exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

III.2.6. Détermination des matières en suspension par filtration sur fibre de verre

On appelle « colloïdes » ou « particules colloïdales », les particules en suspension dont la taille s'étend de 0,01 μm à quelques μm . Celles dont la taille est plus importante sont plutôt appelées « matières en suspension ».

La limite entre les deux classes n'est pas précise car elle dépend de la méthode de détermination des matières en suspension (décantation, centrifugation, filtration), la méthode peut dépendre, quant à elle, outre de la taille, de la nature des particules notamment de la densité et de la forme.

Principe

L'eau est filtrée et la masse de matières retenues par le filtre est déterminée par pesée différentielle.

Matériels

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression.
- Disques filtrants en fibre de verre de porosité de 1,2 μm .

Mode opératoire

Laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher à 105 °C jusqu'à masse constante, puis peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur. La mettre en place sur l'équipement de filtration. Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression. Verser l'échantillon V sur le filtre. Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 mL d'eau permutée.

Faire passer sur le filtre cette eau de lavage. Laisser essorer le filtre, sécher à 105 °C. Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0,1 mg près, jusqu'à masse constante, introduire les eaux de lavages avec les culots dans la capsule séchée à 105 °C jusqu'à masse constante. Laisser refroidir au dessiccateur ; peser.

Porter ensuite si nécessaire la capsule à 525 °C ± 25 °C pendant 2 heures. Laisser refroidir au dessiccateur et peser, jusqu'à masse constante [12].

Expression des résultats : La teneur de l'eau en matières en suspension (mg / L) est donnée par l'expression

$$\frac{M_1 - M_0}{V} \times 1\,000$$

M_0 = Masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

M_1 = Masse du disque filtrant après utilisation (mg).

V = Volume d'eau utilisé (mL).

III.2.7. Détermination de l'oxygène dissout par la méthode électrochimique

Principe

La réduction de l'oxygène, au niveau d'une cathode convenable, engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution.

Matériels

- Appareil de mesure spécifique (oxymètre) comportant :

Une sonde à oxygène : cette sonde est constituée d'une cellule électrochimique contenant deux électrodes métalliques baignant dans un électrolyte et fermée par une membrane perméable à l'oxygène, si possible un dispositif de compensation et température, puisque les membranes présentent une grande variation de perméabilité en fonction de la température.

Mode opératoire

Effectuer le dosage directement en plongeant les électrodes dans l'eau à analyser. Comme pour toute méthode instrumentale, le résultat est étroitement lié au mode opératoire et il est nécessaire de se reporter à la notice d'utilisation de l'appareil utilisé.

La mesure étant basée sur une réduction de l'oxygène qui traverse la membrane, il conviendra en particulier de procéder à une agitation douce et régulière pendant la mesure, pour éviter l'épuisement de l'oxygène au voisinage de la membrane qui conduirait à une mesure erronée [13].

III.2.8. Détermination de la DCO par la méthode à reflux en système ouvert

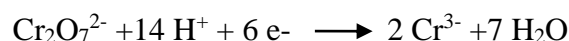
La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quel que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures).

Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (150°C) par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

Les matières oxydables (et en particulier les matières organiques) de l'échantillon sont oxydées par le dichromate de potassium dans les conditions précises.

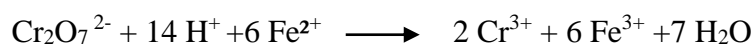
Le dichromate de potassium est réduit :



Le dichromate de potassium résiduel est dosé par une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (donc de Fe^{2+}) en présence de ferroïne (indicateur d'oxydo-réduction).



La réaction globale du dosage est la suivante :

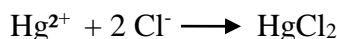


Il est alors possible de déterminer la quantité de dichromate de potassium consommée lors de l'essai et d'en déduire la quantité d'oxygène équivalente.

On pourra déterminer :

- La DCO totale (matières dissoutes et en suspension) de l'échantillon (DCO_{totale}).
- La DCO dissoute, après décantation de l'échantillon pendant 2 heures (DCO_{ad2}).

Pour limiter l'interférence des chlorures, on ajoute du sulfate de mercure, qui conduit à la formation de chloromercurate (II), soluble et peu oxydable :



Matériels

- Appareil à reflux composé d'un tube ou d'un ballon à fond plat de 250 mL à col rodé et d'un réfrigérant adaptable.

Le nettoyage de l'appareil est effectué en portant à l'ébullition sous reflux un mélange composé de 5 mL de solution de dichromate de potassium, 15 mL de solution d'acide sulfurique-sulfate d'argent et 10 mL d'eau.

- Plaque chauffante ou bloc chauffant adapté avec régulation de température.
- Régulateur d'ébullition.

Réactifs

- Acide sulfurique à 4 mol/L.
- Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique.
- Solution de sulfate de fer et d'ammonium dans l'acide sulfurique à 0,12 mol/L.
- Solution de ferroïne.
- Solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/L, contenant du sulfate de mercure (II).

Etalonnage de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium

Dans un bécher, mettre 5 ml de solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 M. Ajouter environ 100 mL de la solution d'acide sulfurique à 4 mol/L. titrer avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium avec quelques gouttes de solution de ferroïne et déterminer la quantité nécessaire de sulfate de fer et d'ammonium permettant obtenir un virage au rouge.

La concentration C (mg/L) de la solution de fer (II) et d'ammonium est donnée par la formule ci-dessous où les volumes sont exprimés en mL.

$$C \text{ (mg/l)} = \frac{V \text{ dichromate} * 0,04}{V \text{ sulfate de fer}} * 6 = \frac{1,2}{V \text{ sulfate de fer}}$$

Mode opératoire

- Dans un tube de réaction introduire 10 mL d'échantillon. Si la DCO de l'échantillon est supérieure à 800 mg/L O₂, une dilution appropriée s'impose.
 - Ajouter 5 mL de la solution de dichromate de potassium à 0,04 mol/L.
 - Ajouter, lentement et avec précaution, 15 ml de la solution d'acide sulfurique contenant le sulfate d'argent, en agitant soigneusement le tube.
 - Mettre 1 à 2 gouttes d'acide sulfurique sur le col rodé du tube pour le lubrifier et relier le réfrigérant au tube de réaction. S'assurer que le réfrigérant tourne facilement dans le rodage du tube (sinon ajouter une goutte d'acide supplémentaire).
 - Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à l'ébullition (150 °C ± 5°C) pendant 2 heures, puis arrêter le chauffage.
 - Retirer les tubes avec leurs réfrigérants. Les laisser refroidir, puis rincer avec précaution le réfrigérant en recueillant les eaux de lavage dans le tube de réaction, ôter le réfrigérant.
 - Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml, rincer et diluer avec environ 75 ml d'eau.
 - Ajouter 2 à 3 gouttes de ferroïne et titrer avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium.
- Essai à blanc :

Procéder de la même manière en remplaçant l'échantillon par 10 mL d'eau distillée.

La consommation de dichromate de potassium lors de cet essai doit être très faible et ne pas excéder 0,5 mL.

Des valeurs plus élevées peuvent trouver pour origine une propreté insuffisante de la verrerie ou à des erreurs de concentration des réactifs [14].

Expression des résultats :

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$\frac{8\,000(V_0 - V_1)T}{V}$$

V_0 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire au dosage (mL).

V_1 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire à l'essai à blanc (mL).

T = Titre de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (en mol/L).

V = Volume de la prise d'essai (en mL).

III.2.9. Dosage du fer par spectrométrie d'absorption moléculaire

Principe

Après oxydation en milieu acide, le fer est réduit à l'état ferreux et dosé par spectrométrie en utilisant la coloration rouge donnée par les sels ferreux avec la phénanthroline.



Réactifs

- Acide chlorhydrique.
- Solution d'acétate d'ammonium.
- Solution de chlorhydrate de phénanthroline 1, 10.
- Solution mère étalon de fer à 1 g/L.
- Solution fille de fer à 10 mg/L (à préparer au moment de l'emploi).
- Eau distillée.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Préparer, à partir de la solution fille, des dilutions couvrant la gamme de concentrations souhaitées (maximum: 2 mg/L).

Tableau III.1 : Etablissement de la courbe d'étalonnage du fer.

Numéro de fiole	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon du fer à 10 mg/L (mL)	0	1	2	5	7,5	0
Eau distillée en (mL)	96	95	94	91	88,5	84
Acétates d'ammonium (mL)	2					
Phénanthroline (mL)	2					
Correspondance en mg/L de Fe ²⁺	0	0,1	0,2	0,5	0,75	1

Mode opératoire

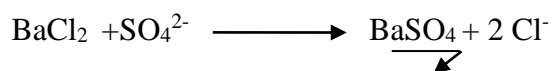
Introduire 100 mL d'échantillon dans une fiole conique puis ajouter 2 mL de solution d'acétate d'ammonium. Mélanger, vérifier que le pH est voisin de 4,5, ajouter 2 mL de solution de phénanthroline 1, 10. Préparer un témoin avec 100 mL d'eau distillée traitée dans les mêmes conditions. Effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 510 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin [15].

III.2.10. Dosage des sulfates

Pour doser les sulfates on peut choisir plusieurs méthodes et dans notre cas on s'intéresse à la méthode gravimétrique qui est considérée comme une méthode de référence. Elle est d'une mise en œuvre assez longue et fait appel à une certaine expérience dans la manipulation. Cependant, elle convient à des concentrations supérieures à 10 mg/L.

Principe

Le dosage des sulfates est basé sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble :



Réactifs

- Solution stabilisante.
- Chlorure de baryum (BaCl₂).
- Solution mère de sulfate à 1 g/L à partir de sulfate de sodium.
- Eau distillée.

Matériels

- Matériels courant de laboratoire : verrerie.
- Agitateur magnétique.
- Spectrophotomètre UV-VIS permettant des mesurages à une longueur d'onde de 420 nm.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fiole jaugée de 100 mL, préparer les dilutions suivantes :

Tableau III.2 : Etablissement de la courbe d'étalonnage des sulfates.

Numéro de capsule	T	I	II	III	IV	V
V(mL) Solution étalon de sulfate à 0,1g/L	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Eau distillée	Ajuster à 100 ml					
Correspondance en mg/L de sulfates	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Mode opératoire

Dans un erlen de 250 mL placé sur un agitateur magnétique, verser 100 mL d'échantillon ou de solution étalon. Ajouter à l'aide d'une pipette 5 mL de la solution stabilisante puis agiter. La vitesse d'agitation devra être maintenue constante pendant toute la durée de l'expérience.

Ajouter environ 0,4 g de $BaCl_2$ et agiter une minute, puis verser la suspension dans la cellule de mesure. Attendre 3 ou 4 minutes pour que la turbidité se développe, puis faire la lecture sur l'appareil à 420 nm, ne pas attendre plus de 10 min après l'addition de $BaCl_2$.

Commencer par le témoin afin de pouvoir régler le 100 % de transmission et faire la soustraction du témoin [16].

III.2.11. Dosage des phosphates par spectrométrie d'absorption moléculaire

Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double de sodium et de potassium.

Réactifs

- Solution d'acide sulfurique à 15% environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.
- Solution d'acide ascorbique à 20 g/L.
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium à 2,8 g/L.
- Réactif combiné.
- Solution mère étalon à 50 mg/L de phosphore.
- Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore.
- Eau distillée.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 mL les volumes comme indiqués dans le tableau ci-dessous:

Tableau III.3 : Etablissement de la courbe d'étalonnages des phosphates.

Numéro de fiole	T	I	II	III	IV	V
V (mL) Solution étalon de phosphore à 1 mg/l	0	1	2	3	4	5
Eau distillée en (mL)	20	19	18	17	16	15
Correspondance en mg de phosphore	0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 mL de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 mL. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

Mode opératoire

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire ; introduire 20 mL d'eau dans une fiole jaugée de 25 mL, ajouter 1 mL de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage [17].

III.2.12. Dosage des nitrates

Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique.

Matériels

- Capsule de 60 mL environ.
- Bain marie.

Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 10 g/L à renouveler toutes les 24 heures.
- Acide sulfurique concentré.
- Solution d'hydroxyde de sodium.
- Solution d'azoture de sodium.
- Solution mère étalon d'azote nitrique à 100 mg/L.
- Solution fille étalon d'azote nitrique à 5 mg/L.

Mode opératoire

Introduire 10 mL d'eau dans une capsule de 60 mL (pour des teneurs en azotes nitrique supérieur à 10 mg/L, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Ajouter 1 mL de solution de salicylate de sodium à 0,5 % puis évaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 – 88 °C.

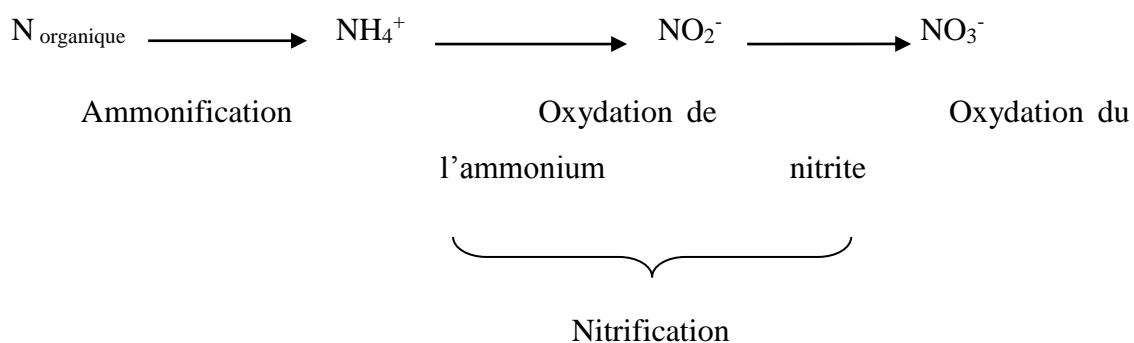
Laisser reposer 10 minutes. Ajouter 15 mL d'eau distillée et 15 mL de tartrate double de sodium et de potassium. Préparer de la même façon un témoin avec 10 mL d'eau distillée.

