

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÈRI DE TIZI OUZOU

FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Microbienne

Thème

**ESSAIS DE BIOCOAGULATION ET BIODESINFECTION DE
L'EAU BRUTE DE L'OUED SEBAOU PAR DIVERS PLANTES**

Présenté par :

- BELHOCINE Dounia
- HAMOU LHADJ Thinhinane

Soutenu devant le jury composé de :

- | | | | |
|---------------|-------------------|-----|-------|
| • BERROUANE.N | Promotrice | MAB | UMMTO |
| • MOUALEK.I | Président du jury | MCA | UMMTO |
| • YAKOUBLS | Examinatrice | MAB | UMMTO |

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Nous remercions Dieu, le tout puissant pour la volonté, la patience et le courage qu'il nous a accordé pour mener à terme ce travail

*On exprime nos remerciements et notre gratitude à Madame **BERROUANE Nawal**, maître assistante de classe B à l'Université MOULOUD MAMMERY de Tizi-Ouzou, pour nous avoir guidées et encouragées pendant toute la durée de notre travail, ainsi que pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de celui-ci.*

*On tient à remercier très chaleureusement Mr **MOUALEK Idir** maître de conférences de classe A à l'université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de présider le jury.*

*Mes remerciements les plus cordiaux vont aussi à Madame **YAKOUBI Saida** Maître assistante de classe B à l'université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous adressons un remerciement tout particulier à Madame **CHIKHI Akila**, Responsable du laboratoire de la station de Taksebt pour sa disponibilité, sa générosité et l'intérêt constant qu'elle a apporté à ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements aussi aux membres du laboratoire plus spécialement à Mr **HADDADI Nouredine**, et l'ensemble du personnel de la station de SEAAL, Tizi-Ouzou.*

*Nous remercions aussi madame **ALIK Soraya**, directrice du barrage TAKSEBT. Ainsi que toute la promotion de biotechnologie microbienne 2017-2022 et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

Donnia et Thirhinane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en

Hommage et à la mémoire de mon très cher père

Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour son dévouement et ses sacrifices.

Tu es et tu seras toujours dans mon esprit et dans mon cœur

Repose en paix papa que dieu t'accueille dans son vaste paradis

Ainsi

Qu'à ma chère maman pour son amour et son dévouement

A

Mes formidables frères qui m'ont chaleureusement supporté, encouragé et aidé tout au long de mon parcours

A

Mon fiancé pour sa compréhension, son soutien, sa confiance et son encouragement

Ainsi qu'à toute ma la famille et ma belle -famille

A ma cher binôme Tina

Dounia



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents

*Qui n'ont jamais cessé, de me soutenir et de m'épauler pour que
je puisse atteindre mes objectifs*

A mes chers frères

A ma cher binôme

Ainsi

Qu'à l'ensemble de ma famille

Pour leurs indéfectibles soutiens

Thinhinane



Sommaire

Sommaire

Introduction	1
---------------------	---

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Eau, types de pollutions et production d'eau potable

1	Part de l'eau sur la terre	3
1.1	L'eau en Algérie	4
2	Classification des eaux	4
2.1	Eaux naturelles	4
2.1.1	Eaux souterraines	5
2.1.2	Eaux de surfaces	5
2.2	Pollution des eaux	6
2.2.1	Types de pollution	6
2.2.1.1	Pollution chimique	6
2.2.1.2	Pollution physique	6
2.2.1.3	Pollution biologique	7
2.2.1.4	Pollution naturelle	7
3	Production d'eau potable	7
3.1	Étapes de traitement	8
3.1.1	Prétraitement	9
3.1.2	Clarification	9
3.1.3	Coagulation-Floculation	10
3.1.4	Décantation et flottation	10
3.1.5	Filtration	10
3.1.6	Désinfection	10

Chapitre II : Procédé d'intérêt (coagulation- floculation et désinfection)

1	Particules présentes dans l'eau	12
1.1	Les matières en suspension	12
1.2	Les colloïdes	12
1.3	Les matières dissoutes	13
2	Coagulation floculation	13
2.1	Coagulation	14
2.1.1	Mécanisme de coagulation	15

2.1.2	Choix du coagulant	15
2.2	Floculation	15
2.2.1	Mécanisme de floculation	16
2.2.2	Facteur influençant le phénomène de coagulation-floculation	16
2.2.2.1	Influence du potentiel d'hydrogène	16
2.2.2.2	Influence de la dose du coagulant	17
2.2.2.3	Influence de l'agitation	17
2.2.2.4	Influence de la turbidité	17
2.2.2.5	Influence de la couleur	18
2.2.2.6	Influence de la température	18
3	Micro-organisme présent dans l'eau	18
3.1	Germe de contamination fécale	18
3.1.1	Coliformes	18
3.1.2	Streptocoques fécaux	19
3.1.3	Germes aérobies revivifiables	19
3.1.4	Clostridium sulfito-réducteur	20
3.2	Germes pathogènes	20
3.2.1	Salmonelles	20
3.2.2	Vibron cholérique	20
4	Désinfection	21
4.1	Méthode chimique	21
4.1.1	Chlore	21
4.1.1.1	Avantages et inconvénients de l'utilisation du chlore	22
4.1.2	Ozone	23
4.1.2.1	Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'ozone	24
4.2	Méthodes physiques	25
4.2.1	Ultraviolet	25
4.2.1.1.1	Avantages et inconvénients de l'utilisation des ultraviolets	26
4.2.2	Filtration membranaire	26
4.2.2.1.1	Avantages et inconvénients de l'utilisation de la microfiltration	27
4.3	Comparaison entre les différents procédés de désinfection	27
4.4	Danger des méthodes classique de traitement des eaux sur la santé humaine et environnemental	29
4.4.1	Danger de l'utilisation des coagulants-floculant chimique	29

4.4.1.1	Danger sur l'environnement	29
4.4.1.2	Danger sur la santé humaine	30
4.4.2	Danger de l'utilisation des désinfectants chimiques	30
4.4.2.1	Danger sur la santé publique (boire l'eau traitée par le chlore)	31
4.4.2.2	Danger Sur le personnels du centre de traitement des eaux	31
4.4.2.3	Danger sur l'environnement	32
Chapitre III: Biotechnologie de traitement des eaux par des plantes		
1	Coagulants-floculants d'origine naturelle	34
2	Avantages de coagulation-floculation à base de plantes	34
2.1	Technologie respectueuse de l'environnement	35
2.2	Performances fiables	36
2.3	Réduction des déchets/Utilisation des ressources locales	36
2.4	Application en région éloignée	37
2.5	Réduction de la génération de boues	37
2.6	Potentiel d'utilisation des boues produites	37
3	Aperçu sur les plantes d'intérêts	38
3.1	Arbousier (<i>Arbutus unedo</i>)	38
3.1.1	Classification taxonomique	39
3.1.2	Répartition géographique	39
3.1.3	Composition chimique	40
3.2	Cactus (<i>Opuntia ficus indica</i>)	40
3.2.1	Classification taxinomique	40
3.2.2	Répartition géographique	41
3.2.3	Composition chimique	41
3.3	Caroubier (<i>Ceratonia Siliqua</i>)	42
3.3.1	Classification taxonomique	43
3.3.2	Répartition géographique	43
3.3.3	Composition chimique	43
3.4	Ciste (<i>Cistus Salviifolius L</i>)	44
3.4.1	Classification taxonomique	44
3.4.2	Répartition géographique	45
3.4.3	Composition chimique	45
3.5	Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	46

3.5.1	Classification taxonomique	46
3.5.2	Répartition géographique	47
3.5.3	Composition chimique du romarin	47
Chapitre IV : Matériel et Méthodes		
1	Zone de prélèvement	50
2	Lieu et durée du stage :	51
2.1	Matériel	51
2.1.1	Matériel de la bio-coagulation	51
2.1.2	Matériel de la bio-désinfection	52
2.1.3	Matériel végétale	52
2.2	Méthode expérimentale et analytiques	52
2.2.1	Préparation du matériel végétale	52
2.2.2	Préparation de la solution de sulfate d'alumine (coagulants chimique)	53
2.2.3	Échantillonnage	53
2.2.4	Jar-test	53
2.2.5	Détermination de la dose optimale des bio-coagulants et du coagulant chimique	54
2.2.6	Préparation des solutions aqueuses	55
2.2.7	Détermination de la concentration massique des bio-coagulants	55
2.3	Etude de la désinfection	55
2.3.1	Méthodes expérimentales et analytiques	55
2.3.1.1	Préparation du matériel végétal (désinfectants naturels)	55
2.3.1.2	Echantillonnage	56
2.3.1.3	Essai de bio désinfection	56
2.3.1.4	Analyses microbiologiques	57
2.3.1.4.1	Recherche et dénombrement des Coliforme totaux, coliforme fécaux et streptocoques fécaux	57
2.3.1.4.2	Recherche et dénombrement des Bactérie anaérobie sulfito-réductrice	57
2.3.1.4.3	Recherche et dénombrement des germes revivifiables	58
Chapitre V : Résultats et discussion		
1	Caractéristiques de l'eau étudiée	60
2	Concentration massique des bio-coagulants	61
3	Bio coagulation	61

