

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCTATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTRE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
Faculté de Technologie**



Mémoire de fin d'étude En Vue De L'obtention Du Master II:

Filière: Génie Des Procédés Spécialité: Génie de l'environnement

Thème:

***Élimination des nitrites présents dans
l'eau brute par chloration***

**Réalisé par : M^{me} ALI BOUDHAR NOUR ELHOUDA et
M^{elle} BOUSSALAH NADIRA.**

Soutenu le : 12/07/2023

Promoteur M_r : H. BALOUL

Président M_r : M.AMITOUCHE

Examinatrice M^{me} : F.BOUMECHHOUR

Encadré par : M_r M.LHADJ ARRAB

M_r L.BENRACHEDI

Année universitaire : 2022/2023

« REMERCIEMENTS »

Nous remercions en premier lieu, **DIEU**, qui nous a ouvert les portes du savoir, et de nous a accordé toute la patience durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce moment en succès et en bonheur .

Nous exprimons nos profonds remerciements, notre appréciation, notre respect et notre gratitude envers notre encadreur, le Docteur **BALOUL HAKIM**, pour ses efforts et son intérêt constant dans la réalisation de cette étude, ainsi que pour ses conseils et observations fructueux.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de notre faculté de la technologie , et spécialement pour les enseignants de génie de l'environnement.

On tient à remercier vivement le personnel de la station de traitement des eaux potable (SEAAL) pour leur accueil, leur esprit d'équipe. Nous remercions tous ceux qui ont contribué au succès de ce travail en particulier **M. BENRACHEDI LOKMAN** et **M. LHADJ ARRAB**.

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury pour honorer notre soutenance et pour l'effort fourni afin de juger ce travail.

Un remerciement à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

À tous, nous disons merci.





Dedicace

*Du profond de mon coeur je
dédie ce modeste travail à :
Mon très chère père : SAID et je dit merci
beaucoup mon père.*

*La lumière de mes yeux, ma très chère
mère, que DIEU me la garde et la protège.*

*À mes chères frères: ABDERAHMANE et
ABDELHAKIM.*

À ma petite adorable sœur : MARIA.

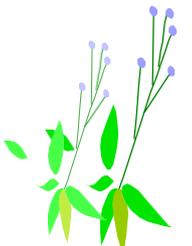
*À Houda compagne de route, malgré toutes les
difficultés et les circonstances auxquelles elle a
fait face. Elle a résisté et persévéré pour arriver à
ce moment. Mes salutations vont à elle.*

À toutes mes amies

*Enfin à toutes les personnes qui ont
aimé «NADIRA» de
prés ou de loin.*

A toute la famille BOUSSALAH

NADIRA



Dédicace

JE tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force, la bonne santé, la patience, la volonté et le courage de mener à bon terme ce travail.

*Chers parents, et mon marie *Hichem* c'est avec une énorme reconnaissance et une grande émotion que je vous dédie ce travail, vous êtes et vous serez à jamais ma grande fierté et la source de mon bonheur, que Dieu vous garde pour nous, je vous aime infiniment.*

*C'est avec grand plaisir que je dédie ce travail à mes frères et mes sœurs, et ma deuxième famille *Berraz**

*Mes dédicaces s'orientent aussi vers mes adorable filles *Ritadje* et *Tasnim**

*Mes dédicaces vont spécialement à mon adorable binôme «**Nadira**», grâce à qui ces durs mois de travail ne ressemblaient qu'à de vrais moments de plaisir et d'amitié et de partage.*

A tous mes amis (es) et mes chers

Enfin, je dédie ce mémoire à chacun qui a participé à sa réalisation de près ou de loin, merci à tous.

Nour el houda

Liste d'abréviations

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

C° : degré Celsius

EB : Eau Brute

ED : Eau Distillée

ET : Eau Traitée

NTU : Néphélométrie Turbidité Unit

UV : Ultra-violet

UV₂₅₄ : l'absorption à 254 nm

m/h : mètre sur heure

nm : nanomètre

µS/cm : micro-siemens par centimètre

mg/l : milligramme par litre

µg/l : microgramme par litre

µm : micromètre

ml : millilitre

pH : potentiel d'Hydrogène

SA : Sulfate d'Alumine

PE : Poly-électrolyte

Cl₂ : Chlore

H₂O : l'eau

T C° : Température en degré Celsius

NO₃⁻ : nitrate

NO₂⁻ : nitrite

LISTES DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I.01 : ultra structure de la molécule d'eau (h ₂ o) (Benjah 2007).....	2
Figure I.02 : l'eau dans l'industrie.....	12

Chapitre II :

Figure II.1 : Double couche d'une particule colloïdale.....	15
Figure II.2 : Variation du potentiel électronique en fonction de la distance de la particule.....	16
Figure II.3 : Variation du potentiel de répulsion en fonction de la distance.....	18
Figure II.4: Emprisonnement des particules dans un précipité.....	18
Figure II.5: Force agissant sur une particule qui chute.....	20
Figure II.6 : bassin de décantation idéal.....	21
Figure II.7: Décanteur à tubes inclinés à 60°.....	23
Figure II.8: Décanteur circulation.....	24
Figure II.9: Décanteur pulsateur.....	24
Figure II.10 : Décanteur Cylindro-conique.....	25
Figure II.11: Schéma de fonctionnement d'un filtre gravitaire rapide.....	28
Figure II.12 : FILTRA Flux.....	28

Chapitre III :

Figure III.1 : dénitrification.....	39
-------------------------------------	----

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Station de traitement de l'eau SEAAL BOUDOUAOU.....	44
Figure IV.2 : Vue aérienne de la station de traitement d'eau potable BOUDOUAOU (Google earth).....	45
Figure IV.3 : Obturateurs.....	48
Figure IV.4 : Chambre de mélange.....	48
Figure IV.5 : Chambre de répartition.....	49
Figure IV.6 : Décanteur lamellaire.....	49
Figure IV.7 : Filtre à sable aquazur v.....	50
Figure IV.8 : Salle des pompes.....	50
Figure IV.9 : Salle de bac de (S.A).....	51
Figure IV.10 : Salle de bac (P.E).....	51
Figure IV.11 : Salle de stockage de chlore.....	52
Figure IV.12 : Salle de neutralisateur.....	52

Chapitre V :

Figure V.1 : Eau brute.....	54
Figure V.2 : Jar test.....	57
Figure V.3 : Les réactifs utilisés.....	58
Figure V.4 : Rouge brique.....	58
Figure V.5 : Jaune pâle.....	58
Figure V.6 : Bleu foncé.....	58
Figure V.7 : Disparition de la couleur.....	58
Figure V.8: pH-mètre.....	62
Figure V.9 : Turbidimètre.....	62
Figure V.10: Spectrophotomètre.....	62
Figure V.11: Agitateur électromagnétique.....	63

Listes des figures

Chapitre VI :

Figure VI.1 : Couleur d'essai 1 du Jar test après décantation.....	64
Figure VI.2 : La variation d'UV en fonction de chlore actif.....	65
Figure VI.3 : La variation de conductivité en fonction de la concentration du chlore actif...	65
Figure VI.4 : La variation de turbidité en fonction de chlore actif.....	65
Figure VI.5 : essai 2 du Jar test après décantation.....	67
Figure VI.6 : La variation de l'UV en fonction de chlore actif.....	68
Figure VI.7 : La variation de conductivité en fonction de la concentration du chlore actif.....	68
Figure VI.8 : La variation de turbidité en fonction de chlore actif.....	68
Figure VI.8 : Couleur d'essai 3 du Jar test après décantation.....	71
Figure VI.9 : La variation de l'UV en fonction de chlore actif.....	71
Figure VI.10 : La variation de conductivité en fonction de la concentration du chlore actif.....	72
Figure VI.11 : La variation de turbidité en fonction de chlore actif.....	72
Figure VI.12 : Couleur d'essai 4 du Jar test après décantation.....	74
Figure VI.13 : La variation de l'UV en fonction de chlore actif.....	74
Figure VI.14 : La variation de conductivité en fonction de la concentration du chlore actif.....	75
Figure VI.15 : La variation de turbidité en fonction de chlore actif.....	75
Figure VI.16 : Variation de la couleur de l ^{ère} essai 1 lors de l'élimination des nitrites (après ajout de la solution de coloration des nitrites)	77
Figure VI.17 : La variation de nitrite après traitement en fonction de chlore actif.....	77
Figure VI.18 : La variation de taux d'abattement () en fonction de la concentration du chlore actif.....	78
Figure VI.19 : Variation de la couleur de l'essai 2 lors de élimination des nitrites (après ajout de la solution de coloration des nitrites)	79
Figure VI.20 : La variation de nitrite après traitement en fonction de chlore actif.....	79
Figure VI.21 : La variation de taux d'abattement () en fonction de la concentration du chlore actif.....	80
Figure VI.22 : Variation de la couleur de l'essai 3 lors de élimination des nitrites (après ajout de la Solution de coloration des nitrites)	81
Figure VI.23 : La variation de nitrite après traitement en fonction de chlore actif.	81
Figure VI.24 : La variation de taux d'abattement () en fonction de la concentration du chlore actif.....	81
Figure VI.25 : Variation de la couleur de l'essai 4 lors de l'élimination des nitrites (après ajout de La solution de coloration des nitrites)	83
Figure VI.26 : La variation de nitrite après traitement en fonction de chlore actif.....	83
Figure VI.27 : La variation de taux d'abattement () en fonction de la concentration du chlore actif.....	84
Figure VI.28 : variation de la couleur de l'essai lors de l'élimination de nitrate	85
Figure VI.29 : La variation des nitrates après traitement en fonction de chlore actif.....	86
Figure VI.30 : la variation de nitrites après traitement en fonction de chlore actif.....	89

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau I.01 : les valeurs indicatives des paramètres bactériologique (OMS, 2005; JORA Algérienne, 2014; Journal Officiel de la République Française [JORF], 2007).....	09
Tableau I.02 : Normes physico-chimiques (OMS, 2005; JORA, 2014; Journal Officiel de la République Française [JORF], 2007).....	09

Chapitre II :

Tableau II.2.1 : Domaines d'application des différents types de filtration.....	26
Tableau II.2.2 : Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement / IRC, 1991, Filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau potable, document technique n°24, La Hague).....	30
Tableau II.2.3 : avantages et inconvénients de la désinfection par l'ozone.....	36
Tableau II.2.4 : avantages et inconvénients de la désinfection par les rayons UV.....	37

Chapitre V :

Tableau V.1 : Les doses du chlore injecté dans le 1 ^{er} essai.....	60
Tableau V.2 : Les doses du chlore de 2 ^{ème} essai.....	60
Tableau V.3 : Les doses du chlore de 3 ^{ème} essai.....	61
Tableau V.4 : Les doses du chlore de 4 ^{ème} essai.....	61

Chapitre VI :

Tableau VI.1 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.....	64
Tableau VI.2 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.....	67
Tableau VI.3 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.....	70
Tableau VI.4 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.....	73
Tableau VI.5 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.....	74
Tableau VI.6 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.....	74

Liste des tableaux

Tableau VI.7 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.....76

Tableau VI.8 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des. Doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.....78

Tableau VI.9 : Les résultats des nitrates après traitement d'élimination des nitrites par le chlore actif.....80

Tableau VII.10 : les résultats des nitrites après traitement a partir d'injection des dose croissante de chlore actif avec des doses constant des nitrites.....82

Tableau VI.II : les résultats des nitrates après traitement d'élimination des nitrites par le chlore actif85

SOMMAIRE

Première parties : synthèse bibliographiques

Introduction générale.....	1
Chapitre I : généralités sur l'eau	
1)- Définition de l'eau	2
2)- Différents états de l'eau	2
2.1. L'eau sous forme solide	2
2.2. L'eau sous forme liquide	2
2.3. L'eau sous forme de gaz	2
3) - Les sources d'approvisionnement en eau	3
3.1. Les sources d'approvisionnement conventionnelles	3
➤ 3.1.1. Les eaux superficielles	3
➤ 3.1.2 Eaux souterraines	3
3.2. Les sources d'approvisionnement non conventionnelles	3
➤ 3.2.1. Les eaux de mers	3
➤ 3.2.2. Les eaux usées	4
4) -Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux	4
4.1 Propriétés organoleptiques	4
➤ 4.1.1 La Couleur	4
➤ 4.1.2 Gout et odeur.....	4
➤ 4.1.3 Turbidité	4
4-2 caractères physico- chimiques	5
➤ 4-2-1 Paramètres Potentiel et physiques.....	5
➤ 4-2-2 Paramètres chimique	6
➤ 4-2-3 Paramètres indésirables	7
➤ 4-2-4 Paramètres de toxicité	8
4-3 Normes d'eau potable	8
5) - Pollution de l'eau	9
5-1 Pollution physique	10
5-2 Pollution biologique	10
5-3 Pollution chimique	10
6) - Utilisations et exploitation de l'eau	10
6-1 Eaux de consommation humaine.....	10
6-2 Usage de l'eau :	11
➤ 6-2-1 L'eau au quotidien (domicile).....	11
➤ 6-2-2 L'eau dans l'industrie.....	12
Chapitre II: Traitement de l'eau potable	
1) - Généralité.....	13
2) - Objectif de traitement	13
3) - Importance de traitement de l'eau	13
4) - Procédés de traitement de l'eau consommé.....	13
4-1- Procédés de traitement physico-chimique de l'eau potable.....	13
➤ 4-1-1Prétraitement physique	14
➤ 4-1-2 Prétraitement chimique : pré oxydation	14
4-2- clarification	14

SOMMAIRE

➤ 4-2-1 coagulations – floculation.....	14
4-2-1-1 Charges électriques et double couche.....	15
4-2-1-2 Coagulation.....	16
4-2-1-3 Coagulants utilisés	18
4-3-Décantation	19
➤ 4-3-1 Principe.....	29
➤ 4-3-2 Types de décantation	19
➤ 4-3-3 Divers types de décanteur	22
4-4 -Filtration	25
➤ 4-4-1 Mode de filtration en profondeur	26
➤ 4-4-2 Différents types de filtres en profondeur	26
➤ 4-4-3 Description et principales caractéristiques.....	27
➤ 4-4-4 La filtration lente sur sable	29
➤ 4-4-5 Matériaux filtrants utilisés en traitement de l'eau.....	30
4-5 Affinage	32
4-6 La désinfection	32
4-6-1 Principe de la désinfection.....	32
4-6-2 Définition.....	33
4-6-3 La désinfection chimique.....	34
➤ La chloration	34
4-6-4 désinfection par l’ozone	35
➤ Propriétés physico-chimique de l'ozone.....	36
4-6-5 Désinfection physique	36
5)- Stockage	37

Chapitre III : traitement des eaux chargées en nitrites

1)- Processus biologiques de traitement des eaux chargées en nitrite.....	38
1.1. Dénitrification	38
➤ 1.1.1 Définition et principe de la dénitrification	38
➤ 1.1.2 Les conditions nécessaires pour la dénitrification.....	39
➤ 1.1.3 les étapes de la dénitrification.....	40
2)- Procédés chimiques de traitement des eaux chargées en nitrite	40
2.1. Oxydation chimique	40
➤ 2.1.1. Utilisation de l'ozone pour l'oxydation des nitrites.....	40
➤ 2.1.2. Réactions chimiques impliquées dans le processus d'oxydation	41
➤ 2.1.3.. Avantages et inconvénients de l'oxydation chimique.....	41
2.2. Chloration	41
➤ 3.2.1. Utilisation du chlore pour l'élimination des nitrites	41
➤ 3.2.2. Réactions chimiques entre le chlore et les nitrites.....	42
➤ 3.2.3. Facteurs affectant l'efficacité de la chloration.....	42
2.3. Autres procédés chimiques.....	42
➤ 3.3.1. Utilisation de peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂)	42
➤ 3.3.2. Utilisation d'agents oxydants avancés (AOA)	43
➤ 3.3.3. Comparaison des différents procédés chimiques.....	43
3) La toxicité des nitrites	43

Deuxième partie : partie pratique

Chapitre IV : présentation de la station

1)- Présentation de la station de traitement de Boudouaou	44
2)- Localisation de la station.....	44

SOMMAIRE

3)- Les étapes de traitements à l'usine de Boudouaou.....	45
4)- Description de laboratoire process de centre de traitement « Boudouaou».....	46
5)- L'ouvrage d'arrivée.....	48
5-1 les obturateurs.....	48
5-2 chambres de mélange.....	48
5-3 chambres de répartition.....	48
5-4 Décanteur « pulsateur lamellaire ».....	49
5-5 filtre à sable de type Aqazur « v ».....	50
5-6 Réservoirs	50
6)- Les bâtiments de station et service des laboratoires.....	50
7)- service de qualité.....	53

Chapitre V : Matériels est méthodes

1)- Objectif de travail.....	54
2)- Principe	54
3)- Echantillonnage	54
4)- Jar test	55
4-1 Réactifs et matériels	55
4-2 Mode opératoire	56
4-3 Procédé d'oxydation des nitrites en utilisant le jar test.....	56
5)- Elimination des nitrites par chloration : NO_2^-	57
5-1 Définition d'Hypochlorite de sodium.....	57
5-2 Dosage de chlore actif Cl_2	57
➤ 5-2-1 Principe.....	57
➤ 5-2-2 Mode opératoire« dosage du chlore»	57
➤ 5-2-3 Les Calculs à déterminer.....	59
5-3 Dosage des nitrites	61
5-4 Dosage des nitrates	61
6)- Appareillages.....	62

Chapitre VI : Résultat et discussion

1)- Résultat du paramètre physico-chimique	64
2)- Résultat de l'élimination des « nitrites »	76
3)- Suivi des nitrates	86

Conclusion	87
-------------------------	----

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau est une ressource vitale pour l'humanité, nécessaire à notre survie, à notre santé et à notre bien-être. Cependant, cette précieuse ressource peut être contaminée par diverses substances, y compris les nitrites. Les nitrites présents dans l'eau brute peuvent provenir de différentes sources, telles que les activités industrielles, l'agriculture intensive ou encore les rejets domestiques.

Les nitrites sont considérés comme des polluants et leur présence dans l'eau peut avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Par conséquent, il est crucial de mettre en place des méthodes efficaces pour éliminer ces nitrites et assurer la qualité de l'eau que nous consommons.

L'une des méthodes couramment utilisées pour l'élimination des nitrites dans l'eau brute est la chloration. La chloration consiste à ajouter du chlore à l'eau afin de désinfecter et d'éliminer les contaminants présents, y compris les nitrites. Ce procédé permet de neutraliser les nitrites et de rendre l'eau propre à la consommation.

L'objectif de notre travail est de voir l'efficacité de l'élimination des nitrites présents dans les eaux brutes par chloration au niveau du procédé de coagulation floculation en utilisant le Jar Test.

En plus des nitrites nous suivrons l'évolution des autres paramètres importants comme la turbidité, la conductivité, le pH et l'UV₂₅₄.

Ce mémoire commence par une introduction générale et est organisé en six chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'eau.

Le deuxième chapitre présente les principaux procédés utilisés pour le traitement de l'eau potable.

Le troisième chapitre donne les principales techniques utilisées pour le traitement des eaux chargées en nitrites.

Le quatrième chapitre présente la station de traitement de l'eau potable de Boudouaou.

Le cinquième chapitre explique les modes opératoires, ainsi que les méthodes d'analyses utilisées.

Le sixième chapitre illustre les résultats des essais effectués et leur interprétation.

Enfin le travail se termine par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats.

1- Définition de l'eau :

C'est une substance naturelle, souvent liquide et inodore, incolore, et sans saveur à l'état pur, de formule chimique H_2O , et peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux), l'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle fréquemment le solvant universel.[1]

H_2O est la formule de la molécule d'eau. Dans cette molécule, un atome d'oxygène O est relié à deux atomes d'hydrogène H par des liaisons covalentes. La molécule a la forme d'un V majuscule, d'angle au sommet proche de 104° .

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécule de H_2O , elle est un très bon solvant, et dissout un grand nombre de corps ioniques, comme les sels en donnant des ions, ainsi que certaines substances chimiques toxiques ou non formées de molécules polaires [2]

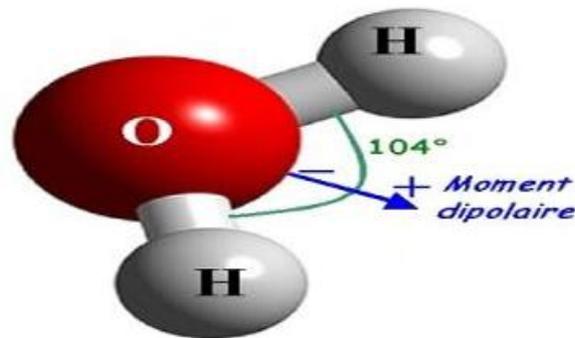


Figure I-1: Ultra structure de la molécule d'eau (H_2O)

2- Différents états de l'eau :

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement. Elle se présente sous différents états : sous forme solide, liquide et gazeuse.

2.1. L'eau sous forme solide : L'eau est solide quand la température est inférieure à $0^\circ C$. C'est la glace de la banquise au niveau des pôles, celle des glaciers alpins, la neige sur laquelle nous pouvons skier, le givre qui se forme par temps froid sur les arbres en hiver. Les calottes glaciaires et les glaciers représentent 2,1 % de l'eau présente sur la Terre [3]

2.2. L'eau sous forme liquide : Les plus grands réservoirs d'eau liquide sont les océans et les mers constituées d'eau salée ; ils représentent 97,2 % de l'eau de la Terre. Les autres réservoirs d'eau liquide sont les lacs, les rivières et les eaux souterraines. Ils sont constitués d'eau douce. Les lacs et les rivières correspondent à 0,01 % de l'eau présente sur Terre et les eaux souterraines à 0,06 % de cette eau.

2.3. L'eau sous forme de gaz : Dans l'atmosphère, l'eau existe sous forme de gaz. C'est la vapeur d'eau présente dans l'air humide. Elle ne correspond qu'à 0,001 % de l'eau de la Terre [3].

3- Les sources d'approvisionnement en eau :

Les ressources en eau sur terre, sont classées en deux grands groupes sont : Les ressources en eau **conventionnelles** et les ressources en eau **non conventionnelles**.

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. L'exploitation de ses ressources est très intense avec les besoins grandissant liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture et l'industrie.

La gestion des ressources en eau, en quantité et qualité, reste au centre des préoccupations du pays compte tenu de l'insuffisance des ressources qui est souvent aggravée par la sécheresse.

3.1. Les sources d'approvisionnement conventionnelles :

Les sources d'approvisionnement conventionnelles comprennent les eaux superficielles et les eaux souterraines.

3.1.1. Les eaux superficielles :

Il s'agit des masses d'eaux bien individualisées solides ou liquides, immobiles ou en mouvement. Elles se trouvent en contact étroit avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté. Leur origine est l'eau des précipitations. Elles sont constituées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers [4]

La qualité des eaux brutes de surface dépend fortement des phénomènes saisonniers (prolifération des algues et des planctons, etc.) et des événements météorologiques. Leur capacité d'adsorption très limitée et l'absence d'un mécanisme de filtration permettent aux solides, dissous ou non, de propager rapidement : d'où la qualité très fluctuante des eaux superficielles. Leur pollution microbiologique est généralement très importante. Les dangers proviennent des eaux de ruissellement sur les surfaces d'exploitation agricole et forestière (pesticides, fertilisants, engrais de ferme), des déversements des eaux usées, de la sédimentation des polluants de l'air.

3-1-2 Eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle importante. Comme elle se caractérise par une contamination bactérienne faible, car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution. Par conséquence la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée.[5]

3.2. Les sources d'approvisionnement non conventionnelles**3.2.1. Les eaux de mers :**

La mer s'étend sur 71% environ de la surface du globe. L'hémisphère sud est le principal réservoir d'eau de mer. Dans l'hémisphère nord on trouve plusieurs mers salées (mer Méditerranée, mer Baltique ...) qui communiquent pour certaines avec l'océan. La mer est multicolore, car elle reflète les différentes teintes du ciel.

3.2.2. Les eaux usées :

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leurs charges polluantes, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollution et de nuisances [1]

Non traitées ou mal traitées, les eaux usées présentent un risque pour la santé publique, pour la contamination des eaux destinées à la consommation et pour les eaux superficielles ainsi qu'une menace à l'équilibre écologique. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, 2003 : « une évacuation hygiénique des excréta et des déchets liquides qui ne comporte aucun danger pour la communauté doit être l'objet fondamental de tous les programmes d'assainissement ».

L'eau non potable est utilisée partout dans le monde pour l'irrigation et le refroidissement industriel. Les villes se tournent également vers la réutilisation de l'eau pour compléter l'approvisionnement en eau potable, profitant des progrès réalisés en matière de traitement de l'eau [6]

4- Paramètres caractéristiques de la qualité des eaux :

Les qualités admises d'une eau d'alimentation impliquent la garantie de son innocuité vis-à-vis de l'homme qui est appelé à la consommer. Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre, à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a édicté des normes internationales pour l'eau de boisson.[7]

4.1 Propriétés organoleptiques :**✚ 4.1.1 La Couleur :**

Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité. Dans un échantillon d'eau, l'intensité relative d'une couleur est analysée à l'aide d'une échelle arbitraire composée d'unités de couleur vraie. [5]

✚ 4.1.2 Gout et odeur :

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmes subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. [5]

✚ 4.1.3 Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de

turbidité céphalométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau. [5]

4-2 Paramètres physico-chimiques :

4-2-1 Paramètres physiques :

+ Température :

Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C, car on admet que l'eau doit être rafraîchissante. Quand les eaux naturelles sont au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de micro-organismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de couleur et de la turbidité. Les variations de température saisonnières peuvent affecter les eaux, surtout quand elles sont superficielles. [8]

+ Potentiel d'hydrogène :

C'est une mesure de l'activité des ions H⁺ contenus dans une eau. En chimie, par convention, on considère le pH de l'eau pure comme celui qui correspond à la neutralité d'une solution. Autrement dit, toute solution de pH inférieur à 7 (à 25°C) est considérée comme acide et inversement. [5]

+ Salinité :

La salinité totale d'une eau correspond à la somme des cations et des anions présents exprimée en mg/l. [5]

+ Les résidus secs à 180°C :

Les Résidus secs obtenus par évaporation, représentent les matières dissoutes et en suspensions d'une eau. [5]

+ Dureté ou titre hydrotimétrique (TH) :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins (Na⁺, K⁺), dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium Ca²⁺ et magnésium Mg²⁺ à 16 (ions alcalino-terreux). Un degré hydrotimétrique (°TH) correspond à une concentration en ions Ca²⁺ ou Mg²⁺. Un degré hydrotimétrique correspond aussi à un degré français (1°F). [5]

+ Conductivité électrique :

La conductivité des eaux potables est souvent liée à la concentration en sels minéraux dissous. Son unité est exprimée en (µS/cm).[9]

+ Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC). [9]

+ Titre alcalimétrique (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC) :

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates contenu dans l'eau. Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. La TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates. [10]

4.2.2 Paramètres chimiques :**➤ Cations :****+ Calcium (Ca^{2+}) :**

Il provient principalement de la dissolution des calcaires et des marnes. Sa présence en grande quantité peut être aussi due à la dissolution du gypse. La dissolution ou la précipitation du calcaire dépend de la teneur en CO_2 et du pH. Les eaux potables de bonne qualité renferment 100 à 140 mg/l de Ca^{2+} . [11]

+ Magnésium (Mg^{2+}) :

Il peut avoir d'une part une origine provenant de la dissolution des roches dolomitiques, magnésites, basaltes et argiles, et d'autre part origine industrielle. Son abondance géologique et sa grande solubilité font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes allant de quelques milligrammes à quelques plusieurs centaines de milligrammes par litre. A partir d'une concentration supérieure à 100mg/l, il donne à l'eau un goût désagréable. [11]

+ Sodium (Na^+) :

Le sodium est un élément alcalin que l'on trouve dans des sels sous forme d'ion Na^+ , c'est un élément constituant de l'eau, mais sa teneur peut y varier considérablement, d'une façon générale. Il est très soluble dans l'eau et se trouve à des concentrations plutôt faibles dans les eaux brutes. Il affecte la qualité organoleptique de l'eau lorsque la teneur dépasse 200 mg/l. [11]

+ Potassium (K^+) :

Le potassium beaucoup moins abondant que le sodium est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. il ne présente aucun inconvénient particulier, bien que le ^{40}K soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau. [11]

➤ **Les anions :**

✚ **Chlorure :**

Les teneurs en chlorures (Cl^-) des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes non polluées ont souvent une teneur en chlorures. Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé. [11]

✚ **Les sulfates (SO_4^{2-}) :**

Ils proviennent des argiles, des marnes, des matières d'origine animale (matières fécales) et des détergents. Leur présence dans l'eau naturelle résulte également de la solubilité des sulfates de calcium (gypse) et de l'oxydation des sulfures dans les roches. La limite supérieure admise dans l'eau potable est 250 mg/l .