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin [18].

III.2.13. Dosage des nitrites

Principe

La diazotation de l'aino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation le dichlorure de *N*-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique.



Réactifs

- Réactif mixte.

Matériels

- Matériels courant de laboratoire : verrerie.
- Spectrophotomètre UV-VIS permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm.

Mode opératoire

Introduire 50 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée, ajouter 1 mL du réactif mixte et attendre au moins 20 minutes. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Enfin, mesurer l'absorbance à une longueur d'onde de 540 nm. Effectuer parallèlement au dosage un essai à blanc en suivant le même mode opératoire mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai [19].

III.2.14. Dosage de l'ammonium par spectrométrie à l'aide de salicylate de sodium

Principe

Mesure spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés par hydrolyse alcaline du sel de sodium de dichloroisocyanurate de sodium.

Réactifs

- Réactif coloré.
- Solution de dichloroisocyanurate de sodium.
- Eau distillée.

Matériels

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles, pipettes...).
- Spectrophotomètre UV/VIS.

Mode opératoire

Prélever 40 mL d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- 4 mL du réactif coloré.
- 4 mL du réactif de dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.

Après au moins 60 minutes, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655 nm [20].

III.2.15. Indice de permanganate (Détermination des matières organiques)

L'indice de permanganate d'une eau est la concentration en masse d'oxygène en relation avec la quantité d'ions permanganate consommée par un échantillon d'eau, dans des conditions définies. Exprimé en mg/L O₂, il correspond à une mesure conventionnelle pouvant évaluer la contamination d'un échantillon d'eau faiblement chargé en matière organique. On trouve dans les eaux naturelles de nombreuses substances organiques : protéines, acides aminés, substances humiques, molécules de synthèses, algues etc. substances complexes issues de la dégradation des végétaux, du lessivage des sols, ou contenues dans les rejets multiples et variés d'eaux usées.

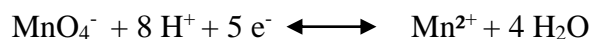
Le paramètre le plus utilisé pour les eaux naturelles et les eaux alimentaires était l'oxydabilité au KMnO_4 ou indice permanganate. L'oxydation des matières organiques est réalisée à chaud en milieu acide par le KMnO_4 selon le protocole normalisé.

Les eaux de surface ont des oxydabilités qui oscillent le plus souvent entre 3 et 8 mg/L O_2 . Au-delà de 10 mg/L O_2 les eaux présentent des difficultés pour la production d'eau potable.

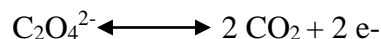
Principe

Le test consiste à mesurer en milieu acide la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières oxydables contenues dans l'eau.

- Réduction du permanganate par les matières oxydables :



- Réduction du permanganate en excès par un excès d'oxalate, puis dosage de l'oxalate en excès par du permanganate, selon les réactions suivantes :



- L'équation globale du dosage étant:



Réactifs

- Solution de permanganate de potassium à 2 mmol/L.
- Solution d'acide sulfurique à 2 mol/L.
- Solution d'oxalate de sodium à 5 mmol/L.
- Eau distillée.

Matériels

- Plaques chauffantes.
- Erlenmeyers de 200 à 250 mL.
- Pipettes.

Mode opératoire

Dans un erlen de 250 mL, introduire 100 mL d'eau à analyser puis ajouter 20 mL d'acide sulfurique à 2 M et porter à ébullition. Dès que l'ébullition commence, ajouter 20 mL de KMnO_4 à 2 mmol/L. Laisser bouillir 10 minutes exactement. Ajouter 20 mL d'oxalate de sodium, agiter pour bien mélanger, la solution se décolore.

Titrer par KMnO_4 à 2 mmol/L pendant que la solution est encore chaude et jusqu'à apparition d'une légère teinte rose. Noter le volume V_1 versé.

Ne pas oublier de faire un blanc avec de l'eau distillée en suivant le même mode opératoire. On obtient ainsi le volume V_0 .

Remarque : V_0 doit être inférieur à 0,3 mL.

Dans l'erlen du dosage du blanc, ajouter de nouveau 20 mL de la solution d'oxalate de sodium. Réchauffer la solution jusqu'à 80 °C puis titrer avec la solution de KMnO_4 . Noter le volume de KMnO_4 V_2 [21].

Expression es résultats

L'indice permanganate (IP), exprimé en milligrammes d'oxygène par litre d'échantillon, peut alors se calculer comme suit :

$$\text{IP (mg/L O}_2\text{)} = 16 \frac{V_1 - V_0}{V_2}$$

V_1 : volume en mL de la solution de permanganate de potassium consommé pour l'échantillon.

V_0 : volume en mL de la solution de permanganate de potassium consommé pour l'essai à blanc.

V_2 : volume en mL de la solution de permanganate de potassium utilisé pour le titrage de la solution.

III.2.16. Demande en chlore

Objecif

Déterminer la demande en chlore d'une eau permet d'évaluer le taux de chloration à appliquer à l'eau à traiter pour obtenir une teneur résiduelle en chlore donnée, après un temps

de contact fixé et à une température donnée. Cette demande en chlore doit être effectuée en fonction des objectifs de la détermination et dans les conditions pratiques de l'installation : température de l'eau, temps de stockage de l'eau chlorée dans le réservoir (en général 1 à 2 heures) ou temps de séjour de l'eau dans le réseau (quelques heures à quelques dizaine d'heures).

III.2.16.1. Dosage du chlore contenu dans l'eau de javel

Réactifs :

- Solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel commercial).
- Thiosulfate de sodium N/35,5.
- Acide acétique glacial.
- Iodure de potassium à 100 g/L.
- Eau distillée.

Mode opératoire

Prendre 10 mL de la solution commerciale, étendre à 100 mL avec de l'eau du réseau; on obtient la solution S₁. Prendre ensuite 10 mL de la solution S₁ et étendre à 100 mL toujours avec l'eau du réseau. On obtient ainsi la solution S₂ qui est la solution commerciale diluée 100 fois.

Placer dans une fiole conique de 250 mL et dans l'ordre suivant :

- 10 mL de la solution S₂.
- 10 gouttes d'acide acétique glacial.
- 20 mL de solution d'iodure de potassium à 100 g/L.

Titrer par le thiosulfate de sodium jusqu'au virage jaune clair ; ajouter alors environ 1 ml d'empois d'amidon (coloration bleue-noire). Continuer à titrer par le thiosulfate de sodium jusqu'à décoloration. Noter le volume V₁ de thiosulfate de sodium N/35,5 versé.

Le titre de la solution diluée S₂ d'eau de Javel s'élève à $0,1 \times V_1$ g Cl₂/L.

Le titre de la solution commerciale d'eau de Javel à $10 \times V_1$ g Cl₂/L.

III.2.16.2. Demande en chlore par le dosage du chlore résiduel total

Remplir un flacon de verre avec précisément 1 litre d'eau à analyser ; y injecter 10 mg/L de chlore à partir de la solution S₂ (solution commerciale diluée). Boucher ce flacon, le mélanger puis le placer à l'obscurité pendant 2 heures.

Après 2 heures doser le chlore résiduel total en ajoutant 10 goutte d'acide acétique glaciale et 20 mL de solution d'iodure de potassium à 100 g/L, titrer par le thiosulfate de sodium jusqu'au virage jaune clair ; ajouter alors environ 1 mL d'empois d'amidon (coloration bleu-noire), continuer à titrer jusqu'à décoloration. Noter le volume V₁ de thiosulfate N/35,5 versé.

Le titre en chlore résiduel total s'élève à V₁ mg Cl₂/L.

La demande en chlore de cette eau s'élève à (10 – V₁) mg Cl₂/L [22].

III.2.16.3. Demande en chlore par Dosage du chlore résiduel libre par titrimétrie à la DPD

Réactifs

- Solution d'hypochlorite de sodium (Solution S₂).
- DPD n°1 en comprimé.
- Solution tampon pH 6,5.
- Eau distillée.
- Iodure de potassium – (KI) exempt d'iodate.
- Solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (FAS) à 2,8 mmol/L (0,0028 N).
- Acide sulfurique (d=1,84).

Mode opératoire

Préparer une série de 10 flacons soigneusement nettoyés (sans demande en chlore). Introduire dans chaque flacon 250 mL d'eau à analyser, puis des volumes croissants de la solution de chlore de manière à obtenir une gamme de concentration en chlore appliqué compatible avec la qualité de l'eau. Agiter et boucher les flacons. Placer à l'abri de la lumière.

Au bout d'un temps de contact défini, doser le chlore résiduel libre dans chacun des flacons comme suit :

Dans une fiole conique de 250 mL, verser 5 mL de solution tampon et 5 mL de solution de DPD. Ajouter 100 mL d'eau à analyser. Mélanger. Titrer rapidement avec la solution de sulfate ferreux ammoniacal, jusqu'à décoloration.

Soit n_1 le nombre de millilitres utilisés.

$$[\text{Cl}_2] \text{ mg/L} = n_1$$

Tracer la courbe représentant la quantité de chlore résiduel libre en fonction du chlore introduit [23].

III.2.17. Jar test (coagulation-floculation)

Les concentrations en sulfate d'aluminium et polymère sont déterminées par le Jar-test afin d'obtenir le meilleur rendement en abattement de la turbidité.

Réactifs

- Sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{ H}_2\text{O}$.
- Polymère.
- Argile naturelle.
- Argile traitée à 400 °C.
- Eau distillée.

Matériels

- Jar test équipé de 4 béchers de 1000 mL.
- Fioles jaugées.
- Pipette.
- Micropipette.

Mode opératoire

III.2.17.1. Optimisation des concentrations de coagulant et des flocculant

Remplir des béchers de 1000 mL d'eau à analyser et les placer dans le Jar-test. Injecter des volumes croissants de la solution de sulfate d'aluminium à 10 g/L. Agiter pendant 3 min à une vitesse d'agitation rapide de 120-140 tr/min et après 2 min d'agitation ajouter un volume V (μl) de polymère (Flocculant) puis diminuer la vitesse à 40 tr/min et laisser sous agitation constante pendant 17 min.

Laisser décanter pendant 20 minutes et mesurer la turbidité. La valeur de la concentration optimum est celle qui donne une faible turbidité.

Afin d'optimiser la concentration du polymère, remplir encore une fois les béchers d'eau à analyser puis injecter pour chacun le volume optimum de sulfate d'aluminium, laisser agiter de même manière que pour l'optimisation du coagulant.

Après 20 minutes de décantation, mesurer la turbidité. La concentration donnant une faible turbidité est prise comme optimum.

Procéder de la même manière pour optimiser les autres flocculant (argile naturelle et argile traitée).

III.2.17.2. Optimisation de la vitesse d'agitation rapide et du temps d'agitation lente

Après avoir rempli les béchers, injecter pour chacun les volumes optimaux de coagulant et de flocculant puis varier la vitesse d'agitation rapide (pendant 3 minutes) et continuer l'agitation lente à 40 tr/min pendant 17 minutes et laisser décanter pendant 20 min.

III.3. Analyses microbiologiques

III.3.1 Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs (Clostridia) :

Les spores de micro-organismes ASR (Clostridia) sont largement répandues dans l'environnement. Elles sont présentes dans les matières fécales humaines et animales, ainsi que dans les eaux usées et sol. A la différence des *Escherichia coli* et des autres organismes coliformes, les spores survivent dans l'eau pendant longtemps, car elles sont plus résistantes que les formes végétatives à l'action des facteurs chimiques et physiques. Elles peuvent ainsi fournir des indications sur une pollution éloignée intermittente. Elles peuvent même être résistantes à la chloration dans les proportions habituellement utilisées pour le traitement des eaux, et sont donc ainsi utiles pour les besoins des contrôles.

Protocoles de recherche sur milieu solide

En fonction de l'origine de l'eau à analyser, verser un volume déterminé d'eau (100 mL) dans un récipient stérile et le déposer dans un bain-marie à $80 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 10 minutes, puis le refroidir rapidement.

Procéder à une filtration de cette eau et déposer la membrane filtrante de 0.45 µm dans une boîte de Petri vide stérile. Puis couler 20 mL environ de milieu de culture VF (viande-foie) contenant 4 gouttes d'alun de fer et 20 gouttes de sulfite de sodium dans la boîte de Petri et laisser solidifier, incuber à 44°C pendant 24 heures [24].

III.3.2. Recherches et dénombrement des streptocoques :

Les streptocoques sont des bactéries ubiquistes, saprophytes des eaux, de l'air, du sol... Elles sont aussi commensales des cavités naturelles ou des téguments de l'homme et des animaux ; certains streptocoques sont strictement adaptés à l'homme.