3.1	Détermination de la dose optimale des coagulants	62
3.1.1	Arbousier	62
3.1.2	Cactus	62
3.1.3	Caroubier	63
3.1.4	Cistus	64
3.1.5	Romarin	64
3.1.6	Sulfate d'Aluminium	65
3.2	Taux d'abattement de la turbidité avec les coagulant naturel et le coagulant chimique sulfate d'alumine	65
4	Bio désinfection	69
4.1	Bactérie anaérobie sulfite-réductrice	69
4.2	Coliforme totaux et fécaux	72
1.1	Les germes aérobies revivifiables	74

Conclusion et perspectives	82
-----------------------------------	----

Références bibliographique

Annexe

Liste des abréviations

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: Sulfate d'alumine

ASR : Anaérobie sulfite-réductrice

ATCC : American Type Culture Collection

CAP : Charbon actif en poudre

CF : Coliformes fécaux

CMI : Concentration minimale inhibitrice

CT : Coliformes totaux

EA : Extrait aqueux

$\text{Fe}(\text{Cl}_3)$: Chlorure ferrique

FMAT : Flore mésophile aérobie totale

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

IND : Indénombrable

ISO : Organisation internationale de normalisation

MES : Matière en suspension

NF : Norme française

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation mondiale de la santé

OFI : *Opuntia ficus indica*

PCB : Polychlorobiphényles

pH : Potentiel d'hydrogène

SEAAL : Société des eaux de l'assainissement d'Alger

TDS : Solide totale dissous

UV : Ultraviolet

uS/cm : Micro Siemens par centimètre

Liste des figures

Figure 1: Part de l'eau sur la terre	4
Figure 2 : Schéma des étapes d'une filière classique de potabilisation d'eau	9
Figure 3: Charges électriques des colloïdes	12
Figure 4 :Diamètres des particules présentes dans l'eau	13
Figure 5: Mécanisme de coagulation et floculation à l'échelle moléculaire	14
Figure 6:Schéma représentatif du système de chloration	22
Figure 7:Schéma élémentaire sur stérilisation de l'eau par l'ozone	24
Figure 8:Schéma élémentaire de l'unité de désinfection de l'eau par lampe UV	26
Figure 9:Schéma élémentaire sur le principe de la filtration membranaire	27
Figure 10 : Avantages de l'utilisation des bio coagulants biofloculants dans le traitement de l'eau potable	35
Figure 11: Arbuste et feuille d'arbutus unedo	39
Figure 12 :Cladodes et fruit d'Opuntia ficus indica	40
Figure 13: Fruit et arbre de ceratonia siliqua	42
Figure 14 :Fleurs et feuille de cistus salviifolius L	44
Figure 15: Plante et feuilles de R.officinalis	46
Figure 16 :Aperçu satellite de la zone de prélèvement	50
Figure 17: Point d'échantillonnage	51
Figure 18 Jar test	54
Figure 19 :Décantation	54
Figure 20 :Détermination de la concentration massique des biocoagulants	55
Figure 21 :Taux d'abattement de la turbidité avec coagulants organique et inorganique	66
Figure 22 :Phase du processus de la coagulation	68
Figure 23A :Eau bruteensemencé	70
Figure 23B :Eau filtréensemencé	70
Figure 24 :Eau brute filtré (témoin)	71
Figure 25 : Effet de l'EA de l'arbousier sur les spores des ASR	71
Figure 26: Effet de l'EA du cactus sur les spores des ASR	71
Figure 27: Effet de l'EA du caroubier sur les spores des ASR	71
Figure 28: Effet de l'EA du Cistus sur les spores des ASR	71
Figure 29 : Effet de l'EA du romarin sur les spores des ASR	71
Figure 30: Résultat de l'eau brute	73

Figure 31: Effet de l'EA du cistus sur les CT et CF	73
Figure 32: Effet de l'EA de l'arbousier sur les CT et CF	73
Figure 33: Effet de l'EA du romarin sur les CT et CF	73
Figure 34: Effet de l'EA du caroubiesur les CT et CF	73
Figure 35: Effet de l'EA du cactus sur les CT et CF	73
Figure 36 : Résultat de l'eau brute	75
Figure 37: Effet de l'EA du cistus sur la FMAT à 22 °C	75
Figure 38 : Effet de l'EA de l'arbousier sur la FAMT à 22°C	75
Figure 39 : Effet de l'EA du romarin sur la FMAT à 22°C	75
Figure 40: Effet de l'EA du caroubier sur la FMATà 22°C	75
Figure 41: Effet de l'EA du cactus sur la FMAT à 37°C	75
Figure 42: Effet de l'EA du cistus sur la FMAT à 37°C	76
Figure 43 : Effet de l'EA de l'arbousier sur la FMAT à 37°C	76
Figure 44: Effet de l'EA du caroubiersur la FMAT à 37°C	77
Figure 45: Effet de l'EA du caroubier sur la FMAT à 37°C	77
Figure 46: Effet de l'EA du cactussur la FMAT à 37°C	77

Liste des tableaux

Tableau 1: Zones de prédominances des hydroxydes de fer et d'aluminium 1	16
Tableau 2: Avantages et inconvénients du chlore	22
Tableau 3: Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'ozone	24
Tableau 4: Avantages et inconvénients de l'utilisation des UV	26
Tableau 5: Avantages et inconvénients de l'utilisation de la microfiltration	27
Tableau 6 : Comparatif des principaux modes de désinfection des eaux	28
Tableau 7: Classification taxonomique d'arbutus unedo	39
Tableau 8 : Classification taxonomique de l'Opuntia ficus indica	41
Tableau 9: Classification taxonomique de ceratonia siliqua	43
Tableau 10: Classification taxonomique de cistus salviifolius L	44
Tableau 11 : Classification taxonomique de R.officinalis	46
Tableau 12 : Préparation des solutions à ensemercer	56
Tableau 13: Caractéristique de l'eau brute étudiée	60
Tableau 14 : Concentration massique	61
Tableau 15 : Turbidité de l'eau	61
Tableau 16 : Jar test témoin	62
Tableau 17 : Dose optimale de l'arbousier	62
Tableau 18 : Dose optimale du cactus	63
Tableau 19 : Dose optimale du caroubier	63
Tableau 20 : Dose optimale du cistus	64
Tableau 21: Dose optimale du romarin	64
Tableau 22 : Dose optimale du sulfate d'alumine	65
Tableau 23 : Caractéristique microbiologique de l'eau brute	69
Tableau 24 : Effet des extraits aqueux des plantes sur clostridium	70
Tableau 25 : Effets des extraits aqueux des plantes sur le développement des CT et CF	72
Tableau 26 : Effet des plantes sur la FMAT	74

Introduction

L'eau est une ressource vitale [1], précieuse et indispensable pour l'homme et tous des êtres vivant [2]. Mais elle est aussi le réceptacle universel de tout type de pollution, il est donc essentiel de la préserver. Les problèmes de la pollution des eaux représente sans aucun doute un des aspects les plus inquiétants de la dégradation de l'environnement, les polluants peuvent être transportés par l'eau a toute les étapes de son cycle, ces contaminant sont extrêmement dangereux pour la vie humaine, aquatique et terrestre [1].

En conséquence, le traitement de l'eau destiné à la consommation humaine est indispensable. La coagulation-floculation est une étape indispensable pour la clarification de l'eau et fait appel à plusieurs agents coagulants et floculants généralement d'origine synthétique. Les plus utilisés sont $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe(Cl_3)$ leur rôle est de former des floes, qui vont ensuite se déposer ou flotter selon leur densité. Ce processus est important à la fois pour éliminer les matières potentiellement toxiques mais aussi pour permettre des étapes ultérieures telles que la désinfection où les quantités requises d'agents oxydants tels que le chlore ou l'ozone seraient considérablement augmentées s'il y avait trop de résidus organiques [3].