✚ **Bicarbonates :**

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium. Ils sont responsables de la dureté temporaire de l'eau. En trop grande quantité, ils peuvent donner un goût amer et acide à l'eau, A basse température, le CO_2 se dissout dans l'eau et favorise sa transformation en acide carbonique (H_2CO_3) qui donne les ions HCO_3^- ces réactions chimiques sont liées à l'évolution du pH. [11]

4-2-3 Paramètres indésirables :

Ce sont des substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse, cuivre, zinc...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, nitrites, fluor...).

✚ **Fer (Fe^{2+}) :**

Le fer contenu dans l'eau peut être entropique. Dans l'eau potable, la teneur maximale acceptable est de 0,3 mg/l [5]

✚ **Manganèse (Mn^{2+}) :**

La teneur en Mn^{2+} est limitée à 0,05 mg/l (la teneur souhaitable est inférieure ou égale à 0,01 mg/l) dans les eaux potables pour le goût qu'il peut donner, pour les taches et les dépôts qu'il peut occasionner et aussi parce qu'il favorise la croissance de certains microorganismes [5]

✚ **Aluminium (Al^{3+}) :**

Les rejets industriels, l'érosion, le lessivage des minéraux et des sols et les précipitations constituent pour l'aluminium les principales voies d'accès au milieu aquatique. Une des causes les plus courantes de la présence d'aluminium est le traitement de l'eau par des sels d'aluminium comme agent coagulant.

+ Cuivre (Cu²⁺) :

La concentration de cuivre pour laquelle est détectée une mauvaise saveur est située entre 1 et 2 mg/l, et la concentration supérieure à 5 mg/l rend l'eau imbuvable [5]

4-2-4 Paramètres de toxicité :

La présence d'éléments toxiques dans l'eau est dangereuse pour la santé en cas de consommation régulière. Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds) on distingue :

+ Arsenic (As) :

Tous les composés de l'arsenic présentent des risques toxiques pour l'homme, mais ceux-ci varient en fonction de leur solubilité dans l'eau [13]

+ Cadmium (Cd) :

Le cadmium est un élément toxique même à faible dose. Son principal danger réside dans son effet cumulatif [13]

+ Plomb (Pb) :

Les eaux de surface peuvent atteindre des concentrations de l'ordre de 600 µg/l. il est facilement éliminé par certains traitements classiques [13]

+ Chrome (Cr) :

À l'état naturel, il est hautement insoluble, mais il peut dans certaines conditions devenir plus soluble par l'érosion, l'oxydation et l'action des bactéries. En pratique, sa présence dans l'eau est plus souvent liée aux rejets des eaux usées industrielles, il est assez utilisé dans l'industrie de fabrication d'acier et en métallurgie.

4-3 Normes d'eau potable :

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies afin de fixer les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur [14]

Globalement, la qualité de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales.

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2014) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation

humaine avec des valeurs limites. Les tableaux 1, 2, représentent les normes Algérienne, Françaises et de l'OMS de l'eau potable :

Tableau 01 : les valeurs indicatives des paramètres bactériologique (OMS, 2005; JORA Algérienne, 2014; Journal Officiel de la République Française [JORF], 2007).

PARAMETRES	Unités	VALEUR INDICATIVES
Escherichia Coli	n/100ml	0
Entérocoques	n/100ml	0
Bactéries sulfito-réductrices y compris les spores	n/20 ml	0

Tableau 02 : Normes physico-chimiques (OMS, 2005; JORA, 2014; Journal Officiel de la République Française [JORF], 2007)

Paramètre physico-chimiques	Unité	Normes O.M.S	Normes Algériennes	Normes Françaises
Température	°C	Acceptable	25	25
pH	/	7- 8.5	6.5 – 9	6.5 -9
Conductivité électrique à 20 °C (CE)	µS/cm	Pas de norme	2800	≥180 et ≤ 1000
Turbidité	NTU	5	5	1
Chlorures	mg/.L	/	500	250
Dureté Totale	mg/.L	500	500	/
Calcium	mg/L	/	200	/
Magnésium	mg/L	/	150	50
Nitrates	mg/L	50	50	50
Fer total	mg/L	Pas de norme	0.3	/
Phosphore	mg/L	Pas de norme	5	/
Potassium	mg/L	250	12	/
Sodium	mg/L	Pas de norme	200	200
Sulfates	mg/L	0.3	400	250
Ammonium	mg/L	/	0.5	0.10
Fluorures	mg/L	1.5	1.5	1.5
Résidus secs	µg/L	/	1500	/

5- Pollution de l'eau :

La pollution est due à toute substance physique, chimique ou biologique rejetée dans une eau naturelle qui perturbe l'équilibre de cette eau, induit d'importantes (nuisances mauvaise odeur, fermentation, risques sanitaires, etc.

5-1 Pollution physique :

IL s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau). La pollution physique désigne l'autre type de pollution, telle que la pollution thermique due aux températures élevées, qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz et la pollution radioactive.

5-2 Pollution chimique :

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements polluants organiques et minéraux par les unités industrielles.

L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines.

Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse. Les polluants chimiques dits indésirables (nitrate, les composés phosphorés et les sels ammoniacaux :

- Les pesticides et produits apparentés.
- Les hydrocarbures.
- Les détergents.

5-3 Pollution biologique :

Un grand nombre de microorganismes peut proliférer dans l'eau qui sert d'habitat naturel ou comme un simple moyen de transport pour ces microorganismes Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. On parle ainsi de pollution bactérienne, virale ou parasitaire.

6 – Utilisations et exploitation de l'eau :**6-1 -Eaux de consommation humaine :**

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies sur le plan de ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur. Pour la qualité des eaux distribuées, on se réfère essentiellement à deux aspects.

La satisfaction de l'utilisateur, subjective car fondée essentiellement sur la qualité organoleptique et visuelle : « L'eau doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. » [15]

Et surtout, la composition et sa compatibilité avec l'hygiène et la protection de la santé publique (qualité sanitaire). L'eau de distribution publique est définie par des normes nationales découlant des travaux de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de directives européennes [15].

L'OMS dans ses directives établies en 1983 a regroupé les paramètres concernant la qualité de l'eau en catégories [15]

- La qualité microbiologique.
- Les composés inorganiques ayant une conséquence sur la santé.
- Les composés organiques ayant une conséquence sur la santé.
- La qualité esthétique (transparence, absence de coloration).

6-2 Usage de l'eau :

L'eau est une substance indispensable à la pérennité de tous les êtres vivants ayant besoin de leur ration quotidienne d'eau.

L'eau est également une ressource essentielle au développement des sociétés humaines qui se sont implantées au bord des cours d'eau. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, l'eau est en effet nécessaire à toutes les activités humaines. Ses usages se sont d'ailleurs intensifiés et les volumes d'eau utilisés par l'homme ont décuplé depuis le début du XXe siècle

Les utilisations de l'eau sont traditionnellement réparties entre trois secteurs domestiques, agricole et industrielle en pourcentage de l'utilisation totale de l'eau.

- ✚ Le secteur domestique comprend généralement des utilisations domestiques et municipales ainsi que l'utilisation commerciale et gouvernementale de l'eau.
- ✚ Le secteur industriel comprend généralement l'eau utilisée pour le refroidissement des centrales électriques et la production industrielle.
- ✚ Le secteur agricole comprend l'eau pour l'irrigation et l'élevage. Le secteur de l'énergie (compris la production d'électricité et la production d'énergie primaire) est souvent inclus dans le secteur industriel dans les analyses de l'utilisation de l'eau ; gros utilisateur et consommateur, il peut faire d'autre-part l'objet d'un comptage séparé [16].

6-2-1 L'eau au quotidien (domicile) :

L'eau potable à domicile est une conquête du XXe siècle dans les pays les plus développés. D'abord considérée comme un luxe, elle se banalise après la seconde guerre mondiale avec le développement des réseaux d'alimentation en eau dans les villes, puis dans les campagnes. Elle contribue à plus de propreté et de salubrité. On la retrouve ainsi dans toutes les activités qui rythment notre quotidien : toilette, lavages divers, évacuation des déchets. La consommation domestique d'eau représente aujourd'hui 10 % de la consommation d'eau mondiale, avec de fortes variations selon le niveau et le mode de vie des pays.

6-2-2 L'eau dans l'industrie :

La présence d'une ressource en eau abondante et de bonne qualité est souvent un facteur d'implantation d'industries près des cours d'eau. L'eau peut ainsi être utilisée pour réaliser de nombreuses opérations :

- ✓ Le lavage d'objets, de récipients, de canalisations, de sols d'ateliers.
- ✓ Le chauffage ou le refroidissement d'objets.
- ✓ La réalisation de réactions chimiques en milieu aqueux.
- ✓ Le transport d'objets par canalisations.

La consommation industrielle d'eau représente environ 20 % de la consommation mondiale. Elle varie selon les pays et les secteurs d'activité : toute l'eau utilisée par l'industrie n'est pas forcément consommée, elle peut parfois être rejetée dans le milieu après avoir servi.

Les industries de transformation sont les plus gourmandes en eau. La qualité requise pour l'eau industrielle dépend de l'activité : les industries agroalimentaires ont besoin d'eau potable ; les industries électronique, médicale et biotechnologique requièrent une eau très pure.



Figure I-2 : l'eau dans l'industrie

1) Généralités :

Les eaux de surface sont sujettes à des modifications physiques, chimiques et biologiques qui les rendent impropres à la consommation. Par conséquent, le traitement des eaux de surface par des méthodes appropriées nécessitant des investissements importants et une main-d'œuvre spécialisée est nécessaire. Cependant, même les traitements correctifs appliqués aux eaux de surface ne sont pas toujours capables d'éliminer tous les contaminants connus et inconnus.

Ces traitements ne peuvent que réduire le niveau d'impuretés et l'eau naturelle doit subir un traitement supplémentaire avant de pouvoir être utilisée à des fins domestiques, industrielles ou autres. De ce fait, il est impératif de traiter l'eau de surface avant de la consommer.

2) Objectif du traitement :

L'objectif principal du traitement de l'eau potable est de produire une eau propre, saine et sans danger pour la consommation humaine. Le traitement vise à éliminer tous les contaminants, impuretés et micro-organismes présents dans l'eau brute, afin de prévenir la propagation de maladies d'origine hydrique et de garantir que l'eau est propre à la consommation. Le traitement de l'eau potable implique l'utilisation de diverses technologies et méthodes, telles que la filtration, la sédimentation, la désinfection, l'échange d'ions et la stabilisation du pH, pour purifier l'eau brute. Les normes de qualité de l'eau potable varient selon les pays et les régions, mais toutes les normes exigent que l'eau potable ne contienne pas de contaminants dangereux pour la santé humaine. En bref, l'objectif ultime du traitement de l'eau potable est de garantir que l'eau est propre et sûre pour la consommation humaine.

3) Importance du traitement de l'eau :

L'organisation mondiale de la santé estime en effet que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont discrètement associés à l'eau : on retrouve ainsi en permanence 400 millions de personnes atteintes de gastro-entérite, 200 millions de schistosomiase (bilharziose) 160 millions de paludisme et 300 millions d'onchocercose. On estime par ailleurs que les eaux polluées sont responsables de 50% des cas de mortalité infantile. Malgré les apparences, la transmission des maladies par une eau polluée n'est pas l'apanage des pays en voie de développement. Une étude récente a en effet révélé que, chaque année, aux États-Unis, 35 000 personnes étaient victimes de salmonelloses, 200 000 de shigellose et 75 000 d'hépatite à virus A. Ces infections entraînent respectivement des dépenses totales d'hospitalisations, de mortalité et des pertes de rendements, de 6 500 000 \$, 3 500 000 \$ et 115 000 000 \$.[18]

4) Procédés de traitement de l'eau consommé :

Il convient de noter que tous les traitements ne sont pas appliqués de manière systématique. En effet, les propriétés de l'eau brute déterminent la nature du traitement qu'elle subira.

4.1. Procédés de traitement physico-chimique de l'eau potable :

Prétraitement : Il est conçu pour extraire le maximum d'éléments de l'eau brute. Sa nature ou sa taille constituera une barrière au traitement ultérieur :

4.1.1. Prétraitement physique :

Captage : l'eau est pompée par captage dans un forage ou un puits. Le sol en tant que filtre naturel assure une bonne qualité de l'eau. Mais il doit être traité pour fournir une eau potable totalement exempte d'impuretés. A cet effet, de l'eau est introduite dans l'usine de production.

Dégrillage : A son entrée dans l'usine, l'eau passe à travers le grillage (avec un espace d'environ 5 cm) pour enlever les plus gros déchets (cailloux, plastique, branches, feuilles, etc.).

Tamissage : C'est la rétention de particules plus grosses que la maille filtrante ou d'éléments qui se sont déposés pour former le matériau filtrant, ce phénomène se produit de plus en plus au fur et à mesure que la maille du matériau filtrant devient plus fine : pour la composition du lit filtrant, il n'y importe peu. Matériau relativement grossier, qui, en revanche, prédomine en filtration sur supports fins : tamis, manchettes filtrantes.

Décantation : En permettant à l'eau de se colorer lentement dans le grand bassin, les boues et les résidus d'eau s'accumulent au fond, un processus également connu sous le nom de décantation.

Dessablage et déshuilage : Elimination des sables et des huiles.

4.1.2. Prétraitement chimique : pré oxydation :

Cette étape s'intégrera dans la chaîne de traitement de l'eau en la plaçant en amont du prétraitement physique et du traitement conventionnel. Pour le prétraitement chimique les stations de traitement d'eau potable peuvent utiliser :

- **De l'oxygène (aération).**
- **Le chlore.**
- **Les chloramines.**
- **Le bioxyde de chlore.**
- **Le permanganate de potassium.**
- **L'Ozone.**

4.2. Clarification :

Son but est d'éliminer les solides en suspension, colloïdaux ou non, qui donnent la couleur et la turbidité de l'eau. Elle utilise les phénomènes de :

4.2.1. Coagulation, floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de 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. [18]

Il est important que les procédés de coagulation et de floculation soient utilisés correctement. En effet, la production d'un floc trop petit ou trop léger entraîne une décantation insuffisante, lorsque les eaux arrivent sur les filtres, elles contiennent une grande quantité de particules de floc, qui encrassent rapidement ces filtres, ce qui nécessite des lavages fréquents. Par ailleurs, lorsque le floc est fragile, il se brise en petites particules qui peuvent traverser le filtre et altérer la qualité de l'eau produite. [18]

4.2.1.1.Charges électriques et double couche :

Dans une eau de surface, les particules colloïdales possèdent habituellement une charge électrique négative située à leur surface. Ces charges, dites primaires, attirent les ions positifs en solution dans l'eau, lesquels adhèrent fortement à la particule et attirent à leur tour des ions négatifs accompagnés d'une faible quantité d'ions positifs (fig.1). [18]

Les ions qui adhèrent fortement à la particule et se déplacent avec elles forment la couche liée, alors que les ions qui y adhèrent faiblement constituent la couche diffuse : il y a donc un gradient électrostatique entre la surface de la particule et la solution. La figure 3.2 illustre graphiquement la variation du potentiel électrostatique en fonction de la distance de la surface de la particule. [18]

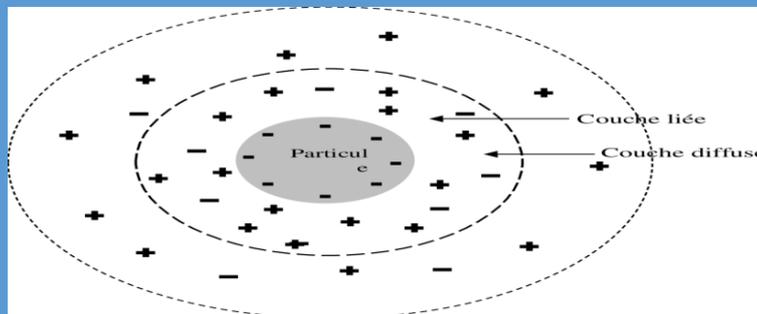


Figure II-1 : Double couche d'une particule colloïdale.

- **Le potentiel électrostatique** mesuré au plan de cisaillement est appelé **potentiel zêta** (pour une particule hydrophobe, ce potentiel est de l'ordre de 50 à 100 mV). Le potentiel zêta est responsable du comportement électrocinétique des particules colloïdales.
- **Le potentiel électrostatique** en fonction de la distance (fig.2) est par ailleurs influencé par la force ionique de l'eau. On peut calculer cette force ionique à l'aide de l'équation suivante [18]

$$\mu = \frac{1}{2} \sum n \cdot C_n Z_n^2$$

Où μ =force ionique

C_n = concentration de l'ion n (mol/L)

Z_n = valence de l'ion n

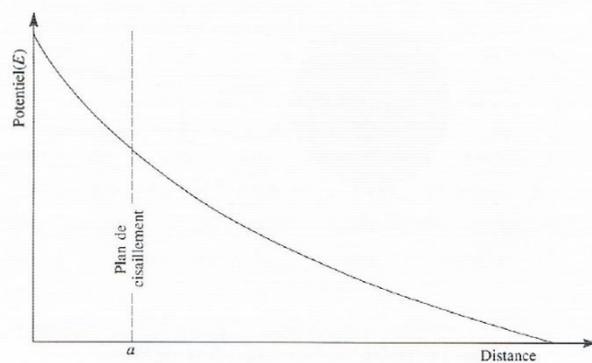


Figure II-2 : Variation du potentiel électronique en fonction de la distance de la particule.

4.2.1.2.Coagulation :

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. On peut obtenir cette déstabilisation par :

a) Compression de la double couche :

Lorsqu'on rapproche deux particules colloïdales semblables, leurs couches diffuses interagissent et génèrent une force de répulsion. La figure illustre la variation du potentiel de répulsion, E_r en fonction de la distance qui sépare deux particules. Il existe par ailleurs un potentiel d'attraction, ou forces d'attraction, E_a , entre les particules. Ces forces, appelées forces de van der Waals, dépendent des atomes qui constituent les particules et de la densité de ces dernières. [18]

L'effet global, entre deux particules, est représenté par la résultante de ces deux forces, E . Lorsque la distance qui sépare les particules est supérieure à une certaine distance critique, L (fig.3), la force de répulsion l'emporte : les particules colloïdales en suspension sont continuellement en mouvement ; les particules dont l'énergie cinétique est suffisante pour surmonter le potentiel de répulsion s'agglomèrent, alors que les autres demeurent dispersées. Afin de favoriser l'agglomération des particules, on peut soit augmenter l'énergie cinétique des particules, soit réduire le potentiel de répulsion entre les particules. [18]

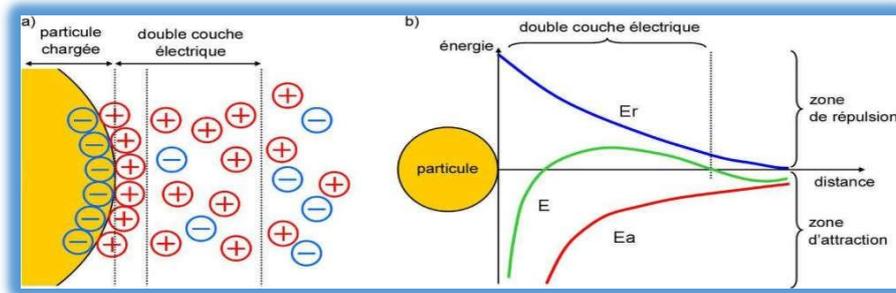


Figure I-3 : Variation du potentiel de répulsion en fonction de la distance qui sépare deux particules.

b) Adsorption et neutralisation des charges :

On peut toutefois expliquer la restabilisation des particules colloïdales en posant l'hypothèse que des charges issues d'un surplus de coagulant sont adsorbées à la surface des particules. Les particules colloïdales ainsi restabilisées possèdent alors une charge inversée, ce qui est contraire au but recherché. [18]

c) Emprisonnement des particules dans un précipité :

Pour déstabiliser les particules colloïdales, on peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou FeCl_3 , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc, constitué de molécules de $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, possède habituellement une charge positive. La présence de certains anions et particules colloïdales accélère la formation du précipité. [18]

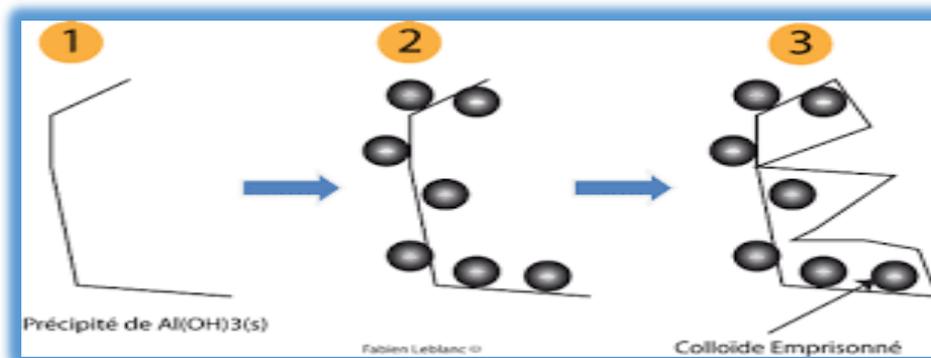


Figure II-4: Emprisonnement des particules dans un précipité.

d) Adsorption et pontage :

Dans quelques cas, on a obtenu le traitement le plus économique en utilisant un polymère anionique lorsque les particules étaient chargées négativement. Ce phénomène, inexplicable à l'aide de la théorie électrique, peut toutefois être expliqué par le «pontage».

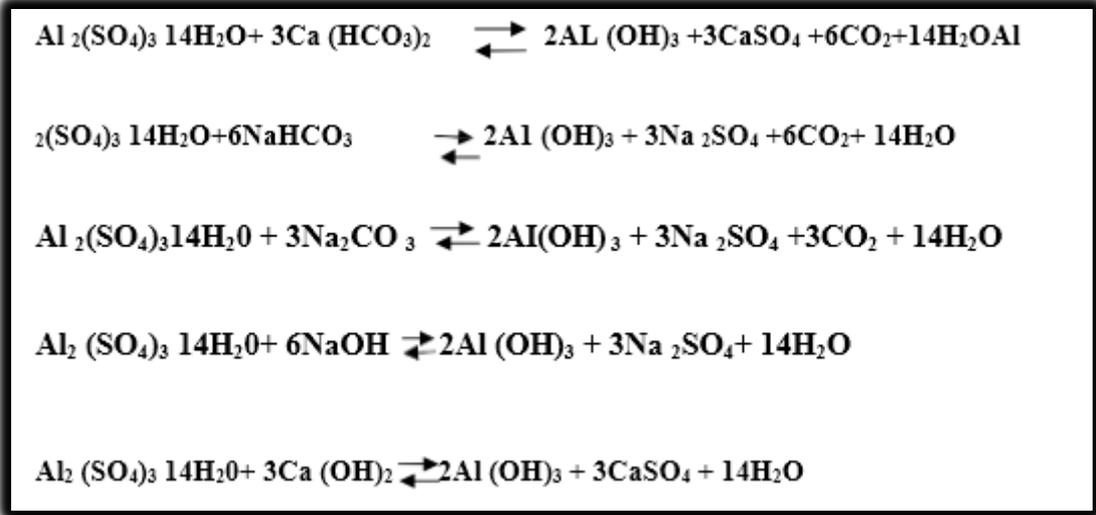
Les molécules de polymères, très longues, contiennent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales. La molécule de polymère peut ainsi adsorber une particule

colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules. On dit alors que les molécules de polymères forment des « ponts » entre les particules colloïdales. Il peut y avoir restabilisation de la suspension, restabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale, Cet ensemble particule-molécules de polymères ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales, ce qui est encore contraire au but recherché. [18]

4.2.1.3. Coagulants utilisés :

Les principaux coagulants utilisés pour déstabiliser les particules et pour produire un Floc sont : le sulfate d'alumine, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, l'aluminate de sodium, $NaAlO_2$, le chlorure d'aluminium, $AlCl_3$ le chlorure ferrique, $FeCl_3$, le sulfate ferrique, $Fe_2(SO_4)_3$. Le sulfate ferreux, $FeSO_4$. Le sulfate de cuivre, $CuSO_4$, et les poly électrolytes. Les produits les plus utilisés pour la purification des eaux sont les sels d'aluminium et de fer. On a longtemps pensé que ces sels libéraient des ions Al^{3+} et Fe^{3+} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation.

On sait maintenant que les mécanismes qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux-mêmes lorsqu'on additionne à l'eau les sels d'aluminium ou de fer ces derniers réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes, $Al(OH)_3$, ou $Fe(OH)_3$, insolubles et formant un précipité. Les principales réactions de l'alun sont [18]



On peut montrer, à partir des équations chimiques ci-dessus, que 1 mg/l d'alun, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$, réagit avec 0,50 mg/l d'alcalinité (exprimée en $CaCO_3$).

Pour conserver à l'eau son alcalinité, on peut ajouter 0,33 mg/L de chaux vive, CaO , à 85% de pureté ; 0,39 mg/l de chaux éteinte, $Ca(OH)_2$, à 95 % de pureté; ou 0,54 mg/l de cendre de soude, Na_2CO_3 . Dans la plupart des cas, cependant, il est avantageux de laisser l'alcalinité diminuer, afin d'obtenir un pH qui permette une coagulation optimale. [18]

4.3. Décantation :

S'effectue dans des bassins. Elle permet d'éliminer 70% environ de matières minérales et organiques en suspension et les précipités qui se déposent au fond du bassin où elles forment des boues.