Des streptocoques appartenant à différents groupes de la classification antigénique de Lancefield sont pathogènes pour l'homme et pour les animaux.

Dans les eaux, l'appellation scientifique de « streptocoques du groupe D » n'est pas employée dans la législation européenne et/ou française des eaux.

La recherche de ces germes dans plusieurs types d'eaux constitue un paramètre microbiologique dénommé « streptocoques fécaux ».

Protocoles de recherches sur milieu solide et liquide

- Sur milieu solide

Réaliser une filtration de 100 ml d'eau, puis déposer la membrane à la surface de la gélose Slanetz et Bartley en boîte de Petri (face quadrillé vers le haut), puis incuber à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24 heures.

Il y a apparition de colonies convexes, sous un aspect rouge, rose ou marron soit au centre soit sur l'ensemble de la colonie, celles-ci sont considérées comme typiques de streptocoques du groupe D, et plus précisément d'entérocoques intestinaux.

Confirmation

Transférer la membrane (sans la retourner) en l'appliquant à la surface d'une gélose BEA en boîte de Petri, incuber la boîte (retournée) à $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 2 heures.

L'observation d'une coloration brune à noire des colonies dans le milieu environnant (halo noir autour des colonies), celles-ci sont typiques d'entérocoques intestinaux [25].

- Sur milieu liquide

Ensemencer

- 3 tubes de bouillon de Rothe à double concentration contenant 10 mL d'eau à analyser.

- 3 tubes de bouillon de Rothe à simple concentration contenant 1 mL d'eau à analyser.

- 3 tubes de bouillon de Rothe à simple concentration contenant 0,1 mL d'eau à analyser.

Incuber à 37 ± 1 °C pendant 24 à 48 heures.

Les tubes présentant un trouble bactérien sont positifs. Ils sont alors présomptifs de streptocoques du groupe D. Ils doivent être obligatoirement confirmés sur le bouillon de Litsky.

Confirmation :

Agiter les tubes de bouillon de Rothe présentant un trouble, présumés positifs.

Repiquer environ 20 gouttes du contenu de chacun des tubes dans un tube de bouillon de Litsky ; incuber à 37 ± 1 °C pendant 24 à 48 heures.

Les tubes présentant un trouble et/ou un dépôt parfois violet dans le tube (à fond rond) sont positifs ; ils confirment la présence de streptocoques du groupe D [26].

III.3.3. Recherche des coliformes totaux et fécaux

Les coliformes sont des micro-organismes en bâtonnet, ne forment pas de spores, présentent une réaction négatives à l'oxydase, pouvant croître en aérobiose et éventuellement en anaérobiose en présence de sels biliaires, et normalement capable de faire fermenter le lactose avec production d'acide et d'aldéhydes en 48 heures lorsqu'on les fait incuber à une température de (36 ± 2) °C. Ils possèdent également l'enzyme β -galactosidase.

Protocoles de recherches des coliformes

- Sur milieu solide :

Filtrer 100 mL d'eau à analyser, placer la membrane dans une boîte de Petri coulée en milieu Tergitol ; incuber à 36 ± 2 °C pendant 24 heures.

Observation de colonies orange de forme bombée [27].

- Sur milieu liquide :

Ensemencer :

- 3 tubes de bouillon lactosé au BCP à double concentration avec cloche de Durham avec 10 mL de l'eau à analyser.

- 3 tubes de bouillon lactosé au BCP à simple concentration avec cloche de Durham avec 1 mL de l'eau à analyser.

- 3 tubes de bouillon lactosé au BCP à simple concentration avec cloche de Durham avec 0,1 mL de l'eau à analyser.

Incuber à 37 ± 1 °C pendant 24 à 48 heures.

Observation de trouble plus un dégagement (dans les cloches).

Confirmation coliformes thermotolérants « Escherichia coli » :

Repiquer environ 20 gouttes du contenu de chacun des tubes présentant un trouble et un dégagement dans un tube de bouillon de Schubert avec cloche de Durham.

Incuber à $44 \pm 0,5$ °C pendant 24 heures. Observation de trouble plus un dégagement [28].

III.3.4. Dosage de la chlorophylle A et d'un indice phéopigments méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire

La chlorophylle est un pigment qui colore en vert la plupart des feuilles des végétaux et absorbe la lumière utilisée par la photosynthèse. La chlorophylle absorbe les rayonnements violets et orange-rouge du spectre solaire et réfléchit la lumière verte et jaune (d'où sa couleur). La chlorophylle A représente 75% de la chlorophylle des plantes vertes, elle est le paramètre le plus couramment pris en compte pour l'évaluation de la biomasse végétale planctonique dans les eaux.

Principe

- Filtration de l'échantillon sur membrane afin d'isoler et de concentrer le plancton végétal.
- Extraction par l'acétone à 90 % (V/V) de chlorophylle A et des phéopigments.
- Mesurer l'absorbance de l'extrait à des longueurs d'ondes spécifiées.

- Calculer les concentrations en chlorophylle A et en indice phéopigments d'après l'équation trichromatique corrigée de SCOR-UNESCO.

Réactifs

Solvant d'extraction : Acétone à 90 % (V/V).

Matériels

- Filtres en acétate de cellulose (Φ filtre = 7cm ; Φ pores = 1,2 μ m). Système de filtration sous vide.
- Centrifugeuse et tubes à centrifuger hermétiquement bouchés et résistants à l'acétone.
- Chronomètre.
- Papier d'aluminium.
- Spectrophotomètre (précision : longueurs d'ondes ≤ 1 nm ; utilisation : de 410 nm à 750 nm ; cuve de trajet optique de 1 cm).
- Fioles ombrées jaugées de 20 mL.

Filtration

Homogénéisation du contenu des flacons puis filtration sur filtre. La dépression nécessaire à la filtration doit être la plus faible possible (afin d'éviter l'éclatement des cellules sur le filtre), et la durée de filtration ne doit pas excéder 10 min.

Le volume filtré varie selon que l'eau est chargée ou pas en phytoplancton et/ou en matière en suspension.

Il est de :

- 100 mL, pour une eau très chargée.
- 1000 mL, pour une eau très peu chargée.
- Jusqu'à 5 L, pour une eau pauvre en chlorophylle.

Extraction

- Placer le filtre dans un tube à centrifuger contenant 10 mL à 20 mL d'acétone à 90 %.
- Envelopper le tube (obscurité) par un emballage en papier d'aluminium.
- Agiter jusqu'à dissolution du filtre (environs 30 s).
- Centrifuger les extraits pendant 10 min à environ 3 500 tours/minute.
- Transférer le surnageant dans une fiole jaugée et compléter au volume initial de solvant (10 mL à 20 mL) avec de l'acétone pure.

- Conserver la fiole à l'obscurité et effectuer la mesure dans les minutes qui suivent la centrifugation.

Mesure

- Tracer la ligne de base du spectrophotomètre (caler le zéro) avec une solution de référence constituée par un filtre en acétate de cellulose dissout dans un volume de 15 mL à 20 mL d'acétone à 90 % puis centrifugé.
- Transférer l'extrait de l'échantillon dans la cuve du spectrophotomètre.
- Mesurer l'absorbance de l'extrait aux longueurs d'ondes 750nm, 663 nm, 645 nm, 630 nm, 430 nm et 410 nm en utilisant une cuve munie d'un bouchon, de parcours optique de 1 cm.

Expression des résultats

Calculer ensuite les valeurs de :

- Concentration brute en chlorophylle a « **C** » (en µg/L).
- Indice de dégradation « **ID** ».
- Pourcentage de chlorophylle A dans l'échantillon d'eau : « **P** ».
- Concentration en chlorophylle A « **Ca** » (en µg/L) dans l'échantillon d'eau.
- Concentration en indice phéopigments « **Pa** » (en µg/L) dans l'échantillon d'eau.

Selon les équations suivantes :

1. Concentration brute en chlorophylle a : « **C** » (en µg/L)

$$C = \frac{v}{L \cdot V} \cdot 11,64 \cdot (A_0 663 - A_0 750) - 2,16 \cdot (A_0 645 - A_0 750) + 0,10 \cdot (A_0 630 - A_0 750)$$

2. Indice de dégradation « **ID** »

$$ID = \frac{A_0 430 - A_0 750}{A_0 410 - A_0 750}$$

3. Pourcentage de chlorophylle A dans l'échantillon d'eau : « **P** »

$$P = 59 + 137,6 \ln (ID)$$

4. Concentration en chlorophylle A « **Ca** » (en µg/L) dans l'échantillon d'eau

$$C_a = C \times \frac{P}{100}$$

5. Concentration en indice phéopigments « Pa » (en µg/L) dans l'échantillon d'eau

$$P_a = C - C_a$$

Où :

A0 750 : Absorbance à 750 nm.

A0 663 : Absorbance à 663 nm.

A0 645 : Absorbance à 645 nm.

A0 630 : Absorbance à 630 nm.

A0 430 : Absorbance à 430 nm.

A0 410 : Absorbance à 410 nm.

v : Volume de solvant initial utilisé pour l'extraction (15 ou 20 ml).

V : Volume d'eau filtrée (en litres).

L : Parcours optique de la cuve utilisée (1 cm) [29].

III.3.5. Recherches et dénombrement des microalgues

Les microalgues vivent en suspension, des centaines de milliers d'espèce de microalgues sont réparties sur la surface du globe en milieu marin, dulçaquicole, ou saumâtre ; en effet ces dernières présentent souvent des condition chimiques, physiques et trophiques favorables aux poussées phytoplanctoniques, elles vivent dans des marais salants, dans des milieux acides ou fortement alcalins, elles jouent un rôle majeur dans le climat mondiale comme machine à transformer le CO₂ en matières organiques [30].

Dans le cas de forte biomasse algale, la décomposition de la matière organique provoque une anoxie du milieu par consommation de l'oxygène et par conséquent participe au déséquilibre de l'écosystème. Quelques espèces de Cyanobactéries produisent des toxines dangereuses pour l'homme et les animaux [31].

Mode opératoire

- Filtrer sur membrane de porosité de 3 µm de type TSTP 100 mL d'eau à analyser.
- Placer la membrane dans une boîte de Petri y ajouter 1 mL d'eau distillée, et gratter la surface de la membrane.
- Verser 0,05 mL de l'eau sur une lamelle Nageotte de profondeur 0,5 mm.
- Faire la lecture au microscope de type Optech.

IV.1. Choix du site de prélèvements

Avant d'étudier la possible potabilisation des eaux on doit choisir un site de prélèvements. Les sites choisis sont les eaux de deux oueds les plus importants du point de vue débit de la wilaya de Bejaia. Il y a deux importants oueds avec un lit intarissable même pendant les saisons sèches. Ce sont les oueds Soummam et Agrioun. Selon la théorie, la teneur en chlorure et la conductivité sont les indices les plus prépondérants pour nous indiquer la possible potabilisation de cette eau. Les résultats obtenus sur les eaux des deux oueds sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Résultats d'analyse de la conductivité et des chlorures.

Sites de prélèvements	Concentration en Cl ⁻ (mg/L)	Conductivité (µs/cm)
Sidi Aich	1569,1	5250
Takeriet	1704	5510
Biziou	1775	5770
Oued Agrioun (Souk El Tnine)	66,56	680

Les résultats du Tableau IV.1 montrent que les eaux de l'oued Agrioun (Souk El Tnine) contiennent un taux de chlorures très acceptable ne dépassant pas les 100 mg Cl⁻/L. Ces eaux peuvent faire l'objet d'une éventuelle potabilisation. Par ailleurs, une fois débarrassée de ses contaminants, cette eau sera de bonne qualité au niveau gustatif.

La teneur en chlorures est liée à la nature des terrains traversés par l'oued. Ainsi nous avons remarqué que la teneur en chlorures des eaux de l'oued Soummam, au niveau de Takeriet, Biziou et Sidi Aich étant très élevée, dépassant les 1500 mg Cl⁻/L. Cela résulte principalement des rejets industriels, agricoles et urbains qui sont directement versé dans l'oued. Cette teneur en chlorure donne à l'eau une qualité médiocre. La teneur en chlorure est beaucoup plus basse dans les eaux d'oued Agrioun. C'est la teneur recommandée des eaux pouvant être potabilisables et qui est limités à 500 mg/l [32]. De plus, la conductivité des eaux de l'Oued Agrioun est comprise entre 680 et 780 µS/cm. Cela confirme les résultats ci-dessus et indique aussi la présence d'ions à l'état de trace, contrairement à ceux de l'Oued Soummam qui varient entre 5000 et 5600 µS/cm. ce qui explique en partie l'importante pollution des eaux de l'oued Soummam.

IV.2. Analyses physico-chimiques de l'eau brute de l'oued Agrioun et traitée par la méthode Jar-Test

Tableau IV.2 : Résultats de l'analyse physicochimique de l'eau brute et de l'eau traitée.

