

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques
et des Sciences Agronomiques



Département des Sciences Agronomiques

Mémoire de Fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: Traitement et valorisation des ressources hydriques



*Optimisation des tests de coagulation
floculation des eaux du barrage de TAKSEBT*

Réalisé par:

M^{elle} Achour Lilia

&

M^{elle} Boualili Zineb

Présenté devant le jury :

M ^{me}	NAIT KACI M.	Présidente du Jury	Maître de conférences (A) UMMTO.
M ^r .	METAHRI M S.	Promoteur	Maître de conférences (A) UMMTO.
M ^{me}	BERROUANE N.	Co-promotrice	Maître assistante classe (A) UMMTO.
M ^r	BERRADJ O.	Examineur	Maître assistant classe (A) UMMTO.
M ^r	MERROUKI K.	Examineur	Maître de conférences (B) UMMTO.

2015-2016

On remercie tout d'abord Dieu, le tout puissant pour la volonté et le courage qu'il nous a donné pour mener à terme ce travail.
Nos profonds remerciements s'adressent particulièrement à notre promoteur Mr METAHRI.MS pour son aide et ses conseils, et à notre co-promotrice M^{me} BERROUANE. N de nous avoir prodiguée tout au long de notre travail et pour sa disponibilité.

Nous tenons à remercier M^{me} BOUDIAF. M de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et pour tout les efforts qu'il a fourni à notre égard.

*Nos reconnaissances s'adressent à Mr BERRADJ.O,
Et Mr MERROKI. K
d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

On remercie également l'ensemble de personnel au laboratoire SEAL (M^{me} CHIKHI. A, M^{elle} AKLIOUATE.S, Mr HADDADI.N, M^{me} KHEIALI. M) de nous avoir aidée et guidée tout au long de notre stage pratique

Lilia et Zineb



Dédicace

Avant tout, je tiens à remercier le DIEU le tout puissant qui ma donné la santé, la volonté, la patience et ma guidé à réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

Aux deux être les plus chers au monde, mon père et ma mère, source intarissable d'amour, d'amour, de tendresse et de sacrifice, que dieu les protège et les entourent de sa bénédiction ;

A mes chères sœurs : khadidja, mariama ;

A mes chers frères : Yahia, Aissa, Haroun, Idriss, Daoud, Yakoub ;

A mon fiancé « Nacim », et ma belle famille « Hammi » ;

A mon neveu : salim, et ma nièce : kamilia ;

A toute ma famille : oncles, tantes, cousins, cousines ;

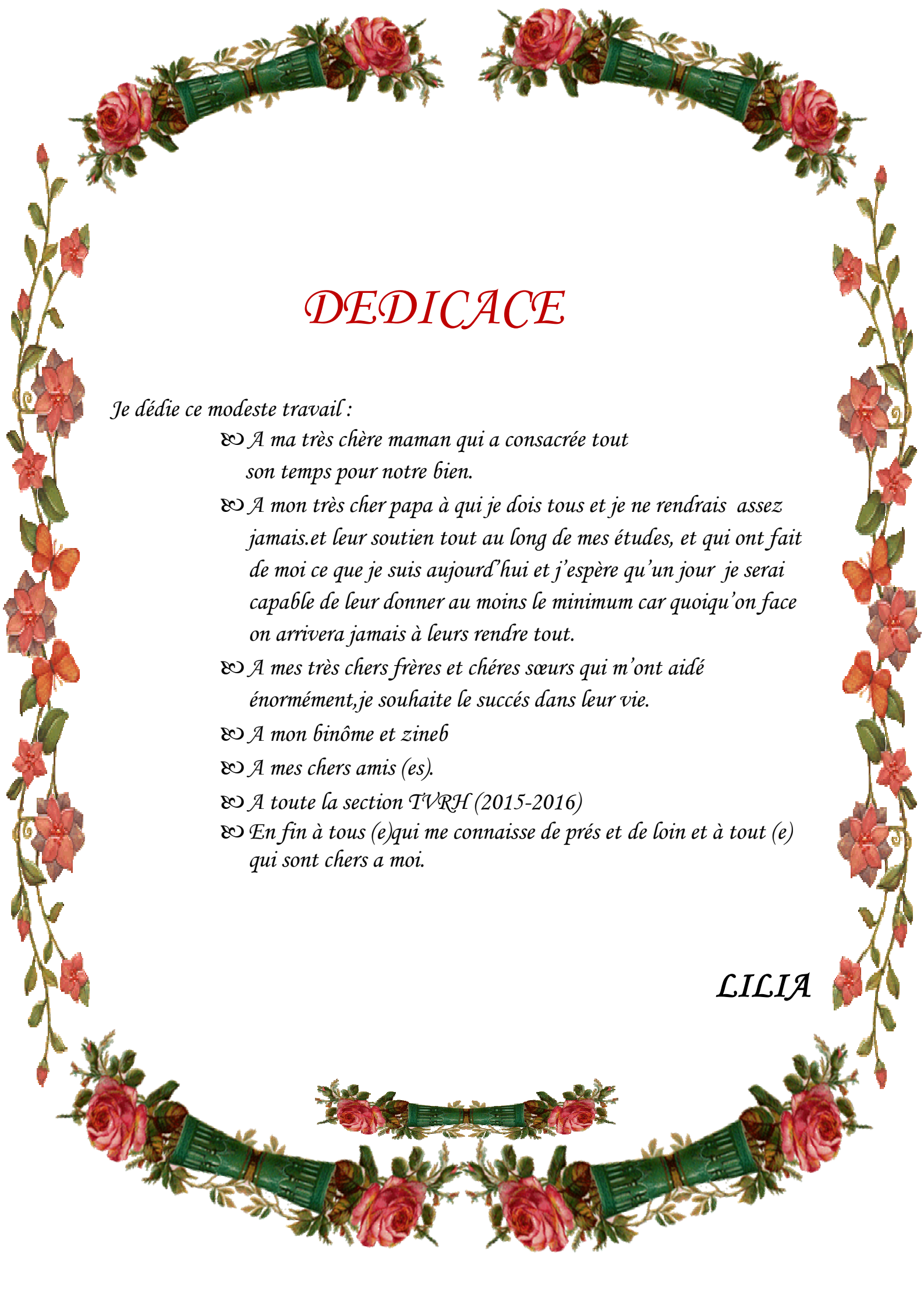
A mon binôme : Lilia Achour ;

A toutes mes amies : khadidja, Ouarda, Nawara, Chafia, sylvia, Salha, Feroudja, Tina ;

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Zineb





DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

- ✧ *A ma très chère maman qui a consacré tout son temps pour notre bien.*
- ✧ *A mon très cher papa à qui je dois tous et je ne rendrais assez jamais. et leur soutien tout au long de mes études, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais à leurs rendre tout.*
- ✧ *A mes très chers frères et chères sœurs qui m'ont aidé énormément, je souhaite le succès dans leur vie.*
- ✧ *A mon binôme et zineb*
- ✧ *A mes chers amis (es).*
- ✧ *A toute la section TVRH (2015-2016)*
- ✧ *En fin à tous (e) qui me connaisse de près et de loin et à tout (e) qui sont chers a moi.*

LILIA

Listes des abréviations

M³/j : mètre cube par jour

Mg/l : milligramme par litre

µg/l : microgramme par litre

µl : microlitre

µm : micromètre

nm : nanomètre

ppm : partie par million

MES : Matières En Suspension

THM : Trihalométhanes

CAP: Charbon Actif en Poudre

TDS : Solides Totaux Dissous

Mg/l : milligramme par litre

NTU : Unité néphélométrique de turbidité (Nephelometric Turbidity Units)

OMS : Organisation mondiale de la santé

PH : Potentiel d'hydrogène

TH : Titre Hydrométrique

TA : Titre alcalimétrique

TAC : titre alcalimétrique complet

Tpm: tour par minute

MTH : maladies à transmission hydriques

DCO : demande chimique en oxygène

DBO₅ : demande biochimique en oxygène après 5 jours

µS/cm : micro siemens par centimètre

UV : ultra violet

°C : degré Celsius

°H : degré Hazen

PtCo : platine cobalt

Sommaire

SOMMAIRE

I Partie bibliographique

Chapitre I : Généralité sur les eaux naturelles

I Introduction.....	1
II Les ressources en eau	1
II.1 Eaux souterraines	1
II.2 Les eaux de surface	2
II.2.1 Caractéristiques générales des eaux de surface.....	2
II.2.2 Potabilité des eaux de surface	3
III Définition de la pollution de l'eau.....	5
III.1 Les différents types de polluants	5
III.1.1 pollution physiques des eaux	5
III.1.2 pollution chimique	6
III.1.3 Pollution biologique.....	6
IV) Les maladies à transmission hydrique	6
V Les paramètres de qualité des eaux	8
V. 1 paramètres organoleptiques	8
V. 2 paramètres physico-chimiques.....	8
V. 3 paramètres indésirables.....	11
V. 4 Paramètres de toxicité.....	12
V.5 paramètres organiques	14
V.6 paramètres bactériologiques	15
VI. Les normes de potabilité	17

Chapitre II: traitement des eaux de surface

I Introduction.....	18
II Définition du traitement.....	18
III Définition des objectifs exacts du traitement	18
IV Les procédés de traitement de l'eau potable	19
IV.1 Prétraitement	19
IV. 2 Traitement physico-chimique.....	20
IV.2.1 Clarification	20

IV.2.1.1 Coagulation-Floculation	21
IV.2.1.2 Décantation	21
IV.2.1.3 Flottation.....	22
IV.2.1.4 Filtration	22
IV.2.2 Désinfection.....	22
IV.2.2.1 Choix du désinfectant	23
IV.2.2.2 Différents types de désinfectant.....	23
IV.2.2.3 Comparaison de différents procédés de désinfection.....	26

Chapitre III : Coagulation-floculation

I Introduction.....	27
II Les particules mises en jeu	27
II.1 Les colloïdes	27
II.2 Les types de colloïdes	28
III La coagulation	28
III.1 Choix du coagulant	29
III.2 paramètres influençant la coagulation	30
III.3 coagulants utilisés.....	31
III.3.1 Les sels d'aluminium	31
III.3.2 Les sels de fer.....	31
IV La Floculation	32
IV.1 Les flocculant utilisées	32
V La séparation solide-liquide	34
VI Le jar-test	34

II Partie expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes

I Introduction.....	35
II.1 Présentation du barrage de Taksebt	35
II.2.Description et fonctionnement de la station	36
II.2.2.Présentation de la station de traitement Taksebt.....	36
II.2.3 Capacité de la station	37
II.2.4 Chaîne de traitement	38
II.2.5 Technique d'analyse des paramètres de qualité de l'eau au laboratoire.....	44

II.2.6 Méthodes d'échantillonnage	44
III Matériels et produits.....	44
III.1 Matériels utilisés au niveau de la station Taksebt	44
III.2 Produits.....	45
IV Modes opératoires	45
IV.1 Essai de traitabilité par coagulation-floculation (jar test)	45
IV.2 Mesure de la turbidité.....	49
IV.3 Mesure de la conductivité.....	50
IV.4 Mesure de pH	51
IV.5 Détermination de la matière en suspension (MES)	52
IV.6 Longueur d'onde unique (UV) absorbance à 254 nm	53
IV.7 Détermination de la couleur	54
IV.8 Aluminium.....	55

Chapitre v : résultats et discussion

I.Détermination des taux de traitement optimums.....	57
I.1 Traitement au Sulfate d'aluminium seul	57
I.1.1Recherche de la dose optimale du coagulant	57
I.2Détermination du PH optimum.....	59
I.3 Détermination de la dose optimale du floculant (polymère).....	60

Liste des figures

Figure 01 : chaine de traitement.....	19
Figure 02 : principe de coagulation-floculation	29
Figure 03 : adsorption et pontage à l'aide d'un polymère	32
Figure 04 : processus de coagulation floculation décantation	34
Figure 05 : localisation du barrage de TAKSEBT	35
Figure 06 : localisation de la station de traitement TAKSEBT	37
Figure 07 : chambre d'arrivée de l'eau brute.	38
Figure 08 : Injection de Cl_2 en pré-chloration.....	39
Figure 09 : Permanganate de Potassium (KMnO_4).	39
Figure 10 : Injection de CAP.....	39
Figure 11 : Injection du Sulfate d'alumine.....	39
Figure 12 : Injection de l'Acide sulfurique	39
Figure 13 : injection de polymère.....	39
Figure 14 : Les décanteurs (Pulsa tube).	40
Figure 15 : Les filtres AQUAZUR V.....	41
Figure 16 : Dessableur.	43
Figure 17 : Épaississeur.	44
Figure 18 : Schéma Générale de l'usine de traitement d'eau potable	45
Figure 19 : Les robinets des prélèvements.....	47
Figure 20 : Appareil de jar-test.	62
Figure 21 : Appareil de turbidimètre	Annexe
Figure 22 : Appareil de PH mètre.	Annexe
Figure 23 : Rampe de filtration.	93
Figures 24 : Etuve.	94
Figure 25 : mesure de l'UV par le spectrophotomètre	95
Figure 26 : Réactifs pour l'aluminium.	95
Figure 27 : Dosage d'aluminium.....	96

Figure 28 : Variation de la turbidité de l'eau brute et de l'eau traitée Boudouaou.....	97
Figure 29 : Evaluation du seuil du gout de l'eau traitée Taksebt.....	98
Figure 30 : Evaluation du seuil du gout de l'eau traitée Boudouaou	98
Figure 31: Variation de bactéries « coliformes totaux » en variation du temps Taksebt.....	99
Figure 32: Variation de bactéries « coliforme fécaux » en variation du temps Taksebt.....	99
Figure 33 : Variation de bactéries « germes totaux » à 37°C en variation du temps Taksebt ..	100
Figure 34 : Bilan mensuelle d'analyse des « coliformes totaux » de la station Boudouaou..	100
Figure 35: Bilan mensuelle d'analyse des « coliformes fécaux » de la station Boudouaou .	100
Figure 36 : Bilan mensuelle d'analyse des « germes totaux » de la station Boudouaou	101

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principales différences entre les eaux de surface et souterraines .	4
Tableau 02 : Les maladies d'origine hydriques et leurs agents responsable	7
Tableau 03 : Comparaison des principaux modes de désinfection des eaux	26
Tableau 04 : Temps de décantation de différentes particules	28
Tableau 05 : Caractéristiques de la station de traitement de Taksebt	37
Tableau 06 : Les norme OMS	annexe 01
Tableau 07 : Les normes algériene	annexe 02
Tableau 08 : Résultats de premier essaie de jar-test	annexe 03
Tableau 09 : Résultats de deuxième essais de jar-test.	annexe 03
Tableau 10 : Résultats de 3 ^{ème} essais de jar-test	annexe 04
Tableau 11 : Résultats de 4 ^{ème} essais de jar-test	annexe 04
Tableau 12 : Résultats de 5 ^{ème} essais de jar-test	annexe 05
Tableau 13 : Résultas de 6 ^{ème} essais de jar-test	Annexe 05
Tableau 14 : Résultats de 7 ^{ème} essais de jar-test.	Annexe06

Introduction générale

« Nous buvons 90% de nos maladies ». Cette affirmation de Louis Pasteur (1822-1895) marque le début d'une nouvelle définition de l'eau potable.

La mise en place de procédés de traitement des eaux destinées à la consommation humaine constitue l'un des progrès majeurs en matière de santé publique.

L'eau contient des substances ou des micro-organismes qui par leur nature et leur concentration peuvent être indispensables, acceptables, indésirables, voire dangereuse pour la santé. L'eau prélevée dans le milieu naturel n'est généralement pas directement utilisable pour la consommation humaine car des éléments engendrés par l'activité de l'homme peuvent être entraînés (nitrates, matières organiques, matières en suspension, micro-organismes...). La qualité des eaux de surface ; souvent polluées, et donc très variables et ne peuvent être traitées qu'au cas par cas par des traitements appropriés à leur nature et à leur degré de pollution.

L'élimination des matières en suspension et la réduction de la matière organique sont des objectifs souvent assurés au cours du procédé conventionnel de la clarification. La coagulation-floculation conditionnera le reste du traitement et permettra, par un processus physico-chimique comprenant l'ajout de sels dénommés coagulant, de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes qui sont aptes à sédimenter. Les coagulants les plus couramment employés sont les sels d'aluminium et de fer.

Leur utilisation fait partie des procédés de purification des eaux depuis quelques décennies.

Il est intéressant de signaler que le processus de coagulation-floculation est le traitement de clarification des plus efficaces mais beaucoup n'y voient qu'un simple traitement visant la seule élimination de la turbidité, négligeant ainsi l'élimination de la matière organique, notamment sous sa forme dissoute.

L'efficacité de cette étape de traitement est rattachée à la variable pH, type et dose du coagulant ainsi qu'à la nature des particules et des matières minérales et organiques.

L'objectif général de ce travail est l'amélioration de la qualité d'eaux naturelles destinées à l'alimentation en eau potable par une phase d'optimisation de la clarification.

La première partie de ce travail est relative à l'étude bibliographique, nous avons jugé utile de rappeler dans un premier chapitre quelques généralités sur les propriétés et la pollution des eaux et des critères de qualité et enfin les normes de potabilisation.

Le deuxième chapitre traite des objectifs et les procédés de traitement des eaux de surface

Le troisième chapitre donne une vue générale sur le phénomène de coagulation floculation.

La seconde partie de l'étude est axée sur l'expérimentation et elle est présentée en deux chapitres. Le 4^{EME} chapitre est consacré à la description et au fonctionnement de la station de potabilisation «TAKSEBT» de la ville de TIZI OUZOU et les différents protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de cette étude

En fin, un dernier chapitre est consacré aux résultats et discussion qui présente l'optimisation des doses du coagulant et flocculant et leur influence sur les eaux de surface de la station de potabilisation TAKSEBT par le processus de coagulation- floculation.

Partie bibliographique

CHAPITRE I

Généralités sur les eaux naturelles

I Introduction

L'eau est un fluide indispensable à la vie, très largement répandu à la surface de la terre et jouant un rôle essentiel dans la structure organique des êtres vivants et des végétaux, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traité

II Les ressources en eau

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappe), des eaux de surface retenues ou en écoulement (Barrages, lacs, rivières) (LOUNAS ,2009).

II.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution, leurs caractéristiques varient très peu dans le temps. Les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de leur qualité. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont :

- a) Faible turbidité : car ces eaux bénéficient d'une filtration dans le sol.
- b) Faible contamination bactérienne : la filtration naturelle, l'absence de matières organiques, le très long séjour dans le sol ne favorisent pas la croissance des bactéries.
- c) Température constante : puisque elles sont à l'abri des effets du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- d) Indice de couleur faible : ne sont pas en contact avec les substances végétales ; sources de couleur.
- e) Débit constant : contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- f) Dureté souvent élevée : les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.) responsables de la dureté.
- g) Concentration élevée de fer et de manganèse : ces métaux, souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous (DESJARDINS, 1997).

II.2 Les eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents.

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable (DEGREMONT, 2005).

II.2.1 Caractéristiques générales des eaux de surface

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau. Leurs principales caractéristiques sont :

- La présence **de gaz dissous**, en particulier l'oxygène ;
- Une concentration importante en matières en suspension, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors faible et colloïdale ;
- La présence de **matières organiques** d'origine naturelle provenant du métabolisme, puis de la décomposition post mortem des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière ;
- La présence de **plancton** : les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algue...) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation. Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines ;

- Des **variations journalières** (différence de température, d'ensoleillement, ou neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent aussi être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles.

Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface jusqu'au fond de la retenue (température, pH, O₂, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de stratification ou de circulation des couches d'eau suivant les saisons (DEGREMONT, 2005).

II.2.2 Potabilité des eaux de surface

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, ils sont toujours plus ou moins pollués par divers rejets :

-Rejets urbains : provenant de la collecte des ERU, même après leur traitement en station d'épuration ;

-Rejets industrielles : riche en polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques) ;

-Rejets agricoles : engrais et produits pesticides, d'élevage intensif, (herbicides, insecticides) ; rejets riches en composés azotés et phosphorés ainsi qu'en pollution organique ;

-Rejets d'origines humaine et animale : pollution bactériologique (DEGREMENT, 2005).

Le tableau 1 donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines (KETTAB, 1992).

Tableau 01 : Principales différences entre les eaux de surface et souterraines (KETTAB, 1992).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H ₂ S)
Minéralisation globale (ou : salinité, TDS ...)	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets ...	Sensiblement constante ; en général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Manganèse divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
Gaz carbonique agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande Quantité
Oxygène dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation: absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps
H₂S	Généralement absent	Souvent présent
Ammoniaque (NH₄)	Présent seulement dans les eaux polluées	Présents fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates-nitrites	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Solvants chlorés	Rarement présents	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
Caractère eutrophie	Possible: accentué par les températures élevées	Non

III Définition de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité, la pollution dans l'eau inclut toutes matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au delà de sa capacité à la détruire sont considérée comme de la pollution. La pollution peut dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même comme lorsque l'eau traverse des sols qui ont un taux élevé d'acidité, par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau (FEPS, 2011).

III.1 Différents types de polluants

Diverse formes de pollution affectent les ressources en eau

III.1.1 Pollution physiques des eaux

Elle est essentiellement industrielle, secondairement domestique. On peut distinguer trois types de polluants ayant un caractère physique : le polluant mécanique, les polluants thermiques, et le polluant atomique (AROUYA, 2011).

a) Polluant mécaniques

Ils sont dus aux effluents solides rejetés par les usines, ces particules solides contribuent à l'altération de l'écosystème par perturbation de la photosynthèse en limitant la pénétration des rayons solaires (AROUYA, 2011).

b) Pollution thermique

C'est la dégradation du milieu consécutive à une élévation trop importante de la température par l'usage des combustibles fossiles et en date plus récente, au développement de l'industrie nucléaire (RAMADE, 1998).

c) Pollution radioactive

Les éléments radioactifs sont relativement rares, ils proviennent des centrales nucléaires, des activités de retraitement, et aussi en grande partie des eaux résiduelles des hôpitaux ou de certaines roches.

Ces éléments sont très toxiques puisque les doses de radioactivité correspondent à de faibles nombre d'atomes par litre (OLIVIER, 2005).

III. 1.2 Pollution chimique

Est une préoccupation importante de santé publique ; Certaines formes de pollution chimiques échappent souvent aux méthodes ordinaires de traitement de l'eau. Elles posent des problèmes complexes de pollution des eaux de surfaces et des nappes souterraines. La pollution chimique de l'eau est due essentiellement au déversement des polluants organiques et sels de métaux lourds par les unités industrielles (BOUZIANI, 2000).

c) Pollution biologique

La pollution microbienne et parasitaire des eaux est importante, l'essentiel est manifestement d'origine fécale, due aux déjections humaines et animales, au travers des eaux usées plus ou moins bien maîtrisées aux plans technique et sanitaire. De toute façon, les traitements primaires et secondaires des eaux usées n'affectent qu'en partie leur charge microbienne et les boues de traitement sont très contaminées, sauf après traitement approprié. Les facteurs microbiens de pollution des eaux sont des bactéries entéropathogènes, des virus, et des parasites (FESTY et al, 2003).

IV) Les maladies à transmission hydrique

L'eau est considérée comme l'habitat de plusieurs micro-organismes, certaines bactéries et virus, par leur pathogénicité, sont responsable de diverses maladies dites à transmission hydrique.

Le tableau ci-dessous présente ces maladies d'origine hydriques et leurs agents responsables : (d'après C. Haslay et H .Leclerc, 1993).

Tableau 02 : les maladies d'origine hydriques et leurs agents responsable (C. Haslay et H .Leclerc, 1993).

Maladies	Agents
Origine bactérienne Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes Dysenterie bacillaire Cholera Gastro-entérites aiguës et diarrhées	Salmonella typhi Salmonella paratyphi A et B Shigella Vibrio cholera Escherichia coli enterotoxinogene Compylobacter jejuni/coli Yersinia enterocolitica Salmonella sp Shigella sp
Origine virale Hépatites A et E Poliomyélite Gastro-entérites aiguës et diarrhées	Virus hépatite A et E Virus poliomyélitique Virus de norwalk Rotavirus Astrovirus Calicivirus Coronavirus Enterovirus Adenovirus reovirus
Origine parasitaire Dysenterie amibienne Gastro-entérites	Entamoeba histolytica Giardia lamblia cryptosporidium

V Les paramètres de qualité des eaux

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres organoleptiques, physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateur d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau.

V. 1 paramètres organoleptiques**a) couleur**

La coloration de l'eau est due à la présence de matières organiques colloïdales en solution ou en suspension. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité. Les eaux profondes sont rarement colorées, mais les eaux de surface ont souvent une turbidité élevée. Les eaux chargées prennent souvent une coloration jaune verdâtre, avec présence d'acide humique qui s'élimine difficilement à la filtration (BOUZIANI, 2000).

b) Odeur et gout

L'eau potable doit être sans odeur, le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel ; cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation (RODIER, 2009).

c) Turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension, elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau (METAHRI, 2012).

V. 2 paramètres physico-chimiques**a) Température de l'eau**

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc... Pour l'eau potable,

la température maximale acceptable est de 15° C. Dans les eaux naturelles et au dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité.

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux quelles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres (LOUNAS, 2009).

b) Potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel d'Hydrogène (pH) qui mesure l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. Les valeurs inférieures à 7 indiquent l'acidité et celles supérieures 7 indiquent l'alcalinité (ABOUZLAM, 2014).

c) Conductivité

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et de suivre son évolution. d'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau, les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible (RODIER, 2009).

d) Matières en suspension (MES)

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.

Les techniques d'analyses (Afnor T 90-105) font appel à la séparation directe par filtration ou centrifugation, le résultat est exprimé en milligramme par litre (SATIN, 1999).

e) Dureté

La dureté d'une eau exprime l'aptitude de cette dernière à réagir et à faire mousser le savon. La dureté ou titre hydrométrique (TH) est due aux ions cationiques dissous et correspond essentiellement à la présence des sels de calcium et magnésium, elle est directement liée à la nature des terrains traversés (REJSEK, 2002).

On a plusieurs types de dureté :

La dureté magnésienne : liée à la concentration globale en magnésienne

Dureté permanente : elle est liée aux chlorures et aux nitrates de calcium et magnésium qui ne précipite pas lors de l'ébullition.

f) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3), carbonate (CO_3^{-2}) et hydroxyde (OH^-).

On considère deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de pH :

- **Alcalinité au virage du rouge de méthyle** : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3 , CO_3^{-2} et OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.

- **Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine** ou alcalinité composite, elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{-2} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8,3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA) (REJSEK, 2002).

g) Chlorure

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1000 mg/l (RODIER, 2009).

h) Sodium

Le sodium est un élément dont la concentrations dans l'eau varient d'une région du globe à une autre. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et de la décomposition des sels minéraux.

Pour le sodium contenu dans les eaux de boisson, il faut souligner que les valeurs limites varient en fonction des ressources. Il n'y pas de valeur limite standard, cependant les eaux chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable et ne peuvent donc être consommées. Le chlorure de sodium est perceptible au goût nettement à partir d'une concentration de 500 mg /l (BOUZIANI, 2000).

i) Potassium

Il est présent à concentration faible dans les eaux de surface. Sa présence dans l'environnement et par voie de conséquence dans l'eau est à relier à certain nombre de pollution. L'arsenic est doué de propriétés cancérogènes, il convient donc d'en limiter les rejets dans les eaux. L'OMS recommande une valeur guide provisoire de 0.01 mg/l, pour l'eau destinée à la consommation humaine (RODIER, 2009).

j) Sulfate

La teneur en sulfates (SO_4) dans l'eau est liée aux composés alcalins de la minéralisation. Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles en sulfates sont de l'ordre de 400 mg/l d'après la norme OMS (BOUZIANI, 2000).

V. 3 paramètres indésirables**a) Aluminium**

L'aluminium est très répandu sur la terre, il vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme de Al^{3+} .

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (coloration, dépôts), l'OMS recommande comme valeur limite pour l'aluminium 0,2 mg /l (RODIER, 2009).

b) Fer

Le fer est un métal assez soluble que l'on peut retrouver dans l'eau et qui précipite par oxydation à l'air. Un excès de fer dans l'eau, provoque au contact de l'air la formation des flocculant rouges qui troublent l'eau et tachent le linge.

Les besoins en fer pour l'organisme humain se situent entre 2 à 3 mg/jour, mais les deux tiers seulement sont métabolisés dans l'organisme. Des intoxications par absorption de sulfates de fer peuvent s'observer chez les enfants, les normes de l'OMS retiennent la valeur limite de 0,3 mg/l de fer dans l'eau de boisson (BOUZIANI, 2000).

c) Manganèse

Le manganèse présent dans l'eau peut s'y trouver à l'état soluble en suspension ou sous forme de complexe ; sa solubilité dépend du PH, de l'oxygène dissous, de la présence d'agents complexant. Il provient du contact entre le sol et l'eau, de la décomposition des

végétaux qui contiennent entre 0.4 et 0.04 % de leur poids en manganèse (forme complexée), du métabolisme de certaines bactéries et de l'industrie (sidérurgique, minière, chimique et la céramique) (DUGUET et al, 2006).

d) Cuivre

Le cuivre est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS recommande une valeur guide provisoire de 2 mg/l compte tenu des incertitudes de la toxicité du cuivre pour l'homme. Toutefois, elle précise que des risques de taches sur les appareils sanitaires peuvent apparaître pour des teneurs supérieures à 1 mg/l (RODIER, 2009).

e) Zinc

Il a pour origine la corrosion des canalisations et des toitures, l'industrie métallurgie, le traitement de surface, la galvanoplastie, la savonneries et les fabriques de bougie, il a le même mode d'action que le cuivre, il est concentré par les organismes à partir de l'eau, il a une toxicité aiguë sur la plupart des organismes aquatiques à partir de quelque mg/l. Du côté agricole, le zinc se concentrant dans les sols, perturbe la croissance des végétaux par détérioration de l'appareil chlorophyllien (GAUJOUS, 1995).

f) Calcium

Dans l'organisme, le calcium de l'eau est peu absorbé, l'apport en calcium nécessaire à l'organisme est surtout apporté par l'alimentation, tandis que dans l'eau, le calcium est un composant majeur de la dureté.

Les eaux potables de bonne qualité doivent renfermer de 100 à 140 mg/l de calcium; à partir de 200 mg/l, on observe de nombreux inconvénients pour l'usage domestique (lavage) et pour l'alimentation des installations de chauffage (chaudières) (BOUZIANI, 2000).

V. 4 Paramètres de toxicité**a) Arsenic**

Il est présent à concentration faible dans les eaux de surface, sa présence dans l'environnement et dans l'eau est à relier à certain nombre de pollution. L'arsenic a des propriétés cancérigènes, il convient donc d'en limiter les rejets dans les eaux. L'OMS recommande une valeur guide provisoire de 0.01 mg/l, pour l'eau destinée à la consommation humaine (RODIER, 2009).

b) Cadmium

Dans la nature, le cadmium est généralement associé au zinc, il est utilisé pour le revêtement électrolytique des métaux, dans certains alliages, pour la fabrication d'accumulateurs, de peintures et de matières plastiques, et dans l'industrie nucléaire (ralentisseur de neutrons). D'une façon générale, les eaux ne contiennent que quelque microgramme de cadmium par litre, lorsque des teneurs plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles ou les eaux de nappes phréatiques, on doit chercher l'origine du cadmium dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier) (RODIER, 2009).

c) Plomb

Il provient des roches (galène...), de l'industrie chimique (colorants, explosifs) ; des raffineries, du traitement de surface, des mines, des corrosion des canalisations, et des eaux de ruissellement (essence) ;

C'est un poison cumulatif responsable du saturnisme : atteinte neurophysiologique (fatigue, irritabilité, retard intellectuel chez les enfants), troubles rénaux, cardio-vasculaires, hématopoïétiques (formation des globules du sang). Et de côté écologiques, il provoque des toxicités aiguës sur les organismes à partir de 0.1 mg/l, il se concentre de plus le long de la chaîne alimentaire (GAUJOUS, 1995).

d) Chrome

Le chrome est présent dans l'eau en petites quantités dans la nature. Il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de type siliceux. Sa solubilité est faible vis-à-vis des phénomènes de lessivage des sols ; de ce fait, les eaux brutes n'en contiennent que de faibles quantités (de 5 à 15 µg/l), il peut exister dans l'eau sous plusieurs formes (amphotère) ; pratiquement, le chrome est un élément anormal de l'eau (RODIER, 2009).

e) Mercure

Le mercure est un élément rare (seulement 8.10^{-5} % de la croûte terrestre), c'est le seul métal liquide à la température ambiante (25°C), il est le plus volatil des métaux, il a aussi le point de fusion le plus bas (-39°C), beaucoup de métaux se dissolvent dans le mercure et forment des alliages (BLIEFERT et al, 2001).

En ce qui concerne les eaux douces superficielles, sauf cas de pollution caractérisée, la teneur en mercure peut varier entre 0.1 et 2 µg/l ; il a été signalé que le mercure peut exister dans certaines tuyauteries en plastique d'où il peut passer en solution (RODIER, 2005).

5) paramètres organiques**a) Demande biologique en oxygène (DBO)**

C'est la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps donné pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau. On utilise conventionnellement la DBO₅, c'est –à-dire la quantité d'oxygène consommé après 5 jours d'incubation. La DBO₅ n'est représentative que de la pollution organique carbonée biodégradable si l'on prend le soin de bloquer les réactions de nitrification lors de la mesure. (DEGREMENT, 2005).

Qualité :

- DBO₅ < 3 mg/l : très bonne
- 3 mg/l < DBO₅ < 5 mg/l : bonne
- 5 mg/l < DBO₅ < 8mg/l : moyenne
- DBO₅ > 8 mg/l : mauvaise (RODIER, 2009).

b) Demande biochimique en oxygène (DCO)

La Demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la qualité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 105°C. Elle est exprimée en mg O₂/l (METAHRI, 2012).

➤ **Rapport DCO/DBO5 comme indice de biodégradabilité**

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les microorganismes (LADJEL, 2009).

DCO/DBO₅ < 1,5 : l'effluent est biodégradable

1,5 < DCO/DBO₅ < 2,5 : l'effluent est moyennement biodégradable

DCO/DBO₅ > 2,5 : l'effluent n'est pas biodégradable

c) Phosphate

Les ions phosphates contenus dans les eaux de surface ou dans les nappes peuvent être d'origine naturelle cause de la décomposition de la matière organique ; le lessivage des

minéraux ; ou due aussi aux rejets industriels (agroalimentaire...etc.), aux rejets domestiques (poly-phosphate des détergents), et aux engrais (pesticides...etc.) (TARDAT-HENRY, 1992).

d) Azote ammoniacal (NH_4^+)

Cette forme d'azote est assez souvent rencontrée dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. L'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation ; la mise en évidence, dans l'eau, des teneurs importantes en azote ammoniacal implique généralement une contamination récente par les matières organiques en décomposition. A ce stade une contamination est à craindre (LADEL, 2002).

e) Nitrite (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Une eau renfermant une quantité élevée de nitrites (supérieure à 1 mg/l d'eau) est considérée comme chimiquement impure, cependant, dans l'interprétation définitive de l'analyse chimique de l'eau on doit tenir compte également à des teneurs en nitrates, de l'azote ammoniacal, des matières organiques et des résultats des examens bactériologiques. Les valeurs limites recommandées pour les nitrites dans l'eau de boisson, sont de 0.1 mg/l pour les pays de l'union européenne et des doses inférieures à 1 mg/l pour l'OMS (BOUZIANI, 2000).

f) Nitrate (NO_3^-)

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou, des engrais (synthèse ou naturels) les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par les nitrobacters en transformant les nitrites en nitrate. Le taux autorisé est de 50 mg/l en NO_3^- ou 10 mg/l en azote (N) (GAUJOUS, 1995).

6) paramètres bactériologiques

a) Coliforme fécaux

Actuellement, on peut distinguer deux catégories de coliformes, d'origine et d'habitat différent, la première, bien connue, est celle des coliformes d'origine fécale, elle comprend les espèces des genres *Citrobacter*, *Levinea*, *Klesiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, rencontrées habituellement dans les matières fécales humaines ou animales, les eaux usées,

les eaux de surface polluées, et jamais isolées d'eaux d'alimentation (non polluées et contrôlées) ou de dépourvus de fumures.

La seconde correspond à des espèces nouvelles, comme *Serratia fonticola*, *Butiauxella agrestis*, *Enterobacter intermedium*, *Enterobacter amnigenus*, *Klebsiella terrigena*, *K trevisanii* qui, au contraire proviennent uniquement des eaux d'alimentation (potables) et des sols inclûtes. Ces espèces nouvelles sont très largement distribuées de par le monde. Elles sont très fréquentes dans les eaux de distribution, et sont le plus souvent confondues avec les espèces indicatrices d'une pollution fécale (HASLAY, 1993).

b) Coliformes totaux

Les coliformes totaux étant largement répartis dans la nature, ils n'indiquent pas nécessairement qu'il y a contamination. Ces organismes survivent plus longtemps dans l'eau et résistent mieux à la chloration que les coliformes féaux ou les bactéries pathogènes communes. On utilise donc de préférence les coliformes totaux comme indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau potable, la présence d'un organisme coliforme quelconque dans l'eau traitée révèle en effet que le traitement a été inefficace ou qu'il y a eu contamination après traitement (DESJARDINS, 1997).

c) Streptocoque féaux

Ces bactéries appartiennent à la famille de *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus* et au groupe sérologique D (SHARPE, 1979).

Ils sont définis comme étant des cocci sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se développent le mieux à 37 °C , ils possèdent le caractère homoférmementaire avec production de l'acide lactique sans gaz (MANUEL DE BERGEY, 1984).

Ils sont des témoins de contamination fécale ;assez résistant y compris dans les milieux salés (GAUJOUS, 1995). Ils peuvent aussi se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9.6, on peut par conséquent les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance similaire au pH élevé (PNUE/OMS, 1977).

d) Clostridies sulfito-réductrices

Ne sont pas seulement d'origine fécale, mais sont des germes ubiquistes, dont la présence dans l'eau est souvent révélatrice d'infiltration telluriques, ou matières organiques en putréfaction, bien que *C. perfringens* soit un indicateur assez spécifique de la pollution liée aux déjections animales. La présence de ces spores permet donc de détecter une contamination ancienne ou intermittente. Leur absence indique une bonne protection des nappes. (Norme : ≤ 1 dans 20 ml d'eau) (GADIN-GOYON, 2002).

e) Virus

Les virus sont présents eux aussi en quantité dans les effluents urbains (poliovirus, adénovirus, hépatite A, etc.) mais y sont rarement recherchés. En revanche, ces analyses sont un peu plus fréquentes dans les eaux superficielles, bien que cela n'apporte pas beaucoup d'informations supplémentaires par rapport aux germes-tests (SATIN, 1999).