4.3.1. Principe :

Si on laisse reposer une suspension solide dans une phase liquide, on observe que les particules sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède, tendent à tomber vers le fond en fonction de leur densité et leur taille. Cette décantation peut cependant être relativement lente pour les très fines particules (sensibles à l'agitation thermique) et les liquides particulièrement visqueux. Toutefois, il est possible d'agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la vitesse de sédimentation, on cite [18] :

- Le diamètre des particules, en utilisant des flocculant.
- La différence de densité.
- La viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température.
- La surface de base du bac.

Pour que la décantation soit efficace, il faut que la vitesse de sédimentation des particules soit supérieure à 8 m/h. Les temps de séjour augmentent lorsque la vitesse de décantation diminue, donc entre 5 et 8 m/h, Ces installations ont pour objectifs (parfois concourants) [18] :

La clarification, qui donne phase liquide quasi débarrassée de particules solides

L'épaississement, qui donne une boue à la concentration, en solide la plus élevée possible.

4.3.2. Types de décantation :

Selon la concentration en solides et la nature des particules, on distingue quatre types de décantation [18] :

4.3.2.1. Type 1 : Décantation de particules discrètes :

Ce type de décantation individuelle est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est indépendante de la concentration en solides ; c'est pourquoi les lois classiques de Newton et Stokes s'appliquent ici. On retrouve ce type de décantation dans les dessaleurs.

Considérons les forces agissant sur une particule qui chute (fig.5) D'après cette figure, on peut écrire que :

$$\mathbf{F}_t = \mathbf{F}_g - \mathbf{F}_o \quad (1)$$

$$\text{On sait que } \mathbf{F}_g = (\rho_p - \rho_L) g b \quad (2)$$

$$F_d = \frac{C_d A_p \rho L V_p^2}{2} \quad (3)$$

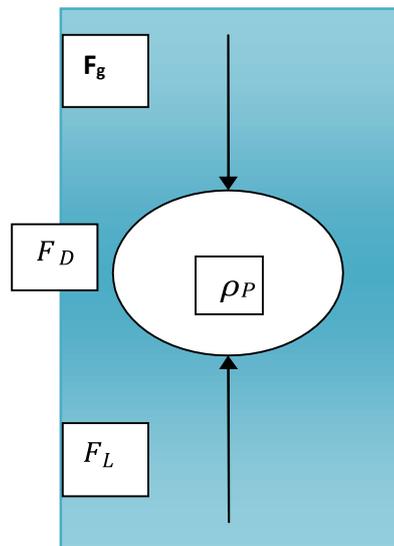


Figure II-5 : Force agissant sur une particule qui chute.

F_D = force de traînée (N)

F_t = force résultante (N)

F_g = force de décantation due à la pesanteur (N)

ρ_p = masse volumique de la particule (kg/m^3)

ρ_l = masse volumique de l'eau (kg/m^3)

b = volume de la particule (m^3)

A_p = aire de la section de la particule (m^2)

C_D = coefficient de traînée

V_p = vitesse de chute de la particule (m/s)

T = temps (s)

G = accélération due à la pesanteur (m/s^2)

La particule qui chute accélère jusqu'à ce que $dv_p/dt = 0$. À l'équilibre, sa vitesse est alors :

$$V_p = \left[\frac{4g(\rho_p - \rho_L)d}{3C_D} \right]^{\frac{1}{2}}$$

La loi de Stokes :

$$V_p = \frac{g(\rho_p - \rho_L)d^2}{18\eta}$$

❖ Bassin de décantation idéal

Considérons maintenant un bassin de décantation idéal. Dans un tel bassin, les paramètres sont les suivants :

A = aire de la section longitudinale de la zone de la décantation

A' = aire de la section transversale de la zone de décantation ($H \cdot w$)

H = profondeur totale de la zone de décantation

h = profondeur partielle de la zone de décantation

L = longueur de la zone de décantation

Q = débit de l'eau

V_H = vitesse horizontale de l'eau (Q/A')

V_P = vitesse de chute d'une particule

V_o = vitesse de chute « cible » d'une particule

W = largeur de la zone de décantation

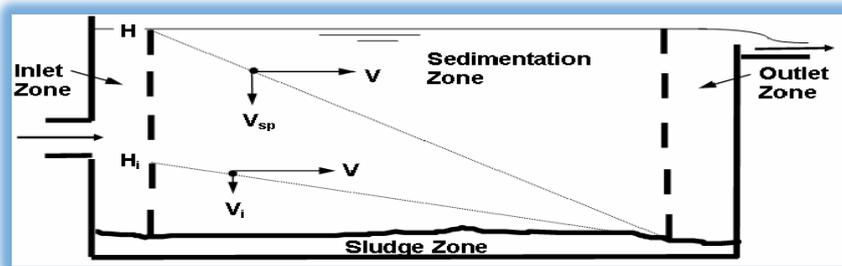


Figure II-6 : bassin de décantation idéal.

On peut par ailleurs déterminer les différentes zones suivantes à l'intérieur du bassin idéal de décantation :

- Zone d'entrée** : zone à l'intérieur de laquelle le débit est distribué uniformément à travers la section A .
- Zone de décantation** : zone à l'intérieur de laquelle a lieu la décantation dite « tranquille » (débit uniforme).
- Zone de sortie** : zone où a lieu l'évacuation de l'eau décantée.
- Zone de boues** : zone où il y a accumulation des solides décantés.

On remarque que toutes les particules dont la vitesse de chute est supérieure à V , sont éliminées. Quant aux particules dont la vitesse de chute est inférieure à V .

4.3.2.2. Décantation de particules floculant :

Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont

donc modifiées pendant le processus. On retrouve ce type de décanteurs secondaires des usines d'épuration.

4.3.2.3. Type 3 : Décantation freinée :

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules, ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et, par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant. On retrouve ce type de décantation dans la partie profonde de des décanteurs.

4.3.2.4. Décantation en compression de boue :

Dans ce type de décantations, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent. On retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité.

4.3.3. Divers types de décanteur :

4.3.3.1. Décanteur à flux horizontal :

Dans ces bassins, la condition pour qu'une particule soit retenue est qu'elle ait le temps d'atteindre le fond avant le débordement ou la sortie de l'ouvrage. Un décanteur horizontal est caractérisé par :

- Le débit d'eau Q .
- Sa surface S
- Sa hauteur h entre le plan d'eau libre et le radier.

Dans ce cas, le **temps de rétention** dans l'ouvrage est :

$$T = \frac{S \cdot h}{Q}$$

Une particule en suspension arrivant en surface à l'entrée du décanteur décante avec une vitesse constante V_0 . La décantation est achevée lorsque la particule s'est déposée sur le radier et la durée de chute est estimée à (h/V) . La possibilité pour les particules d'atteindre le fond de l'ouvrage est évidemment envisageable seulement si :

$$T > h/V$$

Ou encore : $V_0 > Q/S$.

Le terme Q/S est appelée **vitesse de Hazen**, il s'exprime souvent en (m/h). [20]

4.3.3.2. Décanteur à tubes :

On trouve sur le marché deux types de décanteurs à tubes : ceux dont les tubes sont légèrement inclinés par rapport à l'horizontale (7°) et ceux dont les tubes sont fortement inclinés par rapport à l'horizontale (60°).

Ces deux types de décanteurs sont habituellement constitués d'un empilement de tubes de section carrée de 5 cm de côté. [18]

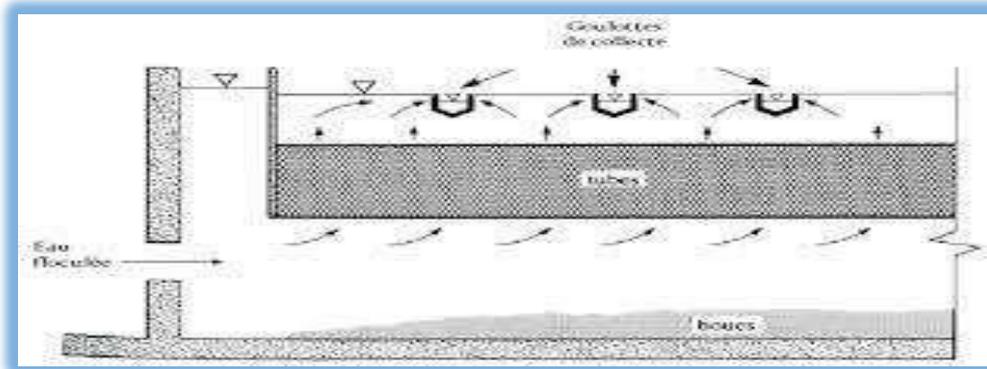


Figure II-7 : Décanteur à tubes inclinés à 60°.

4.3.3.2. Décanteur à flux verticaux :

Dans ce type d'ouvrages, l'écoulement de l'eau suit un mouvement descendant vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la force de traînée. Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues. On rencontre les ouvrages suivants [19] :

- ✓ Décanteurs dits statiques.
- ✓ Décanteurs à circulation de boues.
- ✓ Décanteurs à lit de boues.

4.3.3.3. Décanteurs dits statiques (simples ou lamellaires) :

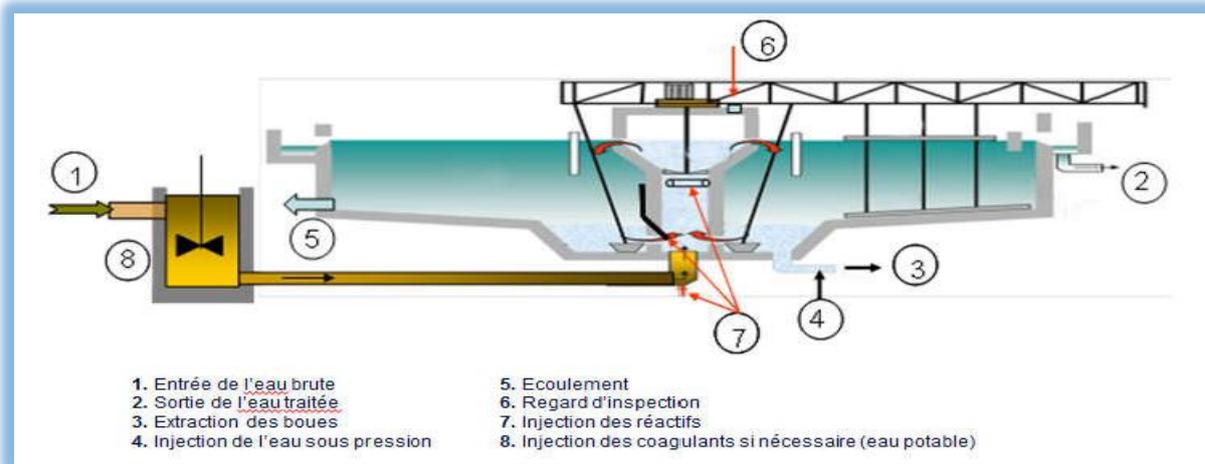
Dans ce type d'appareils, on trouve de nombreuses configurations à savoir : décanteurs circulaires ou rectangulaires, raclés ou non raclés, précédés ou non d'un flocculateur : les plus récents peuvent être, en outre, garnis d'un dispositif de décanteur lamellaire pour tenter d'augmenter la vitesse de passage qui, sans cela, ne pouvait dépasser 1,5 m h m sur la surface de décantation (surface des flocculateurs non comprise). [19]

4.3.3.4. Décanteur lamellaire :

On peut considérer que ce type de décanteur constitue le terme ultime du précédent. Il est constitué par des plaques inclinées disposées perpendiculairement au flux et qui forment une infinité de niveaux. [21]

4.3.3.5. Décanteurs à circulation de boues :

Ils favorisent un bon contact de l'eau et des boues par recyclage total ou partiel des boues dans une colonne centrale de réaction. En outre, le rassemblement des flocons permet une sédimentation plus rapide.



FigureII- 8 : Décanteur circulation.

Le Circulator (figure 8). Il est de conception très simple. La recirculation des boues est assurée par un système d'hydro-éjecteur placé sur le tuyau d'arrivée d'eau brute. Cependant le floc risque de se briser au passage de la tuyère, ce qui a conduit au type suivant :

Le Turbo circulator dans lequel, la tuyère est remplacée par une hélice.

Dans les grands Appareils, le radier très incliné est remplacé par un radier à faible pente et un pont racleur assure la collecte des boues pour les ramener dans la zone centrale. [22]

4.3.3.6. Décanteurs à lit de boues :

Ce type d'appareil est surtout représenté par le Pulsateur (figure9) dans lequel l'eau à clarifier traverse verticalement le lit de boues qui jouent un rôle de filtre fluidisé très efficace. Les pulsations (qui lui ont donné son nom) garantissent la bonne floculation et l'homogénéité du lit de boues. A surfaces de décantation égales, la vitesse autorisée est souvent est de l'ordre de 2 à 3 fois plus grande à celle d'un appareil statique (soit 3 à 5 m/h).[19]

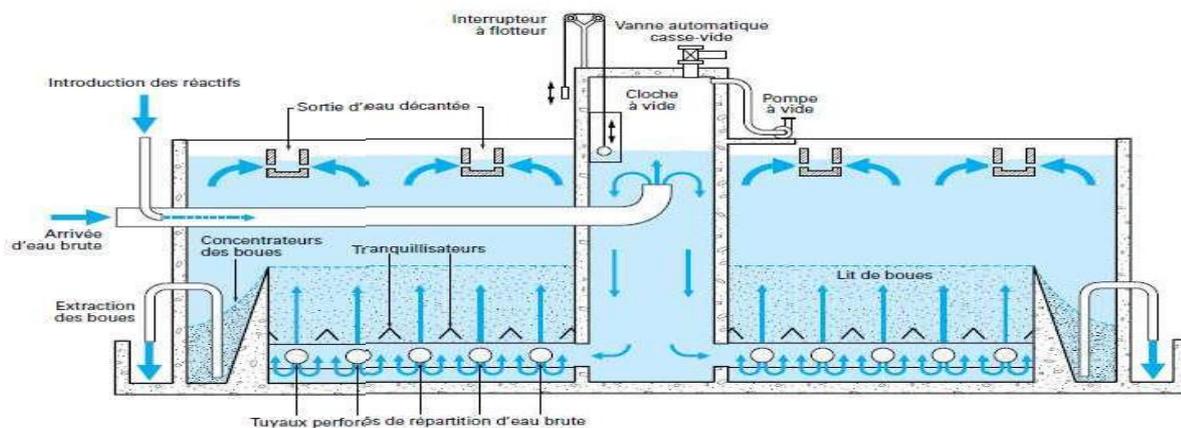


Figure II-9 : Décanteur pulsateur.

4.3.3.7. Décanteur cylindro-conique :

Ce type d'appareil à flux ascendant est surtout utilisé dans les petites stations dont les débits Q sont inférieurs à $20 \text{ m}^3/\text{h}$. On le trouve fréquemment aussi, lorsqu'il s'agit d'éliminer les produits résultant de l'utilisation de réactifs chimiques, par exemple dans le cas de la décarbonatation.

La vitesse ascensionnelle de l'eau ne doit pas dépasser **1 à 2 m/h** et la pente de la partie conique doit être comprise entre **45** et **65°**. mémoire final. [21]

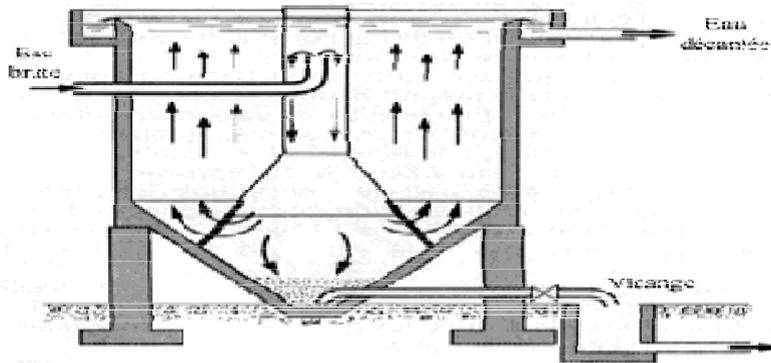


Figure II-10 : Décanteur Cylindro-conique.

4.4. Filtration :

Le filtre le plus classique est le filtre à sable, elle sera d'autant plus efficace que les grains seront plus fins. L'écoulement est alors suffisamment lent pour permettre le développement d'un bio film à la surface du sable. L'activité épuratrice de ce bio film permet la dégradation de la matière organique.

La filtration en profondeur est très fréquemment utilisée en traitement des eaux de surface après les étapes successives de coagulation, floculation et décantation (ou flottation). Elle peut être appliquée directement sur l'eau brute (tamisée), sans ou avec injection de coagulant, notamment pour le traitement des eaux souterraines. [29]

Tableau II-1 : Domaines d'application des différents types de filtration [30]

<i>Prétraitement avant filtration</i>	<i>Type de filtration</i>	<i>Qualité de l'eau brute</i>			
		<i>Turbidité (NTU)</i>	<i>Couleur (CU)</i>	<i>Algues (unités/ml)</i>	<i>Coliformes totaux (100 ml)</i>
Coagulation-floculation-séparation	Filtration rapide mono ou bicouche	Pas de restriction	<75	Pas de restriction	<5000
Coagulation-floculation	Filtration rapide mono ou Bicouche	<15	<40	<1000	<500
Coagulation-contact	Filtration rapide mono ou bicouche	<15	<20	<1000	<500
Coagulation directe	Filtration rapide en mono ou en bicouche	<15	<20	<1000	<500
Microtamisage	Filtration lente	<10	<5	<200	<800

4.4.1. Mode de filtration en profondeur :

Le mode de filtration le plus utilisé est la filtration rapide (5 à 24 m³/m².h ou m/h) à flux descendant, notamment par voie gravitaire, à perte de charge croissante ou compensée. Quelques cas de filtration gravitaire lente ou de filtration rapide sous pression à flux descendant sont rencontrés.

4.4.2. Différents types de filtres en profondeur :

En production d'eau potable, les différents filtres utilisés sont généralement présentés (ou classés) : [29]

4.4.2.1. Les filtres sous pression :

Ce sont des filtres fermés généralement verticaux (en production d'eau potable), avec des lits filtrants composés classiquement d'une monocouche de sable (ou d'anthracite) lavable à l'eau seule ou au mélange air/eau puis à l'eau de rinçage. Un lit bicouche est parfois utilisé.

Ils peuvent fonctionner à débit constant. Toutefois, comme les pompes d'alimentation sont rarement équipées de variateur de vitesse et les filtres rarement équipés d'asservissement.

Adapté (une augmentation de la vitesse de la pompe est indispensable pour maintenir le débit constant quand la pression augmente), les filtres sous pression fonctionnent le plus souvent à débit et perte de charge variables (ou libres) en suivant la courbe « hauteur manométrique/ débit » de la pompe.

4.4.2.2. Les filtres lents gravitaires :

Malgré leurs performances exceptionnelles, peu de filtres lents sont encore en fonctionnement et leur construction n'est malheureusement plus d'actualité à cause des très grandes surfaces au sol indispensables (5 à 10 m² par m³/h).

Le lit filtrant est constitué de sable « tout venant » et doit être précédé d'un dégrossissage (3 à 6 m/h) et d'une préfiltration (1 à 2 m/h).

Ce procédé présente plusieurs avantages, comme la nitrification très efficace de l'azote ammoniacal ainsi que la dégradation par voie biologique d'une partie de la matière organique biodégradable et de certains micropolluants organiques.

4.4.2.3. Les filtres rapides gravitaires :

Ce sont les plus utilisés en production d'eau potable, notamment pour le traitement des eaux de surface en étape de finition de la clarification.

4.4.3. Description et principales caractéristiques :

Le cœur du filtre est constitué d'un bâti (généralement en béton) d'une hauteur suffisamment importante pour contenir, de haut en bas :

Une couche d'eau au-dessus du lit filtrant, dont la hauteur doit être suffisante afin de ne pas prendre le risque de pression relative négative dans le filtre (ou « embolie gazeuse ») (cf. F-B23). Un doublement de cette hauteur h eau (**1,20 m** maximum) permet de doubler la 6.P du filtre ; max

Un lit filtrant proprement dit, avec une seule couche de matériau homogène (monocouche) ou plusieurs couches (bicouche ou multicouche). Sa profondeur n'excède pas **1,5 m** (monocouches) ou **2 m** (multicouche)

Un plancher de bosselures fendues (crépines) ou de dalles poreuses et/ou une couche de matériau grossier (**5 à 40 cm**) qui supporte le lit filtrant.

Un système répartissant les deux fluides de lavage incluant (souvent) l'épaisseur d'un matelas d'air. [30]

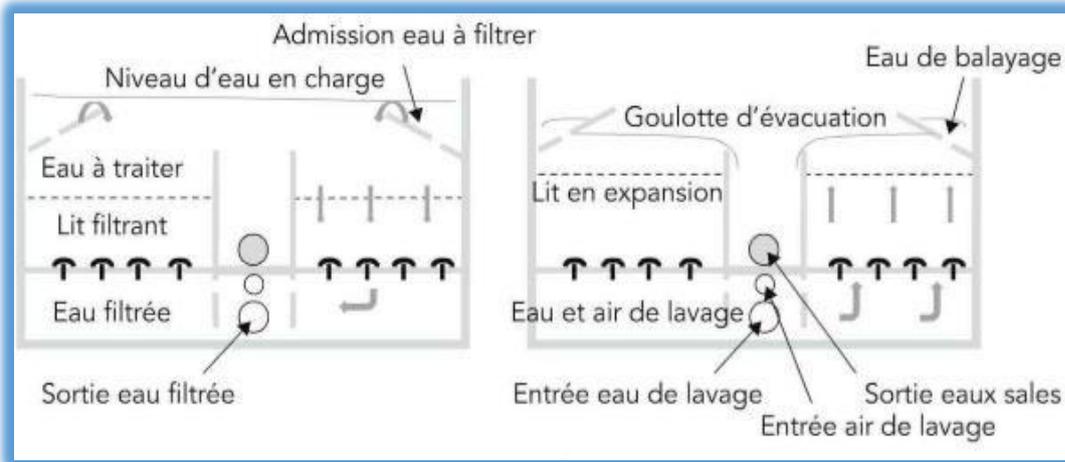


Figure II-11 : Schéma de fonctionnement d'un filtre gravitaire rapide : phases de filtration (gauche) et lavage (droite).

La surface au sol est comprise classiquement entre 80 et 100 m^2 (50 à 200 m^2 pour les valeurs extrêmes) pour un filtre double cellule (avec goulotte centrale) et de moitié moins pour un filtre simple cellule.

Le reste de l'installation comporte :

- Un système de régulation de la répartition de l'eau à traiter sur les différents filtres (qui sont nécessairement plusieurs).
- Un organe de régulation aval pour chaque filtre lorsqu'ils sont conçus « à compensation de colmatage » (cas le plus fréquent).
- Une vasque de récupération pour chaque filtre.



Figure II-12 : FILTRA Flux®.

Le dimensionnement des filtres (hauteur de sable et vitesse de filtration) a pour objectif d'obtenir une turbidité de l'eau traitée inférieure à $0,5\text{ NTU}$.

4.4.4. La filtration lente sur sable :

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de $0,1$ à $0,2$ m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit, il se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est à ce niveau que le processus d'épuration se déroule. [29]

a) Avantages:

Cette méthode de purification est souvent la plus économique en pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple. Ainsi, elle répond aux besoins d'amélioration de la qualité de l'eau tout en offrant la possibilité d'associer collectivité à la gestion, à l'entretien et à l'exploitation des installations. Son aptitude à apporter une amélioration simultanée des qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau brute représente un avantage considérable par rapport à d'autres techniques :

Accéder à une qualité d'eau satisfaisante sans rajouter d'autres étapes dans le processus de purification.

Contribuer largement à en faire une technique appropriée spécialement pour les collectivités des pays en développement. A noter que son efficacité et son coût ont suscité un nouvel intérêt dans les pays développés. D'ailleurs, des villes comme Londres et Amsterdam ont toujours eu des stations de filtration lente sur sable. Ces systèmes ont l'avantage de ne pas utiliser des produits chimiques.

b) Inconvénients :

Effets des algues sur les filtres : Elles se développent dans l'eau stagnante sous l'influence des rayons du soleil à condition que cette eau contienne des substances nutritives telles que des nitrates et des phosphates. Bien qu'à strictement parler, elles ne participent pas au mécanisme de filtration, certains types d'algues sont importants au fonctionnement d'un filtre biologique.

Ces effets peuvent être bénéfiques ou nuisibles, selon les conditions. Par ailleurs, sous certaines circonstances (climat, qualité de l'eau brute), une prolifération de certains types d'algues peut provoquer un colmatage rapide du lit filtrant et par conséquent poser des problèmes d'exploitation, à savoir, couvrir les filtres fait éviter la prolifération qui prend place dans la couche d'eau surnageant.

Il convient de souligner que la filtration lente n'est pas une panacée à tous les problèmes de traitement de l'eau et qu'elle a certaines limitations. Un accroissement de la quantité des matières solides en suspension dans l'eau brute, telles qu'on le constate de plus en plus fréquemment, oblige à des nettoyages à intervalles trop fréquents. En conséquence, si la turbidité dépasse 30 Unités Néphélométriques de Turbidité (UNT) pendant de longues périodes, un prétraitement par décantation, préfiltration à flux horizontal ou vertical, ou autres types de prétraitement est indispensable.

c) Composants du système :

Le système de filtration lente sur sable, fonctionnant à la demande, est constitué d'un réservoir d'appoint, d'un ou de plusieurs filtres à sable et d'une unité de stockage. Il peut être commandé manuellement ou automatiquement par la pression de l'eau lorsqu'il est alimenté par diverses sources d'énergie.

d) Performance de la filtration lente sur sable :

L'analyse des échantillons des eaux de surface, prélevés à la sortie d'un filtre à sable, indique une réduction de l'intensité de couleur, de la turbidité. Afin d'assurer la potabilité de l'eau traitée, il est recommandé de la désinfecter après la filtration.

Tableau II-2 : Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement / IRC, 1991, Filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau potable, document technique n°24, La Hague). [29]

<i>Paramètres de la qualité de l'eau.</i>	<i>Effet d'épuration de la filtration lente sur sable</i>
Couleur	Réduction de 30 à 100%.
Turbidité	La turbidité est généralement réduite jusqu'à 1 NTU.
Coliformes fécaux	Réduction de 95 à 100%.
Virus	Élimination complète. Réduction de 60 à 75%.
Matières organiques	Élimination en grande partie.
Fer et manganèse	Réduction de 30 à 95%.
Métaux lourds	

4.4.5. Matériaux filtrants utilisés en traitement de l'eau :

Les matériaux de filtration rencontrés dans le traitement des eaux sont divers. Ils doivent présenter les qualités suivantes, à savoir :

- Être insolubles,
- Être non friables,
- Ne larguer aucune substance susceptible d'altérer la qualité de l'eau.