Paramètres	pH	σ (uS/cm)	Turbidité (NTU)	TA (°f)	TAC (°f)	TH (°f)	MES (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	MO (mg/L)	DCO (mg/L)	OD (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)
Eaux brutes	6,6-8,3	680-780	2,11-3,91	35	59	13,3	18.10 ⁻⁴	81,36	0,0355	159,36	0,035	0,058	0,0036	2,10	0,036	0,038	0,052
Eaux traitées*	/	652	1,01	35	59	11,9	2,75.10 ⁻⁴	76,95	0,0138	/	Valeurs minimales						

* Le traitement de l'eau a été effectué par la méthode Jar-Test sur un volume total d'eau brute de 1 litre, additionné de 60 µL d'eau de Javel (11,81° Cl) et 2 mL de la solution de sulfate d'aluminium (10 g/L). Le Jar-Test a été mené selon les conditions suivantes :

- Vitesse rapide 100 tr/min pendant 3 minutes. Ajout de 1,5 mL de la solution de polymère (0,1 g/L) après 2 minutes d'agitation.
- Vitesse d'agitation lente 50 tr/min, pendant 19 minutes.
- Temps de décantation 10 minutes.

Les résultats du tableau IV.2 montrent que :

La valeur moyenne des pH est comprise entre 6,6 et 8,3. Ceci dépend des changements climatiques et perturbations que subie l'eau (pluie, chaleur, pollution accidentelle,...).

La turbidité de l'eau de l'oued Agrioun est comprise entre 2,11 et 3,91 NTU. Cette faible turbidité revient à la nature de l'eau (eau de montagnes) et les sols qu'elle traverse. Le changement de turbidité est dû aux perturbations (pluie, lâchés du barrage de Kherrata, etc.).

La mesure de la dureté nous a donnée une valeur de 13,3 °f pour l'eau brute et 11,9 °f (après traitement) nous pouvons dire que cette eau est légèrement dure, car elle contient un faible taux de calcium dont la valeur est 81,36 mg/L pour l'eau brute et 76.95 mg/L pour l'eau traitée comparés à ceux des eaux de Tichi-Haf : $[Ca^{2+}] = 141$ mg/L pour l'eau brute et 140 mg/L pour l'eau traitée. (Voir annexe VII).

Les résultats obtenus lors de la détermination du TA et TAC dans l'eau de l'oued Agrioun sont égales à 35 °f et 59 °f respectivement. Ces concentrations résultent de l'altération des minéraux des roches.

La valeur du TA supérieur à 0 indique que le pH de notre eau est supérieur à 8,3.

Le taux de MES est relativement faible de l'ordre de 18.10^{-4} mg/L (eau brute) et $2,75.10^{-4}$ mg/L (pour l'eau traitée).

La valeur de l'oxygène dissout (OD) déterminée par oxymétrie est de 0,035 mg/L. Cet oxygène est issu de la photosynthèse que les algues effectuent ainsi que de l'oxygène de l'air.

La valeur de la DCO est de 159,36 mg O₂/L, selon les normes, l'eau est potable. Cette valeur nous informe par ailleurs sur le type de terrain que traverse l'eau de l'oued (absence des rejets industriels et agricoles polluants).

La teneur en fer est de 0,052 mg/L. Cette faible valeur pourrait correspondre au fer contenu dans les sols charrié par les eaux, lors de leur écoulement.

La teneur en phosphate est de 0,0036 mg/L. C'est une valeur très faible comparée à celle de l'eau de Tichi-Haf qui est aux environs de 0,05 mg/L.

L'eau à analyser contient des sulfates à l'état de trace, c'est-à-dire 0,058 mg/L, d'après les normes de l'OMS ainsi que celles mentionnées dans le JORA, cette eau superficielle est d'excellente qualité. Cette faible teneur pourrait nous informer sur la qualité des sols traversés, c'est-à-dire la proportion de sulfates dans ces derniers est très faible.

Les teneurs en nitrates, nitrites et ammonium sont de 2,10 mg/L, 0,036 mg/L et 0,038 mg/L respectivement. Ces valeurs très faibles indiquent que l'eau analysée est de bonne qualité et exempte de polluants (absence de rejets industriels et agricoles), ce qui ne nécessite pas un traitement complémentaire pour éliminer ce type de polluant indésirables.

Les teneurs en MO pour l'eau brute et l'eau traitée sont de l'ordre de 0,0355 mg O₂/L et 0,0138 mg O₂/L respectivement. Ces valeurs indiquent que l'eau ne contient pas vraiment de MO, cela explique la faible valeur de DCO.

IV.3. Demande en chlore

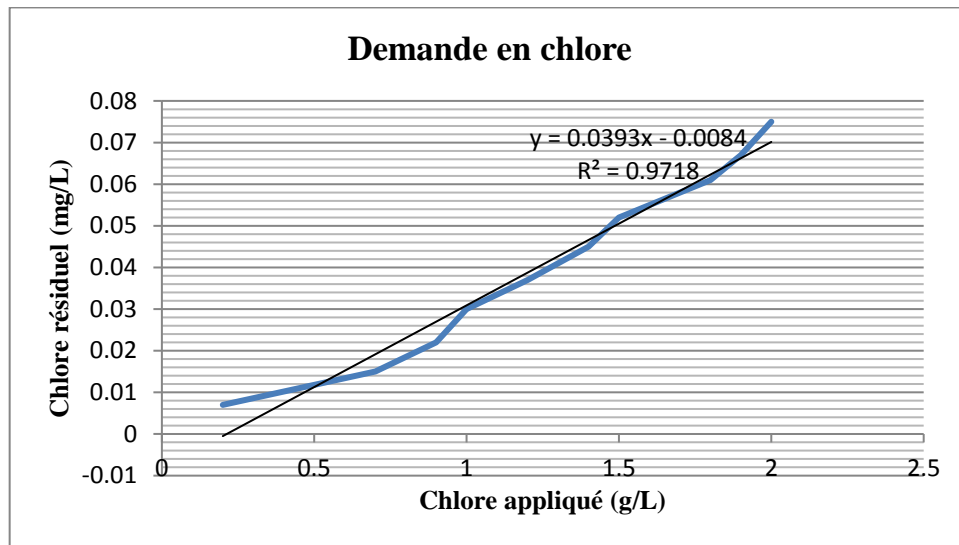
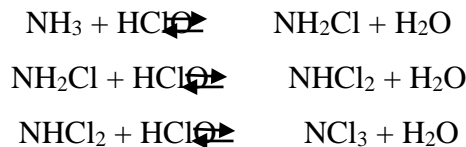


Figure IV.1 : Evolution de la demande en chlore.

Selon la courbe de la figure IV.1, la demande en chlore de cette eau, mesurée par la méthode à la DPD est nulle. Cela est expliqué par la faible teneur en ammonium présent dans notre eau. Selon la théorie, sous l'action du chlore, l'azote ammoniacal forme des monochloramines, dichloramines et trichloramines.



Pour confirmer nos observations, nous avons effectué une autre analyse par la méthode titrimétrique, qui a donné une valeur très faible de demande en chlore. Par conséquent, on a choisi d'injecter une faible quantité d'eau de javel (60 µL) dont la concentration en chlore est de 37,577 g/L (11,85°), afin de désinfecter notre eau.

IV.4. Essais de Jar-Test

IV.4.1. Optimisation des concentrations de sulfate d'aluminium et de polymère

IV.4.1.1. Optimisation de la concentration du sulfate d'aluminium

Conditions de travail choisies pour le Jar-Test:

- Vitesse d'agitation rapide 120 tr/min pendant 3 minutes.
- Vitesse d'agitation lente 40 tr/min pendant 17 minutes.
- Temps de décantation 20 minutes.

Résultats :

D'après les résultats des essais de Jar test, nous remarquons que l'augmentation de la concentration de sulfate d'aluminium injecté fait diminuer la turbidité de manière appréciable (de 2,56 NTU à 0,7 NTU).

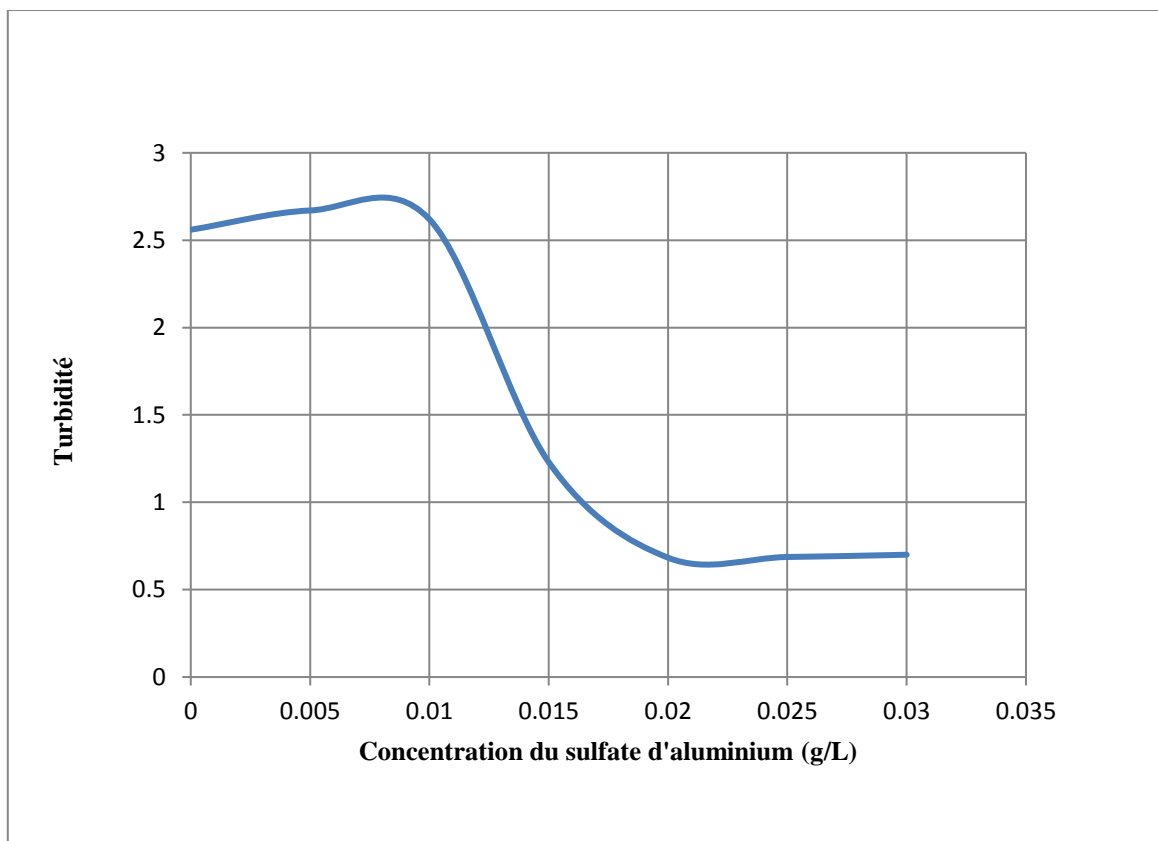


Figure IV.2 : Evolution de la turbidité en fonction de la concentration d' $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Le graphique représenté dans la figure IV.2 montre qu'il y'a trois parties distinctes :

- $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}] < 0,01 \text{ g/L}$: la turbidité augmente légèrement de l'ordre de 10^{-1} cela s'explique par le début de formations des floccs de colloïdes.
- $0,01 \text{ g/L} < [\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}] < 0,015 \text{ g/L}$: La turbidité diminue rapidement et d'une manière appréciable due à la formation de floccs beaucoup plus importants.
- $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}] > 0,015 \text{ g/L}$: La turbidité reste constante ; au voisinage de 0,7 NTU. Noter bien que toutes les particules colloïdales importantes ont été coagulées durant cet intervalle.

Pour la suite de notre travail on a fixé la concentration en sulfate d'aluminium à 0.02 g/l.

IV.4.1.2. Optimisation de la concentration de polymère

Conditions de travail choisies :

- Vitesse d'agitation rapide 120 tr/min pendant 3 minutes.
- Vitesse d'agitation lente 40 tr/min pendant 17 minutes.
- Temps de décantation 20 minutes.
- Concentration du sulfate d'aluminium : 0,02 g/L.

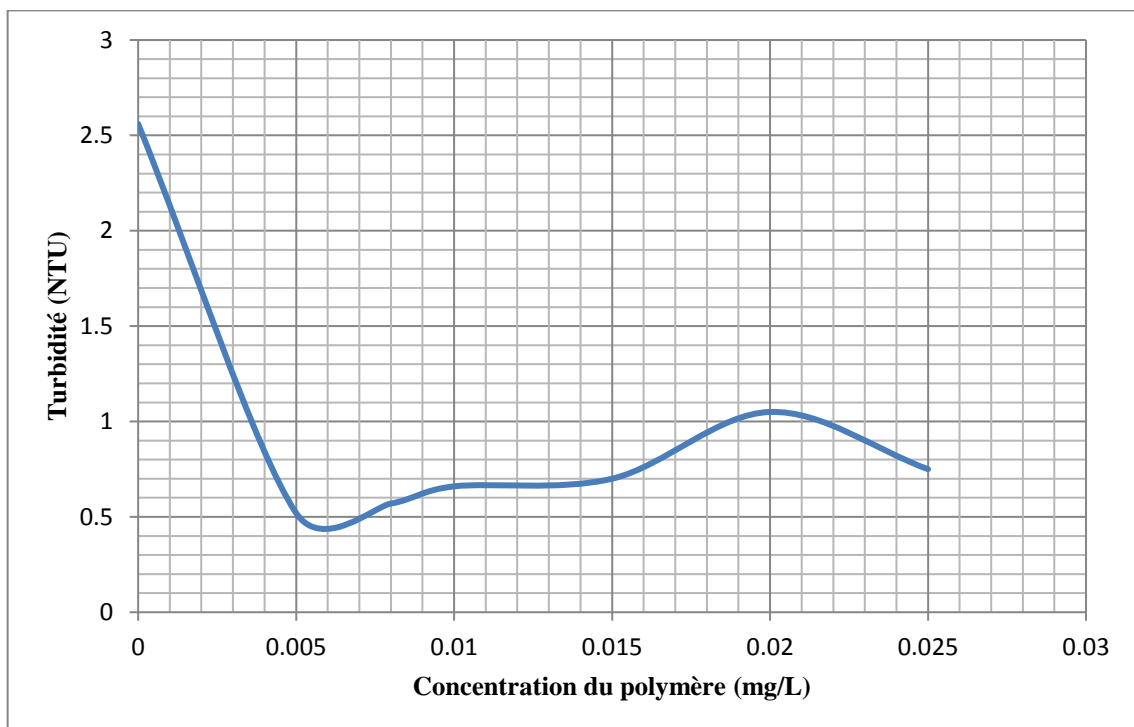


Figure IV.3 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la concentration du polymère.