L'utilisation de ces coagulants-floculants conventionnels à base de métaux, et des désinfectants suscite actuellement de nouvelles préoccupations, vu les problèmes alarmants engendrés par ces produits liés à leurs effets prolongés sur la santé humaine et à la pollution accrue des milieux aquatiques.

Une analyse approfondie a été menée concernant l'impact pouvant être causé par l'utilisation de ces composés. Les impacts environnementaux comprennent l'augmentation du taux de corrosion des utilités métalliques, la modification du pH, la limitation de l'allongement des racines et l'inhibition de la germination des graines [4].

Le chlore aussi n'est pas sans effets sur l'environnement, malgré que les plantes et les animaux sont incapable de le stocké. Cependant, des études ont montré qu'une exposition répétée au chlore gazeux peut affecter le système immunitaire, le sang, le cœur et le système respiratoire d'un animal [58].

Outre leurs impacts sur l'environnement, des préoccupations liées à la santé humaine se posent [4]. La présence de traces de ses produits dans l'eau peut poser des problèmes sanitaires majeurs. En effet, les sels d'alumine apportés par le coagulant pénètrent préférentiellement dans les cellules cérébrales et bloquent leur fonctionnement. Ce processus pourrait entrer en cause dans la genèse de la maladie d'Alzheimer et d'autres maladies

analogues [1]. Une autre étude récente a montré un risque accru de cancer de la vessie (et peut-être du côlon) chez les personnes qui ont bu de l'eau chlorée pendant 35 ans ou plus [59].

Pour ces raisons, une approche alternative plus écologique et durable qui consiste à utiliser des produits naturels pour le traitement des eaux. Les coagulants naturels à base de matières végétales ou de sources renouvelables attirent beaucoup d'attention en raison de leurs divers avantages par rapport à leurs homologues chimiques. Ils sont biodégradables, non toxiques, non corrosifs et moins chers que les coagulants chimiques [5].

Notre étude a pour but de remplacer les produits synthétiques utilisés lors de la coagulation-floculation et la désinfection par des produits d'origine végétale.

Notre travail est composé de deux parties principales, la première partie est dédiée à la recherche bibliographique. Elle est composée de trois chapitres ; le premier traite des généralités sur les eaux naturelles et le problème de la pollution qui menace la qualité de ces eaux ainsi que le processus de production d'eau potable. Le deuxième porte sur l'explication détaillée de deux procédés clé du processus de potabilisation qui est la coagulation-floculation et la désinfection. Dans le troisième chapitre nous intéressons à la biotechnologie de traitement des eaux par des plantes. La seconde partie est dédiée à l'expérimentation est divisée en deux chapitres : le premier est consacré à la description du matériel utilisé et la méthodologie suivie et le deuxième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus, discutés et interprétés. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion.

Partie bibliographique

Chapitre I

Eau, types de pollutions et production d'eau potable

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale, indispensable à la continuité de la vie, [6]. Pour cette raison, il ne doit pas être considéré comme un produit commercial mais comme un héritage qui doit être protégé, défendu et traité comme tel [7]. C'est aussi un élément central de tous les processus socio-économique quel que soit le degré de développement de la société [8]. En effet, l'eau a un rôle fondamental dans de nombreux domaines comme la potabilisation, l'agriculture, l'industrie, la production de l'électricité ainsi que l'usage domestique.

La qualité de l'eau a toujours été un facteur important pour assurer le bien-être humain. Actuellement, la pollution de l'hydrosphère est un des problèmes environnementaux les plus graves qui est due pour une grande partie à l'activité humaine. Dans les pays développés et ceux en voie de développement, la qualité de cet élément vital est en détérioration à cause des déchets des industries chimiques déversés dans la nature [9].

1 Part de l'eau sur la terre

Le volume d'eau terrestre sous formes solide, liquide et gazeuse est estimé à 1 384 120 000 km³, dont 2,6 % d'eau douce, soit 36 020 000 km³. Dans ces 2,6 %, seul 0,26 % est directement exploitable. De ce fait, on estime qu'il y a théoriquement de l'eau douce suffisante pour alimenter quelque 20 milliards d'habitants. Malheureusement, elle n'est pas répartie de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides existantes [10].

La majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans (figure 1), est salée ce qui la rend inutilisable pour l'homme. Les 3% d'eau douce restants ne sont toutefois pas entièrement disponibles pour l'homme. En effet, environ 63% celle-ci se présente à l'état solide dans les glaciers et 31,4% seulement se trouve à l'état liquide dans les nappes phréatiques, les lacs d'eau douce, les rivières et l'eau contenue dans la matière vivante ... etc. Une faible proportion de ces 31,4% est sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère.

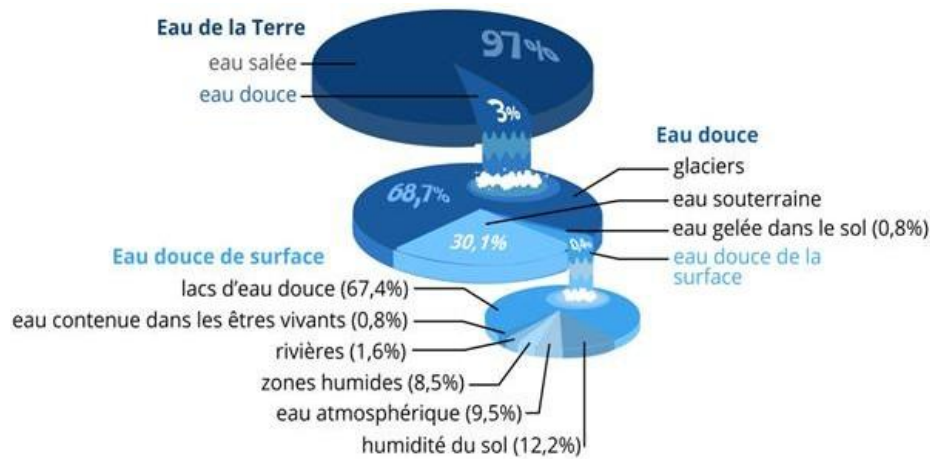


Figure 1: Part de l'eau sur la terre ^[60].

1.1 Eau en Algérie

En Algérie, les ressources en eau sont réparties comme suit [10] :

- 100 milliards de m³ de précipitations totales dans le nord de l'Algérie, dont 85 % s'évapore superficiel; et 15 % constitue l'écoulement
- 12,4 milliards de m³ d'écoulement superficiels;
- 1,8 milliard de m³ d'eaux souterraines mobilisables dans le nord et sont exploités à près de 90 %;
- 6 milliards de m³ mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie géologie, etc.);
- 4,8 milliards de m³ mobilisables actuellement;
- 2 milliards de m³ mobilisés pour une centaine de barrages [10].
- 80 barrages et 15 autres en cours de réalisation dans le territoire national avant la fin de 2021

2 Classification des eaux

2.1 Eaux naturelles

Les eaux naturelles sont toutes les eaux de l'hydrosphère non transformées par l'Homme [60]. Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines

(infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer. [8]

2.1.1 Eaux souterraines

Les nappes sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine, une nappe peut être libre (ou phréatique si elle est suffisamment proche de la surface pour être accessible par puits). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie [12] ce type de nappe correspondant à 22% des réserves d'eaux douces [11]. Ou captive si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables ; les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement les plus profondes [8].

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions

Accidentelles. Néanmoins, de nombreuses nappes sont « influencées » par la qualité des eaux de surface, Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également adsorbés sur les roches et minéraux du sous-sol [8].

2.1.2 Eaux de surfaces

Les eaux de surface regroupent toutes les eaux s'écoulant à la surface du sol, des versants jusqu'aux cours d'eau [12], contenues dans les lacs, maintenues derrière les barrages réservoirs. Elles ont pour origine, soit les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseaux, de rivières, soit rassemblements des eaux de ruissellement. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, généralement les eaux de surface sont très sensibles à la pollution minérale et organique [57]. Caractérisées par une vitesse de circulation appréciable [8]. Ces eaux englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface et elles sont rarement potables [11].