4.4.5.1. Types des matériaux :

Les trois matériaux les plus employés sont :

- **Sable :**

Le sable utilisé en filtration est un matériau naturel, à base de silice, provenant de rivières, de gisements naturels, de dunes, ou obtenu à partir de galets marins. Sa densité réelle est d'environ 2.5 à 2.7.

Le sable concassé est obtenu par un broyage de silex de carrière ou de galets de mer, suivi d'opérations de lavage, séchage et tamisage. Il présente des grains anguleux, favorables à la rétention des particules lors de la filtration.

Le sable roulé est un sable naturel, tamisé après lavage et séchage. Contrairement au sable concassé, il possède des grains arrondis.

- **L'anthracite :**

L'anthracite est un matériau à base de carbone, obtenu par calcination de matériel végétal tel que le bois ou la tourbe. Il se présente sous la forme de grains durs et anguleux.

- **Le charbon actif :**

Le charbon actif est également un matériau à base de carbone, obtenu par calcination et activation de bois, houille, tourbe ou noix de coco.

4.4.5.2. Utilisation du charbon actif dans le domaine de traitement des eaux :

Le charbon actif ou encore charbon activé est une poudre noire préparé à partir de plusieurs matériaux à base de carbone amorphe. Il est caractérisé essentiellement par une structure inerte et microporeuse dotée d'une très grande surface interne. Les charbons actifs sont présentés soit sous forme de produits en poudre soit sous forme de granulés. Chacun est utilisé dans des conditions bien spécifiques [31].

a) Charbon actif en poudre :

Le charbon actif en poudre (CAP) prend la forme de grains de taille comprise entre 50 à 100 μm (d'autres auteurs citent de 10 à 50 μm). Il est généralement utilisé pour traiter l'eau dans les flocculateurs ou dans les décanteurs. Dans ce cas, le CAP est ajouté continuellement avec l'eau à traiter avec les produits de coagulation. Il est recommandé d'utiliser des clarificateurs pour augmenter le temps de contact pour l'adsorption par le CAP. Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon en granulé. Il est mis en œuvre par injection de barbotine (mélange eau- charbon en suspension). Cette injection s'effectue idéalement le plus possible en amont dans les filières de traitement afin d'obtenir le temps de contact le plus long possible. Le CAP est particulièrement adapté aux usines possédant une filière complète de clarification [31].

Une façon d'optimiser l'utilisation du CAP consiste à le coupler avec l'utilisation des membranes de micro et d'ultrafiltration. Celles-ci vont éliminer la pollution particulaire alors que le CAP éliminera la pollution dissoute par adsorption.[31]

b) Charbon actif granulé :

Le CAG se trouve sous forme de grains dont la taille varie de 0,1 à 1 mm ou de 0,25 à 3 mm. Il est généralement employé en lits filtrants en phase d'affinage. L'utilisation de filtres à charbon actif en grains dans les installations de production d'eau potable a été mise en œuvre dans le but de retenir, par adsorption, une partie de la pollution organique qui n'a pas pu être éliminée par les premières étapes de traitement. Le charbon actif en grains est utilisé

principalementen deuxième étage (après filtre à sable) car en premier étage la saturation des filtres est trop rapide donc son utilisation est beaucoup plus onéreuse .

L'élimination des micropolluants organiques, les pesticides et la nitrification de l'ammonium sont les autres potentialités du charbon actif en grains. Le CAG est utilisé dans le cas de pollution chroniques, mais pour des taux relativement faibles afin de ne pas arriver trop rapidement à une saturation du média .[31]

➤ **L'origine de charbon actif :**

Le charbon actif peut être fabriqué à partir des matériaux contenant essentiellement ducarbone. Il est obtenu par pyrolyse du bois, noix de coco, charbon, lignine, et en général tout composé organique.). Les charbons actifs produits à base de houille, de charbon de bois et de noix de coco qui sont les plus utilisées. Actuellement, l'utilisation des déchets agricoles comme supports d'adsorption fait l'objet de de nombreux travaux de recherches relatifs à la préparation des charbons actifs.[31]

4.5. Affinage :

L'affinage a pour effet l'élimination des matières organiques et de certain micropolluant. Il améliore, en outre les qualités organoleptiques de l'eau :

- **L'adsorption sur charbon actif :** pour l'élimination des mauvais goûts et mauvaises odeurs.
- **Le stripping :** pour l'élimination des gaz dissouts.
- **La mise à l'équilibre calco-carbonique**

4.6.La désinfection :

La désinfection permet de détruire les micro-organismes capables de transmettre desmaladies. Elle fait appel à déférents procédés :

- **Chimiques (chloration, ozonation)**
- **Physiques (UV, ébullition, ultrason)**

4.6.1. Principe de désinfection :

Le taux de destruction des microorganismes par un désinfectant est fonction de plusieurs variables :

- Puissance du désinfectant,
- Concentration de désinfectant,
- Temps de contact,
- Nombre et type de microorganismes à éliminer,

- Température de l'eau,
- pH de l'eau
- Concentration de matières organiques dans l'eau.

4.6.2. Définition :**❖ Le chlore actif :**

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux potables. Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries, mais moins efficace contre les virus. Aux fins de traitement tertiaire, le chlore est utilisé sous les formes suivantes : chlore gazeux, hypochlorite de sodium (eau de javel) ou bioxyde de chlore. [24]

❖ Chlore résiduel libre :

Chlore demeurant dans l'eau à la fin d'une période de contact déterminée, et qui peut réagir chimiquement et biologiquement comme acide hypochloreux ou ion hypochlorite. [18]

❖ Chlore résiduel combiné :

Partie du chlore résiduel total dans l'eau à la fin d'une période de contact donnée, qui réagit chimiquement et biologiquement en tant que chloramine. [18]

❖ Chlore résiduel total :

Quantité totale de chlore, libre ou combiné, subsistant après le temps de réaction normal de l'eau à la chloration. [18]

❖ Chlore gazeux :

Le chlore est un gaz jaune, plus lourd que l'air et soluble dans l'eau. Il est commercialisé sous forme liquéfiée, dans des récipients en acier (bouteilles ou tanks). C'est un gaz corrosif et très toxique : il présente des risques mortels d'intoxication par inhalation, ingestion ou contact avec la peau. C'est pour quoi son utilisation suscite par fois une réticence de la part des exploitants. [25]

❖ Les hypochlorites de sodium et de calcium :

L'hypochlorite de sodium (NaClO) est une solution de couleur jaune, titrant 130 à 150 g/l de chlore actif, et plus couramment dénommée "eau de Javel". Les solutions et extraits de Javel sont nettement basiques et ont un caractère oxydant.

L'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) est une poudre blanche très soluble dans l'eau, présentée telle quelle ou sous forme de granulés ou galets. Elle doit être mise en solution avant son injection.

C'est un gaz jaune-verdâtre, fortement oxydant (2,63 fois plus que le chlore), instable à des concentrations supérieures à 10 % dans l'air. C'est pourquoi il est utilisé en solution aqueuse, préparée immédiatement avant usage sur le lieu d'utilisation. Il peut s'obtenir de différentes façons [25] :

- par action du chlore sur le chlorite de sodium :



- par action de HCl sur le chlorite de sodium:



4.6.3. La désinfection chimique :

Les produits chimiques les plus utilisés pour obtenir une désinfection de l'eau par le chlore sont :

- Le chlore gazeux Cl_2
- L'hypochlorite de sodium NaOCl
- L'hypochlorite de calcium Ca(OCl)_2
- Les mono-chloramines NH_2Cl
- Le dioxyde de chlore ClO_2

-Parmi ces produits, c'est au chlore gazeux qu'on a recouru le plus utilisé pour la désinfection des eaux potables le plus économique, l'eau de Javel plus simple à mettre en œuvre et moins dangereuse à manipuler.

➤ **La chloration :**

La chloration est une méthode qui a été utilisée il y a plusieurs siècles et elle est encore le procédé de déchloration le plus répandu pour le traitement final de l'eau destinée à la consommation humaine. [26]

La chloration s'utilise pour inactiver les virus et les bactéries végétatives. En revanche, le chlore n'inactive pas les protozoaires, leur but est :

- Eliminer les micro-organismes tels que les bactéries, virus et champignons,
- Eliminer par oxydation les matières organiques, le fer et le manganèse.

-En Algérie, la chloration constitue l'unique procédé d'oxydation et de désinfection sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de javel) ou plus rarement de chlore gazeux. La chloration apparaît donc, comme le procédé le moins coûteux et le plus répandu à travers le monde. [27]

✓ **Les étapes liées à la chloration :**

❖ **La préchloration :**

Elle consiste à ajouter du chlore à l'eau brute entrant dans les usines de traitement de l'eau potable. Lors de l'étape de préchloration, le chlore est généralement ajouté directement à l'eau brute, qui est introduite dans un mélangeur pour un meilleur mélange homogène. Cela a pour effet de réduire l'odeur, le goût et de contrôler la croissance biologique pendant le traitement. Le chlore oxyde également le fer, le manganèse et/ou l'hydrogène sulfuré présents lors de la décantation.

❖ **La post-chloration :**

Une seule post-chloration juste en sortie de la station a longtemps toujours été la règle pour la désinfection en matière. Mais l'avènement de réseaux très longs et fortement interconnectés met en évidence la nécessité d'une désinfection intermédiaire dans le réseau.

• **Propriétés physiques et chimiques du chlore :**

Le chlore est un produit corrosif et dangereux en raison des quantités à mettre en œuvre, à manipuler et à stocker lors du traitement des eaux. Son utilisation impose l'observation de règles de sécurité assez strictes. Sous forme libre, le chlore est un gaz jaune verdâtre plus lourd que l'air et se différencie par son odeur irritante. [23]

• **Aspect chimique de la chloration :**

Le chlore gazeux et les hypochlorites réagissent rapidement dans l'eau pour former de l'acide hypochloreux, HOCl, qui est le produit actif dans la désinfection.

- **Réaction du chlore gazeux :**- **Réaction de l'hypochlorite de sodium :**- **Réaction de l'hypochlorite de calcium :**

Ainsi, dans n'importe quel cas : chlore, hypochlorite de sodium et hypochlorite de calcium, finalement il se forme l'acide hypochloreux, qui est vraiment le désinfectant. Cependant, celui-ci se dissocie d'accord avec l'équilibre suivant :

• **Aspect biologique de la chloration :**

- C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de désinfection
- Du fait que l'acide hypochloreux ne présente pas de charge électrique, il passe plus facilement la membrane cytoplasmique.
- A l'intérieur de la cellule cible, le HClO bloque toute activité enzymatique par échange d'atome de chlore avec les molécules hydrogène des enzymes, ce qui entraînera la mort cellulaire.

4.6.4. Désinfection par l'ozone :

L'ozone est un gaz instable composé de molécules d'oxygène triatomique, O₃. Puisque l'ozone se décompose rapidement en oxygène, on doit le produire immédiatement avant son utilisation, grâce à l'émission d'un effluve électrique sous haute tension dans une atmosphère contenant de l'air sec.

Dans la production de l'ozone, les coûts imputables à l'énergie électrique utilisée et à l'entretien sont très importants. [18]

➤ **Propriétés physicochimiques de l'ozone :**

L'ozone est un gaz bleu instable qui dégage une odeur irritante caractéristique. Une atmosphère qui contient plus de 0,25 mg/l d'ozone est en général considérée comme dangereuse. Puisque l'ozone est un oxydant très puissant, et un désinfectant puissant.

La solubilité de l'ozone dans l'eau est de 570 mg/l à 20°C, soit 12 fois moindre que celle du chlore dans les mêmes conditions. Dans l'eau pure, l'ozone réagit de la façon suivante :

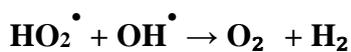
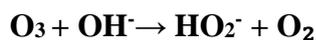
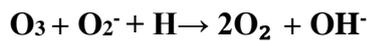


Tableau II-3 : avantages et inconvénients de la désinfection par l'ozone.[28]

Avantages	Inconvénients
-L'ozone est plus efficace que le chlore, le dioxyde de chlore, et les chloramines pour inactiver les virus, les <i>Giardia</i> et <i>Cryptosporidium</i> . -Il oxyde le fer et le manganèse -Il peut parfois améliorer la clarification de l'eau et la diminution de la turbidité. -L'utilisation de l'ozone agit sur la couleur, le goût et les odeurs. -L'ozone est très efficace, et ne demande qu'un temps de contact très court.	-Le coût d'investissement est élevé, en comparaison avec les autres procédés. -L'ozone est hautement corrosif et toxique... - L'efficacité de l'ozone décroît rapidement à des valeurs de pH et de températures élevées. - L'effet de l'ozone n'est pas rémanent

4.6.5. Désinfection physique : La désinfection par les rayons UV :

➤ **Principe :**

Lorsqu'un micro-organisme est exposé à un rayonnement UV-C, le noyau de la cellule est atteint, et la duplication de l'ADN est stoppée. Les rayonnements UV ont un effet sur l'ADN, l'acide nucléique et les enzymes. Les organismes pathogènes sont donc inactivés ou détruits.[28]

Tableau II-4 : avantages et inconvénients de la désinfection par les rayons UV. [28]

Avantages	Inconvénients
Très efficace contre les bactéries et virus à faible dose Production minimale de sous-produits de désinfection	Les eaux fortement chargées en fer, calcium, phénols, avec une turbidité élevée ne se prête pas au traitement UV. Effet non rémanent.

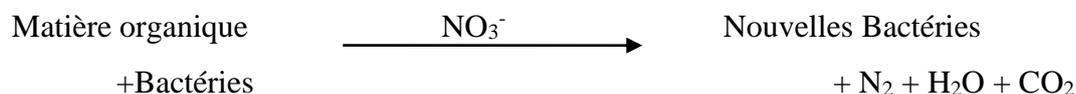
5) **Stockage :** Finalement, l'eau propre à la consommation sera stockée dans le but de satisfaire la demande.

1. Les processus biologiques de traitement des eaux chargées en nitrites :

1.1. Dénitrification :

1.1.1. Définition et principe de la dénitrification :

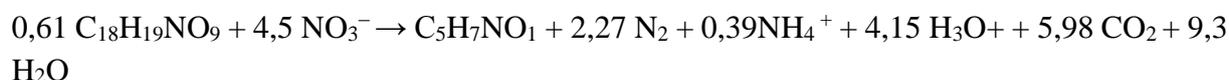
La réaction d'assimilation de matière organique par les bactéries hétérotrophes en l'absence d'oxygène dissous et de présence de nitrates peut être représentée par la réaction suivante :



Cette réaction est dite « de dénitrification » car elle se traduit par la réduction des nitrates en azote moléculaire (N₂), gaz qui retourne à l'atmosphère. Cette transformation est également appelée réduction dissimilaire. Par ailleurs, il existe aussi une réduction assimilative, utilisation de N pour les biosynthèses, transformant les nitrates en ammoniac par l'action de nombreux micro-organismes du milieu naturel ; cette réduction assimilative étant inhibée par NH₄⁺ est très marginale en station d'épuration. Elle est, de fait, incluse dans le mécanisme d'assimilation lorsqu'il y a carence relative en azote réduit.[44]

La dénitrification est le mécanisme qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes vis-à-vis du carbone, aérobies facultatifs de couvrir leurs besoins énergétiques à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut. Ces germes qui ont besoin de carbone organique utilisent préférentiellement l'azote ammoniacal pour couvrir leurs besoins d'azote. De nombreuses bactéries (environ 50 % des espèces présentes en station d'épuration) seraient susceptibles d'effectuer cette « respiration des nitrates » [44]

La dénitrification biologique peut être décrite par cette autre réaction :



- Cette réaction de dégradation de la matière organique, toutes autres conditions égales par ailleurs, est plus lente que celle qui se produirait en présence d'oxygène. Elle est d'autant plus lente que le carbone disponible est moins rapidement biodégradable (étape d'hydrolyse préalable du carbone exogène requise ou production du carbone endogène par lyse des bactéries) .[44]
- La dénitrification d'un gramme d'azote nitrique assure une dégradation de substrat carboné équivalente à celle obtenue avec 2,85 g d'oxygène.
- La dénitrification assure une restitution d'alcalinité égale à la moitié de la consommation nécessaire à la nitrification : 1 kg d'azote nitrique dénitrifié est de ce point de vue équivalent à l'addition de 1,95 kg de chaux vive CaO. [44]

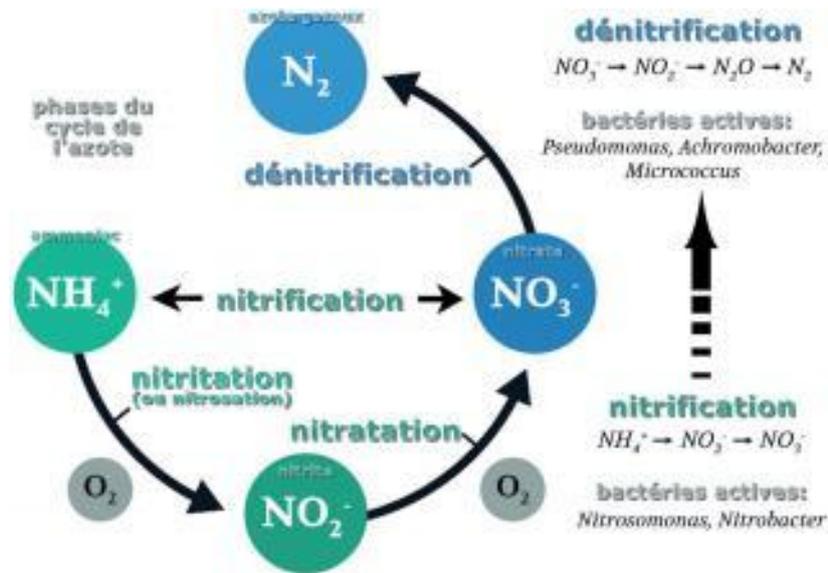


Figure III- 1 : dénitrification

1.1.2. Les conditions nécessaires pour la dénitrification :

a) Oxygène dissous :

La dénitrification ne se produit de manière significative que si la concentration d'oxygène dissous ou libre dans le milieu est nulle. Cette absence d'oxygène est nécessaire pour que les bactéries adoptent une voie métabolique plus complexe, lente et énergétiquement plus coûteuse que celle utilisant directement l'oxygène dissous [44].

b) Charge :

La dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable. Le carbone rapidement biodégradable est essentiellement constitué de petites molécules (comme les acides gras volatiles) et peut être estimé en première approximation par la DCO de l'eau usée filtrée. Pour une eau usée donnée, la vitesse de dénitrification est une fonction croissante de la pression de carbone exercée sur la biomasse. Les processus de nitrification et de dénitrification étant souvent mis en œuvre au sein de la même culture bactérienne, il s'agit donc de trouver un compromis entre la nécessité de travailler à faible charge pour favoriser le processus de nitrification et l'intérêt de maximiser la vitesse de dénitrification en maximisant la charge appliquée [44].

c) Température :

La température influe peu sur la vitesse de dénitrification lorsque ses variations sont progressives (acclimatation des bactéries) et que le substrat carboné interstitiel rapidement assimilable est peu abondant. En revanche, une variation brutale de température (exposition du soleil, par exemple : voile de boues des décanteurs secondaires, éprouvettes) active de manière très nette la dénitrification et l'on constate alors des remontées de boues entraînées par de petites bulles d'azote gazeux. De même, lorsque le substrat rapidement assimilable est abondant

(bassins d'anoxie en tête de station d'épuration ou dénitrification tertiaire avec ajout de carbone rapidement assimilable) [44]

d) pH :

Les pH optimaux se situent entre 6,5 et 7,5 et ne constituent donc pas un facteur particulièrement limitant dans la plupart des cas de stations d'épuration. En milieu faiblement tamponné, des pH acides pourraient conduire à des réductions incomplètes des nitrates aboutissant à des oxydes nitriques et nitreux. Encore convient-il de souligner que la dénitrification ne peut être que postérieure à la nitrification et qu'il convient d'abord de maintenir le pH à des valeurs proches de la neutralité pour assurer la nitrification [44]

1.1.3. Les différentes étapes de la dénitrification :

La dénitrification est un processus biologique qui se déroule dans les milieux anaérobies (en l'absence d'oxygène) et qui permet la conversion des nitrates (NO_3^-) en diazote (N_2) gazeux. Voici les différentes étapes de la dénitrification :

- Conversion des nitrates en nitrites ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$) : Dans la première étape de la dénitrification, les bactéries dénitrifiantes utilisent les nitrates présents dans leur environnement comme accepteur final d'électrons. Elles réduisent les nitrates en nitrites.
- Conversion des nitrites en oxydes nitreux ($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}$) : Les nitrites produits à partir de la première étape peuvent être réduits plus loin en oxydes nitreux (N_2O) par les mêmes bactéries dénitrifiantes ou par d'autres types de bactéries présentes dans le milieu.
- Conversion des oxydes nitreux en diazote ($\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$) : Les oxydes nitreux produits lors de l'étape précédente peuvent être réduits ultérieurement en diazote (N_2) gazeux. Cela se fait généralement par des bactéries dénitrifiantes spécialisées capables de convertir l'oxyde nitreux en diazote.
- Conversion du diazote en azote atmosphérique (N_2) : Le diazote produit à la dernière étape peut être libéré dans l'atmosphère, où il existe naturellement en grande quantité. Cela se produit généralement par diffusion dans les milieux aérés.[45]

2. Procédés chimiques de traitement des eaux chargées en nitrite :

2.1. Oxydation chimique des nitrites dans le traitement des eaux :

2.1.1. Utilisation de l'ozone pour l'oxydation des nitrites : L'ozone (O_3) est couramment utilisé dans le traitement des eaux pour l'oxydation des nitrites. Lorsqu'il est introduit dans l'eau, l'ozone réagit avec les nitrites pour former du nitrate (NO_3^-).

Cette réaction peut être représentée par l'équation suivante :



2.1.2. Réactions chimiques impliquées dans le processus d'oxydation : L'oxydation des nitrites par l'ozone peut impliquer plusieurs réactions chimiques, dont les principales

sont :

- Réaction entre l'ozone et les nitrites : $O_3 + NO_2^- \rightarrow NO_3^- + O_2$
- Réaction entre l'ozone et l'eau : $O_3 + H_2O \rightarrow H^+ + HO_2^- + O_2$
- Réaction entre l'ozone et les sous-produits organiques présents dans l'eau :
 $O_3 + R-H \rightarrow R\cdot + H_2O + O_2$

Ces réactions peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de traitement, telles que le pH, la concentration en nitrites et la présence d'autres composés dans l'eau. [17]

2.1.3. Avantages et inconvénients de l'oxydation des nitrites par l'ozone :

➤ Avantages :

- **Efficacité élevée** : L'oxydation chimique des nitrites par l'ozone est généralement rapide et efficace, ce qui permet une réduction significative de la concentration de nitrites dans l'eau traitée.
- **Large spectre d'action** : L'ozone peut réagir avec une variété de substances organiques et inorganiques, ce qui en fait un oxydant polyvalent pour le traitement des eaux chargées en nitrites.
- **Pas de sous-produits indésirables** : L'oxydation des nitrites par l'ozone ne produit généralement pas de sous-produits indésirables, ce qui en fait une option attrayante du point de vue de la qualité de l'eau traitée.

➤ Inconvénients :

- **Coût** : L'utilisation de l'ozone pour l'oxydation des nitrites peut être coûteuse en raison du besoin de générer de l'ozone.
- **Besoin d'équipement spécialisé** : Le traitement des eaux par l'ozone nécessite l'utilisation d'un équipement spécifique pour la production et l'injection de l'ozone dans l'eau, ce qui peut nécessiter des investissements supplémentaires.
- **Réactions secondaires possibles** : Bien que l'oxydation des nitrites par l'ozone soit généralement sélective, certaines réactions secondaires avec d'autres composés présents dans l'eau peuvent se produire. Cela peut entraîner la formation de sous-produits indésirables ou la consommation excessive d'ozone. [17]

2.2. Chloration

2.2.1. Utilisation du chlore pour l'élimination des nitrites :

La chloration est une méthode couramment utilisée pour éliminer les nitrites des eaux chargées en nitrites. Le chlore réagit avec les nitrites pour former des chloramines, qui sont moins toxiques que les nitrites. L'objectif principal de la chloration est de convertir les nitrites en formes moins nocives. [22]

2.2.2. Réactions chimiques entre le chlore et les nitrites :

Les réactions chimiques entre le chlore et les nitrites impliquent généralement la formation de chloramines. Les principales réactions peuvent être décrites comme suit :

- **Réaction entre le chlore et les nitrites :** $\text{Cl}_2 + 2 \text{NO}_2^- \rightarrow 2 \text{Cl}^- + 2 \text{NO}_2^*$ (radical nitrite)
 - $\text{NO}_2\text{Cl} + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4 + \text{Cl}^-$
 - $\text{N}_2\text{O}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{H}^+$
 - $\text{NO}_2\text{Cl} \rightarrow \text{NO}_2^+ + \text{Cl}^-$
 - $\text{NO}_2^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+$
- **Réaction du radical nitrite avec le chlore :** $\text{NO}_2^* + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NO}_2\text{Cl} + \text{Cl}^*$ (radical chlore)
- **Réactions ultérieures des radicaux chlore et nitrite avec d'autres espèces présentes dans l'eau**

Ces réactions peuvent varier en fonction du pH, de la concentration de chlore et de nitrites, ainsi que d'autres facteurs liés aux conditions spécifiques de traitement. [22]

2.2.3. Facteurs affectant l'efficacité de la chloration :

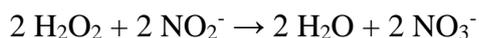
Plusieurs facteurs peuvent influencer l'efficacité de la chloration pour éliminer les nitrites :

- **pH :** Le pH de l'eau peut influencer la vitesse et l'efficacité des réactions de chloration. Un pH légèrement acide à neutre est généralement préférable pour favoriser la formation de chloramines.
- **Concentration de chlore :** La concentration de chlore résiduel dans l'eau est importante pour garantir une réaction adéquate avec les nitrites. Un dosage de chlore approprié doit être maintenu pour assurer une élimination efficace des nitrites.
- **Temps de contact :** Le temps de contact entre le chlore et les nitrites est un facteur critique. Un temps de contact suffisant doit être assuré pour permettre la réaction chimique complète.
- **Présence d'autres composés :** La présence d'autres composés dans l'eau peut affecter la réactivité du chlore et des nitrites, ainsi que la formation de sous-produits indésirables. Certains composés organiques peuvent réagir avec le chlore pour former des sous-produits de désinfection tels que les trihalométhanes. [22]

2.3. Autres procédés chimiques :

2.3.1. Utilisation de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) :

Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) est un autre agent chimique utilisé pour le traitement des eaux chargées en nitrites. L'oxydation des nitrites par le peroxyde d'hydrogène peut se produire selon la réaction suivante :



Le peroxyde d'hydrogène réagit avec les nitrites pour former des nitrates moins toxiques. Ce processus peut être utilisé seul ou en combinaison avec d'autres agents oxydants pour augmenter l'efficacité du traitement. [25]

2.3.2. Utilisation d'agents oxydants avancés (AOA) :

Les agents oxydants avancés (AOA), tels que le permanganate de potassium (KMnO_4) et le persulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$), sont également utilisés pour le traitement des eaux chargées

en nitrites. Ces AOA sont capables d'oxyder les nitrites en nitrates, tout en offrant une capacité d'oxydation plus élevée par rapport à d'autres agents chimiques.