Le graphe de la figure IV.3 montre une diminution rapide de la turbidité de 2,55 NTU à 0,52 NTU ; puis on observe une stabilité relative entre 0,005 et 0,015 (0,52 - 0,7 NTU respectivement). L'allure de la courbe montre que l'optimum de la concentration du polymère est de 0,005 mg/L ; toutefois nous avons pris la valeur de 0,015 mg/L comme optimum afin d'obtenir des floes plus importants pour qu'ils puissent décanter facilement. Donc les concentrations combinées de coagulant/floculant les plus adéquates pour notre eau peuvent être fixées comme suite : $[Al_2(SO_4)_3, 18 H_2O] = 0,02 \text{ g/L}$ et $[Polymère] = 0,015 \text{ mg/L}$.

IV.4.3. Optimisation de la vitesse d'agitation de l'étape rapide

Condition de travail :

- Agitation rapide pendant 3 minutes.
- Vitesse d'agitation lente 50 tr/min pendant 17 minutes.
- Temps de décantation 10 minutes.

Opération menée avec des concentrations de sulfate d'aluminium de 0,02 g/L et de polymère de 0,015 mg/L.

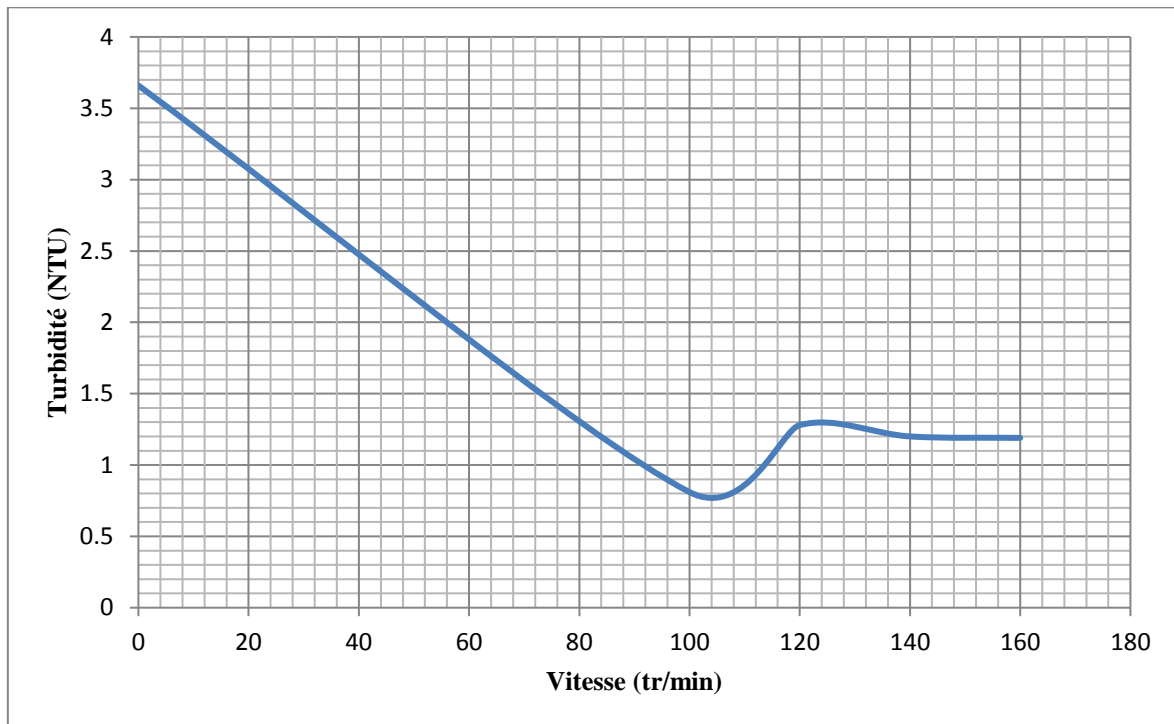


Figure IV. 4: Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation rapide.

Résultats :

Nous remarquons que la turbidité diminue rapidement avec une vitesse d'agitation de 100 tr/min de 3,66 à 0,81 NTU, puis augmente jusqu'à 1,28 NTU pour une vitesse de 120 tpm qui s'accompagne par la destruction des floccs formés. Ceci nous indique que la vitesse d'agitation est trop forte. Pour la suite de notre travail nous avons fixé la vitesse d'agitation rapide à 100 tr/min.

IV.4.4. Optimisation du temps d'agitation de l'étape lente

Condition de travail :

- Vitesse d'agitation rapide 100 tr/min pendant 3 minutes.
- Vitesse d'agitation lente 50 tr/min.
- Temps de décantation 10 minutes.

Avec une concentration en sulfate d'aluminium 0,02 g/L et une concentration du polymère 0,015 mg/L.

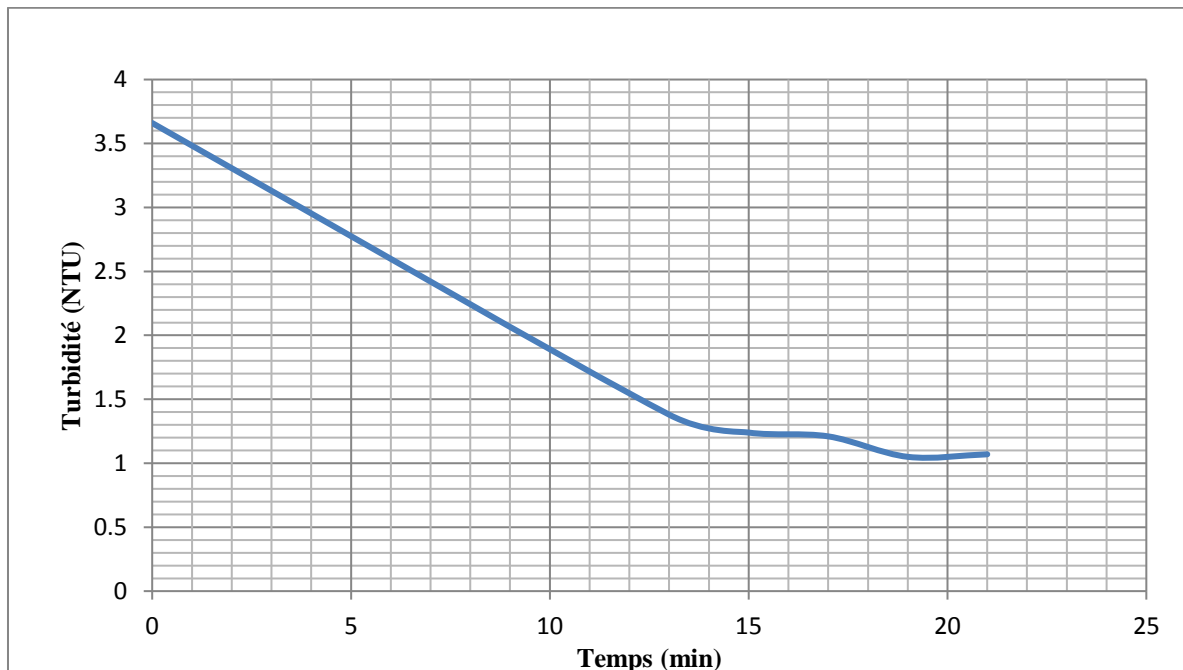


Figure IV.5 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction du temps d'agitation lente.

Résultats :

Le graphe de la figure VI.5 montre deux allures distinctes ; une allure rapide entre 0 et 13 minute suivi d'une vitesse lente pour la suite de l'intervalle des temps 13- 21 correspondant à une turbidité respective de 1.38 et 1.07 NTU. Pour la suite de notre travail nous avons fixé le temps d'agitation de l'étape lente à 19 min qui a donné une turbidité de 1.09 NTU dans nos essais.

IV.5. Essais de Jar

IV.5.1. Optimisation de la concentration du sulfate d'aluminium

Conditions de travail :

- Vitesse d'agitation rapide 140 tr/min pendant 3 minutes (étape 1).
- Vitesse d'agitation lente 50 tr/min pendant 17 minutes (étape 2).
- Décantation pendant 20 minutes.

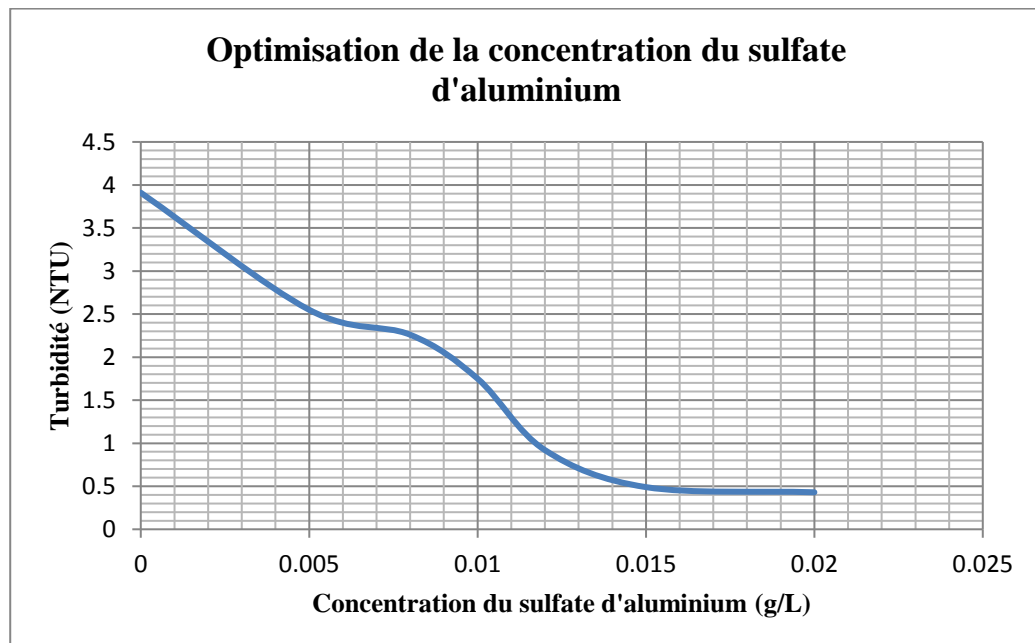


Figure IV. 6 : Graphique de la variation de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'aluminium.

Les résultats de la figure IV.6 montrent que la turbidité diminue avec l'augmentation de la concentration de sulfate d'aluminium, sa valeur optimale d'après les résultats obtenus est de 0,02 g/L pour une turbidité de 0,43 NTU, mais nous avons pris pour optimum la valeur de

0,012 g/L pour une turbidité de 0,92 NTU, afin de pouvoir voir les changements de turbidité en ajoutant le floculant.

IV.5.2. Etude comparative entre les trois floculants : Polymères, argile naturelle et argile traitée

Conditions de travail :

- Vitesse d'agitation rapide 140 tr/min pendant 3 minutes.
- Vitesse d'agitation lente 50 tr/min pendant 17 minutes.
- Temps de décantation 60 minutes.

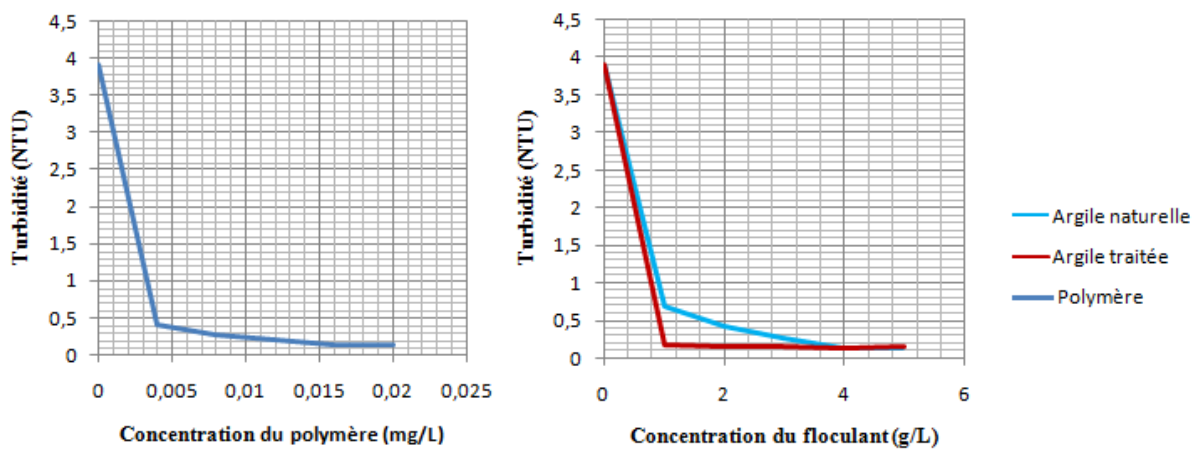


Figure IV. 7: Graphiques de la variation de la turbidité en fonction de la masse d'argiles, et de la concentration de polymère injectées.