VI Les normes de potabilité

Une eau de consommation ne doit pas contenir de germes des maladies à transmission hydrique (MTH) ; de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. L'eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux dont la présence lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination ainsi que toute substance toxique (COULIBALY, 2005).

Il est à noter que beaucoup de pays ont leur propres normes, lorsqu'il n'existe pas de normes nationales, on adopte les normes de l'OMS en général. Les normes de l'OMS sont assez tolérantes pour certains critères, pour tenir compte des moyens limités de certains pays en voie de développement (KETTAB, 1992).

Les normes résultant de ces règlements sont données dans l'annexe 1.

CHAPITRE II

Traitement des eaux de surface

I Introduction

Les ressources en eau douce de surface comme les cours d'eau fournissent une eau brute qui contient énormément de polluants qui la rendent non potable ; il faut donc les éliminer. Dans ce but, l'eau va subir un certain nombre de traitements nécessaires pour la rendre potable .

L'objectif du traitement est alors de protéger les consommateurs de micro-organismes pathogènes et d'impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. L'eau qui coule au robinet, produit élaboré, reflète les deux préoccupations permanentes que sont la santé publique et le confort et le plaisir de boire.

Le traitement va consister à prévoir une chaîne ou filière de traitements dans le but de rendre l'eau conforme aux limites et références de qualité.

II Définition du traitement

La production d'eau potable peut être définie comme la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité de l'eau qui satisfait a des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses régulatrices (HERNANDAISE ,2006).

III Définition des objectifs exacts du traitement

Les objectifs exacts du traitement peuvent être répartis en trois groupes :

-La santé publique : qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes, elle doit donc répondre aux normes physico-chimique et bactériologique.

-L'agrément du consommateur : qui est différent du premier point car une eau peut être agréable a boire tout en étant dangereuse (source polluée...), il s'agit des qualités organoleptiques, qui sont perçus par les sens olfactifs de l'homme a savoir la couleur, l'odeur, et le gout.

-La protection du réseau de distribution : et aussi des installations des usagers contre l'entartrage et /ou la corrosion (robinetterie, chauffe-eau,...).

Dans tous les pays, ces objectifs se traduisent par une réglementation officielle.Cette réglementation est fonction de critères de santé publique, du degré de développement du pays considéré et des progrès de la technologie (KETTAB ,1992).

IV Les procédés de traitement de l'eau potable

La transformation d'une eau de surface en une eau propre à la consommation nécessite de faire appel à un ensemble de procédés de traitement extrêmement divers qu'il faut assembler dans un ordre déterminé afin de fournir un produit fini conforme aux normes de potabilité. Les procédés de traitement sont présentés dans la figure (N°1) (VALENTIN, 2000).

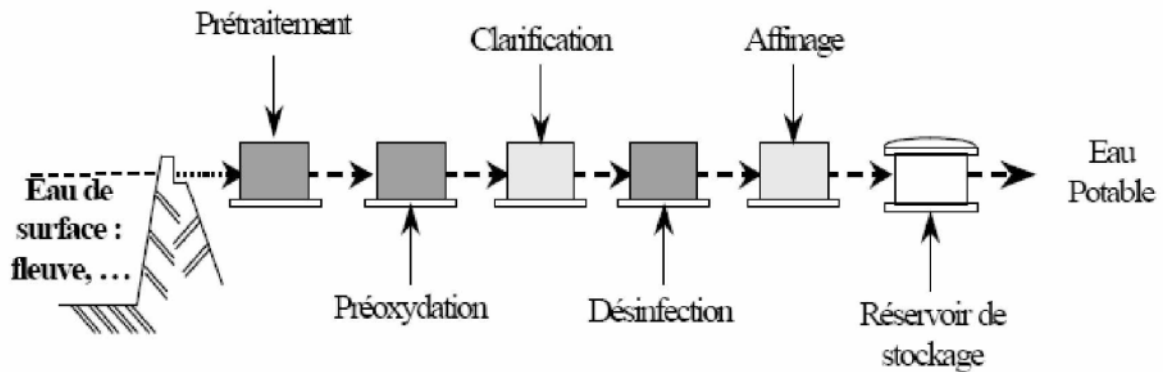


Figure 01 : chaîne de traitement (VALENTIN, 2000)

IV.1 Prétraitement

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface (HERNANDEZ, 2006).

a) dégrillage

A la prise d'eau, l'eau passe à travers des grilles pour arrêter les éléments solides qui peuvent obturer l'installation (corps flottants ou gros déchets), il constitue donc le premier poste d'une unité de traitement. Il est caractérisé par l'écartement de ces grilles. Il est surtout utilisé pour les eaux de surface (GRAINDORGE et al, 2014).

b) Tamisage

Le but du tamisage est d'arrêter les matières en suspension de petites dimensions (0.2 à 4 ou 5 mm) et les corps de forme allongée (feuilles en particulier) susceptibles de passer à travers un dégrillage. Le tamisage se fait à l'aide des filtres tournants à toiles métalliques disposés en bande (filtre à chaînes) pour les grandes variations des niveaux d'eau, ou en tambour pour les faibles variations des niveaux d'eau (TANINI, 2005).

D'autres opérations peuvent être effectuées telles que le dégraissage et le déshuilage, si les eaux de surface contiennent des huiles et des matières grasses ; ces dernières sont éliminées par l'injection d'air (aéro-flottation) ; les matières séparées flottent en surface, ce qui facilite leur élimination (GOMELLA et al, 1985).

c) Aération

Permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, enlever les gaz dissous ou éliminer les goûts et odeurs, elle peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de pré-oxydation, cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène et permet alors, soit :

- d'oxyder des éléments réduits, tels les ions ferreux ;
- d'augmenter la teneur en oxygène dans l'eau (améliorer le goût, éviter la corrosion des conduites métalliques en formant une couche protectrice).
- D'éliminer des gaz indésirables (H_2S , CO_2 libre, sursaturation en oxygène, composés organiques volatils, etc.) (BABINEAU, 2002) .

d) Pré- chloration

La pré-chloration ou pré-oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Elle est toujours incluse en fin de filière au niveau de la désinfection.

À l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. On va donc les détruire dans la mesure du possible par une pré-oxydation. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes :

- Ajout de chlore ou pré-chloration,
- Ajout de dioxyde de chlore,
- Ajout d'ozone ou pré-ozonation.

La pré- chloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le plus réactif et le plus économique, il est fréquemment utilisé afin d'assurer la désinfection de l'eau potable (pour détruire la vie animale et les algues, et oxyder l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse de façon à faciliter leur élimination) (HARRAT ,2013 ; VALENTIN ,2000).

IV. 2 Traitement physico-chimique

IV.2.1 Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations qui permettent d'éliminer les MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes (fraction « floculable »).

Suivant les concentrations de l'un et l'autre des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont de la simple filtration avec ou sans réactif jusqu'à la coagulation-floculation-décantation ou la flottation-filtration (DEGREMONT, 2005).

IV.2.1.1 Coagulation-Floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre appelées les colloïdes, dont l'élimination ne peut se baser sur la simple décantation, car, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination de ces particules de manière efficace (CARDOT, 2005).

a) Coagulation

Elle a pour but la déstabilisation des colloïdes et leur agglomération ainsi que celle des particules fines en suspension. Elle agit également par adsorption sur les substances dissoutes et les grosses molécules organiques hydrophiles en suspension stable (GODART, 2000).

b) Floculation

Elle a pour objectif de favoriser le contact entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former des flocs qui peuvent être éliminés par décantation, flottation ou filtration (CARDOT, 2005).

IV.2.1.2 Décantation

La décantation a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration (DESJARDIN, 1997).

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, de leur diamètre et de leur surface spécifique. Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100 μm (EZIANNE, 2007).

IV.2.1.3 Flottation

La flottation a pour but de faire flotter en surface de l'eau les particules à l'aide de bulles d'air, la flottation joue un rôle important en minéralurgie pour extraire les minerais, mais elle est aussi utilisée dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées. De manière analogue à la sédimentation, toutes les particules ayant une masse volumique inférieure à celle de l'eau peuvent être séparées par flottation, mais en fixant des bulles d'air sur des particules plus lourdes que l'eau, celles-ci peuvent aussi flotter. (SIGG et al, 2000).

IV.2.1.4 Filtration

Elle est réalisée sur sables, sur adsorbants (charbons actifs), ou sur membranes (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration).

La filtration la plus répandue est la filtration sur lit de sable, qui est plus efficace quand les grains de sable sont plus fins et la vitesse de l'eau plus faible. On peut aussi utiliser des filtres bicouches, formés de matériaux de densité différente.

Le filtre à charbon actif forme une sorte d'éponge très poreuse, qui peut retenir des molécules de toutes tailles.

La filtration sur membranes (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration) est fréquemment utilisée, mais reste encore onéreuse ; elle utilise de minces surfaces percées de pores réguliers de très petites dimensions : de quelques millièmes de millimètre à 0.5 micron, selon la taille des particules à arrêter. Ces membranes peuvent être d'origine organique ou minérale (LAGARDETTE. 2004).

IV.2.2 Désinfection

Un désinfectant est un produit chimique ou physique qui tue ou inactive des micro-organismes tels que les bactéries, les virus et les protozoaires. Le but de la désinfection donc est d'éliminer les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau afin d'empêcher le développement de maladies hydriques.

Il existe plusieurs moyens pour désinfecter les eaux, mais en pratique, les seuls couramment utilisés aujourd'hui sont la chloration, l'ozonation (désinfectants chimiques) et le rayonnement ultraviolet (désinfectant physique). Le choix d'un procédé de désinfection se fait

normalement en considérant les contraintes techniques, économiques et environnementales qu'il présente (MILOUS, 2011).

IV.2.2.1 Choix du désinfectant

Tout les procédés et les produit de désinfection n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution, etc.), sachant qu'un désinfectant ou un procédé de désinfection doit : (DESJARDINS ,1997).

- a) être toxique, à faibles concentrations, pour les microorganismes ; et saint pour les humains et les animaux ;
- b) être soluble dans l'eau ;
- c) former avec l'eau une solution homogène ;
- d) être efficace aux températures normales de l'eau de consommation (de 0 à 25°C) ;
- e) être stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps ;
- f) ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des microorganismes ;
- g) ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive ;
- h) éliminer les odeurs ;
- i) exister en grande quantité et être vendu à prix abordable ;
- j) être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs ;
- k) permettre une mesure aisée de sa concentration.

IV.2.2.2 Différents types de désinfectant

a) Désinfection par le chlore et dérivés

Le chlore ou ses dérivés sont fréquemment utilisés afin d'assurer la désinfection de l'eau potable. Malgré la production de sous-produits de désinfection (SPDs) tels que les THMs, la chloration représente un progrès majeur dans le traitement de l'eau et la protection de la santé publique. En effet, le chlore assure la destruction ou l'inactivation de nombreux microorganismes pathogènes. De plus, sa rémanence dans le réseau de distribution prévient l'apparition de maladies d'origine hydrique (GALAL-GORCHEV, 1996).

En raison de la forte réactivité du chlore, son utilisation comme désinfectant induit également à la transformation d'un certain nombre de micropolluants tels que les

pesticides ou les cyanotoxines. Les SPDs générés et leur toxicité potentielle doivent donc être examinés avec attention (HARRAT.2013).

a.1) Chlore gazeux (Cl_2)

Le chlore (Cl_2) est un gaz jaune verdâtre, qui se liquéfie par refroidissement et par compression. Un Kg de chlore dans les mêmes conditions de température et de pression, donne naissance à 314 litres de chlore gazeux et à un litre de chlore liquide correspond à 456 litres de gaz. ; Sa solubilité dans l'eau dépend de la température : elle est de 4.6 gr/chlore par litre d'eau à 0°C, et de 7.3gr/chlore par litre d'eau à 20°C.

Le chlore (Cl_2) à un fort pouvoir oxydant, il favorise la destruction des matières organiques, il a une action germicide par destruction des diastases indispensables à la vie des microbes (BOUZIANI, 2000).

a.2) Dioxyde de chlore (ClO_2)

Le dioxyde de chlore est un oxydant et un désinfectant puissant, efficace pour l'inactivation des bactéries, virus et protozoaires pathogènes. Cependant les mécanismes qui gouvernent son action désinfectante ne sont pas encore bien connus et ils semblent différer selon le type de microorganisme.

Le dioxyde de chlore ClO_2 présente plusieurs avantages comparativement au chlore et aux autres désinfectants. Contrairement au chlore, il demeure sous sa forme moléculaire dans les limites de pH typiques des eaux naturelles, il est plus efficace pour inactiver certaines bactéries, telles que *B. subtilis*, *B. mesentericus*, et *B. megatherium*, et les kystes de protozoaires.

Cependant, bien que l'utilisation du dioxyde de chlore permet de réduire la formation de THM, il entraîne la formation d'autres sous-produits de désinfection, tels que les chlorites et chlorates. De plus, la désinfection au dioxyde de chlore est généralement plus cher et plus compliquée à effectuer que celle du chlore, celui-ci devant être synthétisé sur place (CAUTHIER FANNY.2002).

a.3) Hypochlorite de sodium (NaOCl)

L'hypochlorite de sodium en solution commerciale basique ou eau de javel, est un liquide jaune verdâtre dont le pH est compris entre 11,5 à 13. C'est la forme solubilisée du chlore gazeux dans la soude avec une quantité équimolaire d'ion chlorure et d'ion hypochlorite (à ce pH). Son titre (ou concentration) est exprimé en degrés chlorométriques ($1^\circ = 3.17 \text{ g Cl}_2 / \text{l}$). Pour l'eau de javel industrielle, ce titre est généralement compris entre 47 et 50° chlorométriques (soit 149 à 159 g de Cl_2 par litre d'eau de javel). L'eau de javel est relativement instable et son exposition à la lumière et /ou à la température ou encore la diminution du pH (11) entraîne une diminution significative de son titre, sans diminuer la concentration en impuretés (LEGUBE, 2015).

b) Désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz bleu qui dégage une odeur irritante, il est à la fois un oxydant et un puissant agent désinfectant souvent supérieur aux autres désinfectants usuels mais instables en solution dans l'eau.

Son efficacité vient de :

- sa rapidité d'action : l'inactivation des bactéries par l'ozone serait de 300 fois plus rapide que celle du chlore.
- son large spectre d'action : l'ozone détruit aussi bien les bactéries que les virus, les champignons que les protozoaires. Il attaque également les microorganismes qui se trouvent sous forme sporulée ou enkystée (CHEVAL, 1983).

c) Désinfection par ultraviolet (UV)

L'utilisation du rayonnement ultraviolet pour la désinfection des eaux est une technique qui consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets (Québec, 1999). Ce système ne nécessite aucun ajout de produit chimique et ne forme aucun sous-produit, ce qui en fait un moyen de désinfection très intéressant. Comparé à la chloration déchloration, à coûts comparables le rayonnement ultraviolet est plus efficace pour inactiver les virus, plus sécuritaire pour le personnel de la station de traitement de même que pour le public, et moins dangereux pour l'environnement (GAREAU, 1999).

IV.2.2.3 Comparaison de différents procédés de désinfection

Il existe différentes classifications des désinfectants et parmi les principaux utilisés en eau potable sont : le chlore, l’ozone et l’UV. Le tableau ci-dessous présente une comparaison entre ces trois principales désinfectants (MILOUS, 2011) .

Tableau 03 : comparaison des principaux modes de désinfection des eaux (MILOUS, 2011).

CONSIDERATIONS	CHLORATION	OZONATION	RAYONNEMENT ULTRAVIOLET
Inactivation bactérienne	bonne	bonne	bonne
Inactivation virale	faible	bonne	bonne
Réactivation possible	oui	non	oui
Toxicité pour la vie aquatique	élevée	faible	non
Formation de produits secondaires nuisibles	oui	faible	non
Corrosif	oui	oui	non
Risque pour la sécurité publique	oui	non	non
Risque pour le personnel exploitant	élevé	modéré	faible
Transport requis	modéré	non	non
Complexité de la technologie	modéré	élevée	faible
Facilité de contrôle du procédé	bien connue	en développement	en développement
Fiabilité des équipements	bonne	passable	bonne
Applicable à quelles stations d'épuration	toutes les tailles	grosses stations	petites et moyennes (de plus en plus pour les grosses)
Niveau de prétraitement requis	aucun(2)	secondaire	secondaires (projets en cours pour primaires)
Entretien requis	minime	élevé	variable
Coûts totaux	faibles	élevés	modérés

CHAPITRE III

Coagulation-floculation

I Introduction

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

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et floculation. la coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques. La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration.

II Les particules mises en jeu

II.1 Les colloïdes

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

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

Cette classification résulte de la taille des particules, les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes, leur rapport surfaces /volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de charges électriques à leur surface ; ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion inter-colloïdales, celle-ci permettent d'expliquer la grande stabilité de ces particules mises en solution.

L'origine des colloïdes est très diverse, on peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles (CARDOT, 1999).

II.2 Les types de colloïdes

On distingue deux types de particules colloïdales les particules hydrophiles et les particules hydrophobes. Les particules hydrophiles (protéines, sucres...) déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules. Les particules hydrophobes (argiles, hydroxydes métalliques...) sont en générale des particules de matières inorganiques, alors que les particules hydrophiles sont des particules de matières organiques (DESJARDIN ,1997).

Le tableau (III) indique le temps de décantation de différentes particules en fonction de leur dimension (BOUAZZA, 2011).

Tableau III : Temps de décantation de différentes particules (BOUAZZA, 2011).

Diamètre de particule		Type de particule	Temps de décantation pour 1 m d'eau	Surface spécifique $m^2.m^{-3}$	
mm	μm				
10	10^4	Gravier	1 seconde	6.10^2	MES décantations
1	10^3	Sable	10 secondes	6.10^3	
10^{-1}	10^2	Sable fin	2 minutes	6.10^4	
10^{-2}	10	Limon	2 heures	6.10^5	
10^{-2}	10	Kyste de protozoaire	20 heures	6.10^5	Colloïdes
10^{-3}	1	Argile	2 jours	6.10^6	
10^{-3}	1	Bactérie	8 jours	6.10^6	
10^{-4}	10^{-1}	Colloïde	2 ans	6.10^7	
10^{-5}	10^{-2}	Colloïde	20 ans	6.10^8	

III La coagulation

Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension, on dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste à déstabiliser des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives, pour ce faire on utilise des réactifs chimiques nommés coagulants. Les coagulants sont des produits capables

de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau, le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût. Le type de coagulant et la dose ont une influence sur :

- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée ;
- Le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration ;
- Le coût d'exploitation (HERNANDEZ, 2006).

La figure ci-dessous nous montre le principe du phénomène de coagulation-floculation. (LOUNAS, 2009).