Les réactions chimiques entre les AOA et les nitrites peuvent varier en fonction de l'agent utilisé, mais l'objectif principal est de convertir les nitrites en nitrates. [25]

2.3.3. Comparaison des différents procédés chimiques :

La sélection du procédé chimique pour le traitement des eaux chargées en nitrites dépendra des conditions spécifiques, des exigences réglementaires et des caractéristiques de l'eau à traiter :

- L'ozone et la chloration sont des méthodes courantes pour l'oxydation des nitrites. L'ozone peut être plus efficace et ne forme généralement pas de sous-produits chlorés, mais il peut être plus coûteux à mettre en œuvre.
- L'utilisation de peroxyde d'hydrogène et d'agents oxydants avancés peut être envisagée, mais leur efficacité et leurs coûts peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de l'eau à traiter.

3. La toxicité des nitrites :

Les nitrites sont des composés chimiques contenant l'ion nitrite (NO_2^-). Ils peuvent se retrouver dans l'eau en raison de diverses sources, notamment les engrais agricoles, les rejets industriels, les eaux usées et la décomposition de la matière organique. La présence de nitrites dans l'eau potable peut être préoccupante en raison de leur toxicité potentielle.

Les nitrites sont particulièrement préoccupants car ils peuvent réagir avec certaines substances présentes dans le corps pour former des composés cancérigènes appelés nitrosamines. Les nitrosamines sont associées à un risque accru de cancer, en particulier le cancer de l'estomac et le cancer colorectal.

En outre, les nitrites peuvent également être nocifs pour les nourrissons. Lorsqu'ils sont ingérés en grande quantité, ils peuvent réduire la capacité du sang à transporter l'oxygène, ce qui peut entraîner une maladie grave appelée méthémoglobinémie. Cela se produit plus fréquemment chez les nourrissons, car leur système enzymatique n'est pas entièrement développé pour métaboliser les nitrites.

1. Présentation de la station de traitement de Boudouaou :

SEAAL : SOCIETE DES EAUX ET DE L'ASSINISSEMENT D'ALGER

La station de traitement des eaux de Boudouaou, qui est un élément clé du système de production plus large d'Isser-Keddara, a été créée en 1986. Ce processus implique le traitement de l'eau provenant de trois réservoirs différents, à savoir les barrages de Beni-Amrane (d'une capacité de 12 millions mètres cubes), Keddara (d'une capacité de 142 millions de mètres cubes) et Hamiz. L'eau traitée est principalement utilisée pour répondre aux besoins d'une population prévue de quatre millions d'individus. Cet appareil joue un rôle central dans le processus de production d'eau de surface, bénéficiant d'une capacité remarquable de produire jusqu'à 540 000 mètres cubes par jour.

Avant la création de l'installation de Boudouaou, l'approvisionnement en eau de la capitale provenait de l'extraction des eaux souterraines des champs captants de Mazafran, Hamiz et Baraki.



Figure IV-1 : Station de traitement de l'eau SEAAL Boudouaou.

2. Localisation de la station.

La station de traitement des eaux de Boudouaou est située le long de la route 35400 d'Ouled-moussa, à environ 7 kilomètres du barrage de Keddara et à 8 kilomètres au sud de BOUMERDES, alors qu'elle se trouve à 40 kilomètres à l'est d'Alger. Ce site couvre une superficie totale de 17 hectares et a été conçu pour accueillir le plus grand débit d'eau du barrage de Keddara.

L'infrastructure actuelle a été conçue pour répondre aux besoins en eau potable de la grande Région d'Alger.



Figure IV-2 : Vue aérienne de la station de traitement d'eau potable de Boudouaou (Google earth)

3. Les étapes de traitements à l'usine de Boudouaou :

La station de Boudouaou utilise un procédé de traitement approprié pour éradiquer tous les éléments indésirables présents dans l'eau brute. Ce processus est réalisé par l'introduction d'agents chimiques dans l'eau, suivant une séquence prescrite de phases de traitement.

Le processus de purification de l'eau brute implique généralement une série d'étapes séquentielles, qui comprennent :

- L'aération
- La préchloration
- La correction du pH
- L'adsorption de l'or à
- L'aide de la méthode C.A.P
- L'oxydation au KMnO_4
- La coagulation et la floculation
- La décantation
- La filtration
- La désinfection
- La neutralisation
- La production d'eau potable.

4. Description de laboratoire process de centre de traitement « Boudouaou »

Le laboratoire de process au centre de traitement Boudouaou est subdivisé en 2 laboratoires, un réservé à l'étude physico-chimique et l'autre réservé à l'étude bactériologique, L'étude analytique de l'eau est réalisée dans le cadre d'études et de recherches d'ordre physique, chimique et bactériologique, il à noter que le laboratoire est composé également d'une salle de pesage et de deux bureaux un pour le chef de service et l'autre pour l'équipe des chimistes.

Partie physico-chimique



Equipements

On retrouve dans le laboratoire de l'étude physico-chimique les équipements suivants :

- Hôte d'aspiration
- Plaque chauffante
- Conductivimètre (taux de sels)
- pH-mètre
- Spectrophotomètre (phosphate – manganèse – aluminium – Fer – Nitrate)
- Etuve
- Réfrigérateur
- Oxymètre (taux de l'O₂)
- Mesure de la couleur
- Flocculateur (Jar test)
- Turbidimètre
- Distillateur et - Mesure de chlore

Les analyses effectuées dans ce laboratoire :

Paramètres Organoleptiques

- Paramètres physico-chimiques
- Paramètres de pollution et métaux
- Test de traitabilité des produits chimiques
- Taux de traitement

Partie Bactériologique**Equipements**

On retrouve dans le laboratoire de l'étude Bactériologique les équipements suivants :

Incubateurs (37°, 44°, 22°C)

- Centrifugeuse
- Conteur de colonies
- Bain Marie
- Rampe de filtration
- Réfrigérateur
- Microscope inversé
- Quanti-TraySealer IDEXX
- Lampe UV
- Hôte d'aspiration

Les analyses effectuées dans ce laboratoire :

- Indicateur de contamination d'origine organique : les coliformes totaux (UFC/100ml)
- Indicateur de contamination d'origine fécale
- Indicateur d'efficacité de traitement
- Flore totale : germes totaux, champignons

5. L'ouvrage d'arrivée :

1. Les obturateurs :

Ayant la forme d'une plaque de contrôleur de jet, cette quincaillerie permet une grande circulation d'air de l'eau en amont de l'unité et ce en la diffusant sous forme de jets.



FigureIV-3: Obturateurs.

2. Chambre de mélange :

Dans cette chambre, les produits chimiques suivants sont injectés :

- **Hypochlorite de sodium, hypochlorite de calcium ou chlore gazeux.**
- **Sulfate d'aluminium** (coagulant).
- **Charbon actif en poudre** : en cas de contamination par l'eau (hydrocarbures, goût et odeur).
- **Permanganate de potassium (KMnO₄)** : en cas de présence du fer (Fe²⁺) et du manganèse (Mn²⁺).
- **Lait de chaux** : en cas d'injection de l'acide sulfurique, modifier le pH de l'eau brute pour avoir une coagulation élevée.



Figure IV-4 : Chambre de mélange.

5.3. Chambre de répartition :

Au niveau de cette chambre il y a un acheminement du flux d'eau de 2 canaux par 6 vannes répartitrices où est injecté le poly électrolyte.



Figure IV-5 : Chambre de répartition.

5.4.Décanteur « Pulsateur lamellaire » :

Il s'agit d'un décanteur à lit de vase constitué d'un bac à fond plat muni à sa base d'un agencement de canaux percés permettant l'introduction de l'eau brute ingérée sur toute la surface du décanteur. Au mieux, il y a un ensemble de canaux pour collecter l'eau du robinet à la surface.



Figure IV-6 : Décanteur lamellaire

Ce décanteur est préparé avec un carillon situé sous le niveau de l'eau et préparé avec un ventilateur fonctionnant comme une pompe à vide qui permet la présentation de l'eau brute floculée pulsée à travers les branches inférieures. Les modules lamellaires inclinés de ce décanteur empêchent le passage de lumière et par conséquent évitent la photosynthèse de la végétation verte

❖ La décantation s'effectue en deux temps :

- Le temps d'aspiration d'air contenu dans le carillon par la pompe à vide ou le lit de boue est suivi et les bouteilles sont fixées.
- Le temps de chasse ou le lit de boues connaît une progression à ce point un départ vers les pompes d'extraction des boues.

5.5. Filtres à sable de type Aquazur « V »

Il s'agit d'un canal de sable à courant descendant ouvert, au niveau de la station, il y a 8 canaux « Aquazur V » dans chaque ligne de traitement.

Le filtre Aquazur V se caractérise essentiellement par :

- Un lit de filtrant de composition homogène qui reste homogène après lavage.
- Lavage par retour synchrone de l'entretien et de l'eau véhiculée par nettoyage de surface, puis reprise par lavage au même débit.
- Une grande hauteur d'eau au-dessus du lit filtrant.

Le lavage du filtre réalisé en trois étapes :

- L'abaissement du niveau d'eau au niveau du déversoir.
- Soufflage par retour d'eau et d'air avec courant de balayage.
- Lavage à contre-courant avec courant de balayage jusqu'à ce que l'eau clarifiée soit propre.



Figure IV-7 : Filtre à sable aquazur v

5.1. Réservoirs

A cette station il y a 2 réservoirs semi-enterrés ; 7 m de profondeur par 10 000 m² de superficie ; d'une capacité de 50 000 m³ (chaque réservoir). Avec un réservoir de transfert Takesebt 25 000 m³.

6. Les bâtiments de station et service des laboratoires :**6.1. Bâtiment de charbon active :**

Préparation et injection de CAP

Salle des pompes :

- ✓ 4 pompes doseuses (d'injection de CAP).
- ✓ Aspirateur.

Salle d'armoire.

Salle de stockage.



Figure IV-8 : Salle des pompes

6.2. Bâtiment de produit chimique :

Préparation et injection du sulfate, du permanganate de potassium. Poly électrolyte, de l'acide sulfurique et de permanganate de potassium.

- a) Sulfate d'alumine :
- 3 bacs de sulfate d'alumine.
 - Vanne de préparation.
 - Vanne papillon.
 - 3 agitateurs.
 - 2 doseurs.
 - 2 pompes centrifuges.
 - 2 vannes d'aspiration (S.A)
 - 1 vanne de vidange.



Figure IV- 9 : Salle de bac de

- b) Poly électrolytes :
- 2 bacs
 - 2 agitateurs.
 - 1 vanne de préparation.
 - 2 vannes de retour.
 - 1 doseur.
 - 1 Vanne d'aspiration.
 - 1 vanne de vidange.
 - 2 pompes de reprise.
 - 1 pompe doseuse



Figure IV-10 : Salle de bac

(P.

- c) Permanganate de potassium (KMnO₄) :
- 2 bacs.
 - 2 agitateurs.
 - 2 vannes de préparation.
 - 2 pompes doseuses.
 - 1 vanne d'aspiration, 1 vanne de vidange.

- d) Acide sulfurique :
- 3 pompes dépotage.

- 2 pompes de transfert.
- 2 citernes de stockage 25800 m³.

6.3.Bâtiment de chlore :

Salle de stockage :

- 110 tanks.

Salle des tanks : . chlore

- 2 rampes (4+4 tanks à chlore).
- 2 vannes pneumatiques
- 2 Indicateurs de pression
- 2 Détecteurs de fuite de chlore.
- 2 bobines de stockage de fuite de chlore.
- 2 disques d'éclatements (2vannes).
- Aspirateur (2 vannes pneumatiques).

Salle d'évaporation :

- 2 évaporateurs.
- 2 vannes motrices.
- Aspirateur (1 vanne pneumatique).
- Détecteur de fuite de chlore.
- 1 bobine de stockage de fuite.
- Alarme.
- Neutralisateur.

Salle de chlorométrie :

- 4 chloromètres (2 en pré chloration et 2 en désinfection).
- Aspirateur.
- Détecteur.

Salle de neutralisateur :

- Ventilateur (aspirateur).
- Pompe centrifuge (pompe de transfert).
- Compresseur d'air.
- Vanne papillon
- Cuve (tour).

Salle d'armoire.



Figure IV-11 : Salle de stockage de chlore



Figure IV-12 : Salle de neutralisateur

7. Service de qualité :

- ✓ Observation de la qualité de l'eau tout au long des étapes de traitement.
- ✓ Assurance des tarifs de traitement à raccorder par le bureau des opérations.
- ✓ Vérification de la qualité de l'eau traitée.
- ✓ Effectuer les analyses indispensables au contrôle qualité.
- ✓ Observation des paramètres (pH, turbidité, conductivité, chlore, etc.) pour préparer le traitement complet.
- ✓ Effectuer des analyses bactériologiques (algue, organismes microscopiques, etc.).

1. Objectif de travail :

La procédure d'essai de coagulation-floculation, également connue sous le nom de test en jarre (jar test), est une méthode courante utilisée dans le traitement des eaux pour déterminer les conditions optimales pour la coagulation et la floculation des particules en suspension et pour déterminer les doses optimales de produits chimiques de coagulation.

Nous avons aussi étudié l'élimination des nitrites présents dans l'eau brute par chloration en utilisant le jar test comme point d'injection du chlore.

Ces analyses ont été réalisées au niveau de la station de traitement des eaux potables de Boudouaou « SEAAL » (Société d'Eau et d'Assainissement d'Alger), pour une durée de deux mois.

2. Principe :

Cette méthode est particulièrement nécessaire pour former des floccs de taille suffisante pour éliminer les particules en suspension dans l'eau. Le test en jarre permet également de déterminer le pH optimal, le temps de mélange et le taux de séparation des floccs pour maximiser l'efficacité de la coagulation-floculation.

Le test en jarre implique de prélever un échantillon d'eau, d'ajouter des produits chimiques de coagulation et de floculation, de mélanger l'échantillon à une vitesse et pendant une durée spécifique, puis de laisser l'échantillon se reposer pour permettre aux floccs de se former et de se déposer. Les résultats de l'essai sont ensuite évalués en mesurant la turbidité ou la clarté de l'eau.

En résumé, la procédure d'essai de coagulation-floculation (jar test) est importante car elle permet de déterminer les meilleures conditions pour éliminer efficacement les particules colloïdales dans l'eau, ce qui est essentiel pour produire de l'eau potable sûre et de qualité.

3. Echantillonnage :

Les échantillons qu'on a analysés ont été prélevés : à partir du robinet (voire la photo)

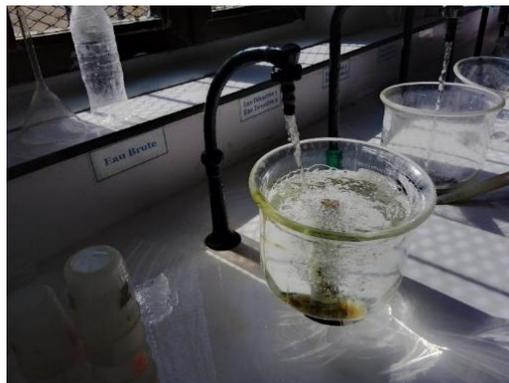


Figure V-1 : Eau brute

➤ Matériels :

- Un chronomètre.
- Fioles de diverses contenances (1 litre, 100 ml)
- Un flocculateur de laboratoire avec six béciers de floculation
- Un siphon (d ~0.5 mm) recourbé vers le haut pour éviter l'aspiration des boues

- 7 béchers de 0.5 l pour récupérer les échantillons siphonnés
- Des pipettes graduées
- Un pH mètre
- Un turbidimètre
- Un spectrophotomètre
- Un conductimètre
- Une balance analytique : précision 0.100 mg
- Erlenmeyer
- Béchers 250 ml.
- Burette pour titrage
- Barreau magnétique.
- Agitateur.

➤ **Réactifs :**

- EB.
- ED.
- L'eau de javel pure (NaClO) (bouteille) 2/100ml.
- Thiodene 1g.
- Iodure de potassium KI 1g.
- Acide acétique 5 ml.
- Solution d'eau chlorée.
- Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ (produit commercial)
- Sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3$)
- Poly électrolyte
- Solution nitrite
- Solution de coloration de nitrite

4. Jar test :

4.1. Réactifs et matériels :

- ✓ Acide acétique 5 ml.
- ✓ L'eau de javel pure (bouteille) 2/100ml.
- ✓ Iodure de potassium KI 1g.
- ✓ Thiodene 1g.
- ✓ Fiole gaugé de 100 ml.

- ✓ Béchers 250 ml.
- ✓ Pipette de 10 ml et 2 ml.
- ✓ Burette pour titrage
- ✓ Barreau magnétique.
- ✓ Agitateur.

4.2. Mode opératoire :

Des paramètres doivent être assurés avant de commencer la manipulation :

- Assurer une concentration initiale en nitrite (0.5, 1, 2, 3 mg/l)
- **La solution de coagulant est à préparer le jour de même de l'essai, à une concentration de 10g/l (sulfate d'alumine)**
 - Dissoudre 1g de coagulant dans 100 ml d'eau distillée, agitation jusqu'à dissous
- **Floculant « poly électrolyte » (produit commercial)**
 - Solution fille de floculant de concentration 50 mg/l :
 - La solution fille de floculant est à préparer également le jour même de l'essai à une concentration de 50 mg/l
 - Dissoudre 0.5 g de floculant dans 100 ml d'eau distillée, en agitant constamment.
 - Prélever 1 ml de cette solution à la pipette et l'injecter dans une fiole de 100 ml et compléter avec de l'eau distillée pour voir une solution fille.

Avant de commencer, nous devons nous assurer que tout est propre. Ensuite, nous devons laver notre équipement avec de l'eau de robinet et avec ED.

4.3. Procédé d'oxydation des nitrites en utilisant le jar test :

- Au début, nous mettons 6 béchers remplis avec (EB) dans l'appareil jar test.
- Une quantité fixe de solution de nitrite est injectée, ensuite on lance l'agitation.
- Des doses croissantes de solution d'eau chlorée sont ajoutées.
- Après avoir ajouté 30 mg/l d'une substance appelée SA, On mélange rapidement la meilleure quantité en remuant à 180 tr/min pendant une minute et 30 secondes.
- On ajoute 0,05 mg/l de PE (la meilleure quantité) dans le mélange et on continue à agiter rapidement à 180 tr/min pendant 30 secondes. Après cela, la vitesse d'agitation ralentit à 40 tr/min pendant 18 minutes, ce qui aide à créer de petites grappes.
- On éteint la machine et on attend que les particules décantent pendant 45 minutes."

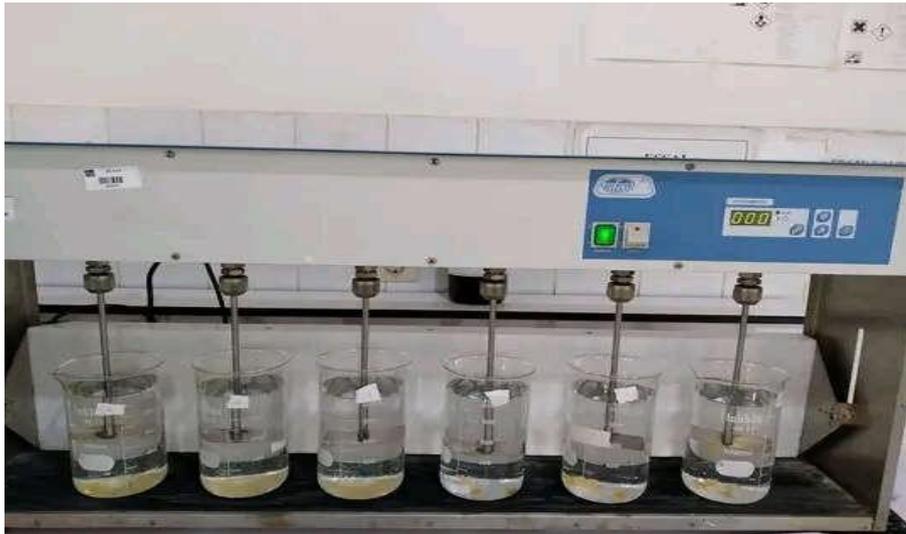


Figure V-2 : Jar test

5. Elimination des nitrites par chloration :

5.1. Définition d'Hypochlorite de sodium :

Hypochlorite de sodium, également connu sous le nom de javel, est une solution chimique utilisée comme désinfectant, agent de blanchiment et nettoyant. Il est composé de sodium (Na), de chlore (Cl) et d'oxygène (O), avec la formule chimique NaClO . L'hypochlorite de sodium est généralement disponible sous forme de solution aqueuse, où le sodium hypochlorite est dissous dans l'eau.

Cette solution d'hypochlorite de sodium est couramment utilisée pour désinfecter les surfaces, éliminer les bactéries et les virus, et éliminer les taches et les odeurs. L'hypochlorite de sodium agit comme un agent oxydant puissant, libérant des atomes d'oxygène qui réagissent avec les composés organiques, les dégradant et les éliminant.

5.2. Dosage de chlore actif Cl_2 :

5.2.1. Principe :

Le principe de cette méthode consiste à déterminer la concentration de l'eau de Javel en milieu acétique en effectuant un titrage avec une solution de thiosulfate de sodium 0,1 N. Le but est d'obtenir la concentration exacte de l'eau de Javel.

5.2.2. Mode opératoire « dosage du chlore » :

Avant d'utiliser les récipients tels que les béchers, les flacons, les pipettes et la burette doivent être lavés avec un mélange d'eau du robinet et d'acide, puis rincés à l'eau distillée.

- On met 100 ml d'EB dans un bécher de 250 ml.
- Sous agitation (avec ballon magnétique) on ajoute 5 ml d'acide acétique plus 1g de KI plus 10 ml de solution chlorée (couleur rouge brique).
- On titre avec thiosulfate de sodium (0,1 N) jusqu'à la couleur jaune pâle.
- On met un peu de thiodène pour le faire virer au bleu foncé.
- On continue le titrage jusqu'à ce qu'un changement de couleur ne soit plus visible (la disparation de la couleur).
- On lit la valeur de volume titré pour faire des calculs plus tard.

✚ Le chlore dans la solution est neutralisé par le thiosulfate de sodium.

❖ Solution chlorée :

Dans une fiole jaugée de 100 ml, on prélève à l'aide d'une pipette 2 ml de chlore concentré. Ensuite, on complète la fiole jusqu'à la ligne de jauge (100 ml) en utilisant un solvant approprié. Après avoir fermé la fiole avec le bouchon, on agite pour obtenir une solution d'eau de Javel.



Figure V-3 : Les réactifs utilisés



Figure V-4 : Rouge brique



Figure V-5 : Jaune pâle



Figure V-6 : Bleu foncé



Figure V-7 : Disparition de la couleur

5.2.3. Les Calculs à déterminer :

➤ Le calcul de la concentration de chlore actif utilisé :

$$[Cl_{2\text{mg/l}}] = \frac{V_{\text{Thio}} N_{\text{Thio}} \cdot 35.5 \cdot V_a}{V_b} \longrightarrow$$

$$[Cl_{2\text{mg/l}}] = \frac{V_{\text{Thio}} \cdot 0,1 \cdot 35.5 \cdot 10}{100}$$

$$[Cl_2] = V_{\text{Thio}} \cdot 0,355$$

$$F_d = \frac{100}{2} = 50$$

$$[Cl_2\text{Mère}] = [Cl_2] \cdot 50$$

$[Cl_2]$: Concentration de chlore actif en (mg/l) (solution fille).

V_{Thio} : Volume de thiosulfate titré en (ml).

N_{Thio} : Normalité de thiosulfate titré en (N).

M_{Cl} : Masse atomique de Cl.

V_a : Volume d'échantillon de solution chlorée (solution fille) en (ml).

V_b : Volume de solution titré en (ml).

F_d : Facteur de dilution (2 ml dans 100 ml).

$[Cl_2\text{Mère}]$: Concentration de chlore concentré.

Essai 1 : Avec des doses constantes de nitrite (**0,5mg/l**).

$$[Cl_2] = V_{\text{Thio}} \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] = 4 \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] \approx 1.42\text{g/l} = \mathbf{1420\text{ mg}}$$

$$[Cl_2] = \mathbf{1420\text{ mg/l}} \longrightarrow \mathbf{EB=1l = 1000\text{ ml}}$$

$$[Cl_2] = \mathbf{0,5\text{ mg/l}} \longrightarrow [Cl_2] = \frac{0.5 \cdot 1000}{1420} = 0,25\text{ml}$$

On continue de la même façon dans tous les essais pour transformer les doses mg/l en ml de 1ere essai indiqué dans le **tableau n°1**.

Tableau V-1 : Les doses du chlore injecté dans le 1^{er} essai.

Des doses de Cl₂ en mg /l	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Des doses de Cl₂ en ml	0,35	0,70	1.0 5	1.4	1.76	2.11

Essai 2 : Avec des doses constantes de nitrite (1 mg/l).

$$[Cl_2] = V_{thio} \cdot 0.355$$

$$[Cl_2] = 5.74 \cdot 0.355$$

$$[Cl_2] \approx 2.038 \text{ g/l}$$

Tableau V-2 : Les doses du chlore de 2^{ème} essai.

Des doses de Cl₂ en mg/l	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Des doses de Cl₂ en ml	0.24	0.49	0.73	0.97	1.21	1.46

Essai 3 : Avec des doses constantes de nitrite (2 mg/l).

Entre les doses [0,5 à 3] mg/l

$$[Cl_2] = V_{Thio} \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] = 9,09 \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] \approx 3.23 \text{ g/l}$$

Entre les doses [3,5 à 6] mg/l

$$[Cl_2] = V_{Thio} \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] = 7.5 \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] \approx 2.66 \text{ g/l}$$

Tableau V-3 : Les doses du chlore de 3^{ème} essai.

Des doses de cl ₂ en mg /l	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
Des doses de cl ₂ en ml	0.15	0.30	0.45	0.70	0.95	1.1	1.08	1.23	1.39	1.54	1.70	1.85

Essai 4 : Avec des doses constantes de nitrite (3 mg/l).

Entre les doses [3 à 5.5] mg/l

$$[Cl_2] = V_{Thio} \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] = 7.7 \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] \approx 2.73 \text{ g/l}$$

Entre les doses [6 à 8.5] mg/l

$$[Cl_2] = V_{Thio} \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] = 8.7 \cdot 0,355$$

$$[Cl_2] \approx 3 \text{ g/l}$$

Tableau V-4 : Les doses du chlore de 4^{ème} essai.

Des doses de cl ₂ en mg /l	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
Des doses de cl ₂ en ml	1.09	1.28	1.46	1.64	1.83	2.01	2	2.16	2.33	2.5	2.66	2.83

5.3. Dosage des nitrites :

➤ Description des essais :

Les essais d'élimination des nitrites par chloration sont réalisés en suivant trois étapes :

- Une agitation rapide de 2 minutes à une vitesse de 180 tr/min ;
- Une agitation lente durant 18 minutes à une vitesse 40 tr/min ;
- Une phase de décantation de 45 min.