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau [8].

2.2 Pollution des eaux

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques [2].

La pollution de l'eau a été définie, lors d'une réunion d'experts européens à Genève, en 1961, dans les termes suivants : «Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition ou l'état des eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir (en temps normal) à leur état naturel [13].

2.2.1 Types de pollution

Quatre grandes familles caractéristiques de la pollution

2.2.1.1 Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances toxiques dans les cours d'eau [4]. Ces polluants chimiques sont de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropiques. Ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd,.....), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les produits pharmaceutiques, les pesticides, les sels, etc... [2].

2.2.1.2 Pollution physique

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels
On distingue

- **Pollution solide** : Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variable dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue les matières décantées (plus lourde que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau), et matières non séparables (même densité que l'eau) [4]

- **Pollution thermique** : causée généralement par les eaux des circuits refroidissement des usines, en effet tout changement de température de l'eau a des conséquences significatives sur l'équilibre écologique du milieu aquatique naturel et sur la vie des organismes vivants [2].

- **Pollution radioactive** : liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations des centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs [2].

La pollution physique est aussi liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau, le pH, la conductivité, le solide total dissous (TDS), la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau [13].

2.2.1.3 Pollution biologique

La pollution biologique provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux, l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées. L'eau se charge alors de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) qui peuvent être dangereux pour l'environnement et pour la santé humaine [2].

Les micro-organismes pullulant en milieu aquatique sont naturellement acheminés par l'écoulement de l'eau, entraînant l'éclosion de plusieurs maladies hydriques à l'instar du choléra ou de la fièvre typhoïde. Même quand les maladies ne surgissent pas, ce ne serait qu'un sursis très aléatoire pour la santé de ses consommateurs, avalant des variétés de bactéries qui entreraient le moment opportun en conflit avec le système immunitaire. En plus l'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles rendant, ainsi l'eau impropre à la santé humaine utilisé pour leurs besoins, pour leur consommation d'aliments contaminés par l'eau, ou encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif. Le moyen le plus commun de ces transmissions reste la voie féco-orale [13].

2.2.1.4 Pollution naturelle

Les éruptions volcaniques (sulfures, acides, poussières), des épanchements sous-marins d'hydrocarbures, le contact avec des filons ou gisements d'éléments toxiques (mercure, arsenic, éléments radioactifs), la présence d'une source thermo-minérale, etc. Tous ces phénomènes sont des sources de pollution naturelle des eaux [13].

L'eau de consommation ne doit contenir ni de germes pathogènes ni de substances toxiques susceptibles de provoquer de graves contaminations chez le consommateur. Et afin d'utiliser les différentes catégories d'eau et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement [14].

3 Production d'eau potable

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu

physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, et parvenir aux résultats recherchés depuis l'obtention d'un liquide clair et limpide pour la consommation humaine jusqu'à celle de l'eau extra pure, il faudra appliquer seuls ou en combinaison différents types de traitements [14].

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de paramètres réglementés (qualité organoleptique, paramètres physico-chimiques, substances indésirables ou toxiques, paramètres microbiologiques) la rendant propre à la consommation humaine. L'alimentation de la population en eau potable de qualité est une obligation [15].

Les objectifs du traitement peuvent être répartis en trois groupes : [7]

- la santé publique : qui implique que l'eau transférée doit répondre aux normes physico-chimiques. Alors ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes.
- Caractéristiques organoleptiques : l'eau doit être agréable à boire, avoir un bon goût, limpide, et sans odeur ni couleur désagréable.
- la protection du réseau de transfert et aussi des installations des usagers (robinetteries, chauffe-eau,...) contre l'entartrage et/ou la corrosion [7].

3.1 Étapes de traitement

Le traitement par potabilisation de l'eau consiste à faire subir à l'eau un traitement visant à la rendre potable. Pour être consommée par l'homme, l'eau doit subir un traitement spécifique. L'eau brute provient généralement des nappes d'eau souterraines ou des cours d'eau, est ensuite acheminée vers les usines de traitement des eaux potables. La réglementation définit les normes selon lesquelles seront effectués divers traitements visant à la rendre potable. Les principaux traitements nécessaires à la potabilisation de l'eau sont l'élimination des matières suspendues dans l'eau, sa désinfection et sa clarification, la régulation de sa dureté et de sa concentration en minéraux, la définition d'une eau potable s'appuie sur ses qualités microbiologiques (absence de parasites, bactéries) physico-chimique (température, pH, oxygénation), chimique (particules autres que les minéraux), et radiologique (radioactivité) [62].

La filière classique de traitement (figure 2), quelle que soit l'origine de l'eau, est constituée d'une désinfection (étape obligatoire) précédée au plus par trois étapes de traitement ou plus : étapes de prétraitement, étapes de clarification et étapes d'affinage [8].

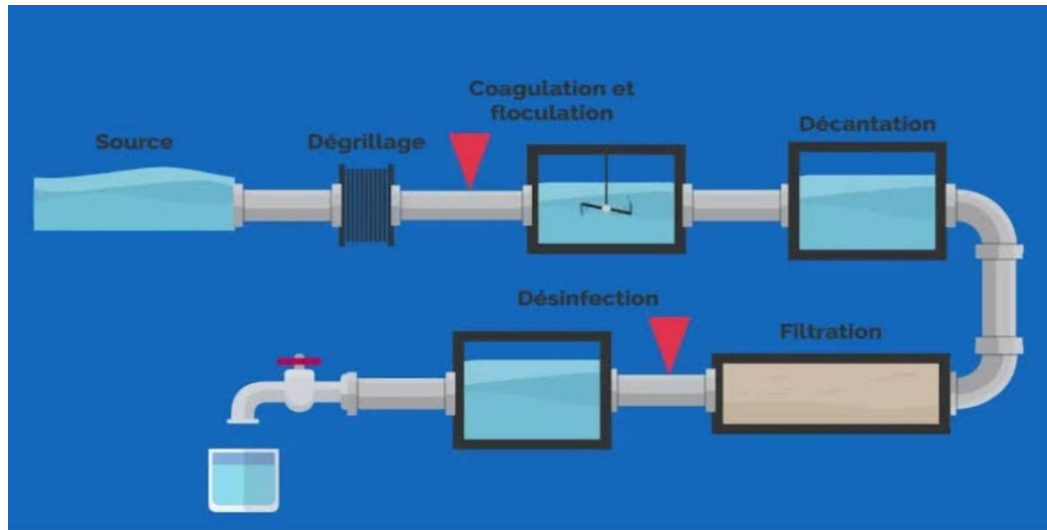


Figure 2 : Schéma des étapes d'une filière classique de potabilisation d'eau [64].

3.1.1 Prétraitement

Les prétraitements sont appliqués aux eaux chargées en particules de grande taille susceptibles de perturber la mise en œuvre des traitements ultérieurs. On compte [16] :

- Dégrillage : A son entrée dans l'usine de traitement d'eau potable, l'eau passe au travers de grilles qui arrêtent les corps flottants et les gros déchets.
- Tamisage : il retient les déchets plus petits, le sable et le plancton.
- Pré-décantation : les eaux particulièrement chargées en particules, un pré-décantation est nécessaire pour séparer les matières en suspension (argile, limons...). Elle consiste à laisser déposer ces particules sous l'effet de la pesanteur.

3.1.2 Clarification

C'est une étape indispensable pour les eaux de surface et les eaux souterraines karstiques. Elle permet d'obtenir une eau limpide [8]. C'est au cours de cette étape que les matières colloïdales et les MES sont extraites de l'eau brute, principales responsables de la turbidité de l'eau. La clarification est constituée de plusieurs étapes à savoir la coagulation-floculation, la décantation et la filtration [16].

3.1.3 Coagulation-Floculation

Les procédés de coagulation et floculation constituent les traitements de base appliqués pour corriger des défauts de l'eau liés aux fractions particulaires inertes ou vivantes. Ils assurent aussi l'élimination de la fraction « floculable » des matières organiques (macromolécules), de certains métaux lourds.

Ces techniques améliorent la qualité de l'eau turbide et permettent d'extraire les particules en suspension en les déstabilisant et en créant des floes plus gros et plus lourds qui favorisent leur décantation [17].

3.1.4 Décantation et flottation

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floes se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface. A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floes. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur [8].