D'après les graphiques de la figure VI.7 les deux argiles et le polymère se comportent de la même manière ; il faut noter que dans le cas de l'argile, l'eau a été filtrée (filtre de 0.45 μm). La turbidité diminue avec l'augmentation de la concentration d'argile (naturelle ou traitée) ou du polymère injectée.

Les résultats des graphiques montrent que pour obtenir une turbidité de 0.14 NTU, il faut une concentration en polymère de 0,016 mg/L et une concentration d'argile naturelle et d'argile traitée de 4 g/L.

En conclusion et pour cette étape de notre travail, nous pouvons substituer le polymère qui est un produit organique synthétisé par une argile qui est un produit naturel qui existe localement.

IV.6. Analyses microbiologique

IV.6.1. Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (Clostridia) :

Après incubation à 44 °C pendant 24 heures, nous avons remarqué l'apparition de colonies de couleur noire (22 colonies) ; ce qui indique la présence d'ASR, mais de faible concentration.

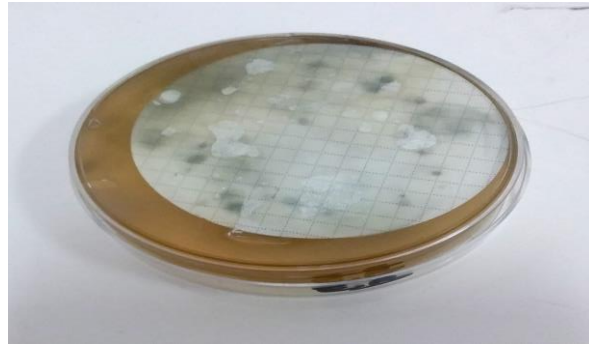


Figure IV.8 : Photographie représentant les colonies d'ASR formées.

IV.6.2. Recherches et dénombrement des streptocoques :

- Sur un milieu solide :

Après incubation à 37°C pendant 24 heures, nous remarquons l'apparition de colonies convexes de couleur rouge (environ 140 colonies) ce qui indique la présence de streptocoques de groupe D.

Après repiquage ; nous remarquons l'apparition de halo noirs autour des colonies rouges ce qui indique la présence d'entérocoques intestinaux.

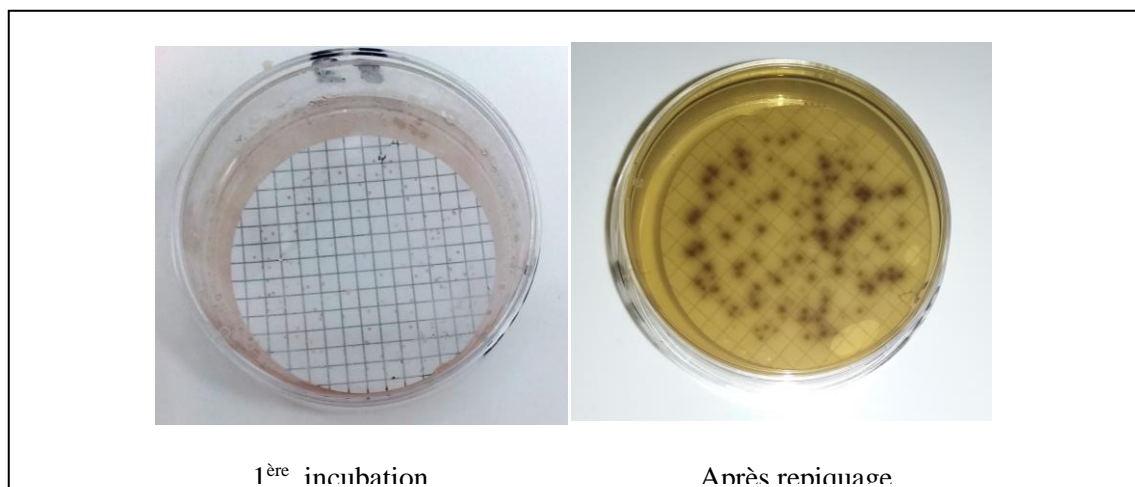


Figure IV.9 : Photographie représentant les colonies observées sur milieu solide.

- Sur milieu liquide :

Après ensemencement et incubation des tubes à essais, nous remarquons l'apparition de trouble ; les tubes présentant un trouble sont présumés positifs ; ces derniers sont repiqués, nous remarquons l'apparition de trouble, ce qui confirme la présence de streptocoques du groupe D.

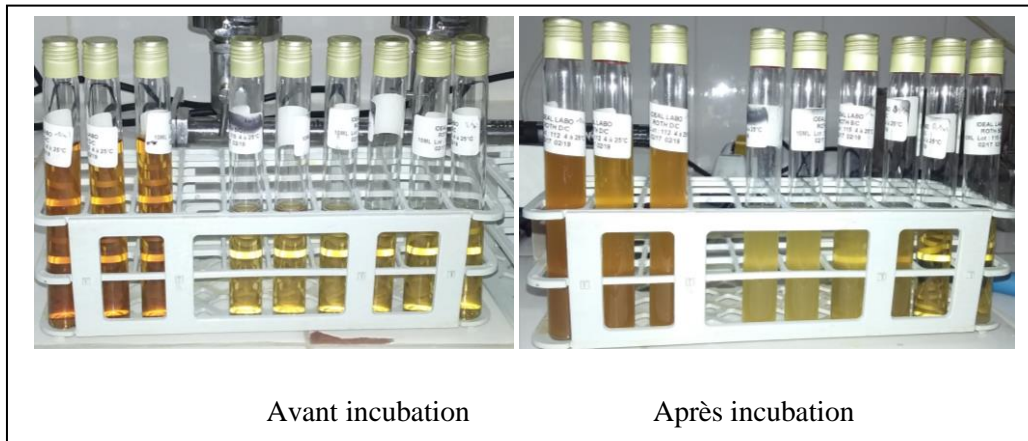


Figure IV.10 : Photographie de la recherche des streptocoques sur milieu liquide.

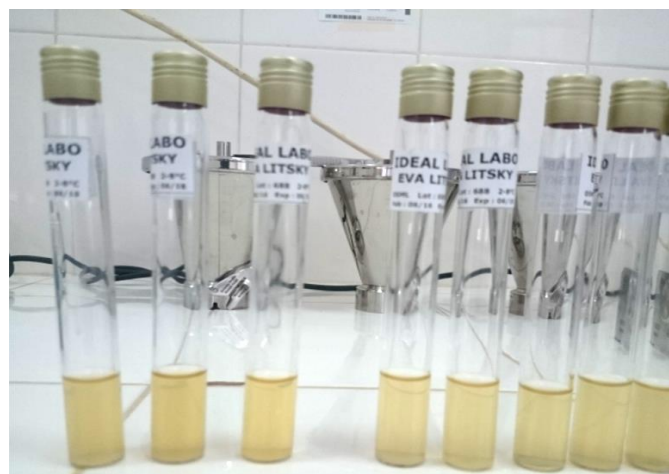


Figure IV.11 : Photographie représentant les milieux de culture liquide après confirmation.

IV.6.3. Recherche des coliformes totaux et fécaux

- Sur milieu solide

Après incubation ; nous observons des colonies de couleur claire et non orange, cela nous indique qu'il y a une contamination du milieu, l'absence de colonies oranges

bombées nous informe que l'eau analysée est un milieu riche en coliformes ; il faut utiliser un milieu liquide pour le dénombrement.

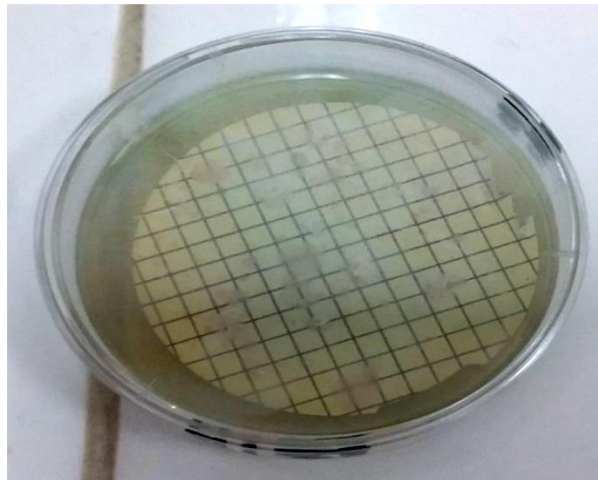


Figure IV.12 : Photographie représentant les colonies observées pour la recherche des coliformes sur milieu solide.

- Sur milieu liquide

Après incubation nous observons un trouble et un dégagement au niveau des cloches, cela indique la présence de coliformes totaux, après repiquage nous avons constaté qu'il y avait un dégagement et trouble cela indique la présence de coliformes fécaux ; précisément *E. coli*.

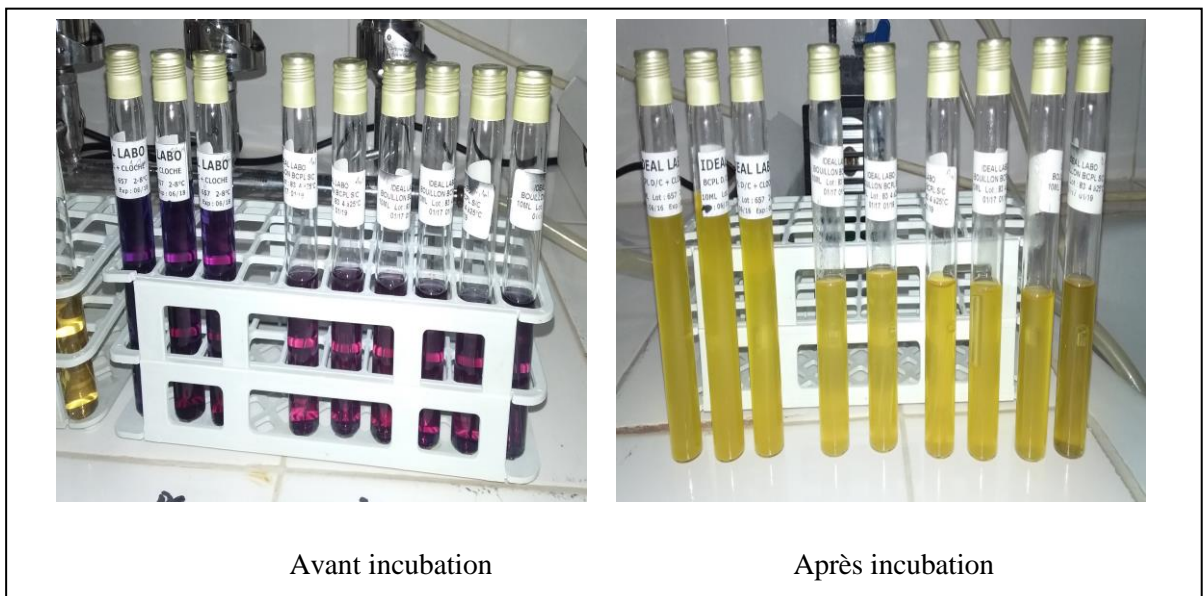


Figure IV.13 : Photographie représentant les changements après incubation des milieux liquides pour la recherche des coliformes totaux.



Figure IV.14 : Photographie représentant les milieux de cultures liquides après confirmation des coliformes fécaux.

Tableau IV.3 : Résultats de la recherche des coliformes et des streptocoques.

Type de bactérie	Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			NPP dans 100 mL
	3 tubes de 10 mL	3 tubes de 1 mL	3 tubes de 0.1 mL	
Les streptocoques	3	3	2	1100
Les coliformes	3	3	3	> 1100

Pour conclure, les analyses bactériologiques de l'eau de l'oued Agrioun nous indique que cette eau contiennent une contamination fécale, cela pourrait provenir soit de matières fécales animales (oiseaux, grenouilles...), soit et c'est sûrement des déversements d'eaux usées urbains qui sont, par ailleurs habituel dans toutes les régions d'Algérie, de déverser les eaux usées dans la rivière sans aucun traitement préalable.

IV.6.4. Recherches et dénombrement des microalgues et dosage de la chlorophylle A

Après observation au microscope, nous avons pu dénombrer 70 microalgues dont 5 espèces indiquées sont reproduites dans la figure IV.15.