Après la décantation :

- On prélève 40 ml de chaque échantillon dans les six béchers de 1000 ml.
- On verse les 40 ml dans les six fioles de 50 ml.
- Dans chaque fiole, on ajoute 1 ml de solution colorée de nitrites, puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

5.4. Dosage des nitrates :

➤ Mode opératoire :

- Dans une cristallisation, on prélève 10 ml de l'échantillon.
- On ajoute 1 ml de salicylate de sodium (mélange) à l'échantillon.
- On chauffe le mélange à l'étuve à 105°C jusqu'à évaporation complète.
- On retire le mélange de l'étuve et on le laisse refroidir.
- On ajoute 2 ml d' H_2SO_4 pur, on mélange légèrement et on laisse reposer pendant 5 minutes.
- On ajoute 15 ml d'ED et 15 ml de sel de tartrate double (Na^+ , K^+).
- On mélange le tout et on complète avec de l'ED jusqu'à un volume final de 50 ml.
- On effectue la lecture.

➤ Préparation de sel tartrate double (Na^+ , K^+) :

On pèse 40 g de NaOH et on ajoute 6 g de tartrate double (Na^+ , K^+) à 100 ml d'eau (H_2O).

➤ Préparation de solution de salicylate de Na^+ :

On dissout 0,5 g de salicylate de sodium (Na^+) dans 100 ml d'ED.

6. Appareillages :



Figure V-8 : pH-mètre



Figure V-9 : Turbidimètre



Figure V-10: Spectrophotomètre



Figure V-11: Agitateur électromagnétique



Figure V-12 : Jar test.

1. Résultats des paramètres physico-chimiques :

- Les résultats de 1^{ère} essai des paramètres physico-chimiques sont présentés dans le Tableau VI-1.

Tableau VI-1 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) pour des doses croissantes de chlore actif et une dose constante de nitrites.

	Echantillons EB	1	2	3	4	5	6	Eau brute
1 ^{er} essai	Dose de NO_2^- (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	/
	SA (mg/l)	30	30	30	30	30	30	/
	PE (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	/
	Dose Cl_2 actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	/
	UV ₂₅₄	0,056	0,058	0,052	0,051	0,049	0,059	0,079
	pH	7,47	7,47	7,44	7,44	7,44	7,45	8,02
	Conductivité ($\mu S/cm$)	1012	1019	1028	1022	1026	1029	991
	Turbidité (NTU)	1,16	0,19	0,99	0,90	0,99	0,84	4,5

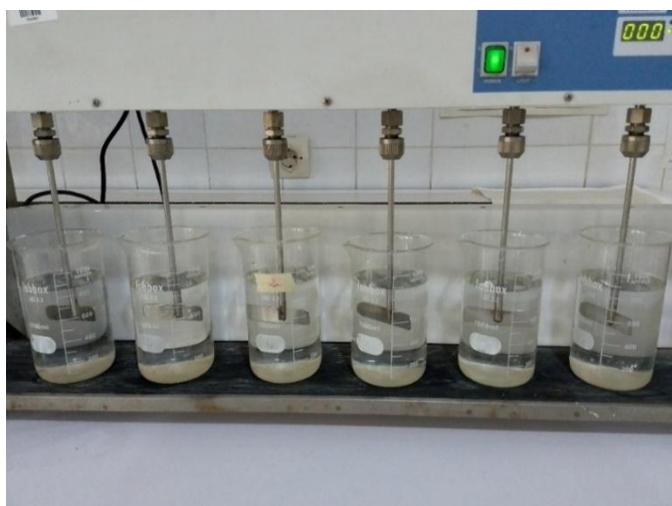


Figure 1 : Couleur d'essai 1 du Jar test après décantation

- La variation des paramètres UV_{254} , de la conductivité et de la turbidité sont données respectivement par les figures :

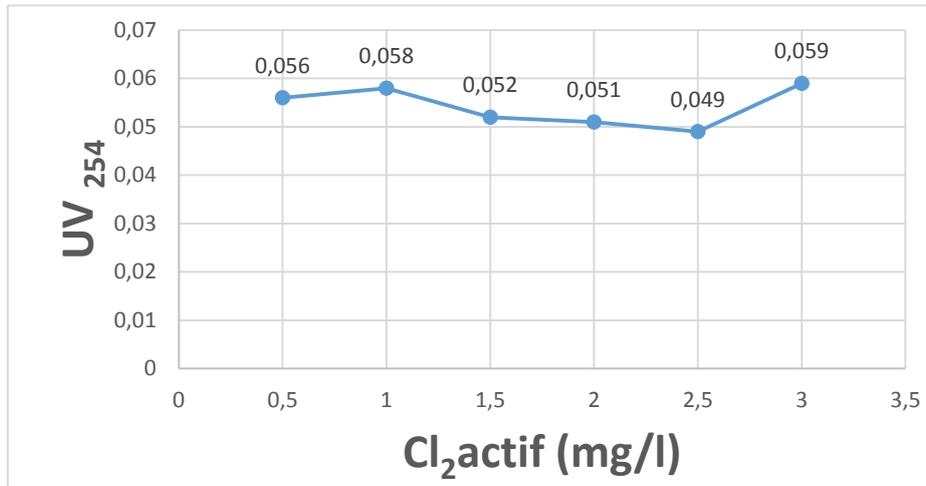


Figure VI- 2 : La variation de l'UV₂₅₄ en fonction de la dose du chlore actif

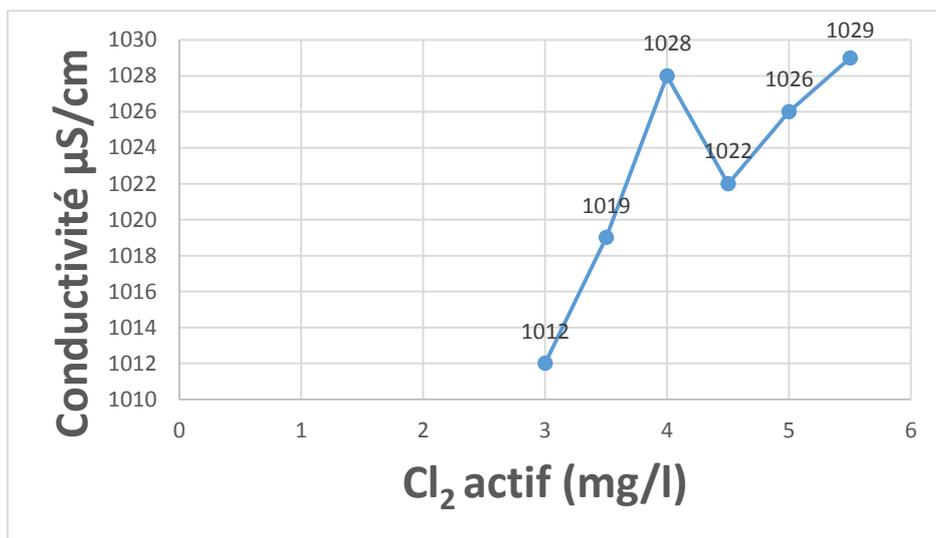


Figure VI- 3 : La variation de la conductivité en fonction de la dose du chlore actif.

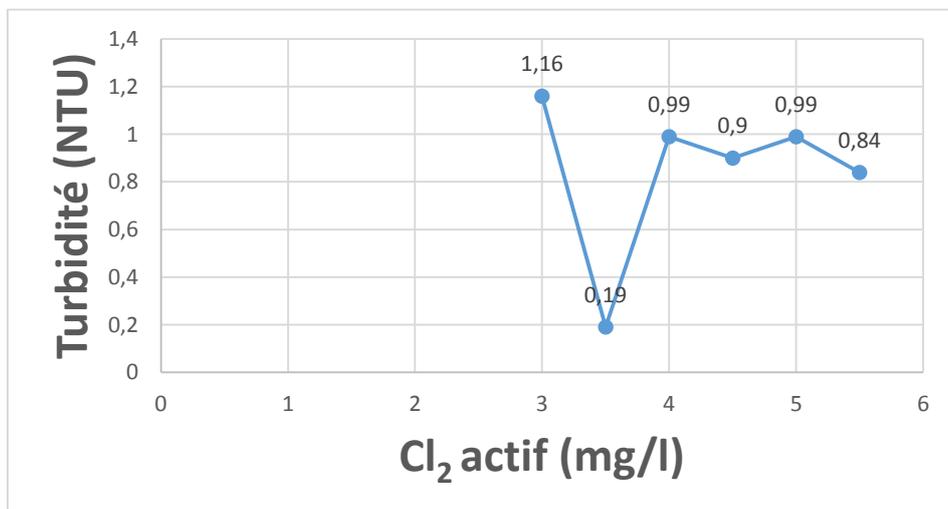
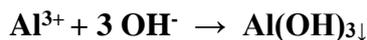


Figure VI- 4 : La variation de la turbidité en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 1 :

- **UV₂₅₄** : Cette longueur d'onde n'autorise pas l'identification d'une classe de chromophore particulière, mais elle permet de caractériser la présence de systèmes conjugués (notamment des noyaux aromatiques) qui sont très abondants dans les structures macromoléculaires constituant la matière organique dissoute des eaux naturelles. Les résultats des UV montrent une diminution significative de la valeur après la coagulation floculation et décantation (0,079 → 0,056), indiquant une élimination de matière organique dissoute. Malgré une légère augmentation (0,058), la valeur diminue à nouveau (0,052), suggérant une réduction supplémentaire de la matière organique. La dernière mesure (0,059) montre une légère augmentation, indiquant une présence résiduelle de matière organique non complètement éliminée.
- **pH** : La valeur initiale du pH dans l'eau brute avant traitement est d'environ 8,02. Cependant, après la décantation, le pH se situe dans la plage de 7,47 à 7,45. Ces valeurs sont relativement stables et se situent dans les limites de la norme algérienne entre (6,5 ; 9). Cette diminution du pH est due à l'aluminium qui se lie aux ions hydroxydes pour former un précipité d'hydroxyde d'aluminium selon la réaction suivante



- **La turbidité** : Dans l'eau brute avant traitement était d'environ 4,5 NTU. Après la décantation, elle diminue progressivement de 1,16 NTU à 0,84 NTU. Cette diminution s'explique par l'élimination de la matière organique et des particules en suspension conformément aux objectifs du traitement. Les valeurs mesurées respectent la norme algérienne pour la turbidité de l'eau (5 NTU). Ainsi, le processus de décantation a réussi à réduire efficacement la turbidité de l'eau brute pour atteindre des niveaux conformes aux exigences réglementaires.
 - **La conductivité**: Avant le traitement, la conductivité de l'eau brute était d'environ 991 µS/cm. Après la décantation, elle a légèrement augmenté à 1012 µS/cm en raison de l'augmentation des ions résultant de l'oxydation par le chlore et de l'ajout du coagulant. Par la suite, la conductivité a varié, atteignant 1028 µS/cm, puis diminuant à 1022 µS/cm, pour augmenter à nouveau à 1026 µS/cm et finalement à 1029 µS/cm. Ces variations de conductivité peuvent être influencées par des processus tels que l'élimination de substances dissoutes ou la précipitation de minéraux. Comparées à la norme algérienne de 2800 µS/cm, ces valeurs sont largement inférieures.
- Les résultats de 2^{ème} essai des paramètres physico-chimiques sont présentés dans le Tableau VI-2.

Tableau VI-2: Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.

	Echantillon sEB	1	2	3	4	5	6	Eau brute
2 ^{ème} essai	Dose des NO_2^- (mg/l)	1	1	1	1	1	1	/
	SA (mg/l)	30	30	30	30	30	30	/
	PE (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	/
	Doses Clactif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	/
	UV ₂₅₄	0,062	0,063	0,061	0,060	0,057	0,052	0.085
	pH	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7,41	7.94
	Conductivité (μ S/cm)	998	1016	1019	1018	1018	1018	1009
	Turbidité (NTU)	2.20	2,18	2,12	1,49	1,48	1,02	7.33

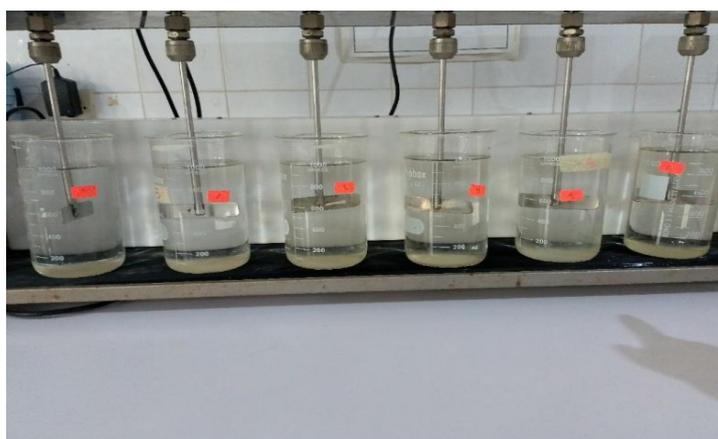


Figure VI- 5 : essai 2 du Jar test après décantation

- La variation des paramètres UV₂₅₄, de la conductivité et de la turbidité sont données respectivement par les figures.

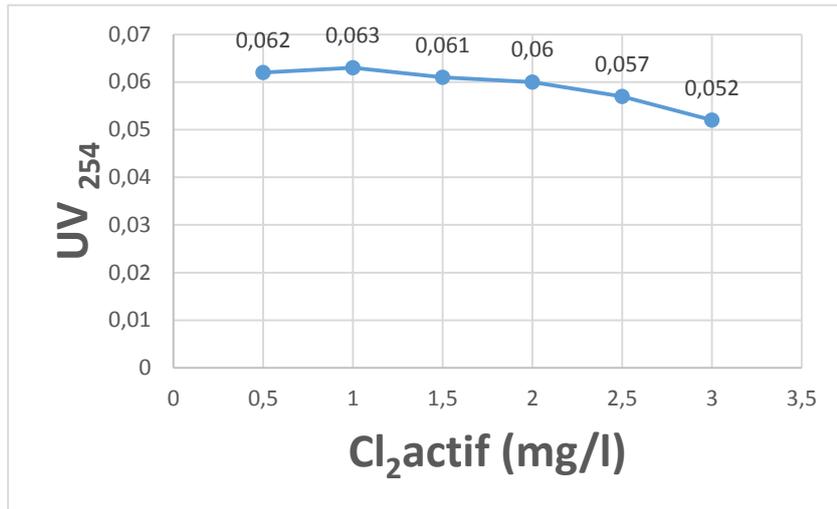


Figure VI- 6 : La variation de l’UV en fonction de la dose du chlore actif

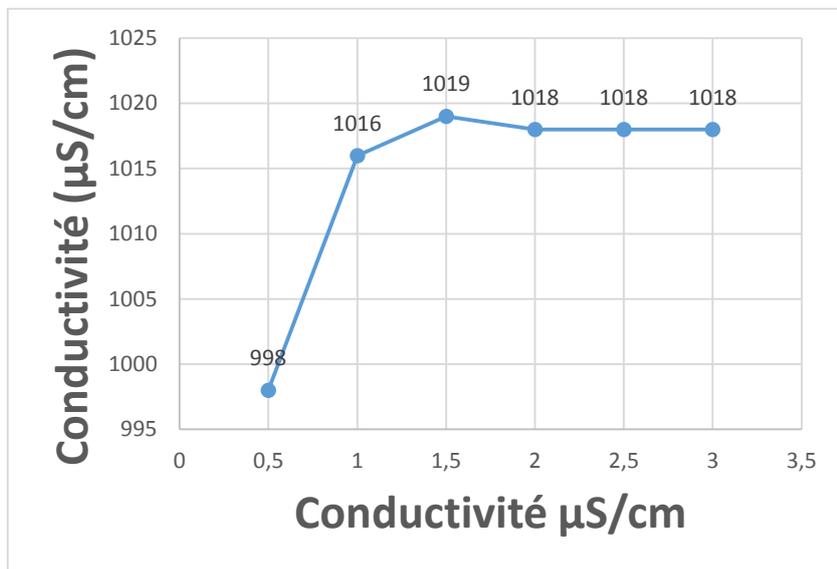
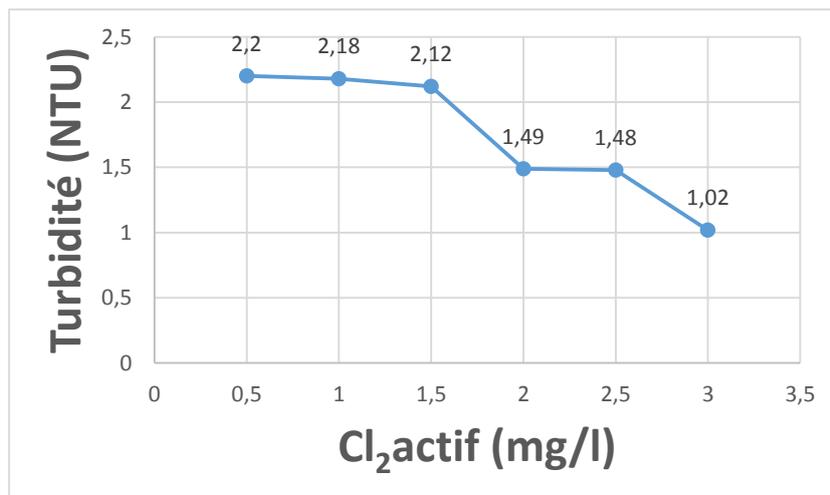


Figure VI- 7 : La variation de la conductivité en fonction de la dose du chlore



actif.

Figure VI- 8 : La variation de la turbidité en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 2 :

- **UV₂₅₄ :** La valeur initiale de l'absorbance de l'eau brute avant traitement était d'environ 0,085. Après la décantation, l'absorbance a diminué de manière significative, atteignant une valeur de 0,052. Cette diminution indique une réduction de la concentration de matière organique dissoute dans l'eau. La décantation a permis de séparer efficacement les particules et les impuretés, ce qui a contribué à améliorer la qualité de l'eau en éliminant une partie de la matière organique.
- **pH :** La valeur initiale du pH de l'eau brute avant traitement était de 7,94. Après la décantation, on observe une diminution du pH jusqu'à atteindre 7,41. Cette diminution du pH est significative et reste stable tout au long de l'expérience. Le pH final de 7,41 se situe dans la plage recommandée par la norme algérienne, ce qui indique que le traitement a réussi à maintenir le pH de l'eau dans les limites acceptables.
- **Conductivité :** La conductivité de l'eau brute était de 1009 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avant le traitement. Initialement, elle a diminué à 998 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mais elle a ensuite augmenté jusqu'à 1018 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en raison de la formation d'ions chlorures lors de l'oxydation des nitrites. Les ions chlorures ont une conductivité plus élevée que les nitrites, ce qui explique l'augmentation observée. Cependant, même avec cette augmentation, la conductivité reste inférieure à la norme algérienne.
- **Turbidité :** La turbidité de l'eau brute avant traitement est de 7,33 NTU. Après la décantation, elle diminue progressivement de 2,20 NTU à 1,02 NTU, ce qui est en dessous de la limite réglementaire de 5 NTU. Cette diminution indique une élimination efficace des matières organiques et des matières en suspension présentes dans l'eau brute. Par conséquent, la qualité de l'eau traitée respecte les normes de turbidité établies.

- Les résultats de 3^{ème} essai des paramètres physico-chimiques sont présentés dans le Tableau VI-3 et VI-4.

Tableau VI-3 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.

	Echantillons EB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3 ^{ème} Essai	Dose des NO_2^- (mg/l)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	SA (mg/l)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	PE (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Doses Cl_2 actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
	UV254	0,059	0,058	0,058	0,057	0,058	0,052	0,066	0,114	0,115	0,116	0,116	0,112
	pH	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,47	7,48	7,48	7,49	7,48	7,52
	Conductivité ($\mu S/cm$)	1010	1016	1017	1022	1023	1024	1091	1070	1073	1073	1074	1074
	Turbidité (NTU)	2,06	1,72	1,90	1,56	1,13	1,01	2,72	1,98	1,76	1,65	1,55	1,38

Tableau VI-4: Paramètres des eaux brutes de l'essai N° 3

Eau brute	UV254	pH	Conductivité $\mu S/cm$	Turbidité NTU
De 0.5-3 mg/l de chlore actif	0,078	8,02	995	4,5
De 3.5-6 mg/l de chlore actif	0,094	7,9	1033	8,52

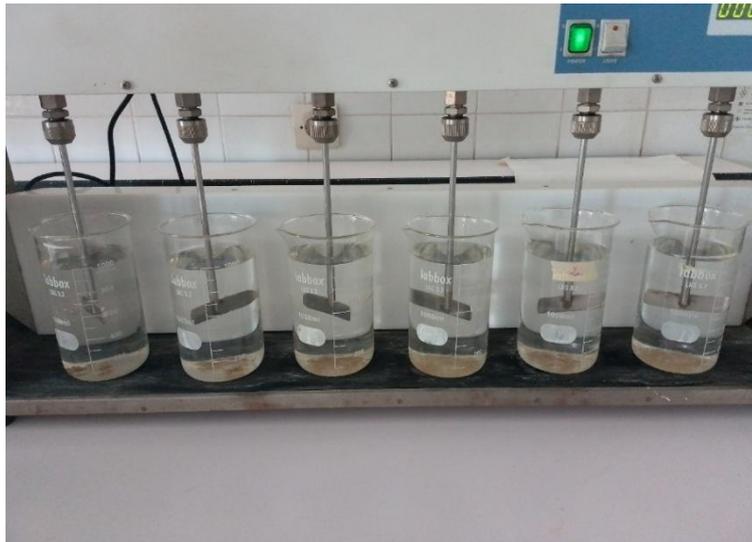


Figure VI- 8 : Couleur d’essai 3 du Jar test après décantation

- La variation des paramètres UV_{254} , de la conductivité et de la turbidité sont données respectivement par les figures.

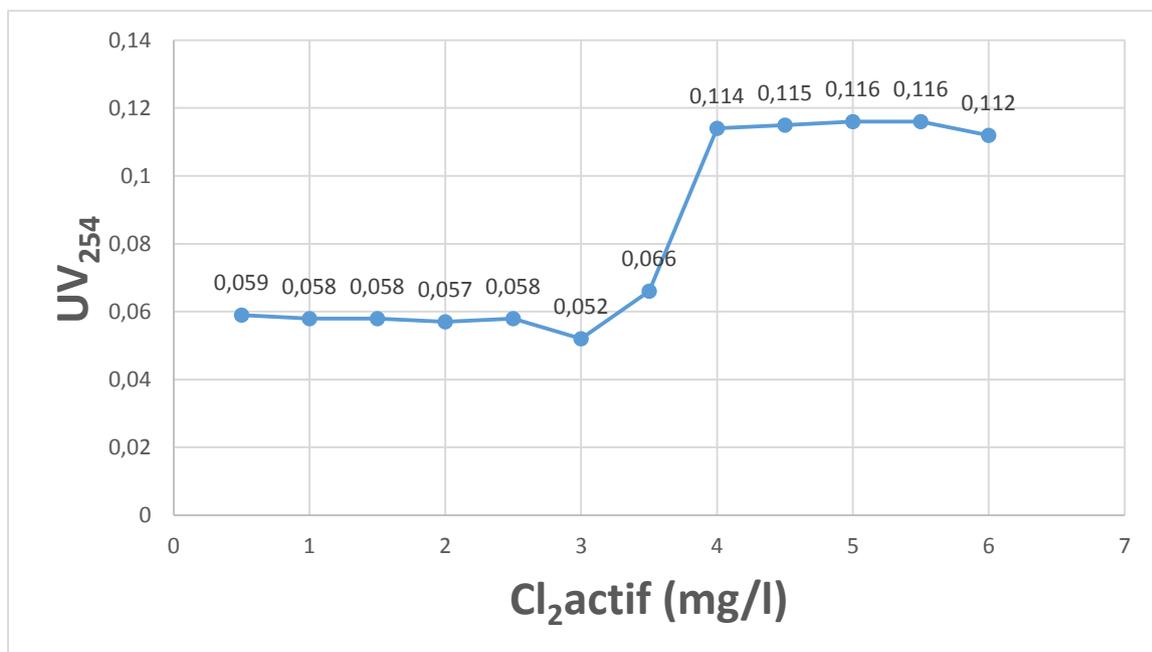


Figure VI- 9 : La variation de l’UV₂₅₄ en fonction de la dose du chlore actif

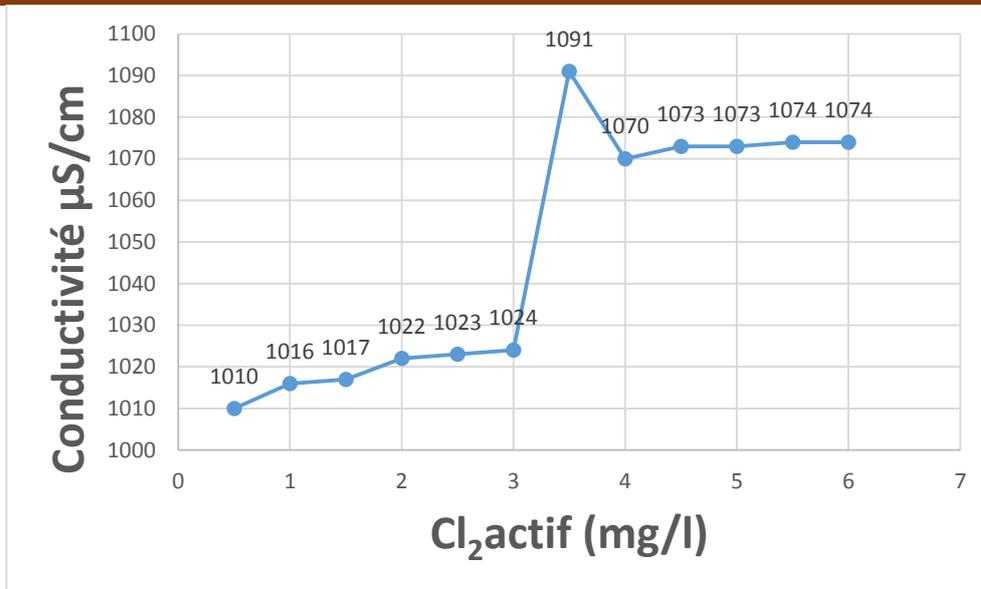


Figure VI- 10 : La variation de conductivité en fonction de la dose du chlore actif.