3.1.5 Filtration

La filtration est un procédé physique disposé généralement après la décantation ou la flottation [8]. C'est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension présentes à l'origine dans l'eau brute ou issu de floculation [16]. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes [8].

3.1.6 Désinfection

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine est définie comme l'opération destinée à détruire ou à inactiver les microorganismes pathogènes pour l'homme jusqu'à l'obtention d'un certain niveau de sécurité microbiologique. Ainsi, la désinfection ne correspond pas à une stérilisation au sens strict, puisqu'une eau désinfectée peut toujours contenir quelques germes banaux [18]. C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevé pour éviter les reviviscences bactériennes dans les réseaux de distribution [14]. Il existe généralement deux types de désinfection : Désinfection chimique et désinfection physique [14].

Chapitre II

Procédés d'intérêt

(coagulation floculation et

désinfection)

1 Particules présentes dans l'eau

L'eau contient de nombreux composés qui peuvent se regrouper en trois catégories [19] :

1.1 Les matières en suspension

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles...) ou organiques (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur [19].

1.2 Les colloïdes

Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur [19]. Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de charges électriques à leur surface (figure 3). Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion inter colloïdales (Van Der Waals) [9].

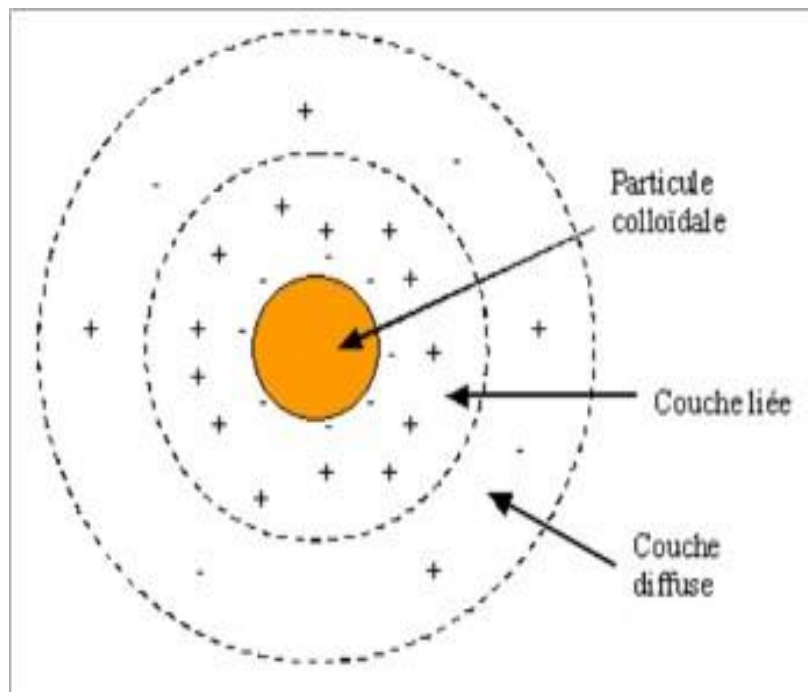


Figure 3: Charges électriques des colloïdes [9].

1.3 Les matières dissoutes

Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz (O_2 , CO_2 , H_2S , ...) [19].

La figure 4 représente le diamètre des particules qu'on peut trouver dans l'eau. Ce dernier a une influence importante sur le processus de coagulation-floculation ainsi que sur le phénomène de décantation.

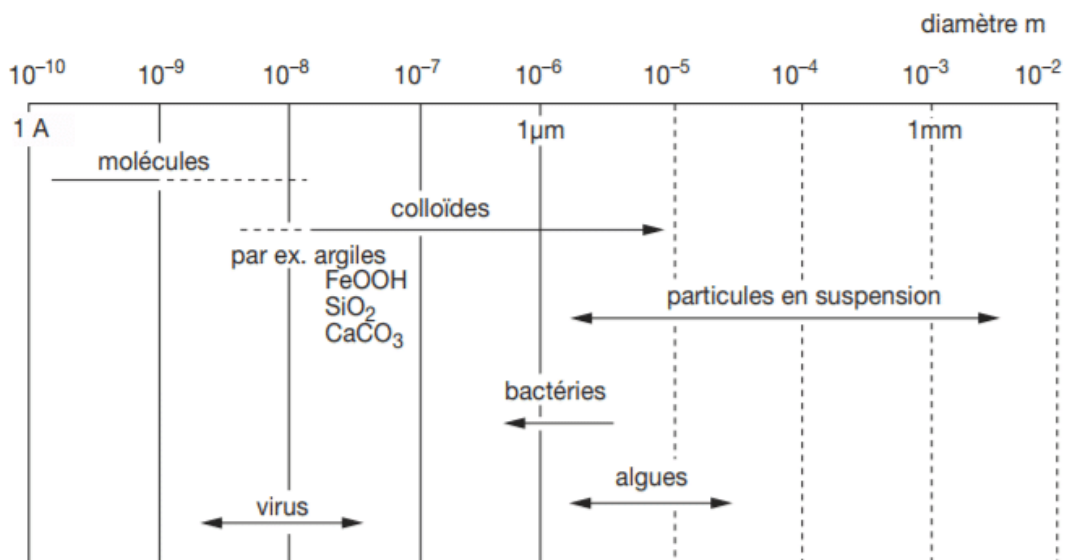


Figure 4 : Diamètres des particules présentes dans l'eau [63].

2 Coagulation floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particule de très faible diamètre: les colloïdes. Ces particules, peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible, le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années. Alors on ajoute des agents coagulants et floculants qui agglomèrent les particules en élément de taille suffisamment importantes pour accélérer le phénomène de décantation [7,19].

Les procédés de coagulation et floculation (figure 5) sont des procédés physico-chimiques souvent indissociables, visant la déstabilisation des particules colloïdales présentes dans l'eau [20]. Ces processus constituent les traitements de base appliqués pour corriger des défauts de l'eau liés aux fractions particulières inertes ou vivantes. Ils assurent aussi l'élimination de la fraction « floculable » des matières organiques (macromolécules), de

certaines métaux lourds .Ils se déroulent en deux étapes principales à savoir la déstabilisation des particules et la cohésion des particules déstabilisées pour former des agrégats volumineux. La déstabilisation et l'agrégation sont des phénomènes physico-chimiques. La séparation par décantation et filtration met en jeu des phénomènes essentiellement physiques. Ces techniques améliorent la qualité de l'eau de l'eau turbide [19].

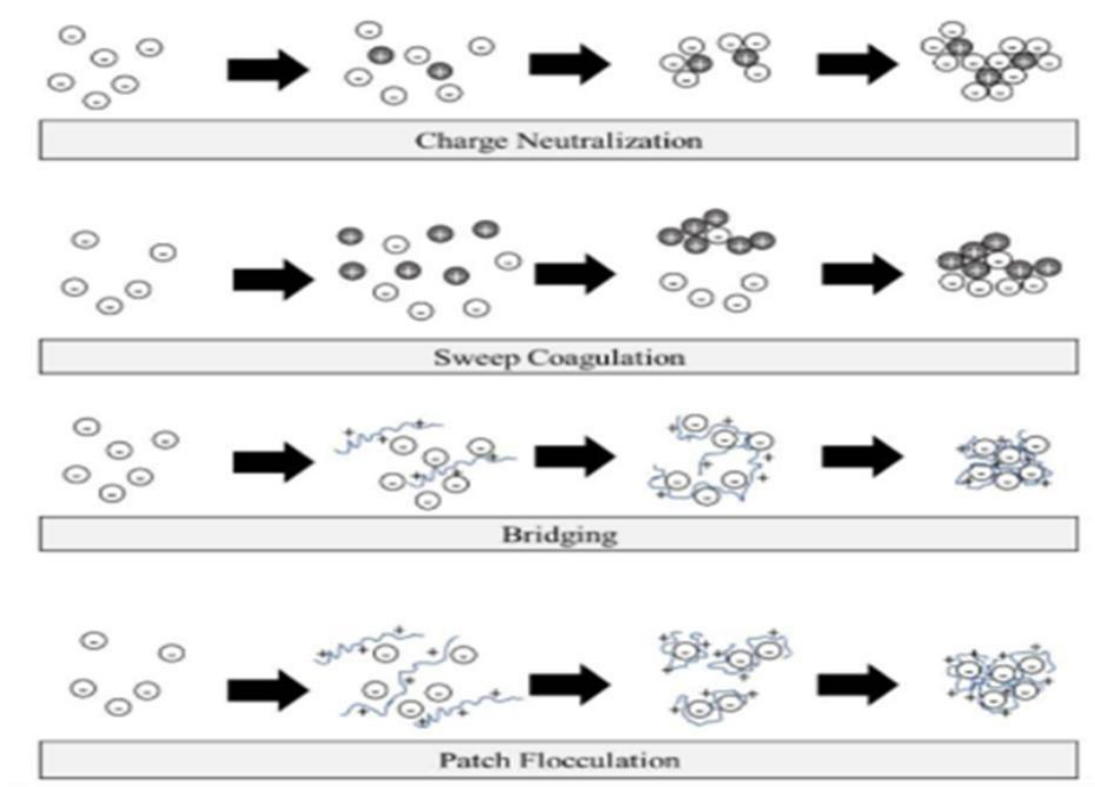


Figure 5: Mécanisme de coagulation et floculation à l'échelle moléculaire [21].