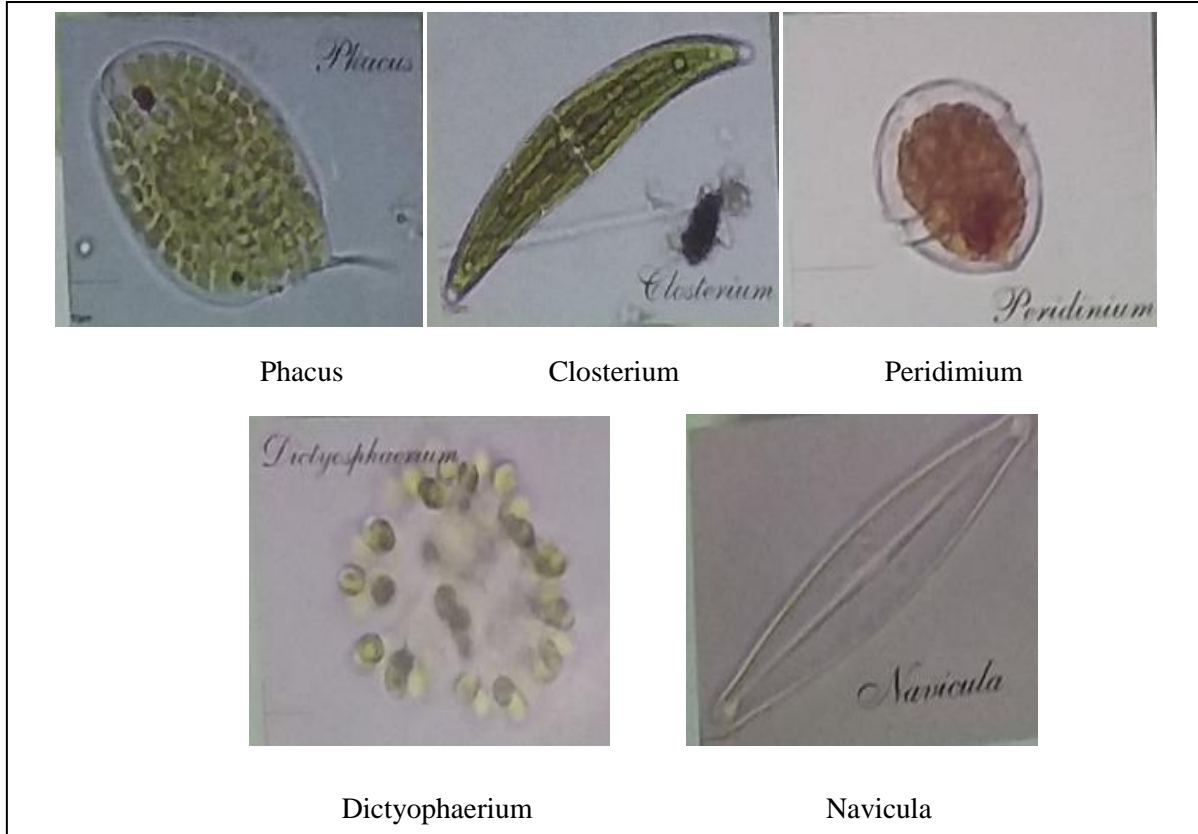


Figure IV.15 : Espèces de microalgues contenues dans les eaux de l’oued Agrioun [33].

Tableau IV.4 : Absorbances mesurées pour le dosage de la chlorophylle A.

Longueur d’onde (nm)	410	430	630	645	663	750
Absorbance	0,128	0,108	-0,013	-0,010	0,002	-0,013

Tableau IV.5 : Résultats du dosage de la chlorophylle A.

C (µg/L)	ID	P (%)	C _a (µg/L)	P _a (%)
1,6812	0,858	37,95	0,64	1,043

Le nombre de microalgues est très faible et cela est confirmé par la concentration en chlorophylle A qui est de 0,64 µg/L vu que cette dernière est due aux microalgues.

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés aux eaux superficielles de la région de Bejaia ; les eaux de l'oued Soummam et celles de l'oued Agrioun (Souk El Tnine).

Le dosage des chlorures a démontré que les eaux de l'oued Soummam ne répondent pas aux normes d'une eau potabilisable, et demanderait un traitement long et coûteux afin de les rendre potables. Nous nous sommes alors dirigés vers les eaux de l'oued Agrioun. En effet, les résultats physico-chimiques obtenus sur ces eaux ont été très concluant et les analyses microbiologiques ont indiquées la présence de contamination fécale. Ce qui pourrait provenir de matières fécales animales, ou de déversements d'eaux usées urbains.

Pour le traitement de cette eaux (oued Agrioun) nous avons opté pour la méthode bien connue de coagulation/floculation ; au cours de laquelle nous avons optimisé la concentration du coagulant de sulfate d'aluminium et du floculant de polymère, ainsi que la vitesse d'agitation rapide et le temps d'agitation lente. Nous avons aussi testé à titre comparatif l'action d'un floculant minérale d'une argile naturelle et traitée au four à 400 °C. Ces trois floculents (polymère, argile naturelle et traitée) ont donné le même effet sur la turbidité (matières en suspension), donc il ya possibilité de substituer le polymère par une argile naturelle.

En perspectifs et afin de compléter cette étude il serait souhaitable de :

- Déterminer le teneur en métaux lourds.
- Déterminer la teneur en aluminium après le traitement de coagulation/floculation.
- Effectuer le dosage de la chlorophylle A, ainsi que la recherche des microalgues dans les conditions extrêmes.

- [1]. G. GROSCLAUDE. *L'eau : Tome 2 : Usages et polluants*. Ed. Quae, 1999. 17 p.
- [2]. A. MADDOCKS, R. S. YONG, P. REIG. Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. In: World Resources Institute. *WRI* [en ligne]. 26 août 2015. [Consulté le 26/06/2017]. Disponible à l'adresse : <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world's-most-water-stressed-countries-2040>.
- [3]. A. MUSSY, C. HYGI. *Hydrologie : Une science de la nature*. Ed. PPUR presses polytechniques, 2004. 22-27 p.
- [4]. R. DESJARDINS. *Le traitement des eaux*. Ed. Presses inter Polytechnique, 1997. 3-7 p.
- [5]. Organisation mondiale de la Santé. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. Vol. 1 : 3^{ème} ed. Genève, 2004. Pp 17.
- [6]. A. OUCGENE, H. OUAZENE. *Etude hydrochimique des eaux de surface d'oued Agrioun a l'aval du barrage Ighil Emda wilaya de Bejaia*. Mémoire : Master en hydraulique urbaine. Université Abderrahmane Mira, 2013.
- [7]. Documents de l'Algérienne des eaux, unité de production Akobou : Formtions DEGREMONT.
- [8]. AFNOR NF ISO 9297 (février 2000) – Qualité de l'eau – Dosage des chlorures – Titrage au nitrate d'argent avec du chromate de potassium comme indicateur (méthode de Mohr) (indice de classement T90-014).
- [9]. AFNOR NF T90-003 (août 1984). Essais des eaux – Détermination de la concentration totale en calcium et magnésium – Méthode titrimétrique à l'EDTA.
- [10]. NF T90-016 (août 1984). Essais des eaux – Dosage du calcium – Méthode titrimétrique à l'EDTA.
- [11]. NF EN ISO 9963-1 (février 1996). Qualité de l'eau – Détermination de l'alcalinité – Partie 1 : Détermination de l'alcalinité totale et composite (Indice de classement : T90-036).
- [12]. NF EN 872 (juin 2005). Qualité de l'eau – Dosage des matières en suspension – Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre.

- [13]. NF EN 25814 (mars 1993). Qualité de l'eau – Dosage de l'oxygène dissous – Méthode iodométrique à la sonde (indice de classement T 90-106).
- [14]. NF T90-101 (février 2001). Qualité de l'eau – Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) (Indice de classement : T90-101).
- [15]. AFNOR NF T90-017 (juin 1982) Essais des eaux – Dosage du fer – Méthode spectrométrique à la phénantroline 1-10.
- [16]. J.RODIER. *Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 8ème édition. Dunod : Paris, 2006. 214 p.
- [17]. NF EN ISO 6878 (avril 2005) Qualité de l'eau – Dosage du phosphore – Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium (indice de classement T 90-023).
- [18]. Norme Afnor T90-012. Dosage des nitrates.
- [19]. ISO 6777 NA 1657. Dosage des nitrites- Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
- [20]. ISO 7150/1 – Qualité de l'eau – Dosage de l'ammonium – Méthode spectrométrique manuelle.
- [21]. NF EN ISO 6878 (avril 2005) Qualité de l'eau – Dosage du phosphore – Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium (indice de classement T 90-023).
- [22]. Documents de l'Algérienne des eaux : Office International de l'eau. Centre nationale de formations aux métiers de l'eau.
- [23]. NF EN ISO 7393-1 (mars 2000). Qualité de l'eau – Dosage du chlore libre et du chlore total – Partie 1 : méthode titrimétrique à la N, N-diéthylphénylène-1,4 diamine (indice de classement T90-037-1).
- [24]. ISO 6461/2 (1986). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des spores de micro_organismes anaérobies sulfite-réducteurs (Clostridia) – Partie 2 : Méthode par filtration sur membrane.
- [25]. NF EN ISO 7899-2 (2000). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux du groupe D : Méthode par filtration sur membrane.

- [26]. C. DELARRAS. *Pratique en microbiologie de laboratoire, Recherche de bactéries et de levures-moisissures*. Lavoisier, 2014. Pp.664-666.
- [27]. NF EN ISO 9308-1 (septembre 2000). Qualité de l'eau –Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes– Partie 1 : méthode générale par filtration sur membranes.
- [28]. NF T90-413 (octobre 1985). Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermotolérants : Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP).
- [29]. NF T90-117 : « Dosage de la chlorophylle a et d'un indice pheopigment : Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire ».
- [30]. J-P. CADORET, M. BARDOR, P. LEROUGE, M. CABIGLIERA, V. HENRIQUEZ, A. CARLIER, « Les microalgues usines cellulaires productrices de molécules commerciales recombinantes », *Revue MEDECINE/SCIENCES*, vol. 24, n° 4, avril 2008, p. 377-378.
- [31]. STEIDINGER K.A.,1975. Basic factors influencing red tides. In : Proceedings First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms (Ed. By Lo Ciero V.R.) : 153-162. Mass. Sci. Technol. Found., Wake-field.
- [32]. L. BRIENT, Poster : Les microalgues d'eau douce, Edition Paris, Société nationale de protection de la nature, 2000.

Annexe I : Solutions utilisées lors de l'analyse

I.1. Détermination des sulfates

- Solution stabilisante :

Dans une fiole jaugée de 1000 mL, mettre 100 mL d'eau distillée, ajouter successivement 60 mL d'acide chlorhydrique pur (HCl : $d= 1.19$), 200 mL d'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol ; compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

I.2. Détermination des nitrites

- Réactif mixte :

Dissoudre 40 g d'acido-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100 mL d'acide orthophosphorique et de 500 mL d'eau. Ajouter 2g de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2\text{-2HCl}$), compléter le volume à 1000 mL avec de l'eau distillée.

I.3. Détermination de la dureté

- Solution tampon $\text{pH} = 10$:

Dissoudre dans une fiole jaugée de 1L : 67,5 g de chlorure d'ammonium (NH_4Cl) dans 570 mL d'ammoniaque ($d = 0,925$), puis ajouter 5 g de sel disodique de magnésium de l'EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\text{Mg}$) et compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

I.4. Détermination de la DCO

- Solution de ferroïne :

Dans une fiole jaugée de 100 mL, dissoudre 1,5 g de la phénanthroline 1, 10 et 0,7g de sulfate de fer (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ dans un petit volume d'eau distillée puis compléter jusqu'à 100 mL.

- Solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/L, contenant du sulfate de mercure (II) :

Dissoudre 80 g de sulfate de mercure (II) dans environ 800 mL d'eau déionisée. Ajouter avec précaution 100 mL d'acide sulfurique ($d = 1,83$) . Laisser refroidir puis ajouter 11,767 g de dichromate de potassium. Transvaser la solution quantitativement dans une fiole jaugée de 1 000 mL et compléter au volume.

I.5. Détermination de l'ammonium

- Réactif coloré :

Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique dihydraté dans l'eau contenue dans une fiole de 1000 mL, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

- Solution de Dichloroisocyanurate de sodium :

Dissoudre 32 g d'hydroxyde de sodium dans 500 mL d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de Dichloroisocyanurate dihydraté, compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

I.6. Détermination des phosphates

- Réactif combiné :

Dans une fiole jaugée de 100 mL, introduire 50 mL de solution d'acide sulfurique, ajouter 5mL de solution de tartrate double d'antimoine et de potassium, 15 mL de solution de molybdate d'ammonium. Ajuster à 100 mL avec de l'eau distillée.

I.7. Détermination des nitrates

- **Solution de tartrate double de sodium et de potassium**

Dissoudre 400 g d'hydroxyde de sodium dans une fiole de 1000 ml, ajouter 60 g de tartrate double de sodium et potassium. Laisser refroidir et compléter avec de l'eau distillée.

I.8. Détermination de fer

➤ **Solution d'acétate d'ammonium :**

Dans une fiole de 100 mL, mélanger 40 g d'acétate d'ammonium avec 50 mL d'acide acétique puis ajuster à 100 mL avec de l'eau distillée.

I.9. Demande en chlore

➤ **Solution tampon pH 6,5 :**

Dans de l'eau déionisée, dissoudre dans l'ordre 24 g d'hydrogénophosphate de sodium, 46 g de dihydrogénophosphate de potassium, 100 mg du sel disodique de l'EDTA chlorure. Compléter à 1 000 mL.

Annexe II : Matériels utilisés



Spectrophotomètre de marque JENWAY Aquanova (mesure des nitrates, nitrites et ammonium).