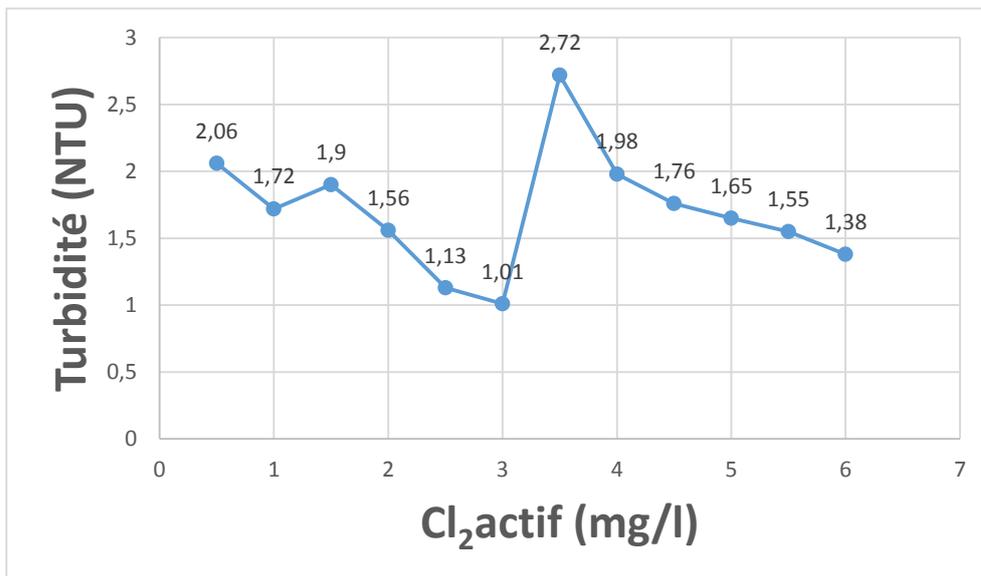


Figure VI- 11 : La variation de la turbidité en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 3 :

UV₂₅₄ : Avant le traitement, l'absorbance UV de l'eau brute était de 0,085. La décantation de l'eau brute permet de réduire la présence de matière organique, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance de 0,059 à 0,052 après elle a augmenté de 0,066 à 0,117.

pH : la valeur de l'eau brute avant traitement est 8.02 ,Nous avons remarqué qu'il s'agit d'une stabilisation tout au long de l'expérience après décantation avec des valeurs plutôt stables entre 7.44 et 7.52 qui respectent la norme algérienne.

Conductivité : La valeur de l'eau brute était de 995 µS/cm avant le traitement. Après la décantation, elle a augmenté de 1010 à 1091 µS/cm, indiquant une augmentation des substances ioniques. Par la suite, elle a diminué à 1074 µS/cm, ces valeurs restent inférieures à la norme algérienne.

Turbidité : Dans l'eau brute avant traitement, la turbidité était d'environ 5.5 NTU. Après la décantation, les valeurs sont entre 1.01 et 2.76 NTU.

- Les résultats de 4^{ème} essai des paramètres physico-chimiques sont présentés dans le Tableau VI-5 et VI-6 :

Tableau VI-5 : Les résultats des paramètres physico-chimiques (UV, pH, Turbidité, Conductivité) à partir des doses croissantes de chlore actif avec une dose constante de nitrites.

	Echantillons EB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4 ^{ème} Essai	Dose des NO_2^- (mg/l)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	SA (mg/l)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	PE (mg/l)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Doses Cl_2 actif (mg/l)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
	UV ₂₅₄	0,083	0,082	0,074	0,076	0,080	0,063	0,078	0,070	0,068	0,074	0,067	0,056
	pH	7,34	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	7,47	7,51	7,49	7,52	7,51	7,50
	Conductivité (µS/cm)	1147	1089	1095	1095	1099	1109	1054	1097	1102	1102	1103	1107
	Turbidité (NTU)	2,7	2,6	2,7	2,9	2,5	2,6	2,3	2,4	2,5	2,6	2,5	2,6

Tableau VI-6 : Paramètres des eaux brutes de l'essai N° 4

Eau brute	UV254	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (NTU)
De 3-5,5	0,099	7,86	1064	4,50
De 6-6,5	0,096	7,92	1066	6,55

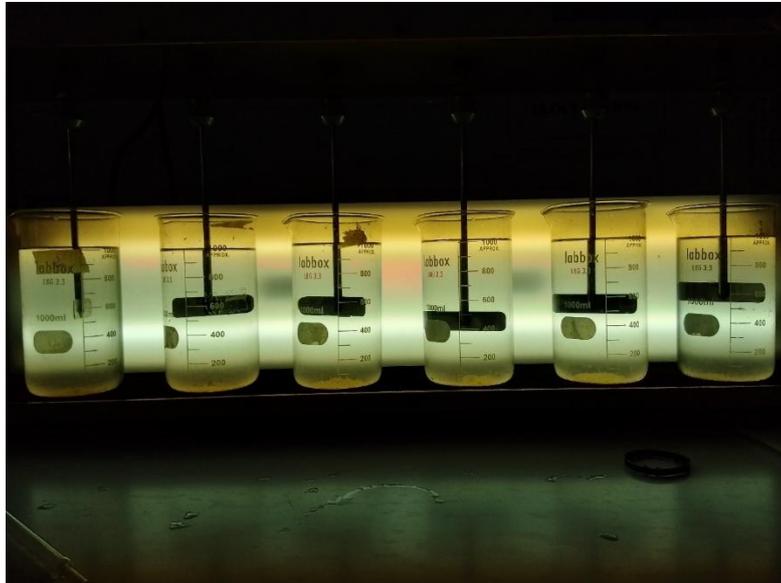


Figure VI-12 : Couleur de l'essai N° 4 du Jar test après décantation

- La variation des paramètres UV₂₅₄, de la conductivité et de la turbidité sont données respectivement par les figures 13,14 et 15.

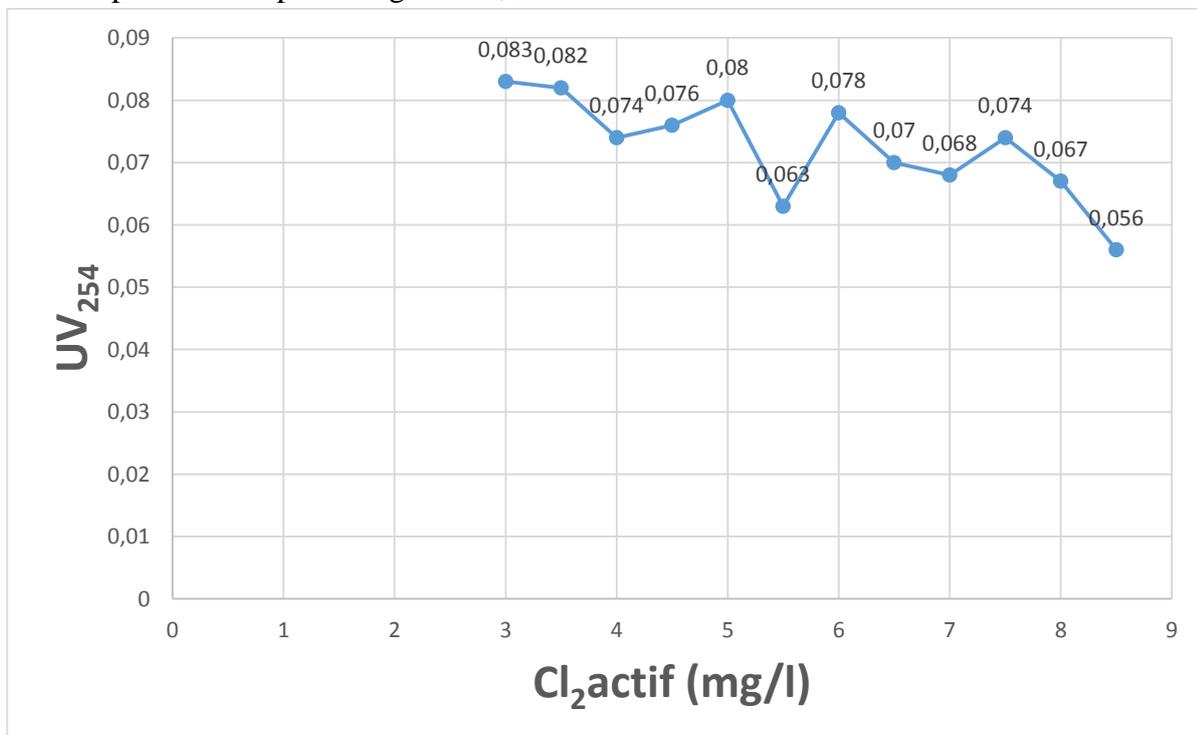


Figure VI-13 : La variation de l'UV₂₅₄ en fonction de la dose du chlore actif

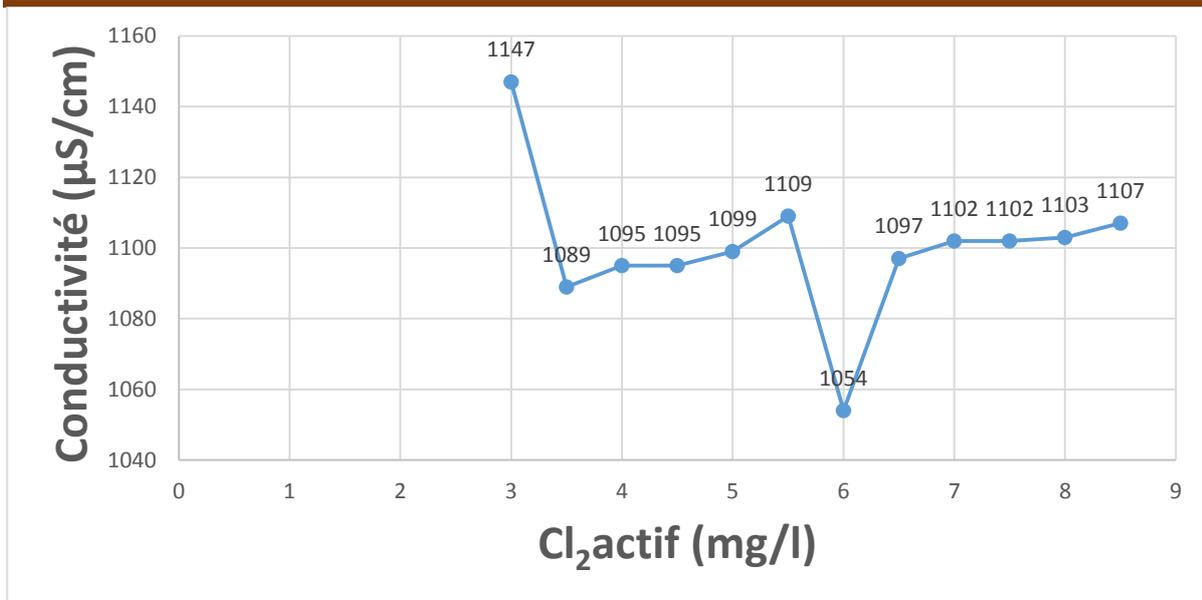


Figure VI-14 : La variation de la conductivité en fonction de la dose du chlore actif.

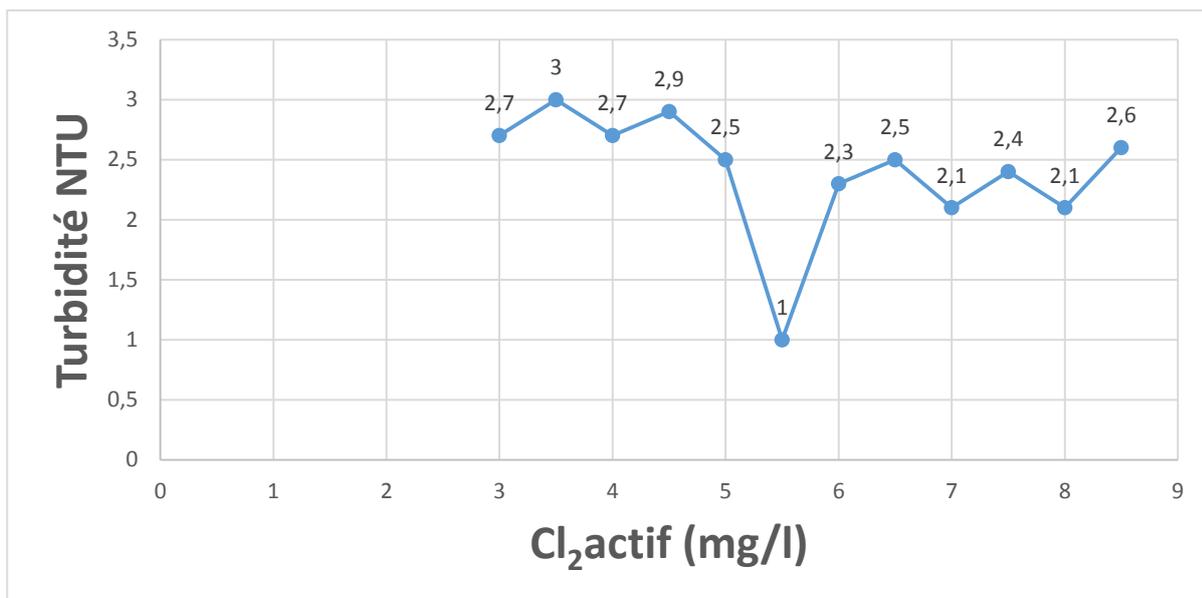


Figure VI-15 : La variation de la turbidité en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 4 :

UV₂₅₄ : Dans cet essai, l'absorbance initiale avant traitement était de 0.099. Ensuite, elle a subi une diminution, passant de 0.083 à 0.063. Par la suite, il y a eu une augmentation à une valeur de 0.078, mais ensuite l'absorbance a diminué à 0.056.

pH : La valeur du pH dans l'eau brute avant traitement est d'environ de 7.92 bien qu'après décantation, elle est entre (7,34 ; 7,52). Ce qui est logique car le coagulant a un caractère acide.

Ces valeurs sont relativement stables conformes à la norme algérienne entre (6,5 ; 9).

Conductivité : La conductivité initiale de l'eau brute était de 1066 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Après la décantation, les valeurs fluctuent entre (1102 et 1147), mais sont restés toujours en dessous de la norme algérienne.

Turbidité : dans l'eau brute avant traitement environ 6.55 NTU, après la décantation, les valeurs sont entre 2.3 et 2.9 NTU, sont en dessous de la limite réglementaire de 5 NTU.

2. Résultats sur l'élimination des « nitrites » :

- Les résultats de 1^{er} essai du paramètre indésirable « nitrites » pour des doses croissantes de chlore (0,5 à 3 mg/l) pour une dose de 0,5 mg/l de NO_2^- sont présentés sur le tableau VI-7.

Tableau VI-7 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.

		1	2	3	4	5	6
1 ^{er} Essai	Dose de NO_2^- (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Doses Cl_2 actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	NO_2^- (mg/l) après traitement	0,367	0,096	0,009	0,002	0,002	0,001
	Le taux d'abattement (%)	35,61	83,15	98,42	99,64	99,64	99,82



Figure VI-16 : Variation de la couleur de l'essai 1 lors de l'élimination des nitrites (après ajout de la solution de coloration des nitrites).

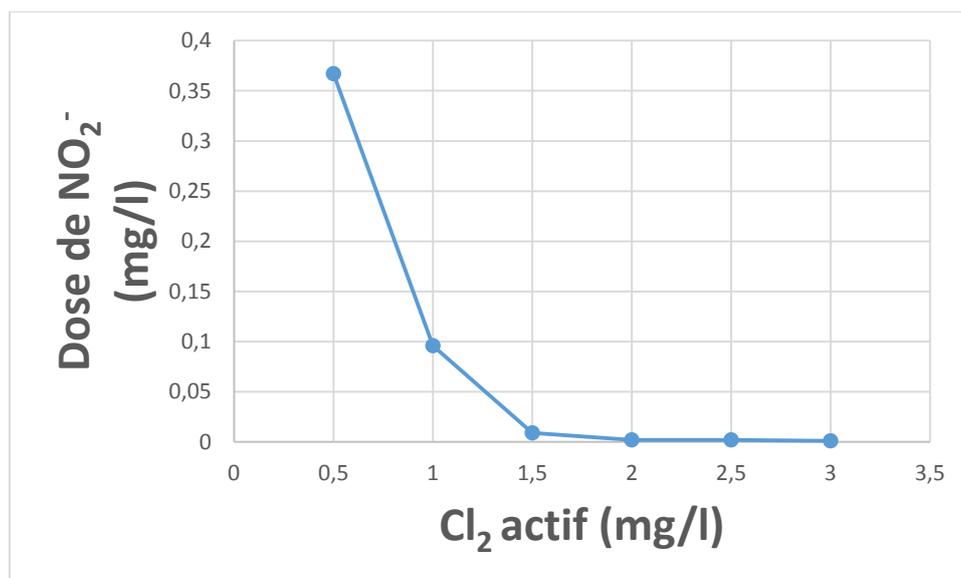


Figure VI-17 : La variation de la concentration des nitrites après traitement en fonction de chlore actif.

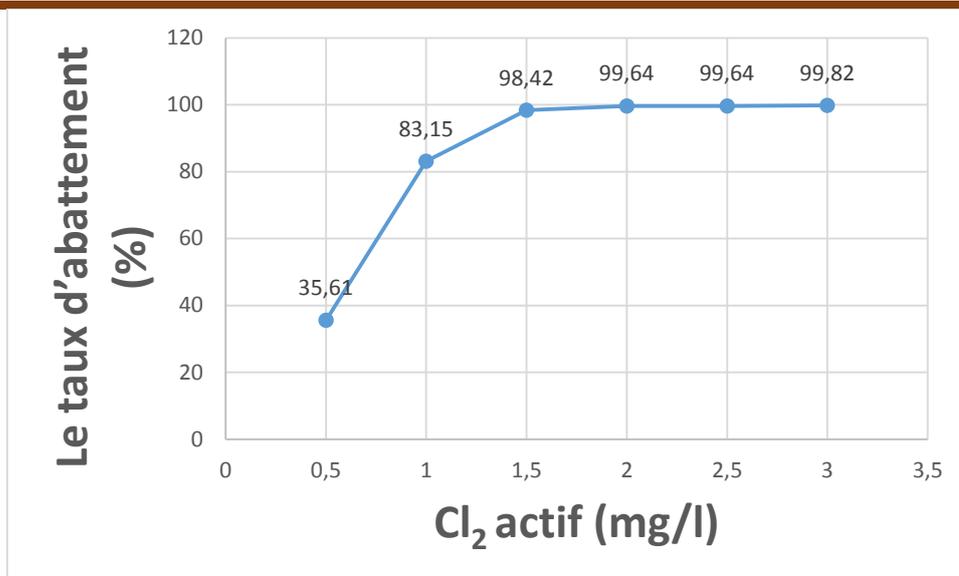


Figure VI-18 : La variation du taux d'abattement (%) des nitrites en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 1 :

À part la première dose de chlore actif de 0,5 mg/l, où on observe une concentration de nitrite supérieure à la norme algérienne. Les autres concentrations, de 1 mg/l à 3 mg/l, permettent de respecter la réglementation algérienne sur les nitrites.

Nous constatons également que les rendements sont très élevés, supérieurs à 98 %, à partir de 1 mg/l de chlore actif.

- Les résultats du deuxième essai des paramètres indésirables « nitrites » pour des doses croissantes de chlore (0,5 à 3 mg/l) pour une dose de 1 mg/l de NO_2^- sont présentés sur le tableau VI-8.

Tableau VI-8: Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.

		1	2	3	4	5	6
2ème Essai	Dose de NO_2^- (mg/l)	1	1	1	1	1	1
	Doses Cl ₂ actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	NO_2^- (mg/l) après traitement	0,804	0,624	0,334	0,098	0,05	0,002
	Le taux d'abattement (%)	21,94	39,42	67,57	90,49	95,15	98,06



Figure VI-19 : Variation de la couleur de l'essai 2 lors de l'élimination des nitrites par oxydation à l'hypochlorite de sodium (après ajout de la solution de coloration des nitrites).

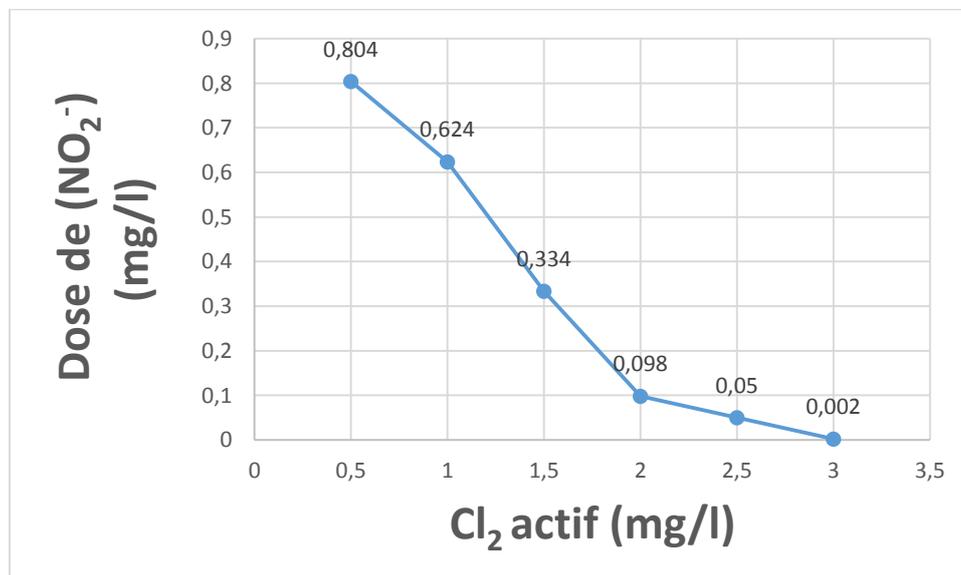


Figure VI-20 : La variation de la concentration des nitrites après traitement en fonction de la dose du chlore actif.

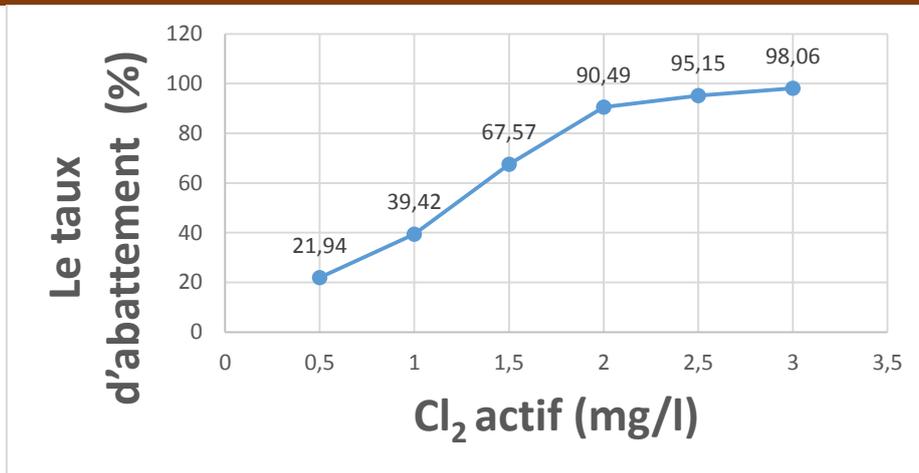


Figure VI-21 : La variation de taux d'abattement (%) des nitrites en fonction de la concentration du chlore actif.

Interprétation 2:

Dans ce cas, nous remarquons que pour éliminer une concentration de nitrite de 1 mg/l, il faut utiliser une dose de chlore actif d'au moins 2 mg/l afin de respecter la réglementation algérienne. En ce qui concerne le rendement, on constate qu'à partir de 2 mg/l de chlore actif, le rendement est supérieur à 90 %.

- Les résultats du troisième essai des paramètres indésirables « nitrites » pour des doses croissantes de chlore (0,5 à 6 mg/l) pour une dose de 2 mg/l de NO_2^- sont présentés sur le tableau VI-9.

Tableau VI-9 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3 ^{ème} Essai	Dose de NO_2^- (mg/l)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Doses Cl ₂ actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
	NO_2^- (mg/l) après traitement	1,73 2	1,477	1,341	0,983	0,702	0,399	0,723	0,504	0,291	0,060	0,002	0,00
	Le taux d'abattement (%)	14,6 7	27,24	33,94	51,58	65,42	80,34	64,38	75,17	85,67	97,04	99,90	100



a- De doses (0,5 à 3 mg/l) de chlore actif



b- De doses (3,5 à 6 mg/l) de chlore

Figure VI-22 : Variation de la couleur de l'essai 3 lors de l'élimination des nitrites par le chlore actif (après ajout de la solution de coloration des nitrites).

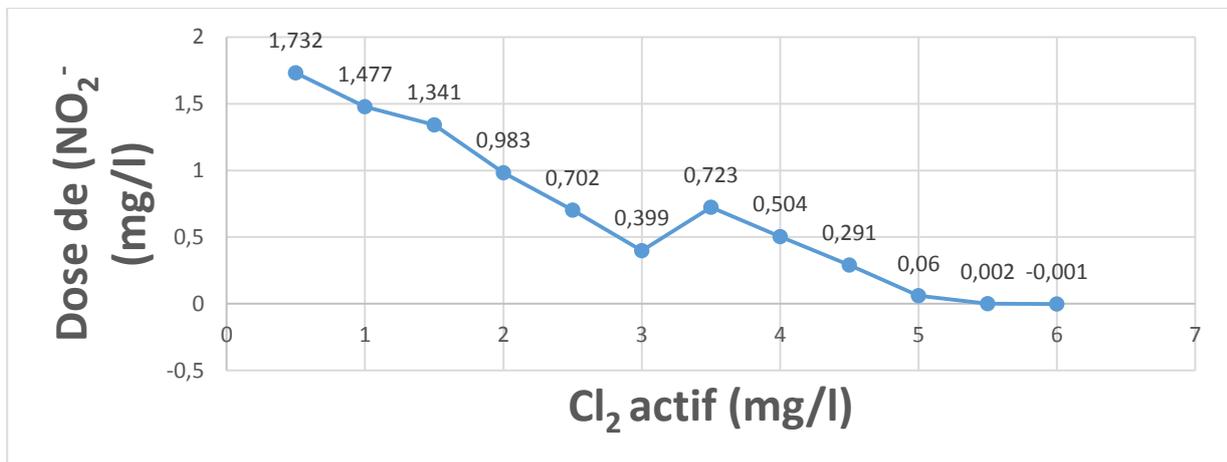


Figure VI-23 : La variation de la concentration des nitrites après traitement en fonction de la dose du chlore actif.