2.1 Coagulation

La coagulation vient du latin *coagulare* qui signifie « agglomérer ». En tant que processus unitaire du traitement de l'eau [7]. La coagulation est un processus chimique dans le traitement de l'eau qui nécessite l'implication de la neutralisation de la charge des particules. Il s'agit d'un processus d'ajout de coagulant à une solution pour neutraliser les particules chargées négativement. Ce procédé nécessite une agitation importante [22].

Un coagulant est un composé avec des charges positives (principalement divalentes) qui peut interagir avec les particules en suspension à l'intérieur de la solution et créer une forme neutre de composés combinés [8].

L'efficacité des coagulants est déterminée par la formation de molécules polynucléaires multi chargées ayant une capacité d'adsorption après hydrolyse. Plus la charge formée par les coagulants est élevée, meilleur sera le processus de coagulation [8].

2.1.1 Mécanisme de coagulation

Afin de déstabiliser une suspension colloïdale, la coagulation agit sur : la neutralisation des charges et les mécanismes de pontages. Dans le cas de la coagulation, la charge cationique apparaît comme étant plus importante que le poids moléculaire. En effet, la charge cationique des coagulants assure la neutralisation des charges de surface des colloïdes en suspension et facilite ainsi leur déstabilisation et agglomération [9].

2.1.2 Choix du coagulant

Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité [20]. Il se fait selon des paramètres tels que les caractéristiques des eaux brutes et les paramètres physico-chimiques à éliminer (turbidité, couleur, matières organiques, ...). Les critères économiques tels que les surcoûts dus à l'utilisation des réactifs de neutralisation et/ou reminéralisation [7].

Il existe plusieurs coagulants chimiques mais les plus couramment utilisées sont les sels d'aluminium (tel que sulfate d'aluminium, chlorure d'aluminium et l'aluminate de sodium) et les sels de fer (tel que chlorure ferrique, sulfate ferrique et le sulfate ferreux) [7].

2.2 Floculation

L'étape de floculation ne peut être envisagée que sur une eau contenant des particules déjà déstabilisées, elle est donc la suite logique de l'étape de coagulation [1].

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, c'est la floculation. Il s'agit du phénomène de formation des flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes). On utilise, pour se faire des flocculants ou adjuvants de floculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente [1].

Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de contact des particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [8,19].

L'efficacité des flocculants est déterminée par leur capacité à faciliter la formation de flocons. Plus les flocons formés sont grands, meilleur sera le processus de floculation. Le rapport boues /produites sur apport de composés est calculé comme le rendement, et sert de critère

d'efficacité des coagulants/floculants. Plus le rapport boues produites/composé utilisé est faible, plus les coagulants/floculants seront efficaces [22]. Le mode de formation des agglomère est généralement accéléré pour des moyens mécaniques, physiques, ou chimiques [16].

2.2.1 Mécanisme de floculation

Les floculants de par leur très haut poids moléculaire (longue chaîne de monomères) et leur charge, fixent les particules déstabilisées et les rassemblent sur leur chaîne Il va s'en suivre un grossissement de la taille des particules présentes dans la phase aqueuse. Les types de liaisons entre les particules et le floculant sont principalement des liaisons ioniques et des liaisons hydrogènes [1].

2.2.2 Facteur influençant le phénomène de coagulation-floculation

Le processus de coagulation-floculation est un procédé complexe et peut être influencé par plusieurs facteurs. Pour optimiser ce procédé, il faut tenir compte de plusieurs variables comme la température, le pH, la dose du coagulant, la turbidité, et la condition du mélange qui ont un impact non négligeable. Toutefois, il convient de préciser que d'autres paramètres sont importants, tels que la couleur, et le potentiel zêta [1].

2.2.2.1 Influence du potentiel d'hydrogène

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation a lieu rapidement, plage qui est en fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Lorsque la coagulation se produit hors de cette plage optimale, il faut soit augmenter la quantité du coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité [9]. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits chimiques (acides, chaux ou soude) [19]. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible [1]. Les zones de prédominance de l'hydroxyde de fer et l'aluminium sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1: Zones de prédominances des hydroxydes de fer et d'aluminium [1].

Forme prédominante	Zone de pH optimale
$\text{Al}(\text{OH})_3$	De 5,8 à 7,2
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	De 5,5 à 8,3

Pour abaisser le pH, il est plus avantageux, dans certains cas, d'augmenter la quantité du coagulant. Lorsque le pH est optimal, les produits solubles d'aluminium ou de fer sont pratiquement inexistantes.

2.2.2.2 Influence de la dose du coagulant

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimale plus large que celle due à l'alumine. De plus, pour un même pH élevé, le sulfate ferrique est moins soluble que l'alun [9].

2.2.2.3 Influence de l'agitation

Au cours de la coagulation et de la floculation, on procède au mélange des produits chimiques en deux étapes [19] :

- A la première étape, le mélange est énergique et de courte durée [19], afin de bien mélanger l'eau avec le coagulant et neutraliser les colloïdes et les cations métalliques [1].
- A la deuxième étape, le mélange est lent et il a pour but de favoriser les contacts entre les particules [19], et l'agrégation des colloïdes, mais sans détruire les floccs déjà formés [1]. Et aussi de favoriser la décantation [9].

2.2.2.4 Influence de la turbidité

La turbidité est aussi un paramètre qui peut influencer considérablement le processus de coagulation-floculation. Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0.2 à 0.5 μm . Il s'agit donc de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. L'augmentation de la qualité du coagulant ne varie toutefois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. A l'inverse, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile [9].

Par contre dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le flocc, on ajoute un adjuvant de floculation [23].

2.2.2.5 Influence de la couleur

Des études ont révélé que 90% des particules responsables de la couleur avaient un diamètre supérieur à 3.5 nm. Ces particules sont donc les particules colloïdales beaucoup plus petites que les particules responsables de la turbidité. La plupart des particules responsables de la couleur possèdent des charges négatives à leur surface. La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale, pour un pH optimale la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité du coagulant utilisé. Avec un pH optimal qui varie entre 4 et 6 pour éliminer la couleur et avoir un meilleur rendement [9].

2.2.2.6 Influence de la température

La température joue un rôle important. En effet, une température basse conduit à une augmentation de la viscosité de l'eau, créant des difficultés dans le déroulement du procédé : la coagulation et la décantation des floccs sont ralenties et la plage du pH optimale est réduite. Pour éviter ces difficultés, la solution consiste à changer le coagulant en fonction des saisons [23].

3 Micro-organisme présent dans l'eau

Les indicateurs microbiologiques sont considérés parmi les paramètres les plus importants pour les eaux à usage domestique. Ils correspondent à des germes pathogènes qui proviennent du rejet des eaux usées domestiques ou industrielles directement dans les cours d'eau et/ou des lessivages des sols [24].

3.1 Germe de contamination fécale

3.1.1 Coliformes

Définition des coliformes : le terme de coliformes ne correspond pas à une définition microbiologique stricte. Sous ce terme est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des Enterobacteriaceae et qui partagent certaines caractéristiques biochimiques [25].

La définition suivante a été adoptée par l'organisation internationale de standardisation (ISO). Le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogone, Gram négatif, oxydase négative, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autre agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance

similaire, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et de l'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C [25].

Certains coliformes sont des hôtes habituels du sol et des eaux mais d'autres ne peuvent vivre que dans le seul habitat fécal. *Escherichia coli* est un coliforme d'habitat fécal, possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes totaux mais à 44°C. Sa présence dans l'eau témoigne d'une pollution récente par la matière fécale [26].