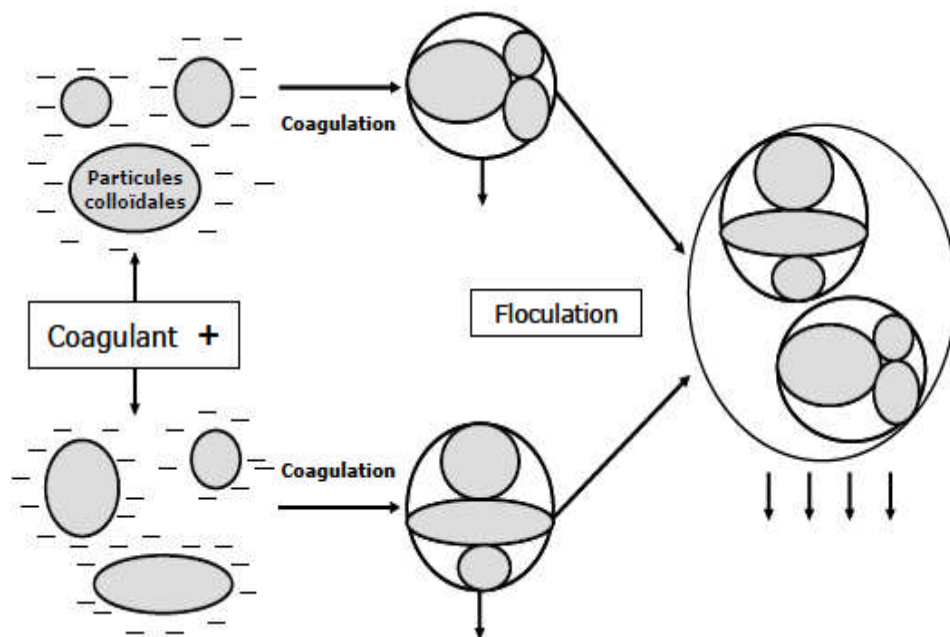


Figure 02 : Principe de la coagulation-floculation (LOUNAS, 2009).

III.1 Choix du coagulant

Un certain nombre de paramètres doivent être pris en compte pour le choix du coagulant à savoir :

- La Température de l'eau,
- Les Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique),
- Les Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou matières organiques, par exemple),
- La Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...),
- Le Coût du produit,
- Le Choix imposé ou "considération esthétique" (BENYOUB *et al*, 2014).

III.2 paramètres influençant la coagulation

Pour optimiser le procédé de coagulation-floculation, il faut tenir compte de plusieurs variables en relation, comme le pH, la dose du coagulant, les conditions de mélange et la température.

a) Influence du pH

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation, il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques (LOUNAS, 2009).

b) Influence de la dose de coagulant

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une déstabilisation des particules et augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité de réactifs ne peut se déterminer facilement.

Pratiquement, la dose optimale de coagulant peut être déterminée soit par l'emploi de la mesure du potentiel zêta (nécessite un matériel très coûteux), soit par un test au laboratoire, connu sous le nom de "Jar-Test" (LOUNAS, 2009).

c) Influence de la température

La température joue un rôle important. En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, créant une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons (LOUNAS, 2009).

d) Influence de la turbidité

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant.

Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration des particules par addition d'argiles. Dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation (LOUNAS, 2009).

e) Influence des conditions de mélange

Les deux étapes de formation du floc consistent en une phase d'agitation rapide suivie d'une phase d'agitation lente permettant la maturation du floc. Néanmoins, il faut éviter que l'agitation soit trop intense car elle empêche l'agrégation, ni trop prolongée car elle entraîne la déstabilisation des colloïdes (LOUNAS, 2009).

III.3 coagulants utilisés

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules sont :

III.3.1 Les sels d'aluminium

a) **Le sulfate d'aluminium** : disponible en poudre hydratée, ou en solution commerciale diluée au ½. Les doses sont toujours exprimées en poids de poudre dont la formule chimique est $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O)$, cette poudre contient en poids 17 % d'alumine Al_2O_3 , et une densité d'environ 1,3 d'environ (KETTAB, 1992).

b) **Le W.A.C** : c'est un polychlorure d'aluminium dont la formule chimique, mal connue, est à peu près $(Al_6(OH)_9SOCl_7)_n$, il se présente sous forme de solutions commerciales à 10 % de Al_2O_3 sa densité est de 1,2 (KETTAB, 1992).

c) **Le P.C.B.A** : c'est un polychlorure basique d'aluminium dont la formule chimique générale est $(Al_2(OH)_5Cl)_n$, il est très instable, et se prépare sur place. On exprime parfois les doses de P.C.B.A en poids $AlCl_3(6H_2O)$ ceci permet, lorsque l'on compare différents coagulants d'exprimer les résultats avec les mêmes unités (KETTAB, 1992).

III.3.2 Les sels de fer

a) **Le chlorure ferrique** : est presque toujours commercialisé sous forme d'une solution à environ 41 % de $FeCl_3$, sa densité étant de 1.45 un litre de solution contient donc $1.45 \times 410 = 595$ gr de $FeCl_3$ pur (KETTAB, 1992).

b) **Le sulfate ferreux** : il est peu utilisé dans les eaux potables mais son prix est bas car il s'agit d'un sous produit, il se présente sous forme d'un produit cristallisé de couleur verdâtre répondant à la formule $FeSO_4(7H_2O)$, sa densité réelle est de 1.3 mais la densité apparente varie en fonction du degré de tassement. la concentration en Fe est de 20 % soit pour 1Kg de produit on a 200 g de Fe. Le fer ferreux est

oxydé en fer ferrique pour précipiter et former des flocons. Ceci se fait grâce au chlore et on obtient comme coagulant la chlorosulfate ferrique (KETTAB, 1992).

- c) **Le chlorosulfate ferrique** : il est sous forme d'un liquide de densité 1.5 et de formule chimique $\text{FeSO}_4 \text{ Cl}$. La concentration en Fer est de 200 g/l. ce produit est commercialisé par la société Rhone Poulenc (France), sous le nom de CLAIRTAN. Un projet de commercialisation de ce produit par SNS Annaba (Algérie) existe car c'est un sous produit qui sera valorisé (KETTAB, 1992).

IV La Floculation

La floculation a pour objectif de favoriser à l'aide d'un mélange lent les contacts entre les particules déstabilisées, ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation (secondaire) et d'une filtration. Une coagulation-floculation, suivie d'une décantation appliquée sur une eau domestique, permet d'éliminer jusqu'à plus de 90 % des matières en suspension et de 40 à 65 % de la DBO_5 (LAZAROVA et al, 2003).

la figure ci-dessous explique le phénomène de la floculation (BOUAZZA, 2011).

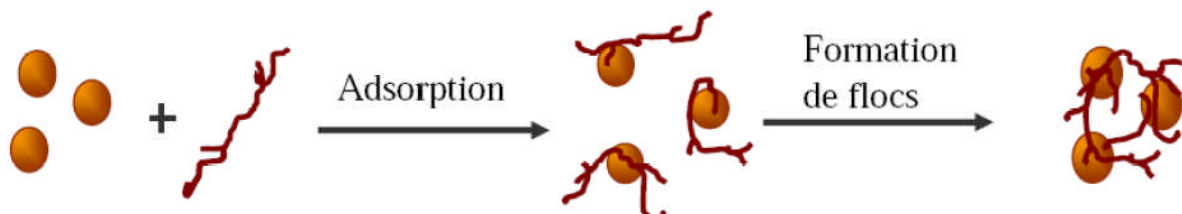


Figure 03 : Adsorption et pontage à l'aide d'un polymère (BOUAZZA, 2011).

IV.1 Les flocculant utilisées

On distingue des flocculants naturels et synthétiques:

1-Les flocculants naturels : Ce sont des polymères hydrosolubles pouvant avoir une charge anionique, cationique ou neutre. Ils agissent par adsorption, on distingue :

1-a) les flocculants organiques :

- Les dérivés amyliques : les amidons oxydés anioniques, les amidons cationiques traités par des amines et les amidons phosphatés
- Les polysaccharides : Exemple : Alginate de sodium ($\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$), Soluble dans l'eau, tirés des algues et de caractère fortement anionique. (MOHRI, 2013).

1-b) Les flocculants minéraux : Ce sont des composés colloïdaux agissent soit par adsorption, soit par neutralisation de charges sur les produits en suspension. Ils comprennent :

- Les Hydroxydes métallique (alumine).
- Les argiles colloïdes (bentonites).
- La silice activée (SiO_2) (MOHRI et al, 2013).

2- Les floculants synthétique : ils agissent par pontage (fonction amide très polaire permettant des pontages avec des matières colloïdes). Ce sont :

- Les polyamines ;
- Les polycrylamides ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$)_x (Polycrylamides non ioniques, Polycrylamides anioniques, Polycrylamides cationiques...ect.) (MOHRI et al, 2013).

2-a) Polyacrylamide non ionique : est un homopolymère constitué de l'acrylamide,

Cette série de produits a un groupe spécial, qui la dote de beaucoup de fonctions, telles que la dispersion, s'épaississant et collant, gel, colloïdal stable. Il est employée couramment dans l'industrie textile, est également en tant qu'agent de traitement d'eaux usées (MOHRI et al, 2013).

2-b) Polyacrylamide anionique : est principalement employé :

- Pour le traitement des minerais pleins dans la suspension neutre ;
- pour améliorer l'effet de déplacement des solides et du phosphate suspendus ;
- Dans le traitement des eaux résiduaires urbain et industriel ;
- Dans le traitement des eaux résiduaires de l'industrie métallurgique ;
- Dans la clarification d'eau de surface (MOHRI et al, 2013).

D'une manière générale, les réactifs polymériques anioniques et non ioniques sont les plus efficaces sur les suspensions de particules minérales et pratiquement toujours peu actifs sur les suspensions organiques qui sont par contre très bien floculées par certains polyélectrolytes cationiques.

Dans le cas de suspensions mixtes (particules minérales et organiques), le comportement suivi correspond à celui d'une suspension de l'espèce prédominante, mais il arrive que l'on assure une double floculation : adjonction séparée dans deux réacteurs agités successivement d'un polyélectrolyte cationique puis anionique.

Pour des suspensions peu concentrées en particules par ailleurs finement dispersées ou des effluents chargés d'huiles ou d'hydrocarbures à l'état émulsionné, le conditionnement par des réactifs polymériques employés seuls s'avère difficile et conduit à une déstabilisation imparfaite avec pour conséquence une mauvaise clarification des eaux résiduaires (MOHRI et al, 2013).

V La séparation solide-liquide

Une fois le floc formé, il faut le séparer de l'eau. C'est ce qu'on appelle la séparation solide liquide. Elle peut s'effectuer par différents moyens :

- la coagulation sur filtre,
- la décantation,
- la flottation (VALENTIN, 2000).

VI Le jar-test

La détermination de la coagulation, floculation, décantation en laboratoire est réalisée par ce qu'on appelle le *jar test*. Il consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter à la même vitesse. Les différents béchers ont reçu une dose différente de réactifs et à la fin de l'expérimentation, on détermine quels sont les couples quantités de réactifs / vitesse et temps d'agitation qui permettent d'obtenir l'eau la plus limpide, les floccs les plus gros et les mieux décantés. Concernant les vitesses d'agitation, la seule certitude est que la coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent, la floculation, quant à elle nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés (ANONYME, 2015).

La figure ci-dessous montre les phénomènes effectués par le jar-test

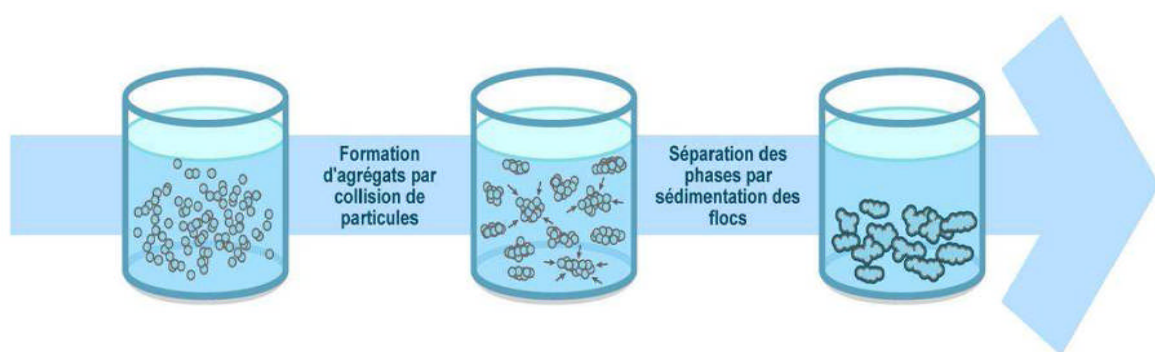


Figure 04 : Processus de coagulation floculation décantation (ABDENNOURI, 2015).

Partie expérimentale

CHAPITRE IV

Matériels et méthodes

I Introduction

Si la quantité globale d'eau douce disponible chaque année sur l'ensemble de la planète est importante, localement les situations sont très contrastées car l'eau douce est répartie de manière très inégale sur notre globe. Dans certaines régions, l'eau coule d'abondance, pour le régal des riverains, dans d'autres cependant la sécheresse domine.

Au cours des dernières années, l'Algérie a connu une forte demande en eau potable, amplifiée par une forte croissance démographique dans les grands centres urbains. Cette problématique de l'eau a été résolue par de gros investissements mettant en service d'importantes infrastructures de protection et de distribution d'eau potable. Etant donné que le traitement des eaux est une étape indispensable et réglementée, les stations de traitement de l'eau potable figurent parmi les infrastructures auxquelles une grande importance a été donnée.

II.1 Présentation du barrage de Taksebt

Le barrage de Taksebt est situé sur l'Oued Aissi, affluent du Sébaou dans la willaya de Tizi-Ouzou, à environ 7 km au sud-est de la ville de Tizi-Ouzou et 100 km à l'est de la ville d'Alger. (Voir la figure 05)

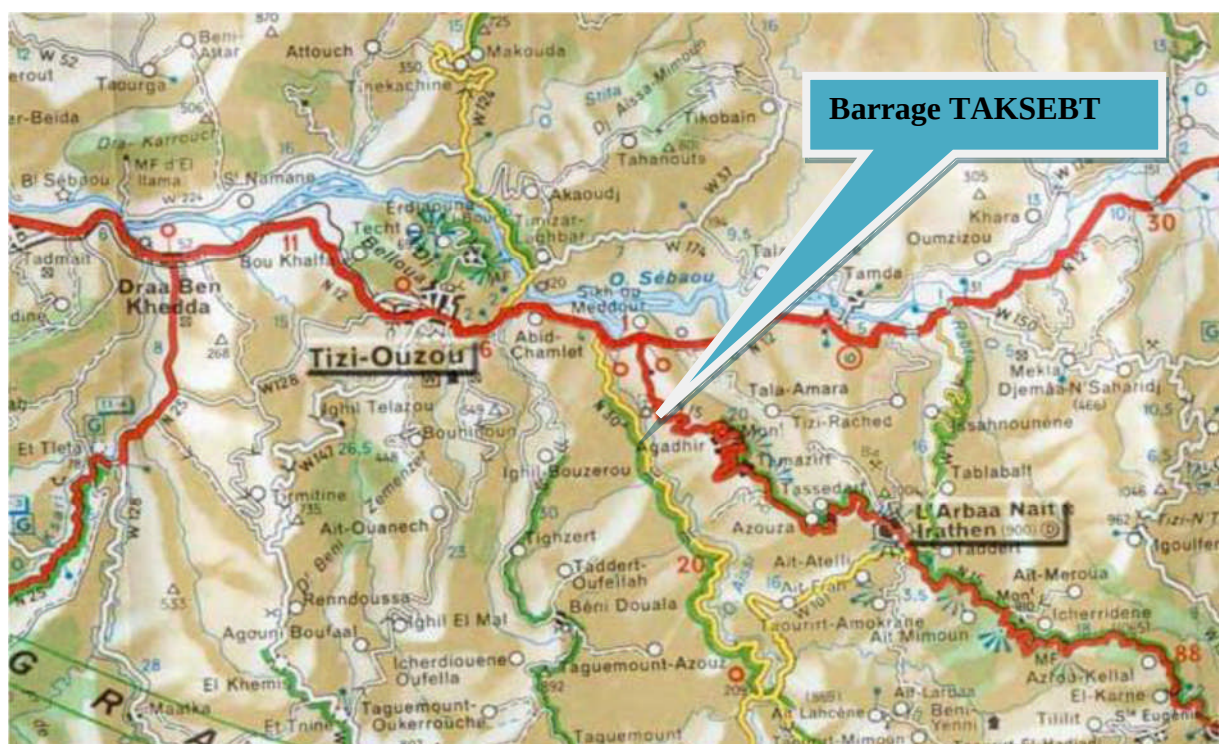


Figure 05 : Localisation du barrage de TEKSEBT (Google maps, 2014)

La retenue créée par le barrage a une capacité de 175 million de m³ permettant une régularisation de 180 million de m³, destinée à l'alimentation en eau potable et répartie comme suite:

- 57 million de m³ pour Tizi-Ouzou
- 123 million de m³ pour Alger (SUEZ DEGREMONT).

II.2.Description et fonctionnement de la station

La station de Taksebt a été mise en service en **Mai 2007**. Elle a été dimensionnée pour traiter un débit maximal d'eau de **616 000 m³/J**.

L'eau qui alimente la station de pompage vers la station de traitement arrive gravitairement du barrage Taksebt qui est alimenté à son tour par l'Oued Aissi et de l'oued Bougdoura.

L'eau subit différentes étapes de traitement quotidien avant d'être distribuée aux consommateurs (SUEZ DEGREMONT).

II.2.2.Présentation de la station de traitement Taksebt

La station de traitement des eaux de surface se situe à environ **8Km** du barrage de Taksebt. Elle occupe une superficie de **34 Hectares**. Elle est conçue pour alimenter en eau potable les communes suivantes: FREHA, AZAZGA, DRAA-BEN-KHEDDA, centre willaya de Tizi-Ouzou et le grand ALGER. Le transport se fera de façon gravitaire depuis la station de traitement jusqu'au réservoir d'eau traitée de DRAA-BEN-KHEDDA, puis l'eau continue à être transférée à travers les conduites de fonte et tunnels jusqu'au réservoir de BOUDOUAOU (SUEZ DEGREMONT).

La localisation géographique de la station de traitement de Taksebt est représentée par la

Figure 06



Figure 06 : Localisation de la station de traitement Taksebt. (Google earth 2013)

II.2.3 Capacité de la station

La production nominale de la station de traitement de Taksebt est de **605 000 m³/j** équivalent à **7 000 l/s**, basée sur un approvisionnement en eau brute de **616 000 m³/j**.

La capacité hydraulique nominale de la station est de **647 000 m³/j**, prenant en compte un débit recyclé de **5%** du débit d'eau brute, le tableau ci-dessous présente les différents caractéristiques et leur capacité journalière

Tableau 05 : Caractéristiques de la station de traitement de Taksebt (SUEZ DEGREMONT)

Caractéristiques	Capacités
Débit d'eau brute	616 000m ³ /j
Volume des boues extraites des clarificateurs	7 400 m ³ /j
Volume des boues extraites des filtres	3 600 m ³ /j
Production d'eau traitée	605 000m ³ /j

II.2.4 Chaîne de traitement

L'eau brute provenant du barrage du TAKSEBT, subit un traitement avant son acheminement vers la station de pompage d'arrivée

1. L'arrivée de l'eau brute à la station se fait dans la chambre de dissipation : elle subit une chute par dessus d'un déversoir afin d'assurer un niveau minimum et un volume tampon capable de tranquilliser l'arrivée de l'eau brute, l'eau surnageant des dessableurs est également retournée dans cette chambre. (Voir la figure07)



Figure 07 : Chambre d'arrivée de l'eau brute

2. L'eau brute passe ensuite à travers la chambre de mélange, un temps de contact suffisant pour assurer le mélange homogène des réactifs ajoutés :

- le chlore est utilisée pour limiter la présence d'organisme (algues bactéries et planctons) (voir la figure 08)
- Le permanganate de potassium pour limiter la présence de manganèse et/ou contrôler la charge biologique (voir la figure09).
- Le charbon actif en poudre (CAP) (voir la figure10) pour le contrôle du gout et des odeurs.
- Le sulfate d'alumine, un coagulant facilite la clarification dans les décanteurs. (Voir la figure 11)
- L'acide sulfurique pour l'ajustement du PH pour optimiser la coagulation. (Voir la figure12)
- Un polymère pour assurer une bonne floculation et décantation des floes dans les Pulsatube. (Voir la figure13) .