Spectrophotomètre UV-mini -1240 de marque SHIMADZU (mesure du fer, sulfates et phosphates)



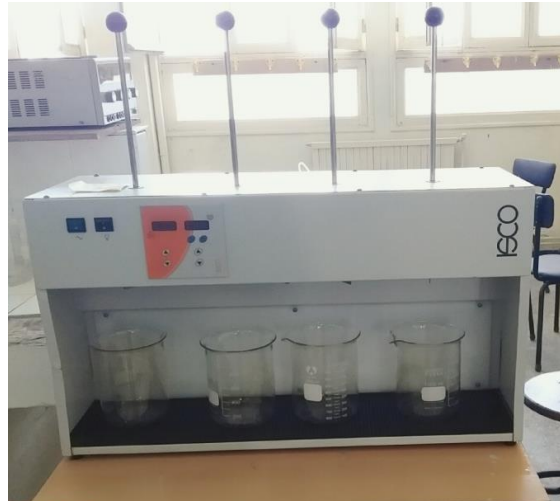
Lamelle Nageotte de microscope



Microscope OPTECK pour mesurer le dénombrement des algues.



Système de filtration de marque Combisart Sartorius Stedim (analyse microbiologiques).



Appareil JAR Test



Appareil de chauffage de DCO



Turbidimètre portatifs de marque HANNA

Annexe III : Tableaux des résultats des essais de Jar test

III.1. Optimisation de la concentration de sulfate d'aluminium. (vitesse 140/50)

Concentration de sulfate d'aluminium (g/L)	0	0.005	0.008	0.01	0.012	0.015	0.02
Turbidité (NTU)	3.91	2.55	2.26	1.75	0.92	0.49	0.43

III.2. Optimisation de la concentration de sulfate d'aluminium. (vitesse 120/40)

Concentration de sulfate d'aluminium (g/L)	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03
Turbidité (NTU)	2.56	2.67	2.62	1.23	0.683	0.687	0.7

III.3. Optimisation de la concentration du polymère. (vitesse 120/40)

Concentration du polymère (mg/L)	0	0.005	0.008	0.01	0.015	0.02	0.025
Turbidité (NTU)	2.56	0.52	0.57	0.66	0.7	1.05	0.75

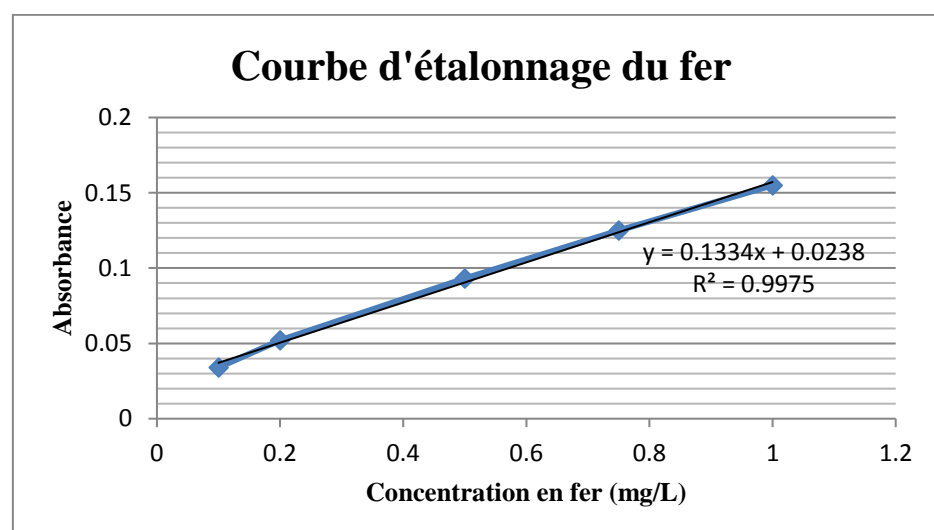
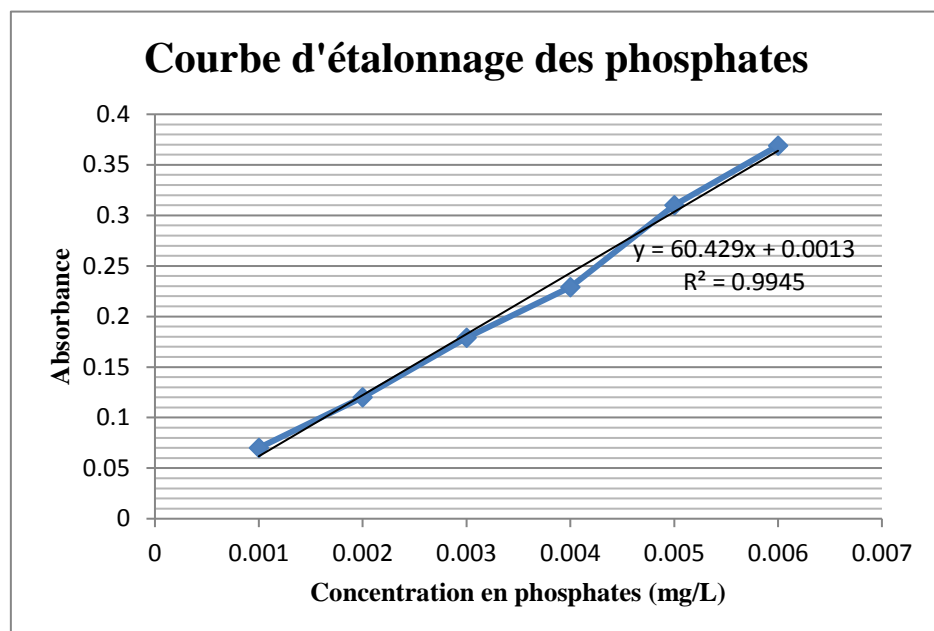
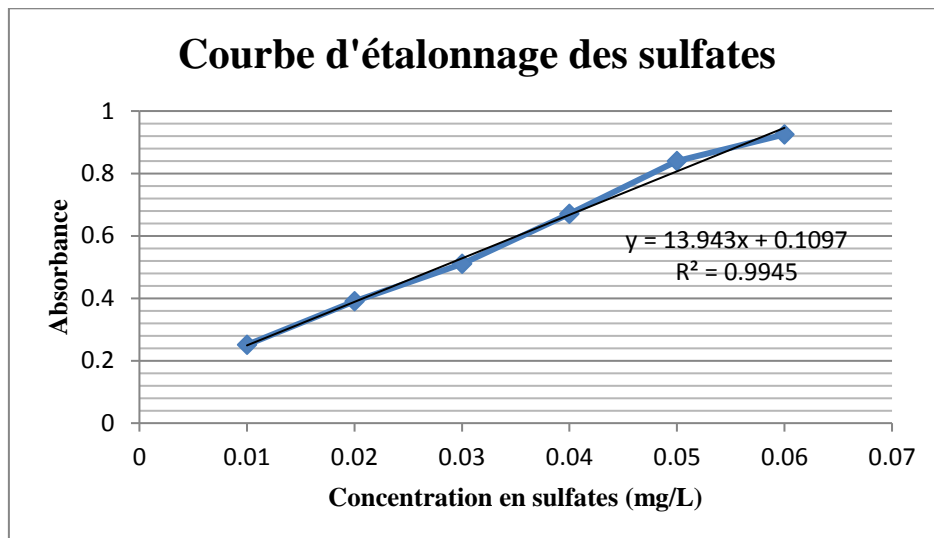
III.4. Variation de la turbidité en fonction de trois flocculants : Argile naturelle et argile traitée.

Concentration du polymère (mg/L)	0	0.004	0.008	0.012	0.016	0.020
Turbidité (NTU)	3.91	0.42	0.28	0.21	0.14	0.14
Masse d'argile naturelle (g)	0	1	2	3	4	5
Turbidité (NTU)	2.11	0.69	0.43	0.28	0.14	0.35
Masse d'argile traitée (g)	0	1	2	3	4	5
Turbidité (NTU)	2.11	0.18	0.16	0.15	0.13	0.16

Annexe IV : Tableau de résultats de la demande en chlore par titrimétrie à la DPD

Chlore injecté (g/L)	0,007	0,015	0,022	0,030	0,037	0,045	0,052	0,060	0,067	0,075
Chlore résiduel libre (mg/L)	0,2	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,5	1,8	1,9	2

Annexe V : Courbes d'étalonnages



**Annexe VI : Nombre le plus probable dans le cas de système
d'ensemencement.**

Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			N.P.P dans 100 mL
3 tubes de 10 mL	3 tubes de 1 mL	3 tubes de 0,1 mL	
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	> 1100

Annexe VII : Résultats d'analyses des eaux de Tichi-Haf du mois d'avril 2017.

PARAMETRES	UNITE	CONTRAT		1	2	3	4	Moyenne
		MI N	Max.	03/04/1 7	10/04/1 7	17/04/1 7	24/04/1 7	
PH	/	7	9	7,9	8	7,85	7,95	7,93
MES	mg/L	0	400	/	/	/	/	/
Turbidité	NTU			1,81	2,81	3,62	2,73	2,74
Conductivité	µS/cm	700	2000	1344	1359	1370	1367	1360
Résidue sec à 105° C	mg/L			1060	1040	2096	1044	1310
Température	°C	8	27	12,4	14,3	15,4	15,6	14,4
Ammonium	mg/L	0	1,5	0,04	0,04	0,03	0,095	0,05
Nitrite	mg/L	0	1,5	0,05	0,0463	0,05	0,04	0,05
Nitrate	mg/L	0	25		2,69	2,37		2,53
HCO3	mg/L	104	250	278	327	288	258	288
CO3	mg/L	2	25	0	0	0	0	0
TA	°F			0	0	0	0	0
TAC	mg/lCaCO ₃			228	268	236	216	237
Dureté totale (TH)	mg/lCaCO ₃			612	727	696	596	658
Calcium	mg/L	50	150	147	140	141	134	141
Magnésium	mg/L	5	126	59	90	79	63	73
Chlorure	mg/L	5	310	190	188	192	184	189
Sulfate	mg/L	80	300	430	420	521	439	453
Orthophosphate	mg/L P	0	0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fer (total)	mg/L	0	5					
Manganèse (total)	mg/L	0	1	/	/			
Oxydabilité KMnO4	mg/L	0	10	3,35	4,45	3,04	3,97	3,70
Oxygène dissous		0	11					/

Résumé

Les eaux naturelles contiennent à des concentrations variables, différents composés organiques et minérales, provenant de la nature ou bien d'un milieu externe, ces composés doivent être éliminés lors de la production d'eau de consommation.

Dans la présente étude nous nous sommes intéressés aux eaux superficielles de la wilaya de Bejaïa dont les eaux de l'oued Soummam et celles de l'oued Agrioun.

Nous avons d'abord effectué des analyses physico-chimiques dont les résultats obtenus pour la teneur en chlorures vont de 1500 à 1775 mg/L pour les eaux de Soummam et de 66,5625 mg/L pour les eaux de l'oued Agrioun afin de les étudier car les chlorures sont les composés les plus difficiles à éliminer de ce fait, la teneur en phosphates, ammonium, nitrates, nitrites, sulfate et fer sont de 0,0036 mg/L ; 0,038 mg/L ; 2,1 mg/L ; 0,036 mg/L et 0,052 mg/L respectivement. Un titre hydrotimétrique de 13,3° f, un TA et TAC de 35° f et 59° f respectivement.

La teneur en OD de 0,035 mg/L, DCO de 159,36 mg/L ; MO de 0,0355 mg O₂/L, un taux de MES de l'ordre de 18.10⁻⁴ mg/L.

Les analyses microbiologiques ont démontrés la présence de coliformes >1100 pour 100 mL ; streptocoques 1100 pour 100 mL et 22 colonies d'ASR pour 100 mL. La concentration en chlorophylle A est de 0,64 µg/L pour un pourcentage de 1,043%.

En conclusion, l'eau analysée est traitable et leur potabilisation est possible.

Mots clés: Eaux de consommation, oued, analyses, traitables.

Abstract

Natural waters contain various organic and inorganic compounds, either from nature or from an external environment, at varying concentrations, and these compounds must be disposed of in the production of drinking water.

In the present study we have been interested in the surface waters of the city of Bejaïa including the waters of the wadi Soummam and those of the wadi Agrioun.

We first carried out physico-chemical analyzes, the results of which for the chloride content range from 1500 to 1775 mg/L for the waters of Soummam and 66.5625 mg/L for the waters of the Agrioun wadi, since the chlorides are the most difficult to remove, the phosphate, ammonium, nitrate, nitrite, sulphate and iron content is 0.0036 mg/L; 0.038 mg/L; 2.1 mg/L; 0.036 mg/L and 0.052 mg/L respectively. A 13.3 ° f hydrometer titer, TA and TAC of 35 ° f and 59 ° f respectively.

The DO content of 0.035 mg/L, COD of 159.36 mg/L; MO of 0.0355 mg O₂/L, an SM level of the order of 18.10⁻⁴ mg / L.

Microbiological analyzes showed the presence of coliforms > 1100 per 100 mL; Streptococci 1100 per 100 mL and 22 ASR colony per 100 mL. The concentration of chlorophyll A is 0.64 µg / L for a percentage of 1.043%.

In conclusion, the water analyzed is treatable and their potabilisation is possible.

Keywords: Drinking waters, wadi, analyzes, treatable.