3.1.2 Streptocoques fécaux

Selon la norme ISO 7899-2 et la norme T 90-416, les Streptocoques sont des bactérie Gram positif, catalase négative, aérobies-anaérobies facultatifs, ils se distinguent par leur forme coccoïdes, leur mode de groupement en paires ou en chaînettes et leur caractère homofermentaire. Dans ce groupe, les streptocoques fécaux se caractérisent par leur appartenance au groupe sérologique D de Lancefield et par le fait que leur habitat normal étant le tube digestif des animaux à sang chaud, ils sont capables de se développer à 37°C pendant 24 à 48 heures. L'intérêt de leur recherche en parallèle de la recherche d'*E.coli* repose sur leur plus grande capacité à survivre dans les eaux qu'*E.coli* (permet de tracer une contamination fécale plus ancienne), et sur leur plus grande résistance à la dessiccation ainsi qu'à la chloration [7].

3.1.3 Germes aérobies revivifiables

Selon la norme NF EN ISO 6222, les germes revivifiables, nommés également flore mésophiles aérobies totale, sont toute bactérie aérobie, levure ou moisissure, capable de former des colonies dans le milieu spécifié à 22±2°C pendant 68±4 heures, et à 36±2°C pendant 44±4 heures. Parmi les bactéries cultivant dans les conditions de la norme, on peut distinguer deux catégories différentes sur le plan de l'hygiène [7].

- Les micro-organismes saprophytes présents naturellement dans l'eau est qui se développent à 22°C.
- Les micro-organismes qui proviennent de l'homme ou des animaux à sang chaud qui se développent à 37°C.

Même s'il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, ils peuvent montrer une contamination de l'eau analysée par des produits animales en particulier les matières fécales. Ces micro-organismes ne présentent pas d'effets directs sur la santé, mais une concentration trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique. Le dénombrement de la

flore totale permet d'évaluer la densité bactérienne globale. Une faible valeur est témoin de l'efficacité du traitement [7].

3.1.4 Clostridium sulfito-réducteur

En dehors des streptocoques fécaux et *E.coli* que sont des indicateurs de contamination fécale récente. Du fait que leur survie dans l'eau peut être très courte. Les clostridium sulfito-réducteur représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne [27].

Selon la norme NF T 90-415, les Clostridium sulfito-réducteurs se présentent sous forme de bacilles Gram positif et qui se développant à $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ en 24 à 48 heures en gélose profonde [7].

Clostridium perfringens est un germe très résistant aux sulfites et dont l'activité sulfito-réductrice est la plus forte. Il peut être d'origine fécale et aussi d'origine tellurique, sa présence dans l'eau ne constitue pas à elle seule une preuve de contamination fécale, tout au plus elle permet d'envisager la possibilité [27]. L'intérêt de recherche de tels indicateurs réside dans la propriété de sporuler, ce qui les rend particulièrement résistant à la désinfection [7].

3.2 Germes pathogènes

Certaines maladies infectieuses sont transmises à l'homme par absorption d'eau ou aliments pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes. Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, responsables de la fièvre typhoïde, et le *vibron cholérique*, responsable du choléra [27].

3.2.1 Salmonelles

Selon la norme NF EN ISO 9308-1, on entend par Salmonella, des bactéries qui se présentent sous forme de bacilles Gram négatif et qui en se développant à température de $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ en 24 à 48 heures, ce genre contient plusieurs sérotypes pathogènes pour l'humain et les animaux [7].

3.2.2 Vibron cholérique

Vibron cholérique est un bacille à Gram négatif en forme de bâtonnet incurvé, oxydase positif. Il est doté d'une grande motilité et d'un seul flagelle polaire. Cette bactérie de 1 à 3 μm à 0.8 μm , est un anaérobie facultative de la famille des vibronaceae.

Présent sous plusieurs sérogroupes, mais le séro groupe 01 et le 0139 sont les principaux agents pathogènes en cause dans l'épidémie de choléra [27].

4 Désinfection

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine se fait généralement par l'ajout d'un ou plusieurs produits chimique ou par des méthodes physique comme l'exposition au rayonnement (ultra-violet, infra rouge, rayon x ou gamma) ou par microfiltration, afin d'empêcher le développement des microorganismes qui peuvent être à l'origine de plusieurs maladies hydriques [29].

Il existe de nombreux modes de désinfection mais le plus idéal est celui qui regroupe les caractéristiques suivantes [29] :

- Efficace contre la plupart des micro-organismes pathogènes.
- Absence des sous-produits indésirables formés à la suite de son utilisation.
- Produit non dangereux pour les humains et pour la vie aquatique.
- Facilité d'utilisation.
- Faibles coûts d'investissement et d'exploitation [29].

4.1 Méthode chimique

Les agents de cette désinfection sont des oxydants chimiques à double effet, la destruction de la population microbienne et l'oxydation des molécules organiques et des métaux lourds [14].

4.1.1 Chlore

L'utilisation du chlore comme agent désinfectant commence au début du XX siècle, en complétant ainsi le procès de filtration, qui était déjà largement utilisé. Les produits de la famille du chlore les plus habituels dans la désinfection de l'eau sont: le chlore gazeux, l'hypochlorite de sodium, l'hypochlorite de calcium [30].

La désinfection au chlore ou à l'hypochlorite de sodium est simple à mettre en œuvre (injection directe à partir d'une bouteille du chlore ou d'une pompe doseuse).

Le dioxyde du chlore (ClO_2) est également un bon désinfectant. Son pouvoir rémanent est plus important que celui du chlore. Il persiste donc plus longtemps dans les réseaux de distribution [14].

La figure 6 représente le système de chloration. Elle montre un tuyau transportant de l'eau filtrée et un réservoir du chlore en solution avec une pompe d'injection chimique. L'eau filtrée se mélange avec la solution de chlore dans une chambre de mise en contact, puis l'eau traitée et désinfectée est canalisée vers l'extérieur.

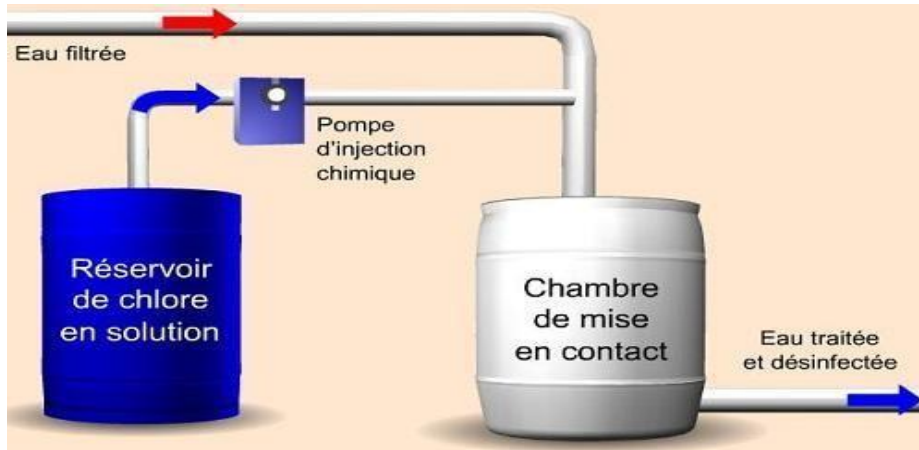


Figure 6: Schéma représentatif du système de chloration ^[64].

4.1.1.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation du chlore

Le chlore est un produit chimique comme tout autre produit, il présente de nombreux avantages et inconvénients, résumé dans le tableau 2.

Tableau 2: Avantages et inconvénients du chlore ^[66].

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Investissement plus faible que pour un système d'ozonisation • Système très simple: il suffit d'utiliser une pompe à injection ou un injecteur venturi pour mélanger du chlore avec l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Le chlore donne un goût caractéristique à l'eau • Certains dérivés chlorés sont dangereux • L'installation nécessite le transport et le stockage de produit toxique • L'efficacité du chlore dépend du pH de l'eau

4.1.2 Ozone

L'ozone est connu depuis de nombreuses années en tant que désinfectant oxydant puissant. Son usage est répandu dans le monde entier et dans de nombreux secteurs d'activités. Il peut être utilisé sous sa forme gazeuse ou sous sa forme aqueuse [65].