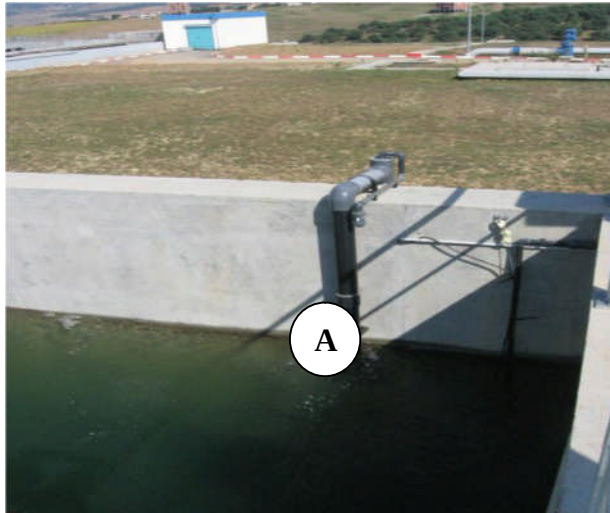


Figure 08 : Injection de Cl_2 en pré-chloration

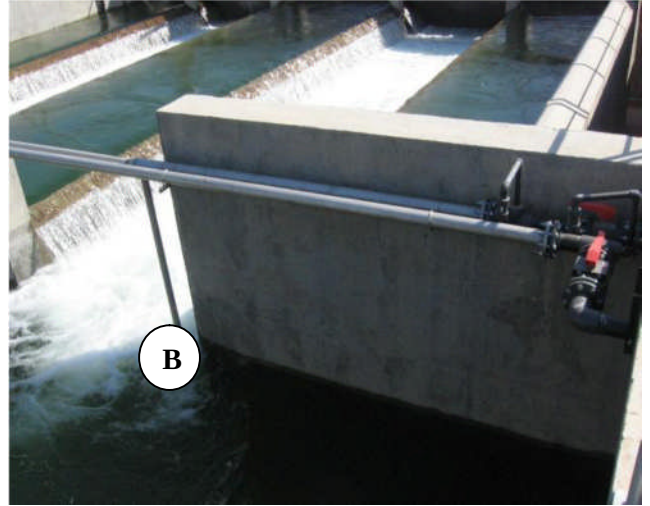


Figure 09 : Permanganate de Potassium (KMnO_4)

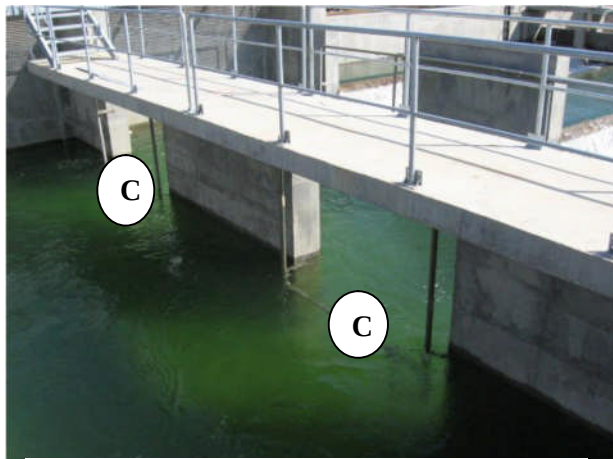


Figure 10 : Injection de CAP

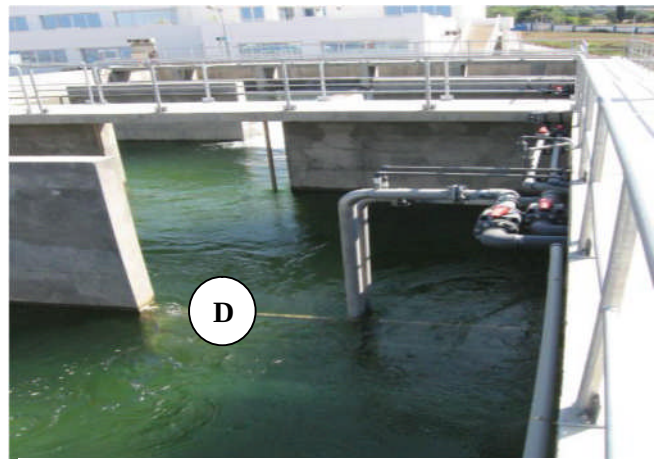


Figure 11 : Injection du Sulfate d'alumine

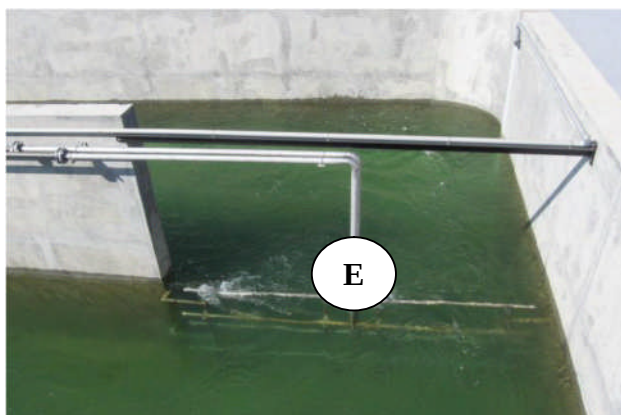


Figure 12 : Injection de l'Acide sulfurique



Figure 13 : Injection de polymère

Les points **A, B, C, D, E, F** c'est des points d'injection

3. En sortie de la chambre de mélange, l'eau est répartie dans les décanteurs depuis le canal de répartition (voir la figure14); l'ajout de polymère en amont des décanteurs, sur les déversoirs de

l'ouvrage de répartition, permet la concentration des MES en floccs plus facilement décantables mais les particules colloïdales ne peuvent être décantées efficacement que si elles entrent en contact entre elles pour former des floccs de plus grande taille, les contacts entre ces particules sont autant plus fréquents que leur concentration est grande dans l'eau, c'est le principe de base des décanteurs à lit de boues, dont fait partie le pulsatube et pour un meilleur contact, le lit de boue reste en expansion et l'entrée d'eau est pulsée non permanente



Figure 14 : Les décanteurs (Pulsa tube).

4. L'eau venant des décanteurs est répartie entre les 24 filtres (voir la figure15), où elle est filtrée gravitairement, elle passe à travers un lit filtrant constitué de sable, les matières en suspension sont retenues dans les espaces intergranulaires ; l'eau filtrée est ensuite collectée dans un canal et dirigée vers les cuves de contact de chlore (la post chloration).

La rétention des matières solides continues dans l'eau provoque une obstruction progressive des interstices existant entre les éléments constitutifs de la matière filtrante,

et provoque le colmatage de filtre, il doit être nettoyé pour le remettre en service (lavage des filtres).



Figure15 : Les filtres AQUAZUR V

5. Après l'injection du chlore à l'eau filtrée (post chloration), des cuves de contact débouchent sur le réservoir pour assurer un stockage avant distribution, et pour limiter le pouvoir corrosif de l'eau, de la chaux est injectée.

6. Les eaux de lavage des filtres sont d'abord concentrées dans les dessableurs (voir la figure16), afin d'extraire les sables et les pompés vers le bassin d'équilibre, l'eau débarrassée des sables est recyclée en tête de la station, dans la chambre de dissipation. Ensuite les boues du décanteur sont mélangées aux boues issues des lavages des filtres dans le bassin d'équilibre (bassin tampons) permettant d'uniformiser le débit à acheminer vers les épaisseurs. Elles sont ensuite dirigées vers les épaisseurs (voir la figure17) afin de réduire le volume des boues rejetées par l'augmentation de leur concentration.

Le tassage des boues au fond de l'ouvrage et la séparation de l'eau en surface (le surnageant) permet leur extraction vers les lagunes de stockage. Le surnageant est évacué vers le trop plein et les boues sont évacuées vers les lagunes ou elles vont se sécher naturellement.



Figure 16 : Dessableur



Figure 17 : Épaississeur

La figure ci-dessous présente le schéma générale de l'usine de traitement d'eau potable de la station TAKSEBT

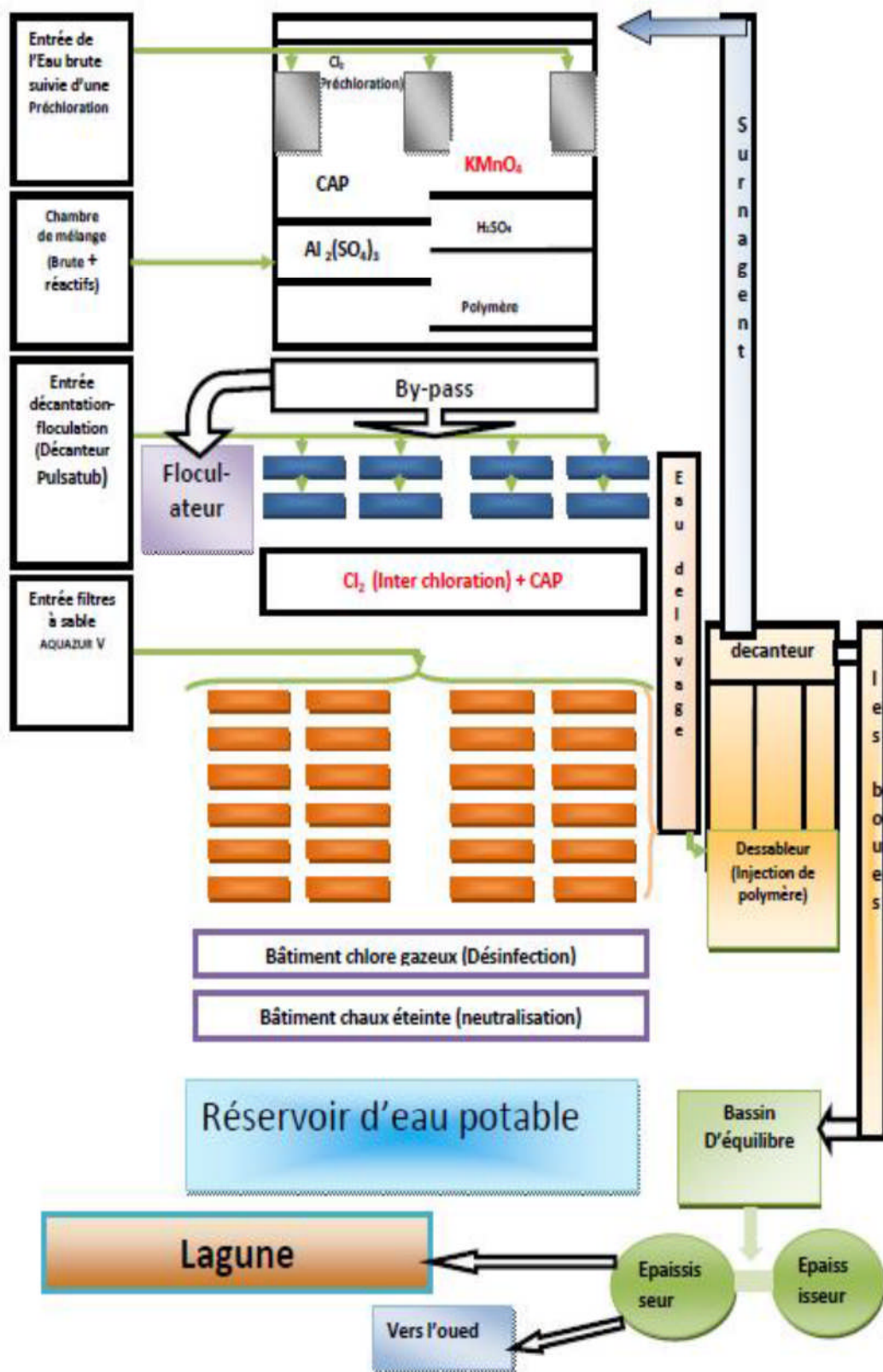


Figure 18 : Schéma Générale de l'usine de traitement d'eau potable de la station TAKSEBT

II.2.5 Technique d'analyse des paramètres de qualité de l'eau au laboratoire

La qualité de l'eau produite a été mise en évidence grâce aux tests organoleptiques, analyses physico-chimiques et microbiologiques.

II.2.6 Méthodes d'échantillonnage

Le prélèvement s'effectue à partir d'un robinet (voir la figure 19), qui se trouve dans le laboratoire d'analyse, ouvert 24h/24h pour ne pas modifier les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques de l'eau



Figure 19 : les robinets des prélèvements

III Matériels et produits

III.1 Matériels utilisés au niveau de la station Taksebt

- Jar-test à six béchers Lovibond;
- Turbidimètre HACH 2100N avec une cuvette de verre incolore de 50mm de diamètre;
- Ph Mètre WTW avec terminal 730 et électrode en verre;
- Agitateur magnétique (VWR) ;
- Conductimètre, WTW avec terminal 740;
- Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000 ;
- Rampe Santorius;
- Étuve réglable BINDER
- Balance analytique OHAUS AdventurerPro;
- Micropipettes (100-1000µl);
- Filtre en acétate de cellulose (0,45µm de diamètre des pores);

- Capsule en porcelaine, dessiccateur, pissette, tubes à essai;
- Verreries: béchers, pipettes, erlenmeyers ;
- Pissettes ;
- Poires ;
- Papier hygiénique ; ciseau ;
- Barreau magnétique;
- Chronomètre;
- Distillateur.

III.2 Produits

- Acide sulfurique
- Sulfate d'aluminium
- Polymère eau (anionique)
- L'eau distillé
- **Réactifs :**
- ascorbic acid (acide ascorbique)
- Aluver 3
- Bleaching 3

IV Modes opératoires

IV.1 Essai de traitabilité par coagulation-floculation (jar test)

IV.1.1 Objet

Détermination au laboratoire les taux de traitement à appliquer à l'eau brute pour obtenir les meilleurs résultats de coagulation/floculation. (Voir la figure 20)

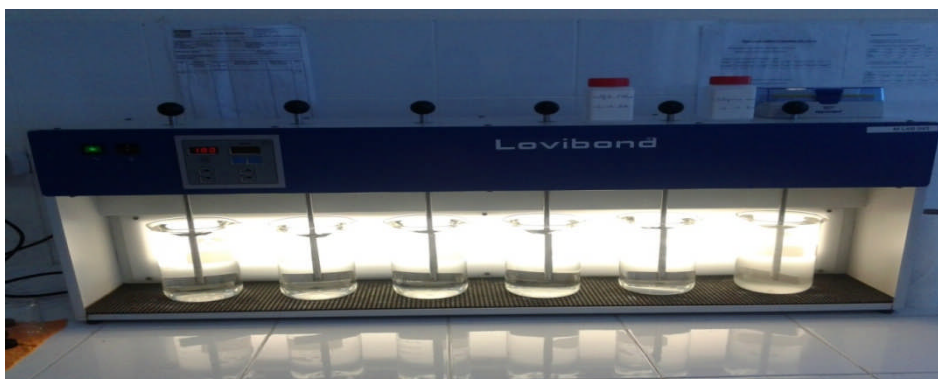


Figure 20 : Appareil de jar-test

IV.1.2 Matériel nécessaire

- Six béchers d'une contenance de 1 L.
- PH mètre électronique pour la mesure du pH.
- Chronomètre pour la mesure du temps d'agitation et de décantation.
- Pipettes graduée pour l'injection des doses de coagulant
- Micropipette pour l'injection des doses de floculant
- Turbidimètre pour la mesure de la turbidité de l'eau avant et après traitement (coagulation-floculation).
- Spectrophotomètre pour la mesure de la couleur et UV et l'aluminium
- Pipettes de 25 ml pour siphonner l'eau dans les béchers

IV.1.2 Préparation des solutions

a) Sulfate d'alumine

Préparation d'une solution de 10 g/l de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$: faire dissoudre 2.5 g de sulfate d'alumine en poudre dans 250 ml d'eau de service

b) Polymère

Préparation d'une solution de 0.1 % (P/V) : faire dissoudre 0.1 g de polymère anionique en poudre dans 100 ml d'eau de service

IV.1.3 Application

a) Détermination de la dose optimale en coagulant

- Mettre le floculateur dans un endroit protégé du soleil, de la chaleur, des courants d'air et des vibrations ;
- Agiter l'échantillon prélevé et remplir chaque bécher du floculateur d'un litre d'eau à tester, mettre les pales d'agitation en place ;
- Noter la température de l'eau brute ;
L'essai doit être réalisé à la température la plus réaliste possible, maintenir autant que possible la température de l'eau constante au cours d'un essai
Noter également les autres paramètres physiques de l'eau brute : ph, turbidité, conductivité, couleur, UV,
- A l'aide d'une pipette graduée, ajouté le coagulant le plus rapidement possible et de manière reproductible dans chaque bécher ;
Les doses appliquées dans chaque bécher sont croissantes de façon à « encadrer » la dose optimale présumée ;

L'écart entre deux doses successives de coagulant doit être suffisant pour obtenir des variations significatives de la qualité de l'eau décantée (exemple : une différence de 10 mg/l entre chaque bécher...)

- Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min, les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les béchers ;
- Déclencher le chronomètre ($t=0$) ;
- Après 2 min ($t = 2$ min) d'agitation rapide (dispersion du réactif, coagulation), réduire la vitesse de rotation des pales à 40 tours/min (agitation lente). Dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min ;
- Au temps $t= 20$ min, relever les pales des agitateurs (doucement en prenant soin de ne pas casser les floccs formés) en respectant un décalage de 15 à 30 s entre chaque bécher ;
- Attendre 45 min de décantation, ce temps doit être suffisant pour obtenir une bonne décantation des floccs mais pas trop long pour conserver des variations significatives de la qualité des eaux traitées (en particulier la turbidité) ;
- Prélever, à l'aide d'une pipette de 25 ml dans chaque bécher en veillant à ne pas siphonner la surface de l'eau ;
- Homogénéiser (mélanger manuellement) chaque échantillon d'eau siphonné et procéder aux analyses suivantes selon les objectifs du traitement ;
- Pour les eaux après coagulation :
 - Turbidité
 - PH après coagulation
 - Température
 - Conductivité
 - Aluminium
 - UV, couleur
 - Taux de matière en suspension
- Tracer les courbes de turbidité en fonction de la dose du coagulant.