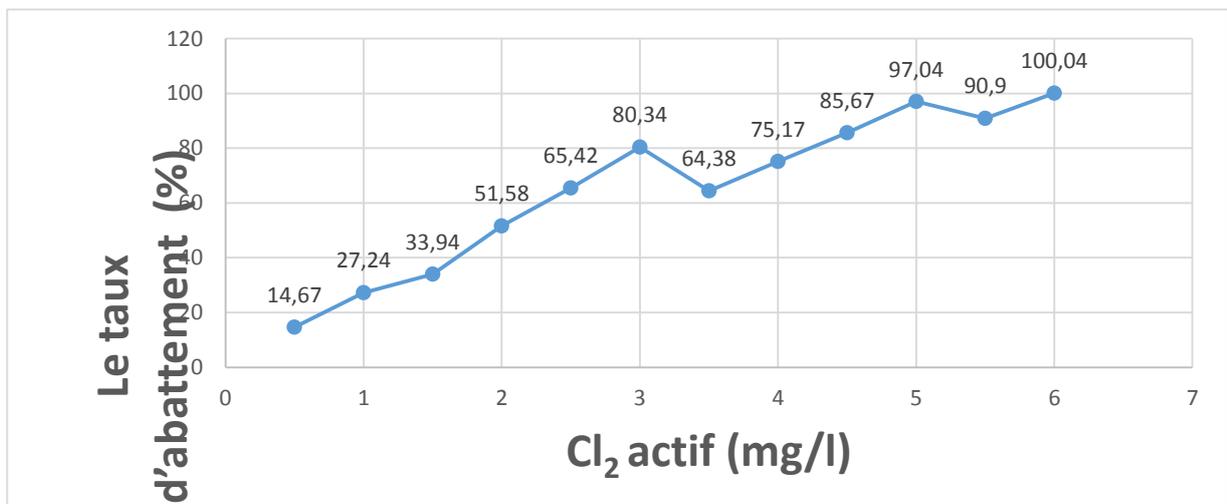


Figure VI-24 : La variation de taux d'abattement (%) des nitrites en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 3 :

Dans ces expériences, nous avons constaté une légère augmentation des concentrations de nitrites entre la dose de chlore actif de 3 mg/l et 3,5 mg/l. Les concentrations de nitrites ont augmenté de 0,399 à 0,723, ce qui peut être dû au fait que ces deux expériences se sont déroulées à des jours différents donc des eaux brutes différentes, ce qui pourrait expliquer cette augmentation de la concentration de nitrites malgré l'augmentation de chlore actif.

Pour les autres concentrations nous avons constaté une diminution de la concentration en augmentant les doses de chlore actif.

Afin d'être en conformité avec la réglementation algérienne, il faudrait une dose de chlore actif d'au moins 5 mg/l.

Concernant le taux d'abattement des nitrites on peut retenir les constatations suivantes :

- Pour une concentration de 2 mg/l de nitrites, nous remarquons de bons rendements d'élimination supérieurs à 85 % pour des doses d'au moins 4,5 mg/l de chlore actif.

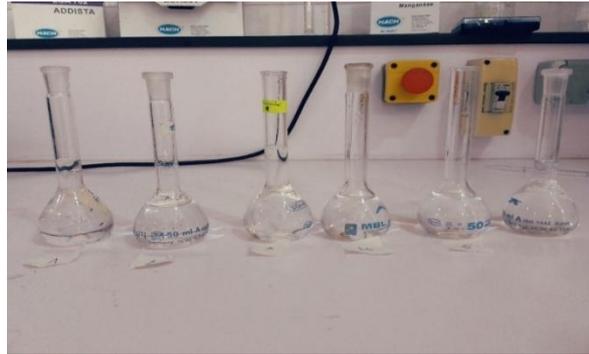
➤ Les résultats du quatrième essai des paramètres indésirables « nitrites » pour des doses croissantes de chlore (3 à 8,5 mg/l) pour une dose de 3 mg/l de NO_2^- sont présentés sur le tableau VI-10.

Tableau VI-10 : Les résultats des nitrites après traitement à partir d'injection des doses croissantes de chlore actif avec des doses constantes des nitrites.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4 ème Essai	Dos e de NO_2^- (mg/l)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Doses Cl₂ actif (mg/l)	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
	NO_2^- (mg/l) après traite- ment	1,208	0,982	0,688	0,424	0,302	0,088	0,008	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001
	Le taux d'abatt ement (%)	60	67,48	77,22	85,96	90	97,09	99,74	99,87	99,93	99,93	99,97	99,97



a- De doses (3 à 5,5 mg/l) de chlore actif



b- De doses (6 à 8,5 mg/l) de chlore actif

Figure VI-25 : Variation de la couleur de l'essai 4 lors de l'élimination des nitrites (après ajout de la solution de coloration des nitrites).

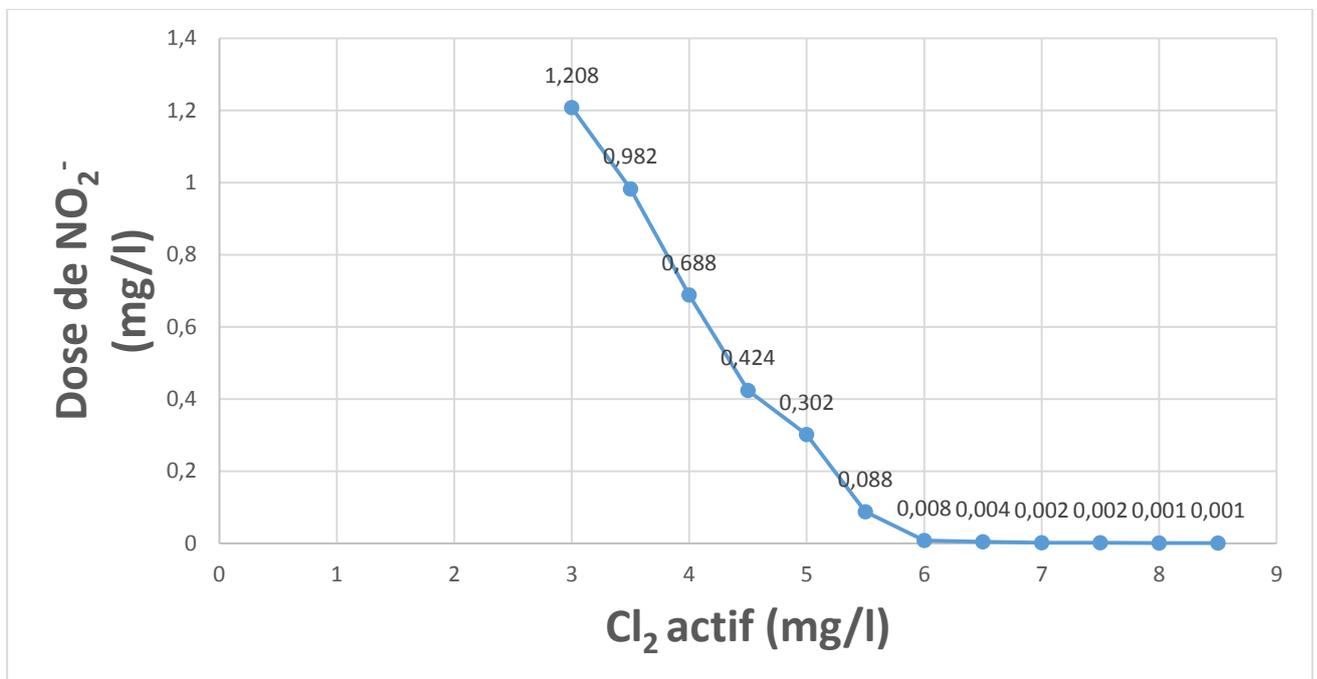


Figure VI- 26 : La variation de la concentrations des nitrites après traitement en fonction de la dose du chlore actif.

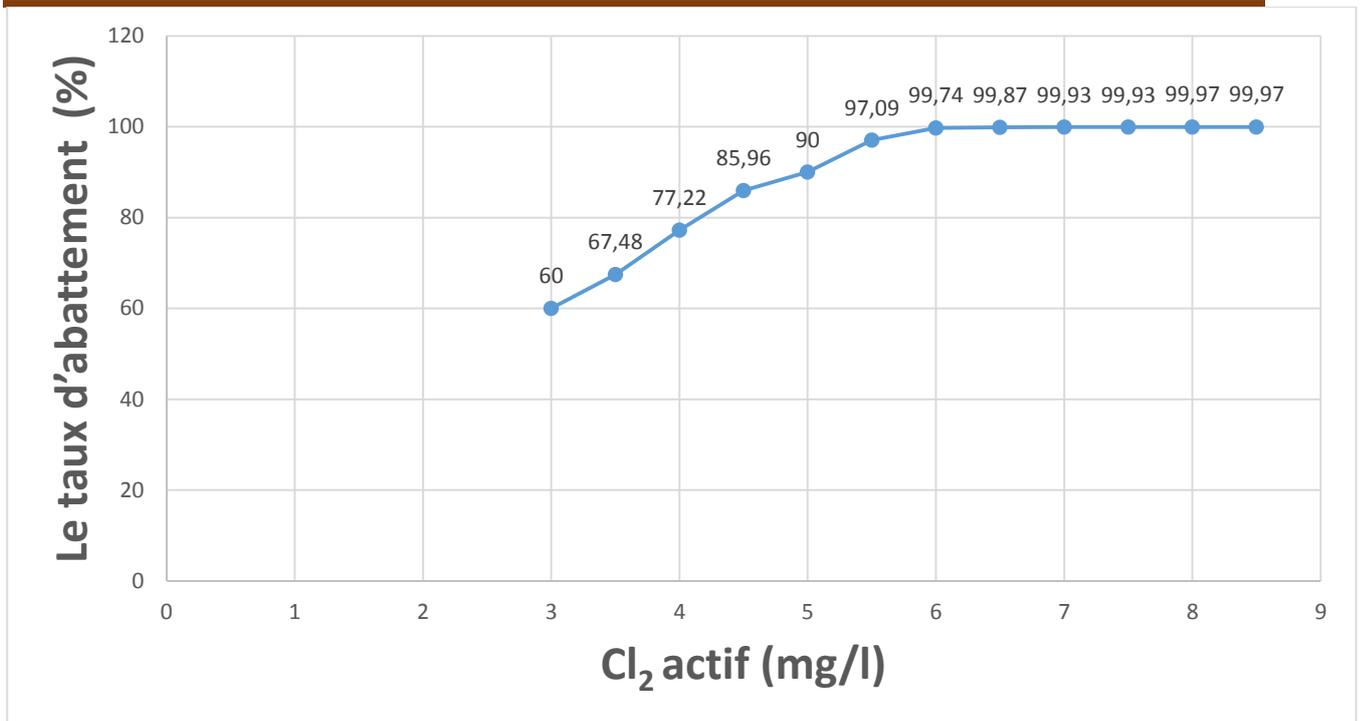


Figure VI-27 : La variation du taux d'abattement (%) des nitrites en fonction de la dose du chlore actif.

Interprétation 4 :

Dans le cas d'une concentration de nitrite de 3 mg/l, il faudrait ajouter des doses de chlore actif d'au moins de 5,5 mg/l afin de respecter la norme de potabilité de l'eau qui est de 0,2 mg/l.

Le rendement :

À partir de 4,5 mg/l de chlore actif, nous constatons des taux d'abattement des nitrites assez élevés dépassant les 85 %.

3. Suivi des nitrates lors de l'élimination des nitrites par chloration :

Afin de confirmer l'oxydation des nitrites en nitrates, nous avons suivi l'évolution de la concentration des nitrates après oxydation des nitrites par l'hypochlorite de sodium.

- Les résultats de l'oxydation des nitrites (0.5 mg/l) sont présentés sur le tableau **VI-10**.

Tableau VI-10 : Les résultats des nitrates après traitement d'élimination des nitrites par le chlore actif .

		1	2	3	4	5	6	Eau brute
1 ère Essai	Dose de NO_2^- (mg/l)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	/
	Doses Cl_2 actif (mg/l)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	/
	NO_2^- (mg/l) après traitement	0,367	0,096	0,009	0,002	0,002	0,001	0.57
	NO_3^- (mg/l) après traitement	11,17	11,45	11,50	11,59	11,71	11,77	/



Figure VI-28 : Coloration des échantillons après traitement à l'hypochlorite de sodium et après ajout de la solution de tartrate double

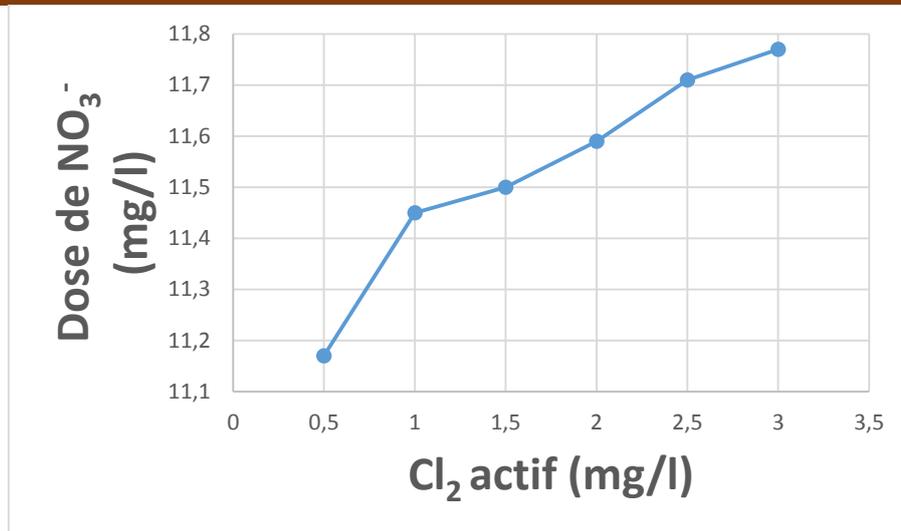


Figure VI-29 : La variation de la concentration des nitrates après traitement en fonction de la dose du chlore actif.

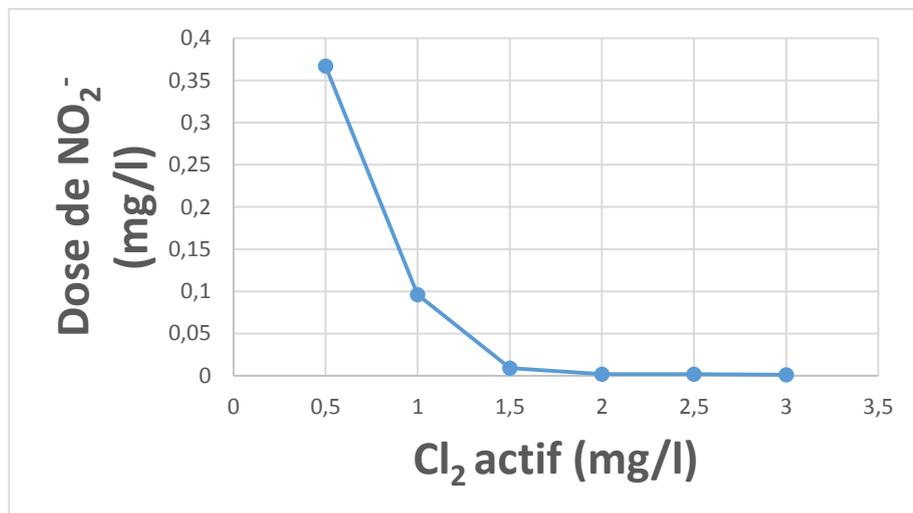


Figure VI-30 : La variation de la concentration des nitrites après traitement en fonction de la dose du chlore actif.

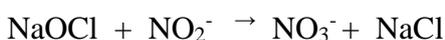
Interprétation 5 :

A partir des figures VI-29 et VI-30, nous remarquons qu'en ajoutant la dose du chlore actif la concentration des nitrites diminue de 0,57 à 0,1 mg/l pour la dose de chlore actif de 3 mg/l. dans le même temps nous observons une augmentation de la concentration des nitrates de 11,17 à 11,77 mg/l, ce qui confirme que les nitrates sont formés à partir des nitrites, par oxydation de ces derniers.

On pourrait expliquer l'oxydation des nitrites en nitrates par chloration par la réaction stœchiométrique suivante



Par l'hypochlorite de sodium



Conclusion

Conclusion :

L'objectif de notre travail a été d'étudier l'action de l'hypochlorite de sodium sur l'élimination du nitrite présent dans l'eau brute.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- ✓ On a remarqué que les concentrations des nitrites diminuaient avec l'augmentation de la dose du chlore actif.
- ✓ Afin de respecter la réglementation algérienne pour les nitrites, il faudrait pour les dopages suivants de nitrites de 0.5, 1, 2 et 3 mg/l, respectivement les doses suivantes de chlore actif de 1, 2, 5 et 5.5 mg/l.
- ✓ On a remarqué que les taux d'abattements des nitrites des eaux brutes augmentaient avec l'augmentation des doses du chlore actif.
- ✓ On a remarqué que la totalité des valeurs de pH, de turbidité et de conductivité sont conformes aux normes algériennes de potabilité des eaux.
- ✓ On a conclu qu'au moins une partie des nitrites ont été oxydés en nitrate, car nous avons constaté lors de la chloration des nitrites, une diminution des concentrations des nitrites et une augmentation des concentrations des nitrates.

En conclusion, les résultats de notre étude montrent que l'ajout de chlore actif à l'eau brute est une méthode efficace pour éliminer les nitrites et respecter les normes de potabilité. Des doses appropriées de chlore actif sont nécessaires pour atteindre des rendements élevés d'élimination des nitrites. Il est également important de surveiller et de contrôler les doses de chlore actif afin de minimiser les risques liés à la formation de sous-produits indésirables. Ces résultats peuvent être utilisés pour orienter les pratiques de traitement de l'eau afin de garantir une eau potable de qualité et conforme aux normes réglementaires.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Encyclopédie. (2006). L'eau. Edition. Encarta.
- [2] Metahri (2012). Élimination 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 de Tizi Ouzou.
- [3] Merouani et Bouguedah,(2013). Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la cuvette de Ouargla, master II, Spécialité Génie de l'environnement. UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA .
- [4] Mlle Bidi Zaina Mlle Djidja Célia.(2020). Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou) mémoire de master II. Spécialité : Biodiversité et Environnement Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [5] DEGREMONT, «Mémento technique de l'eau », Deuxième édition Tom1, (2005). 39 50.
- [6] <https://www.wirtgen-group.com> consulté le 15/06/2023
- [7] A.KHADRAOUI, S .TALEB, « Qualité des eaux dans le sud algérien (potabilité et pollution et impact sur le milieu) », (2008).
- [8] A. Dupont, Hydrologie-captage et traitement des eaux, HYDRAULIQUE, Tome 1, Ed 5, Paris
- [9] A. Dupont, Hydrologie-captage et traitement des eaux, HYDRAULIQUE, Tome 1, Ed 5, Paris (1981)..
- [10] Henri Roque, (1990). « Fondement théorique du traitement chimique des eaux » vol. I et II, technique et documentation, Lavoisier, Paris
- [11] H.OUAHRANI, (2012). « Suivi de la stabilité des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau », Université de Bejaia,
- [12] KOUADIO Adolphe, Ingénieur en Chimie industrielle Cours de Traitement des eaux
OmniChimie et Services Industriels de Côte d'Ivoire SARL
- [13] OMS, 2005; JORA Algérienne, 2014; Journal Officiel de la République Française [JORF], 2007.
- [14] Jean-Claude BOEGLIN. (2000). Contrôle des eaux douces et de consommation-techniques de l'ingénieur.10 sept.
- [15] Directives de qualité pour l'eau de boisson (1983) : 2 Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Deuxième édition Volume. OMS.

Références bibliographiques

- [17] « LE LITTORAL » Édition Quae 21 aout 2021 première édition
- [18] R, D. (1997). Le traitement des eaux (éd. 2ème édition). De l'école polytechnique de Montréal
- [19] Nora, Z. K. (2017). Conception d'un montage de filtration sur sable. Mémoire fin d'étude master 2 . Spécialité de génie de l'environnement. Université de Bouira.
- [20] cardot, C. (1997). Le traitement de l'eau- procédés physico-chimique et bactériologique. Cours et problèmes résolus, p 256. Génie de l'environnement
- [21] Kahina, K. A. (2021). Elimination des phosphates et des nitrates par des procédés physico-chimiques. Mémoire fin d'étude master 2. Boumerdes, Spécialité génie de l'environnement, UMBB.
- [22] Desjardins,C.(1997). Le traitement des eaux
- [23] DEGUMENT. (1989). Memento technique de l'eau (éd. Tome 1)
- [24] M. D. Labas, R. J. (2006). "Kinetics of bacteria inactivation employing UV radiation under clear water conditions, ".Chemical Engineering Journal , vol.121 (N°. 2-3), p. 135-145
- [25] GULLUDEC, C. L. (1995). La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine. Thèse doctorat de pharmacie. Département de l'Isère
- [26] H. Milous. (2011). "Modélisation par la méthode numérique de la dynamique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets (UV),"
- [27] S. Achour, S. G. (2002).. "Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles," .LARHYSS Journal (N°1).
- [28] Emmanuel JESTIN. (s.d.). « La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires ». agencedel'eauseinenormandie
- [29] M.KOUADIO Adolphe, ingénieur en Chimie industrielle
- [30] EGUB.B ; PRODUCTION D'EAU POTABLE ; Filières et procédés de traitement ; Copyright© Dunod, 2015
- [31] Melouki Soriya. Synthèse, caractérisation de charbons actifs fonctionnalisés et étude de leurs applications en élimination de polluants, Mémoire fin d' étude de Master 2 .université de M'Sila , Génie organique . 2021
- [32] Baird, R.B. et al. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. New York: American Public Health Association.

Références bibliographiques

- [33] BASSOMPIERRE, C. (2007) Procédé à Boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : De la conception d'un pilote à la validation de modèles, hal.science. Available at: <https://theses.hal.science/tel-00130907> (Accessed: 16 June 2023).
- [34] Benjamin, M.M. (2015) Water chemistry. Long Grove, IL: Waveland Press, Inc.
- [35] Benjamin, M.M. and Lawler, D.F. (2013) Water Quality Engineering: Physical/Chemical Treatment Processes. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- [36] Davis, M.L. (2019) Water and wastewater engineering: Design principles and practice, Second edition. McGraw-Hill Education.
- [37] Davis, M.L. and Masten, S.J. (2009) Principles of Environmental Engineering and science. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- [38] Gottschalk, C., Libra, J.A. and Saupe, A. (2010) Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [39] Leslie, G.C.P., Leslie, G.C.P. and Leslie, G.C.P. (2011) Biological wastewater treatment. Boca Raton, FL: IWA Pub./CRC Press.
- [40] Richardson, S.D. et al. (1999) 'Identification of drinking water disinfection by-products from ozone, chlorine dioxide, chloramine, and chlorine', Disinfection By-Products in Drinking Water, pp. 46–53. doi:10.1533/9780857090324.2.46.
- [41] Stuetz, R. (2009) Principles of water and wastewater treatment processes. London: IWA Pub.
- [42] Tchobanoglous, G. (2014) Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. New York, NY: McGraw-Hill Education.
- [43] Miklos, D.B. et al. (2018) 'Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review', Water Research.
- [44] Cemagref ; FNDAE (2001) .Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites –© Ministère de l'Agriculture et de la pêche. Cemagref Editions – Document technique FNDAE n° 25.
- [45] Burgin, A.J. et al. (2015) 'Nitrate reduction, denitrification, and dissimilatory nitrate reduction to ammonium in wetland sediments', Methods in Biogeochemistry of Wetlands, pp. 519–537. doi:10.2136/sssabookser10.c28.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer la capacité de l'oxydant chlore à oxyder les nitrites, conformément aux normes spécifiques algériennes fixées à 0,2 mg/l. L'expérimentation est menée au laboratoire physico-chimique de la station de traitement de l'eau potable de Boudouaou en utilisant la méthode du Jar Test. Les différentes étapes consistent à préparer des échantillons en ajoutant une quantité fixe de nitrites à des béchers contenant 1 litre d'eau brute provenant du barrage de Keddarra. Ensuite, des quantités croissantes de chlore actif sont ajoutées aux échantillons. Les étapes de traitement de l'eau, telles que la coagulation, la floculation et la décantation, sont ensuite réalisées. Les paramètres physico-chimiques sont mesurés pour évaluer la concentration résiduelle de nitrites dans l'eau, qui est ensuite comparée aux normes algériennes. Les résultats obtenus mettent en évidence que l'ajout de chlore actif à l'eau brute est une méthode efficace pour éliminer les nitrites et respecter les normes de potabilité. Des doses appropriées de chlore actif sont nécessaires pour atteindre des rendements élevés d'élimination des nitrites. Afin de respecter la réglementation algérienne, il faudrait pour les dopages suivants des eaux brutes en nitrites de 0.5, 1, 2 et 3 mg/l, respectivement les doses suivantes de chlore actif de 1, 2, 5 et 5.5 mg/l.

Mots clés : Nitrites, chloration, hypochlorite de sodium, oxydation, eau brute, coagulation, floculation, Jar Test,

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم قدرة المؤكسد الكلور على أكسدة النتريتات وفقاً للمعايير الجزائرية المحددة عند 0.05 ملغ/لتر. يتم إجراء التجربة في المختبر الفيزيكي-كيميائي لمحطة معالجة مياه الشرب في بودواو باستخدام طريقة اختبار الجرة. تتضمن الخطوات المختلفة إعداد عينات عن طريق إضافة كمية ثابتة من النتريتات إلى أكواب تحتوي على لتر واحد من مياه الخام المأخوذة من سد قدارة. بعد ذلك، يتم إضافة كميات متزايدة من الكلور الفعال إلى العينات. يتم بعد ذلك إجراء خطوات معالجة المياه مثل التكتاف والترسيب والترشيح لإزالة الرواسب مثل الفلوكات والنتريتات. يتم قياس المعايير الفيزيكي-كيميائية لتقييم التركيز المتبقي للنتريتات في المياه، والتي يتم مقارنتها بالمعايير الجزائرية. تشير النتائج المستخلصة إلى أن إضافة الكلور إلى المياه الخام هي طريقة فعالة لإزالة النتريتات والامتثال لمعايير صلاحية المياه الشرب. تتطلب جرعات مناسبة (C12) من الكلور الفعال لتحقيق كفاءة عالية في إزالة النتريتات. من المهم أيضاً مراقبة ومراقبة جرعات الكلور الفعال لتقليل مخاطر تكوين منتجات فرعية غير مرغوب فيها. يمكن استخدام هذه النتائج لتوجيه ممارسات معالجة المياه لضمان جودة المياه الصالحة للشرب والامتثال للمعايير التنظيمية.

الكلمات المفتاحية

ملغ/لتر 0.05، نتريتات، مؤكسد (كلور)، دراسة (هدف، نتائج)

تركيز الكلور، مياه الشرب، إزالة كاملة، ترسيب، كميات متزايدة، مياه خام، مختبر فيزيكي-كيميائي

Abstract

This study aims to evaluate the ability of the oxidant chlorine to oxidize nitrites, in accordance with specific Algerian standards set at 0.2 mg/l. The experiment is carried out in the physico-

Résumé

chemical laboratory of the Boudouaou drinking water treatment plant using the Jar Test method. The different steps consist of preparing samples by adding a fixed quantity of nitrites to beakers containing 1 liter of raw water from the Keddarra dam. Then, increasing amounts of active chlorine are added to the samples. Water treatment steps, such as coagulation, flocculation and settling, are then carried out, Physico-chemical parameters are measured to assess the residual concentration of nitrites in the water, which is then compared to Algerian standards. The results obtained show that the addition of active chlorine to raw water is an effective method for eliminating nitrites and complying with drinking water standards. Appropriate doses of active chlorine are required to achieve high nitrite removal efficiencies. In order to comply with Algerian regulations, the following doping would require raw water in nitrites of 0.5, 1, 2 and 3 mg/l, respectively the following doses of active chlorine of 1, 2, 5 and 5.5 mg/l.

Keywords: Nitrites, chlorination, sodium hypochlorite, oxidation, raw water, coagulation, flocculation, Jar Test,