Avec la plupart des coagulants, les courbes passent par un minimum qui correspond au taux de traitement optimal, parfois ce minimum n'est pas net et on observe plutôt un palier. Dans ce cas la dose optimale correspond au début du palier ;

Si les courbes ne présentent ni minimum ni de palier et :

- si la qualité de l'eau traitée s'améliore lorsque la dose du coagulant augmente, la dose optimale est supérieure aux doses testées, recommencer l'essai en augmentant les doses du coagulant ;
- si la qualité de l'eau traitée se dégrade lorsque la dose du coagulant augmente, la dose optimale est inférieure aux doses testées, recommencer l'essai en diminuant les doses du coagulant
- si les courbes ne présentent pas de variations significatives, la dose optimale est inférieure aux doses testées, recommencer l'essai en diminuant les doses du coagulant

b) Détermination du pH optimum

- pour déterminer le pH optimal, on prend six bêcher remplis d'une eau brute, et on injecte une dose fixe du coagulant dans chaque bêcher. Le pH est différents dans chacun des bêcher.
- Le pH du bêcher où il y aura le meilleur rendement d'élimination, représentera le pH optimal de coagulation.
- si le PH de l'eau coagulée pour la dose optimale du coagulant est inférieur à 6 pour les sels d'aluminium, répéter l'essai en ajoutant une base (chaux ou soude) de façon à obtenir un PH de coagulation constant sur tous les bêchers ;
On détermine donc la concentration optimale du coagulant (en mg/l)

c) Détermination de la dose optimale en floculant

- Vider les bêcher, les rincer et remplir chacun avec un litre d'eau à analyser
- Injecter la dose optimale du coagulant obtenue dans chaque bêcher
- Déclencher le chronomètre ($t = 0$)
- Démarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min, pendant 90 secondes, les pales et leur vitesse de rotation doivent être identiques dans tous les bêchers ;
- Arrêter l'agitation et injecter le floculant le plus rapidement possible et de manière reproductrice dans chaque bêcher

Les doses appliquées dans chaque bêcher sont croissantes de façon à « encadrer » la dose optimale présumée ;

L'écart entre deux doses successives de coagulant doit être suffisant pour obtenir des variations significatives de la qualité de l'eau décantée (exemple : une différence de 0.025 mg/l entre chaque bêcher...)

- Redémarrer l'agitation à la vitesse de 180 tours/min pendant 30 secondes, puis réduire la vitesse à 40 tours/min (agitation lente), dans tous les cas, la durée d'agitation (rapide puis lente) ne doit pas excéder 20 min
- Noter le temps d'apparition du floc après introduction du floculant ;
- Au temps $t = 10$ min et $t = 20$ min, noter l'aspect de floculation exprimée par une note
- Au temps $t = 20$ min, relever les pales des agitateurs (doucement en prenant soin de ne pas casser les flocs formés) en respectant un décalage de 15 à 30 s entre chaque béccher ;
- Attendre 45 min de décantation, ce temps doit être suffisant pour obtenir une bonne décantation des flocs mais pas trop long pour conserver des variations significatives de la qualité des eaux traitées (en particulier la turbidité) ;
- Prélever, à l'aide d'une pipette de 25 ml dans chaque béccher en veillant à ne pas siphonner la surface de l'eau ;
- Homogénéiser (mélanger manuellement) chaque échantillon d'eau siphonné et procéder aux analyses suivantes selon les objectifs du traitement ;
 - Pour les eaux après floculation :
 - Turbidité
 - PH après floculation
 - Température
 - Conductivité
 - Aluminium
 - UV, couleur
 - Taux de matière en suspension
- Déterminer la concentration optimale en floculant (en mg/l), de la même manière que pour la concentration optimale en coagulant

IV.2 Mesure de la turbidité

IV.2.1 Principe

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. l'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. La turbidité peut être évaluée par un certain

nombre de méthodes qui sont pratiquées suivant les nécessités sur le terrain ou au laboratoire. Le principe consiste à comparer entre la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon de solutions de formazine (étalon).

IV.2.2 Mode opératoire

Remplir la cuve de mesure avec l'échantillon à analyser et bien essuyée avec du papier hygiénique, il est recommandé d'effectuer la mesure aussi rapidement que possible après le prélèvement (voir la figure 21). De toute façon, les échantillons doivent être agités vigoureusement avant la mesure (homogénéisation). En raison des caractérisations propres aux matières en suspensions. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. Cette mesure est obtenue directement en NTU (Nephelometric Turbidity Units). La norme Algérienne est de 5 NTU.



Figure 21 : Appareil de turbidimètre

IV.3 Mesure de la conductivité

IV.3.1 Principe

La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (pt) de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. Il est nécessaire que la tension appliquée soit suffisamment faible pour éviter le phénomène d'électrolyse.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m). Elle s'exprime, généralement, en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

IV.3.2 Mode opératoire

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner ; et effectuer la mesure. (voir la figure 22)

La valeur limite de la conductivité est de $2800 \mu\text{S}/\text{cm}$.



Figure 22 : Appareil de conductimètre

IV.3.3 Température

Elle se fait à l'aide d'une sonde de température qui est connectée au conductimètre.

IV.4 Mesure du pH

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène (H^+) présent dans l'eau ou les solutions. La différence de potentiel existe entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel KCl saturé), plongeant dans une même solution, qui est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

IV.4.1 Mode opératoire

Tremper l'électrode dans un bécher contenant une quantité suffisante d'eau à analyser avec une faible agitation, attendre la stabilisation. Puis noter le pH (voir la 23) figure. Le pH optimal de l'eau est compris entre 6,5 et 8,5.



Figure 23: Appareil de PH mètre

IV.5 Détermination de la matière en suspension (MES)

IV.5.1 Principe

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Celles éliminées par filtration, se fait à l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression (la rampe), l'échantillon est filtré sur un filtre taré. Le filtre est ensuite séché à 105°C et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée.

IV.5.2 Mode opératoire

- Filtrer 500 ml d'eau distillée sur un filtre pour vérifier les pertes de charge, le sécher dans l'étuve à 105° C pendant 1h
- Filtrer un volume V (250 ml) de l'échantillon sur le filtre précédent, le remettre dans l'étuve à 105° C pendant 4h.
- Mettre le filtre dans le dessiccateur, le peser après refroidissement.

La teneur en milligrammes de matières totales en suspension par litre d'eau est donnée par l'expression:

$$\text{MES} = (P_1 - P_0 / V) 10^6 \dots (\text{mg} / \text{l})$$

On a :

P_0 et P_1 : les masses de papier filtre avant et après séchage.

V : est le volume de l'échantillon en ml.



Figure 24 : Rampe de filtration



Figure 25 : Etuve

IV.6 Longueur d'onde unique (UV) absorbance à 254 nm

IV.6.1 Principe

La mesure de l'absorption à 254 nm est un indice caractéristique des substances possédant une ou plusieurs doubles liaisons (carboxyliques, benzéniques.....). La mesure de l'absorbance peut nous renseigner sur le contenu organique d'une eau, notamment la fonction aromatique. L'absorbance (densité optique) lue sur un spectrophotomètre peut permettre une estimation de la teneur en substances humiques d'une eau naturelle (une eau de surface).

IV.6.2 Mode opératoire

Les mesures de l'absorbance en UV à 254 nm ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz)

-Pour la lecture des résultats des échantillons : Appuyer sur programme, sélectionner le programmes d'analyse (longueur d'onde unique).

-Lire le blanc : remplir la cellule avec l'eau distillée et bien essuyée l'extérieur de la cellule avec papier hygiénique et l'introduire dans le compartiment de la cellule

-Sélectionner sur l'écran : « Zéro » indication à l'écran 0,000

En suite on prend la cellule on la rince avec l'échantillon

- Remplir la cellule avec l'échantillon à analyser et essuyée bien avec le papier hygiénique et l'introduire dans le compartiment de la cellule
- Sélectionner sur l'écran : « mesurer » les résultats sont indiqués en (nm)



Figure 26 : mesure de l'UV par le spectrophotomètre

IV.7 Détermination de la couleur

IV.7.1 Principe

La couleur est due, le plus souvent, à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales. La couleur d'une eau est dite **vraie ou réelle** lorsqu'elle est due aux seules substances en solution (matières organiques dissoutes ou colloïdales). Elle est dite **apparente ou fausse** quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (algues, argiles, fer, manganèse ...). La mesure de la couleur vraie est réalisée sur l'échantillon filtré et par comparaison à une solution de référence (platine-cobalt) dont l'unité de concentration exprimée en mg/l est aussi appelée degré Hazen (°H).

IV.7.2 Mode opératoire

La mesure de la couleur a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre

La lecture des résultats des échantillons : Appuyer sur programmes enregistrés, sélectionner le programme d'analyse par numéro « 120 »

On fait passer le blanc : remplir la cellule avec l'eau distillée, s'assurer qu'il n'y a pas de bulles d'air et bien essuyée l'extérieur de la cellule avec le papier hygiénique et l'introduire dans le compartiment de la cellule.

Sélectionner sur l'écran le « Zéro » indication à l'écran 0.000.....

On prend la cellule on la rince avec l'échantillon à analyser

Remplir la cellule avec l'échantillon et bien essuyée avec le papier hygiénique et l'introduire dans le compartiment de la cellule

Sélectionner sur l'écran « mesurer » les résultats sont indiqués en (ptCo)

IV.8 Aluminium

IV.8.2 Mode opératoire

-Remplir six éprouvettes graduée pour homogénéisation de 50 ml jusqu'au trait de 50 ml avec l'échantillon. (Eau décanté)

-Transférer le contenu d'une pochette de réactif à l'acide ascorbique dans l'éprouvettes. Boucher et retourner plusieurs fois pour homogénéiser jusqu'à dissolution de la poudre.

-Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour aluminium AluVer 3 dans l'éprouvette. Boucher.

Une coloration rouge-orange apparaîtra en présence d'aluminium.

-Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.

-Retourner plusieurs fois pour homogénéiser jusqu'à dissolution de la poudre pendant une minute. Des résultats aberrants seront obtenus s'il reste de la poudre non dissoute.

-Préparation du blanc : Remplir une cuve carrée jusqu'au trait de 10 ml avec la mélange de première éprouvette.

-Transférer le contenu d'une pochette de réactif décolorante Bleaching 3 dans la cuve.

-Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.

-Agiter énergiquement pendant les 30 secondes pour homogénéiser. Cette solution devrait virer vers une couleur orange moyennement faible.

-Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.

Une période de réaction de 15 minutes (temps de contact) va commencer.

-Préparation de l'échantillon : Remplir une autre cuve carrée jusqu'au trait de 10 ml avec la solution restante dans la première éprouvette graduée.

-Lire les résultats des échantillons sur le spectrophotomètre, Appuyer sur programmes enregistrés, sélectionner le programme d'analyse.

-Essuyer l'extérieur de la cuve (le blanc en premier) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.

- Sélectionner sur l'écran** : Zéro indication à l'écran : 0,000 mg/l Al^{3+} .
- Essuyer immédiatement l'extérieur des cuves contenant les autres échantillons préparé et l'introduire dans le compartiment de la cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.
- Sélectionner sur l'écran** : Mesurer les résultats sont indiqués en mg /l Al^{3+} .



Figure 27 : Réactifs pour l'aluminium

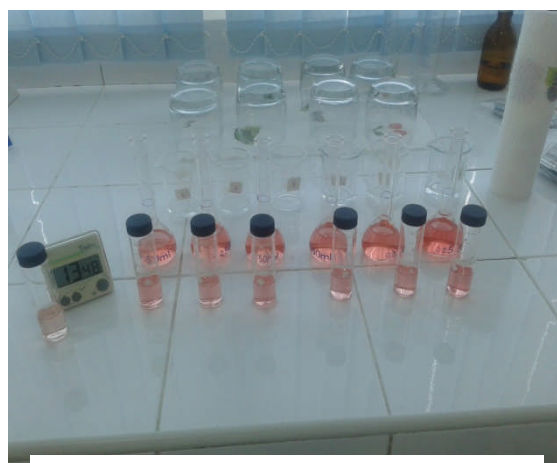


Figure 28 : Dosage d'aluminium

CHAPITRE V

Résultats et discussion

I Détermination des taux de traitement optimums

Dans un premier temps, les essais ont porté sur la détermination des doses de traitement optimales en Sulfate d'Aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) seul.

I.1 Traitement au Sulfate d'aluminium seul

L'analyse physique de l'eau brute, nous indique une turbidité de l'ordre de 1,30 NTU, une conductivité de 462 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 0,049 nm concernant l'absorbance dans l'UV, 7 Pt Co pour la couleur, le pH est de 7.64, et la température de 17,4°C.

I.1.1 Recherche de la dose optimale du coagulant

La détermination de la dose optimale de coagulant à injecter est une étape primordiale, le tableau en annexe 03 (tableau 08) présente les essais de coagulation par jar-test avec des doses croissantes de sulfate d'aluminium allant de 5 à 30 mg/l.

La (figure 29) nous montre la variation de la turbidité et de la couleur en fonction de la dose du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

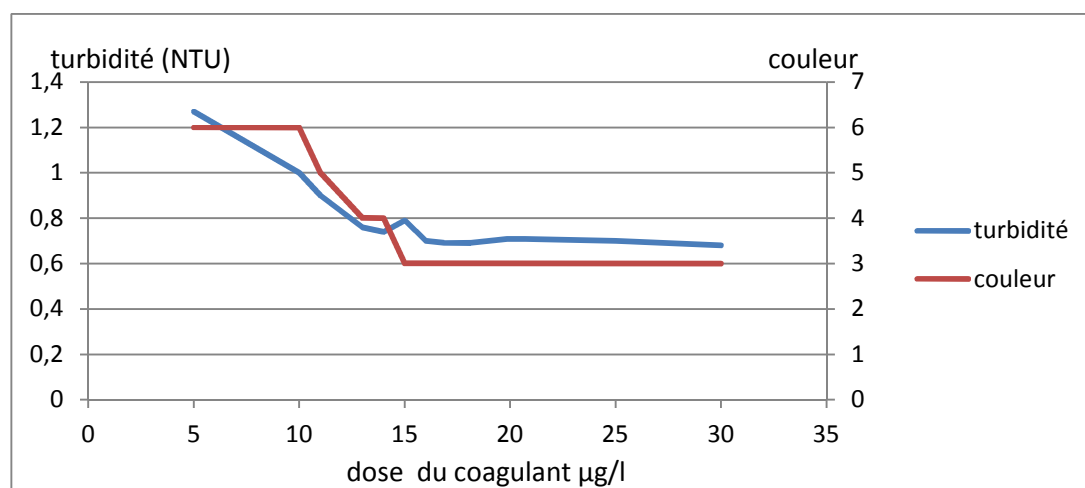


Figure 29 : Variation de la turbidité et de la couleur en fonction de la dose du coagulant

D'après ces courbes on remarque que la turbidité et la couleur diminuent avec l'augmentation de la dose de sulfate d'alumine jusqu'à un point où elle sera stabilisée, le début de palier commence à partir de la dose de 16mg/l de sulfate d'alumine ; c'est la dose optimale de coagulant à injecter. A cette concentration la vitesse de formation des floes est assez bonne mais la vitesse de décantation est faible, la turbidité diminue à 0.7 NTU et la couleur passe à 3 Pt Co.

La figure (30) montre l'influence de la variation des concentrations du coagulant à ajouter sur l'absorbance dans l'UV et la conductivité

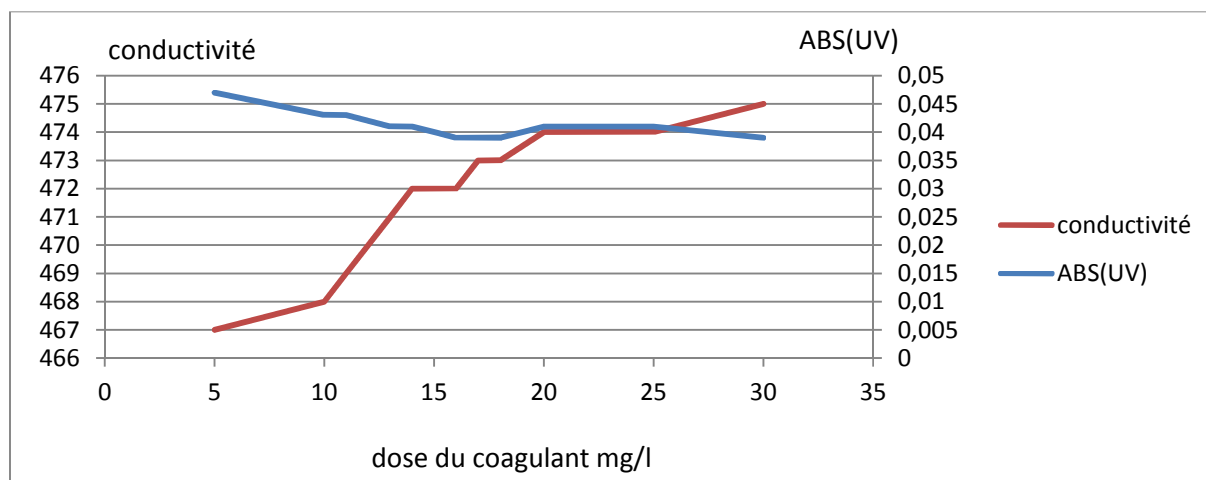


Figure 30 : Variation de l'absorbance (UV) et la conductivité en fonction de la dose du coagulant

On remarque que l'absorbance (UV) diminue avec l'augmentation du coagulant et atteint une valeur de 0,039 nm à la dose optimale (16 mg/l), par contre la conductivité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant qui est due à la présence des ions

L'étude de l'influence de la concentration du coagulant ajoutée sur le pH (figure 31), montre que le pH diminue avec l'augmentation de la concentration, ce qui était prévisible

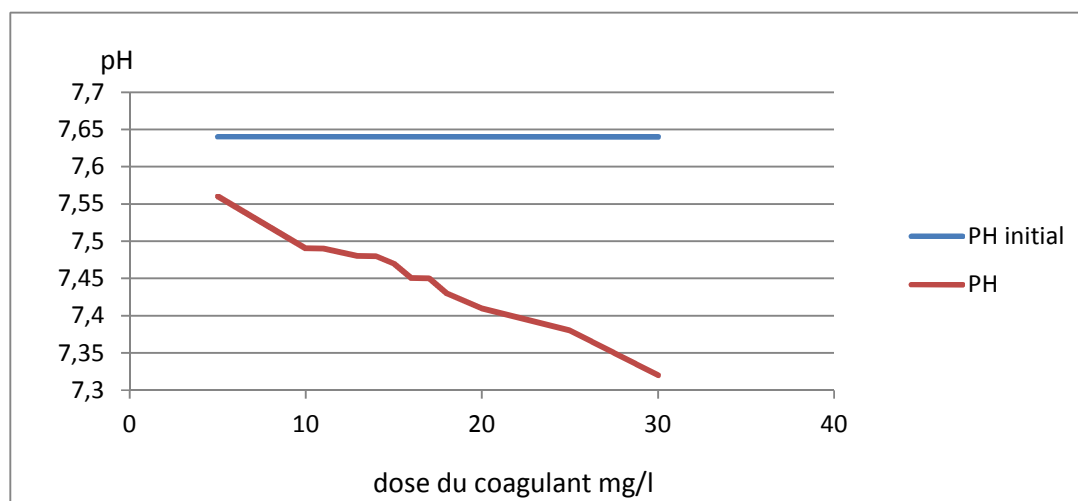
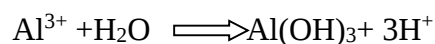


Figure 31 : Variation du pH en fonction de la dose du coagulant $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mg/l

On remarque que le PH diminue avec l'augmentation de la concentration des doses du coagulant injecté ; cette baisse du PH s'explique par le fait des réactions d'hydrolyse du sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) qui est un acide fort suivant la réaction :



De cette réaction on remarque la formation d'un précipité d'hydroxyde d'aluminium, avec libération d'une certaine acidité qui permet de diminuer le PH dans l'eau traitée

I.2 Détermination du pH optimum

Dans cet essai on a fixé la dose du coagulant à 16 mg/l (dose optimale), et on a suivie l'effet de l'acidification du milieu sur la qualité de l'eau, pour cela nous avons utilisé de l'acide sulfurique (H_2SO_4) pour le milieu acide et la soude (NaOH) pour augmenter l'alcalinité du milieu

Le tableau en annexe 03 (tableau 08) présente les essais de coagulation par jar-test avec différent pH

La figure 32 montre l'influence du pH avec le coagulant sur la turbidité et l'absorbance.

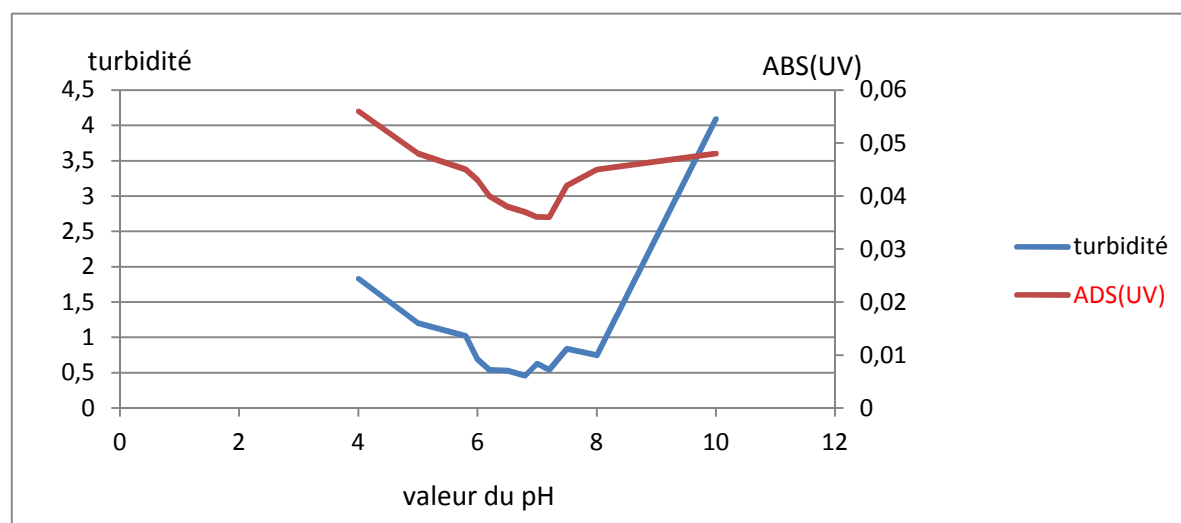


Figure 32 : Variation de la turbidité et de l'UV en fonction du PH

On remarque qu'à un intervalle du pH acide (4-6), la turbidité diminue, ceci est dû au bon fonctionnement du sulfate d'aluminium en milieu acide, et à l'intervalle du pH basique (8-10) on remarque une augmentation de la turbidité

A l'intervalle du pH acide (4-6), on remarque une diminution de l'absorbance qui est due à une bonne décantation de la matière organique ; et à l'intervalle du pH basique (8-10) on remarque une augmentation de l'UV

Les essais effectués indiquent que le pH optimum se situe entre (6.8-7.2) où la turbidité est la plus basse ;

I.3 Détermination de la dose optimale du flocculant (polymère)

Dans cet essai nous avons fixé la dose du coagulant et on a varié les doses du pH dans la plage optimale (6.8-7.2) avec la variation de la dose du polymère injecté dans le but de chercher la dose optimale du flocculant (polymère) à ajouter.

Le tableau dans l'annexe 04 (tableau 09) présente les essais de coagulation par jar-test avec des doses croissantes du polymère afin d'optimiser la dose à injecter.

La (figure 33) montre l'influence du polymère sur la turbidité et l'UV

- A pH (6.8) :

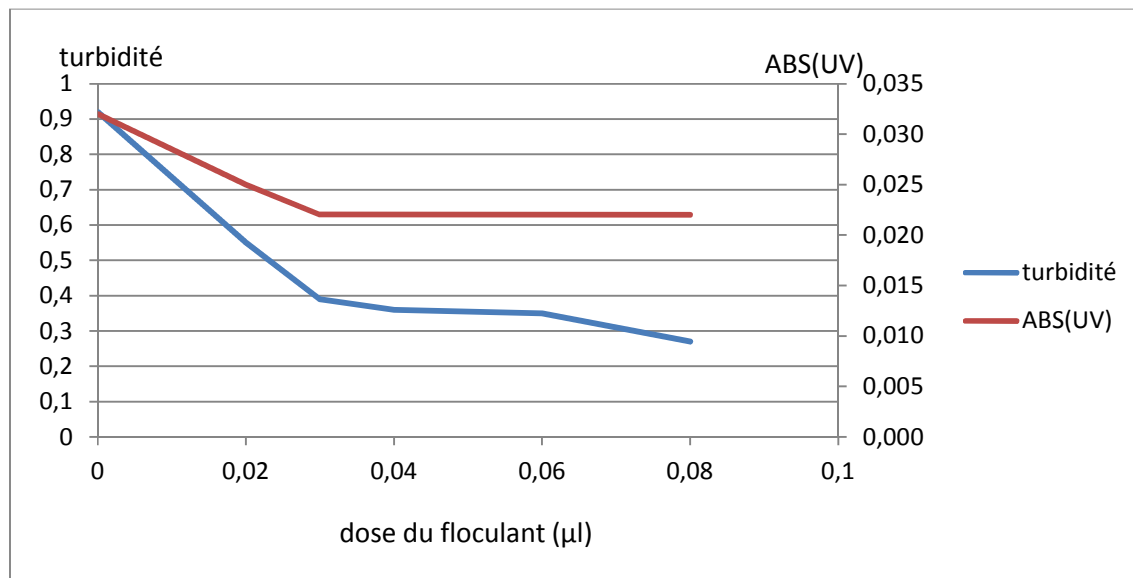


Figure 33 : Variation de la turbidité et de l'absorbance en fonction de la dose du flocculant

On remarque la diminution de la turbidité et l'absorbance avec l'augmentation de la dose du flocculant jusqu'à un point où elle sera stabilisée, le début de palier commence à partir de 0.03 µl (c'est la dose optimale du flocculant).

La figure 34 montre l'effet de l'ajout du flocculant a différentes concentrations sur celle de l'aluminium présent dans l'eau.

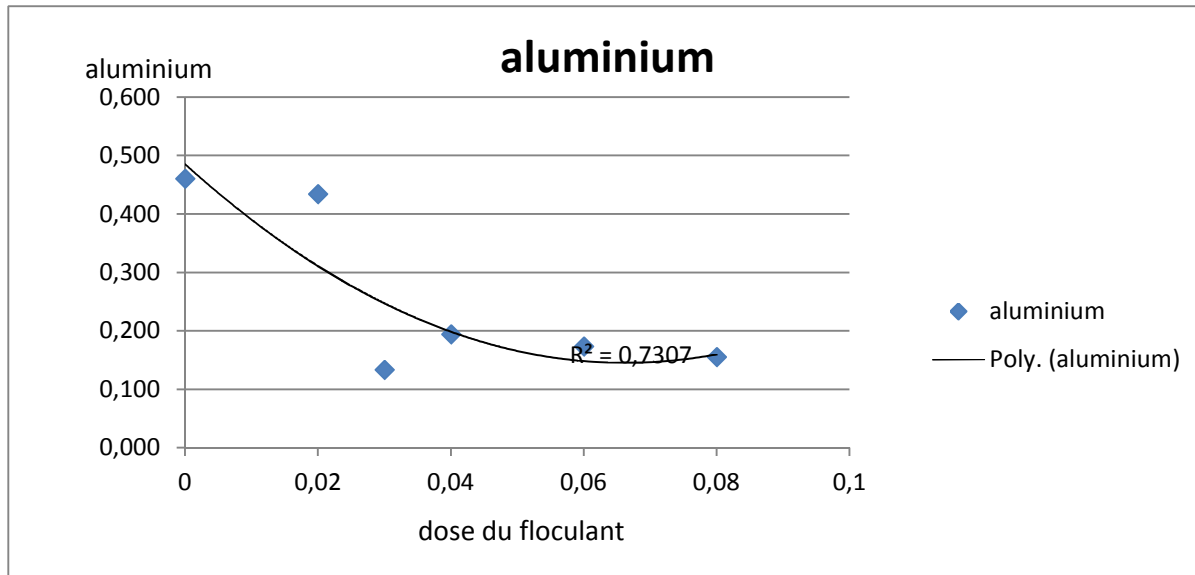


Figure 34 : Variation de l'aluminium en fonction de la dose du flocculant

On remarque que la concentration de l'aluminium diminue avec l'augmentation de la dose du flocculant ajouté jusqu'à atteindre un minimum de 0.133 mg/l qui correspond à la dose de 0.03µl de flocculant, ceci est principalement due aux réactions de ce dernier avec les MES et colloïdes présents dans l'eau pour former des floccs de plus en plus volumineux qui vont décanter après un certain temps.

- pH : 07

Le tableau 10 de l'annexe 04 montre les différents paramètres étudiés après fixation de la dose du sulfate d'aluminium à 16 mg/l et le pH à 7, et on a varié les doses du flocculant de 0 à 0.08µl, d'après ce tableau on remarque que la turbidité, l'absorption et la concentration en Aluminium diminuent avec l'augmentation de la concentration des doses du flocculant ajouté. Ainsi pour une concentration de 0.06µl de flocculant, la turbidité atteint 0.36 NTU, l'absorption diminue à 0.022 nm et l'aluminium diminue jusqu'à 0.173 mg/l

- pH : 7.2

Le tableau 11 dans l'annexe 05 donne les résultats de mesure des différents paramètres étudiés après fixation de la dose de sulfate d'aluminium à 16 mg/l et le pH à 7.2, et on varie les doses du floculant de 0 à 0.08 µl.

D'après ce tableau on remarque que la turbidité, l'absorbance et la concentration en Aluminium diminuent avec l'augmentation des doses de floculant. La turbidité atteint 0.35 NTU à 0,04 µl de floculant et 0.31 NTU à 0.06 µl, pour l'UV on a 0.032 à 0.04 µl, et 0.030 à 0.06 µl, et l'aluminium atteint des valeurs limites avec 0.196 mg/l à 0.04 µl et 0.164 mg/l à 0.06 µl.

- Sans acidification

Le (tableau 12) dans l'annexe 5, présente les essais de coagulation par jar-test avec des doses croissantes du polymère afin d'optimiser la dose à injecté, sachant que le pH initiale de l'eau brute est de : 7.34.

La (figure 35) montre l'influence des différentes doses de polymère sur la turbidité et l'absorbance.

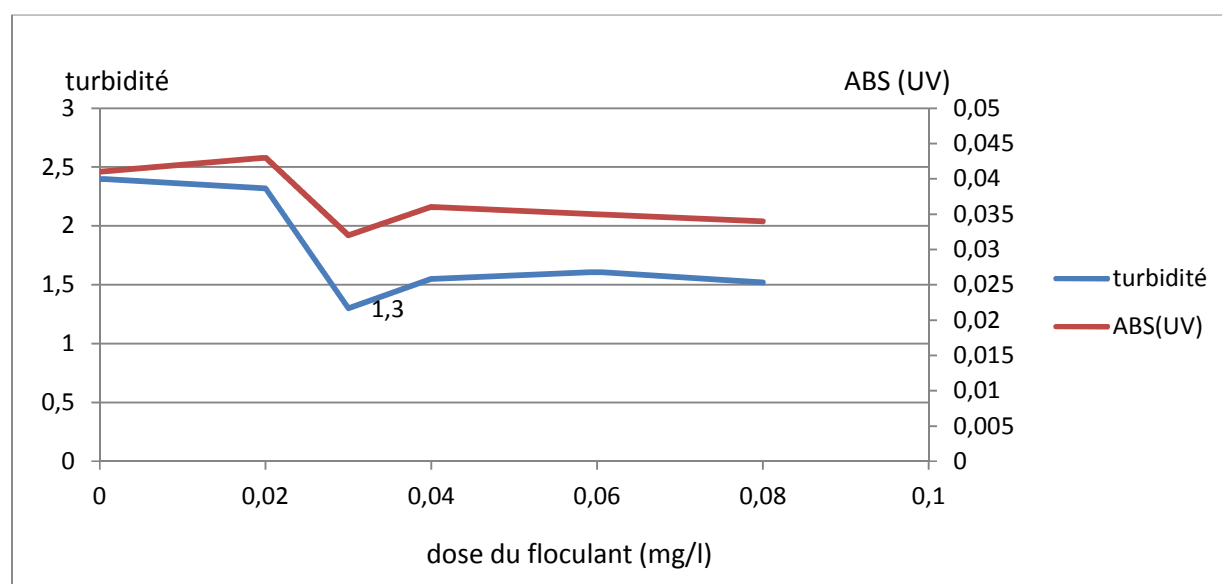


Figure 35 : Variation de la turbidité et l'absorbance en fonction de la dose du floculant (mg/l)

D'après les courbes on constate que la turbidité et l'absorbance diminuent avec l'augmentation du sulfate d'alumine et polymère jusqu'à la dose (0.03 µl). Après cette dose il se produit l'effet inverse : la décoagulation.

La figure 36 montre l'effet de l'ajout des différentes concentrations de floculant sur la concentration de l'aluminium présent dans l'eau.

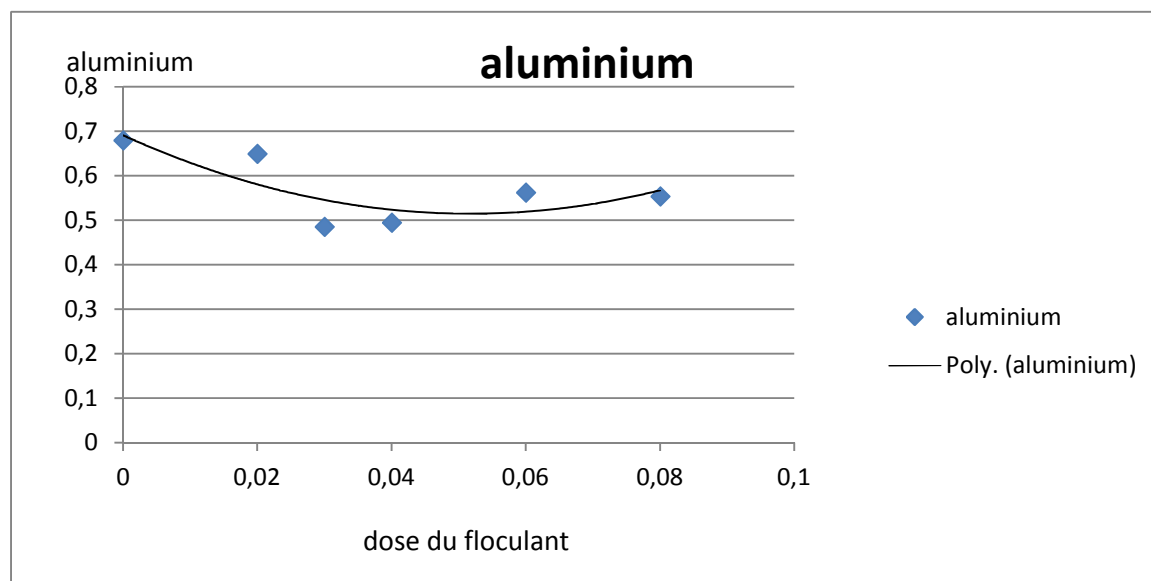


Figure 36 : Variation de l'aluminium en fonction de la dose du flocculant

On remarque que l'aluminium diminue avec l'augmentation de la dose du flocculant et atteint une valeur basse à 0.03µl de flocculant, ceci est principalement due aux réactions de ce dernier avec les MES et colloïdes présents dans l'eau pour former des flocs de plus en plus volumineux qui vont décanter après un certain temps.

Confirmation de la dose du flocculant

Dans notre dernier essai on a pris les meilleures doses de flocculant qu'on a trouvé pour les différents pH (plage optimale), afin de faire une comparaison entre eux et fixé la dose optimale.

L'histogramme résume les meilleures valeurs de turbidité obtenue pour les différents pH

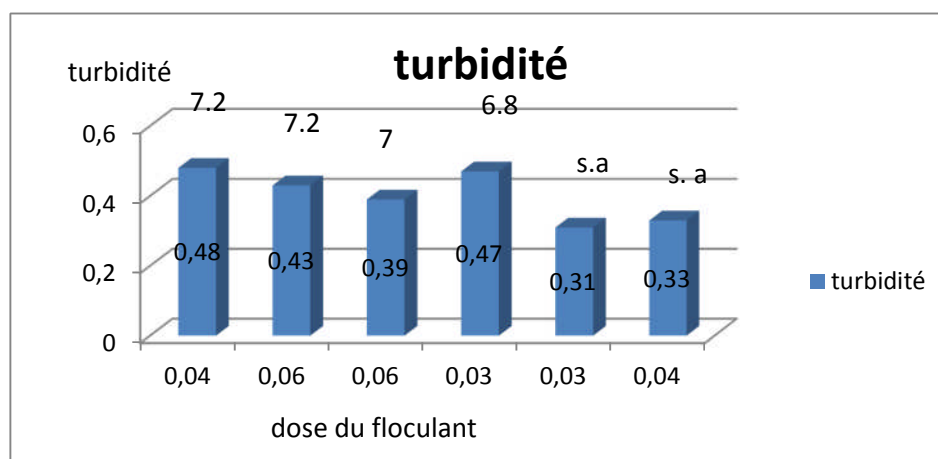


Figure 37 : Variation de la turbidité en fonction de la dose du flocculant et le pH

On remarque que la turbidité atteint des valeurs basses dans l'intervalle (0.03-0.06 μ l) et un pH d'eau brute de 7.34

Cet histogramme résume les valeurs des MES obtenues pour les différent pH

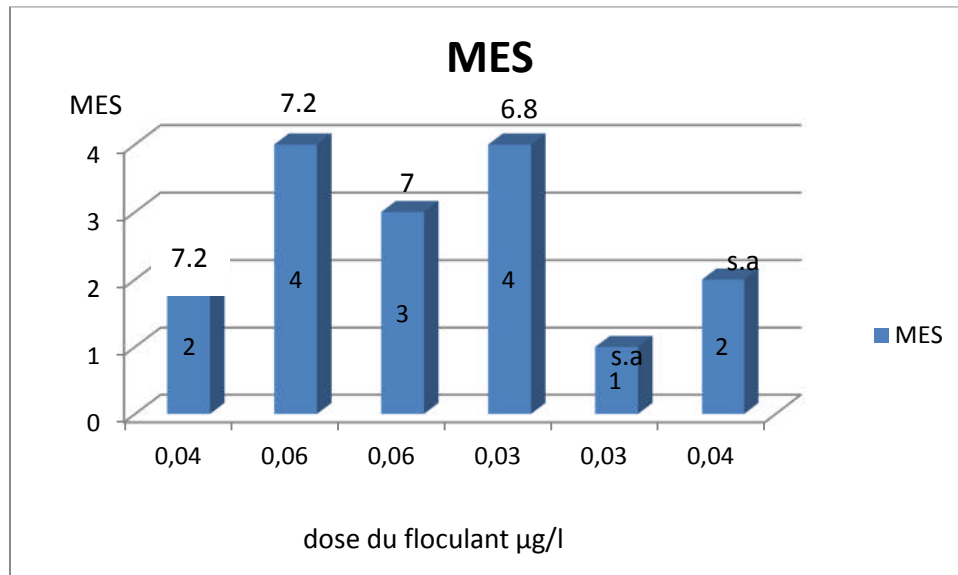


Figure 38 : Variation des MES en fonction de la dose du flocculant et le pH

On remarque une diminution des MES dans l'intervalle (0.03-0.06 μ l) qui est due à une bonne décantation des floes formés

D'après ces résultats on peut déduire que la meilleure dose de polymère à ajouter est de 0.03 μ l sans acidification du milieu ; cette dose est la plus conforme pour la santé de consommateur.

Conclusion générale

Notre travail a pour objectif l'amélioration de la qualité des eaux naturelles destinées à la consommation humaine au niveau de la station de potabilisation TAKSEBT par une phase d'optimisation de la coagulation floculation.

Le processus de coagulation-floculation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter. En outre, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à optimiser cette étape pour un meilleur abattement des polluants :notamment organiques. Certains ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulants et adjuvants de floculation .Mais la plupart des travaux s'accordent à conclure que l'optimisation et l'ajustement de paramètres physico-chimiques de l'eau ou du dosage du coagulant peuvent conduire à une floculation et une élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une turbidité ou une couleur indésirables.

L'étude expérimentale que nous avons menée a été consacrée à l'élimination, par coagulation floculation au sulfate d'aluminium, les MES et les colloïdes existants dans l'eau traitée du barrage de TAKSEBT .

Les résultats ont révélé que la qualité des eaux potables de la station de traitement de TAKSEBT se situent aussi, dans la fourchette des eaux de surface de bonne qualité.

Les résultats des essais de coagulation –floculation selon le protocole de JARTEST avec les mêmes conditions effectuées en station apportés au cours de cette étape font ressortir les conclusions suivantes :

- La coagulation-floculation avec une dose optimale du sulfate d'alumine comme coagulant conduit à une élimination de la turbidité et la matière organique.

- La dose optimale de coagulant varie selon la qualité de l'eau brute et la dose augmente avec l'augmentation de la turbidité.

- La coagulation-floculation avec le sulfate d'alumine seul reste une solution insuffisante pour l'élimination de la matière organique.

- Le pH est l'un des paramètres les plus importants qu'il faut noter, du fait qu'il joue un rôle déterminant dans la coagulation.

- Le pH et l'alcalinité diminuent avec l'augmentation de la dose du sulfate d'alumine par contre la conductivité augmente.

- L'influence des adjuvants sur la coagulation floculation s'avère très importante pour juger de l'efficacité de l'abattement de la turbidité et la matière organique.

Conclusion générale

-L'injection d'adjuvants avec le sulfate d'alumine est nécessaire pour le traitement des eaux très chargées en matière organique le rendement d'élimination est de bas pour le sulfate d'alumine seul, mais l'utilisation d'adjuvants en parallèle avec le coagulant améliore le rendement d'élimination.

-L'étude qu'on a effectuée sur les échantillons de TAKSEBT nous a permis d'optimiser les doses de coagulant flocculant, le pH dans l'objectif de produire une eau potable de bonne qualité.

-Il faut noter que le traitement de coagulation flocculation assure une bonne rétention des particules en suspension. Cependant son efficacité vis-à-vis de la pollution reste très limitée.

-Nous recommandons d'affiner l'étude de la qualité de l'eau par des analyses de la DBO, DCO, métaux lourds, composés phénolés.

Références bibliographiques

ANNONYME. (2015). Coagulation- floculation, Wikipedia,
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation-floculation>.

ABDENNOURI S ; MERDAOUI S . (2015). Traitement des rejets pétroliers par coagulation floculation, mémoire de master, Université Mouloud Mammeri. Tizi ousou, 84 p
ABOUZLAM M. (2014).Thèse pour l'obtention du grade de

Docteur De L'université De Poitiers. Optimisation d'un procédé de traitement des eaux par ozonation catalytique.

AROUYA K. (2011).pollution des eaux, éd. Universitaires Européennes, 26 p.

BABINEAU D. (2002). Le guide de conception des installations de production d'eau potable.

BENYOUB A ; EL MAGROUD F Z. (2014). Traitement des eaux usées urbaines par coagulation- floculation et décantation, mémoire de Master , Université des sciences et de la technologie « Mohammed Boudiaf ». Oran, 96 p.

BOUAZZA L. (2011). Effet de coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz, mémoire de magister, université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen, 106p.

CARDOT C. (2005). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, éd. ellipses. Paris, p 247.

CARDOT C. (1999).). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau, éd. ellipses. Paris, p 247.

CHEVAL. (1983). La désinfection des eaux d'alimentation. Ed. Lavoisier technique et documentation. Limoge, 118p.

COULIBALY K. (2005). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, thèse de doctorat , Université de BAMAKO. Mali, 69 p

DEGREMONT. (2005). Mémento technique de l'eau, tome I, 10^{ème} édition, Paris, 785p.

DESJARDINS R. (1997). Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et améliorée, école polytechnique de Montréal, p 304.

DESJARDINS R. (1997). Le traitement des eaux, 2^{ème} édition revue et enrichie, école polytechnique de Montréal, p 304.

DUGUET J et al. (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine, 1^{ère} édition ASTEE (association scientifique et technique pour l'environnement),839p.

FESTY B et al. (2003).environnement et santé publique, éd. Tec&Doc .Paris, pp.334, 335,336.

- GADIN-GOYON N.** (2002). thèse présenté à l'université de CLAUDE-BERNARD-LYON I
Qualité bactériologique de l'eau et impact en élevage bovin laitier .
- GALAL-GORCHEV, H.** (1996), Chlorine in water disinfection, Pure & Applied
Chemistry 68.
- GAUJOUS D.** (1995). La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire, éd. Tec&Doc.
Paris, p 58,64.
- GAUTHIER FANNY.** (2002). Mémoire de DESS. Biofilms et qualité biologique de l'eau
potable au cours de sa distribution. Université de Picardie-Amiens.
- GAREAU P ; VANIER C.** (1999).gestion des stations des eaux municipales le long du
Saint-Laurent, qualité des eaux des fleuves et possibilité de gestion en partenariat avec le
secteur privé. Mémoire présenté par le comité ZIP Jacques-Cartier. Québec, 50p.
- GODART H.** (2000) .Eaux de distribution clarification .Technique de l'ingénierie.
(2000) c51999).
- GOMELLA C et al.** (1985). Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines
et rurales. Tome I, éd. Eyrolle, Paris.
- GRAINDORGE J.** (2015). Guide des analyses de la qualité de l'eau, éd. Territorial. Paris.
- HARRAT N.** (2013). Elimination de la matière organique naturelle dans une filière
conventionnelle de potabilisation d'eau de surface, thèse de Doctorat en science, Université
Mouhamed Khider . Biskra, 186 p.
- HASLAY C ; LECLERC H.** (1993). Microbiologie des eaux d'alimentation, éd. Tec&Doc.
Paris, 132p.
- HERNANDEZ H** (2006). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau
potable.
- KETTAB A.** (1992). Traitement des eaux, éd. Office Des Publications Universitaires. Place
centrale de Ben-Aknoun (Alger), 151p.
- KEMMER F.N** (1984). Manuel de l'eau, Ed. NALCO.
- LADEL.** (2002). Cahier technique de stage XXI norme de qualité d'une eau de boisson,
centre de formation aux métiers de l'eau, ADE, Tizi-Ouzou.
- LAGARDETTE J.** (2004). L'eau potable et l'assainissement, éd. JOHANET. Paris, 154 p.
- LAZAROVA V et al.** (2003). L'intérêt et la réutilisation des eaux usées. Analyses
d'exemples mondiaux. *Techniques scientifique et méthodes*.
- LEGUBE B.** (2015). Production d'eau potable, éd. DUNOD. Paris.
- LOUNAS A.** (2009). Mémoire de Magister Présenté à l'université du 20 Août 1955 Skikda.
Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamdi-kroma de Skikda.

- MANUEL DE BERGEY.** (1984). Systematic bacteriology ; 9th edition.
- METAHRI MS.** (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou, 172 p.
- MILOUS H.** (2011). Mémoire de magister. Modélisation par la méthode numérique de la dynamique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets (UV).
- MIZI A.** (2006). Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie-région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles, Thèse docteur d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, 189p.
- MOHRI S ; OUBACHIR K.** (2013). Traitement d'un effluent de l'ENIEM par coagulation floculation, mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri .Tizi Ouzou . 58p.
- OLIVIER A.** (2005). Chimie et pollution des eaux souterraines, éd. Technique et documentation, Lavoisier. Paris
- PNUE / OMS.** (1977). Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles. Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Copenhague : 168p.
- RAMADE F.** (1998). Dictionnaire encyclopédique de l'eau, éd. Ediscience international, Paris.
- REJSEK F.**(2002). Analyse des eaux, scéren .
- RODIER J.** (2009). Analyse de l'eau, 9^{ème} édition. Dunod, Paris, 1579p.
- RODIER J.** (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8^{ème} édition. Dunod, Paris, 1579p.
- SATIN M.** (1999). Guide technique de l'assainissement 2^{ème} édition. Le moniteur. Paris.
- SHARPE M. E.** (1979). Identification of the lactic acid bacteria, identification methods for microbiologists. Skinner F.A and D.W, lovelock (Edi). Academic press (London). 1233 - 1255p
- SIGG L et al.** (2000). chimie des milieux aquatiques, 3^{ème} édition. DUNOD. Paris, 567 p.
- SUEZ DEGREMONT.** (2008). Notice D'exploitation Destinée Au Personnel De Maitrise. STE TAKSEBT. Algérie
- TANINI P.** (2005). Les stations de pompage d'eau, 6^{ème} édition.TEC&DOC. Paris
- TARDAT HENRY M.** (1992). Chimie des eaux. 2^{ème} édition. Le Griffon d'argile. Québec.340p.

VALENTIN N. (2000). Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable, Thèse de doctorat, Centre internationale de recherche sur l'eau et l'environnement, 168 p.

VILAGINES R. (2003). Eau, environnement et santé publique, 2^{ème} édition. Lavoisier, Paris.

Annexes

Les normes de potabilité selon l'OMS en 2006

Tableau 06 :Les normes OMS

GROUPE DE PARAMETRE	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
	Conductivité		pas de norme
	Température		Acceptable
	Turbidité		Non mentionnée
Paramètres organoleptiques	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		Acceptables
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0,01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07
	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	µg/l	0.1
	Pesticides	mg/l	0.0001

Minéralisation Globale	THM (Trihalométhanes) C Cl ₄	µg/l	4
	CalciumCa ²⁺	mg/l	100
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Dureté mg/l CaCO ₃	Ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Potassium (K ⁺)	mg/l	12
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium Sulfito- Réducteurs	nb/100ml	0
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spores des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonella	nb/5l	Absence

D'après le journal officiel de république algérienne démocratique et populaire correspond au 19 juin 2011.

Objectifs de qualité des eaux superficielles et souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations.

Tableau 07 : Les normes algériennes

Groupes de paramètres	Paramètres	Unité	Valeur maximale	
			Eaux superficielles	Eaux souterraines
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Echelle Pt	200	20
	Odeur (taux dilution à 25°)	—	20	3
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Chlorures	mg/l	600	500
	Concentration en ions hydrogène (pH)	Unité de Ph	$\geq 6,5$ et ≤ 9	$\geq 6,5$ et ≤ 9
	Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2800	2800
	Demande biochimique en oxygène (DBO 5)	mg/l O ₂	7	< 3
	Demande chimique en oxygène(DCO)	mg/l O ₂	30	—
	Matières en suspension	mg/l	25	25
	Sulfates	mg/l SO ₄	400	400
	Taux de saturation en oxygène dissous	% O ₂	30	> 70
	Température	°C	25	25
	Ammonium	mg/l	4	0,5
Paramètres chimiques	Baryum	mg/l	1	0,7
	Bore	mg/l	1	1
	Fer dissous	mg/l	1	0,3
	Fluor	mg/l	2	1,5
	Manganèse	mg/l	1	0,05
	Nitrates	mg/l NO ₃	50	50
	Phosphore	mg/l	10	5
	Arsenic	$\mu\text{g}/\text{l}$	100	10
	Cadmium	$\mu\text{g}/\text{l}$	5	5
	Chrome	$\mu\text{g}/\text{l}$	100	50
	Cuivre	mg/l	2	0,05
	Cyanures	$\mu\text{g}/\text{l}$	100	50
	Mercure	$\mu\text{g}/\text{l}$	10	6
	Plomb	$\mu\text{g}/\text{l}$	50	10
	Sélénium	$\mu\text{g}/\text{l}$	50	10
	Zinc	mg/l	5	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques	$\mu\text{g}/\text{l}$	1	0,2
	Hydrocarbures dissous	$\mu\text{g}/\text{l}$	1000	10

Annexe 02

	Phénols	µg/l	2	0,5
	Agents de surfaces	mg/l	0,5	0,2
	Azote kjeldhal	mg/l	3	1
	Pesticides	µg/l	1	0,5
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100 ml	20	20
	Entérocoques	n/100 ml	10	20
	Salmonelles	—	Absence dans 1000 ml	Absence dans 5000 ml

Tableau 08 : résultats de premier essai de jar-test

coagulant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
dose de coagulant (mg/l)	5	10	11	13	14	15	16	17	18	20	25	30
floculant	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
dose de floculant	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
formation des floccs	mauvaise	mauvaise	moy	moy	moy	moy	bonne	bonne	bonne	bonne	moy	bonne
vitesse de décantation	très lente	très lente	très lente	lente	lente	lente	lente	lente	lente	lente	lente	lente
Conductivité (µs/cm)	467	468	469	471	472	472	472	473	473	474	474	475
Température (°C)	19,1	18,9	16,9	16,3	16,3	18,9	16,2	16,1	16,2	18,9	18,8	18,8
PH	7,56	7,49	7,49	7,48	7,48	7,47	7,45	7,45	7,43	7,41	7,38	7,32
Turbidité (NTU)	1,27	1	0,90	0,76	0,74	0,79	0,70	0,69	0,69	0,71	0,70	0,68
couleur	6	6	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
UV	0,047	0,043	0,043	0,041	0,041	0,040	0,039	0,039	0,039	0,041	0,041	0,039

Tableau 09 : résultats de deuxième essai de jar-test

	1	2	1	3	2	3	4	4	5	C	5	6
Coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
dose du coagulant	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Floculant	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
dose du floculant	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PH acidifié	4	5	5,8	6	6,2	6,5	6,8	7	7,2	7,5	8	10
formation des floccs	mauvaise	mauvaise	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	moy	moy	moy	moy
vitesse de décantation	très lente	très lente	moy	lente	moy	moy	moy	lente	moy	lente	lente	lente
Conductivité	541	523	502	503	495	487	482	482	477	476	481	441
Température	18,2	18,5	22,6	18,5	22,6	22,6	22,6	18,6	22,6	22,6	18,4	18,4
PH	4,4	4,99	5,93	6,02	6,35	6,64	6,87	6,9	7,23	7,44	7,62	9,01
Turbidité	1,83	1,20	1,02	0,69	0,54	0,53	0,46	0,63	0,54	0,84	0,75	4,09
Couleur	8	6	3	3	2	2	2	2	3	4	6	10
UV	0,056	0,048	0,045	0,043	0,040	0,038	0,037	0,036	0,036	0,042	0,045	0,048

Tableau 10 : résultats de 3^{ème} essai de jar-test

N°5	1	2	3	4	5	6
coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA
dose du coagulant	16	16	16	16	16	16
floculant	P	P	P	P	P	P
dose du floculant	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
PH acidifié	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
formation des floccs	mauvaise	mauvaise	mauvaise	mauvaise	mauvaise	moyenne
vitesse de décantation	très lente	très lente	très lente	très lente	très lente	lente
conductivité	486	488	489	491	488	489
température	20,7	20,3	20	20	19,4	19,7
PH	6,52	6,48	6,56	6,41	6,4	6,41
turbidité	0,92	0,55	0,39	0,36	0,35	0,27
couleur	3	2	1	2	2	2
UV	0,032	0,025	0,022	0,022	0,022	0,022
aluminium	0,460	0,434	0,133	0,194	0,173	0,155

Tableau 11 : résultats de 4^{ème} essai de jar-test

N°6	1	2	3	4	5	6
coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA
dose du coagulant	16	16	16	16	16	16
floculant	P	P	P	P	P	P
dose du floculant	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Ph acidifie	7	7	7	7	7	7
formation des floccs	Mauvaise	Mauvaise	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
vitesse de décantation	Très lente	Très lente	lente	lente	lente	lente
conductivité	484	483	483	482	485	483
température	19,7	19,8	19,8	19,6	19,3	19,5
PH	6,03	6,41	6,52	6,28	6,11	6,2
Turbidité	0,66	0,53	0,40	0,39	0,36	0,32
couleur	3	2	2	2	1	1
UV	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021	0,021
aluminium	0,291	0,323	0,443	0,287	0,282	0,290

Tableau 12 : résultats de 5^{ème} essai de jar-test

N°7	1	2	3	4	5	6
coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA
dose du coagulant	16	16	16	16	16	16
floculant	P	P	P	P	P	P
dose du floculant	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Ph acidifie	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Formation des floccs	mauvaise	moyenne	moyenne	moyenne	bonne	bonne
vitesse de décantation	très lente	lente	lente	lente	lente	lente
conductivité	474	475	476	476	477	478
température	21,2	20,8	20,6	20,3	20,8	21,1
Ph	7,22	7,19	7,21	7,22	7,21	7,21
Turbidité	1,2	0,95	0,37	0,35	0,31	0,28
couleur	4	4	2	2	2	2
UV	0,037	0,036	0,033	0,032	0,03	0,03
Aluminium	0,216	0,247	0,245	0,196	0,164	0,221

Tableau 12 : résultats de 6^{ème} essai de jar-test

N°8	1	2	3	4	5	6
Coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Dose du coagulant	16	16	16	16	16	16
floculant	P	P	P	P	P	P
Dose du floculant	0	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Ph acidifie	sans acidifié	sans acidifié	sans acidifié	sans acidifié	sans acidifié	sans acidifié
Formation des floccs	mauvaise	moyenne	moyenne	moyenne	bonne	bonne
Vitesse de décantation	très lente	lente	lente	lente	lente	lente
Conductivité	475	477	477	478	480	480
Température	19,5	19,4	19,3	19,2	19,3	19,1
Ph	6,98	6,95	6,94	6,92	6,96	6,94
Turbidité	2,4	2,32	1,30	1,55	1,61	1,52
Couleur	8	6	3	3	5	5
Uv	0,041	0,043	0,032	0,036	0,035	0,034
Aluminium	0,68	0,650	0,486	0,495	0,563	0,554

Tableau 13: résultats de 7^{ème} essai de jar-test

Coagulant	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Dose du coagulant	16	16	16	16	16	16
Floculant	P	P	P	P	P	P
Dose du floculant	0,04	0,06	0,06	0,03	0,03	0,04
Ph acidifie	7,2	7,2	7	6,8	sans acidifié	sans acidifié
Formation des floccs	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne
Vitesse de décantation	lente	lente	lente	lente	rapide	rapide
Conductivité	478	479	484	488	476	477
Température	21,3	20,7	20,6	20,3	20,2	20,1
PH	6,81	6,78	6,69	6,49	6,9	6,94
Turbidité	0,48	0,43	0,39	0,47	0,31	0,33
Couleur	2	2	1	2	1	2
UV	0,021	0,022	0,026	0,023	0,022	0,023
Aluminium	0,195	1,172	0,411	0,386	0,19	0,294
MES (mg/l)	2	4	3	4	1	2