C'est l'agent antimicrobien ayant le plus large spectre d'action de désinfection. Il a un spectre de désinfection plus large que le chlore et les actions bactéricide, virucide et fongicide sont beaucoup plus rapides. L'ozone est très efficace comme désinfectant/décontaminant, en quelques secondes et même à faibles concentrations [65].

L'ozone (O_3) est une forme très instable et réactive de l'oxygène. C'est un gaz bleuté et odorant, qui se forme naturellement dans la stratosphère sous l'action du rayonnement ultraviolet, émis par le soleil, sur les molécules d'oxygène. Il est généré artificiellement par décharge électrique dans de l'air, de l'oxygène, ou un mélange des deux. L'opération consiste à transformer l'oxygène sous forme « O_2 » en oxygène sous forme « O_3 » [29].

L'ozone, de par son pouvoir oxydant puissant, détruit les germes pathogènes 20 à 30 fois plus rapidement que le chlore. Il possède également une action sur les virus. Il suffit d'une dose de 0,1 à 0,2 mg/L pendant 1 à 2 minutes pour assurer l'action bactéricide et une dose de 0,4 mg/L pendant 4 minutes pour l'action virulicide [31].

La difficulté de mise en œuvre réside dans le fait que l'ozone s'autodétruit rapidement dans l'eau, d'autant plus que le pH et la température sont élevés. A titre d'exemple à température constante et après 15 minutes de contact eau - ozone, à pH 7,6 il reste 80% de résiduel, et à pH 9,2 il en reste 8% de résiduel. Il est donc nécessaire de procéder à une post désinfection au chlore ou au dioxyde de chlore, pour assurer un effet rémanent.

Évaluation des dispositifs de désinfection des eaux distribuées dans le bassin la désinfection à l'ozone engendre la formation de sous-produits. En effet l'ozone réagit avec [31]:

- les précurseurs organiques pour former des aldéhydes et des composés organiques oxydés.
- les bromures pour former des ions bromates, des composés organobromés, des bromamines.

Le processus de désinfection à l'ozone est simplifié dans la figure 7

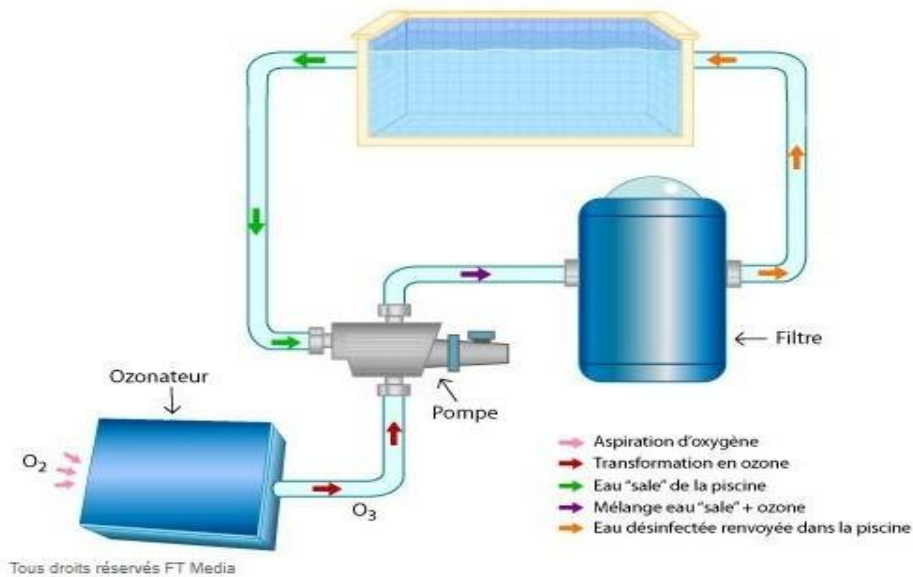


Figure 7: Schéma élémentaire sur stérilisation de l'eau par l'ozone [31].

4.1.2.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'ozone

Parmi les inconvénients et avantages de l'utilisation de l'ozone on site (tableau 3) :

Tableau 3: Avantages et inconvénients de l'utilisation de l'ozone [66].

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • L'ozone se décompose en oxygène, sans laisser de produits dérivés dans l'eau. • L'ozone est produit sur place (pas de transport de produits toxiques ni de consommable à changer régulièrement). 	<ul style="list-style-type: none"> • La production d'ozone consomme de l'énergie. • Le système est assez complexe. • Certains matériaux ne sont pas résistants à l'ozone. • Ce système demande un investissement de départ important.

4.2 Méthodes physiques

Les agents de cette désinfection sont des stérilisants physiques capables de détruire complètement les micro-organismes [14].

4.2.1 Ultraviolet

Ce mode de désinfection des eaux usées consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets (UV). Il s'agit d'une technologie qui a connu un essor important au cours des dernières décennies et qui est maintenant très répandue dans le monde. Dans des milliers de stations d'épuration, notamment aux États-Unis, les unités de chloration ont été remplacées par des lampes UV ^[67].

Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, son opération simple et sécuritaire de même que son efficacité désinfectante, en particulier sur les virus. Toutefois, le rendement de cette technologie diminue avec une baisse de la transmissivité des eaux ^[67].

Sur le plan économique, les coûts se situent dans une gamme comparable à ceux des systèmes de chloration-déchloration. Le rayonnement ultraviolet n'a pas d'impact notable sur l'environnement, car il ne nécessite aucun ajout de produit chimique et ne forme pas de sous-produits. Le rayonnement ultraviolet est relativement plus efficace pour inactiver les virus, plus sécuritaire pour le personnel de la station d'épuration et pour le public (aucun transport de produits chimiques) et moins dommageable pour l'environnement ^[67].

L'illustration (figure 8) montre une unité de désinfection aux rayons ultraviolets. Une puissante ampoule de lumière ultraviolette recouverte d'une enveloppe de quartz est au centre de la chambre de désinfection. L'eau entre dans la chambre à une extrémité et est exposée à la lumière ultraviolette durant son parcours jusqu'à l'autre extrémité. L'eau s'écoulant est désinfectée.

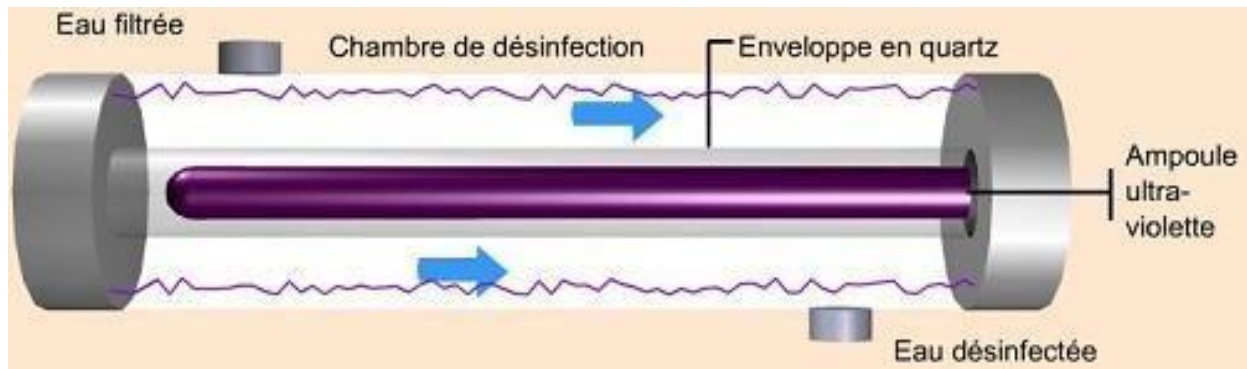


Figure 8: Schéma élémentaire de l'unité de désinfection de l'eau par lampe UV ^[66].

4.2.1.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation des ultraviolets

Le tableau 4 représente quelque avantage et inconvénients de l'utilisation des rayons ultraviolets dans la défection de l'eau destiné à la consommation humaine

Tableau 4: avantages et inconvénients de l'utilisation des UV ^[66].

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Le système est bon économique à l'investissement et à l'utilisation. • Il n'y a pas de stockage de produit chimique; le traitement ne laisse aucun dérivé dans l'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les UV inactivent mais n'éliminent pas les bactéries. L'eau doit donc être consommée directement après traitement. • Les particules dans l'eau stoppent les rayons UV et diminuent l'efficacité du traitement.

4.2.2 Filtration membranaire

la filtration membranaire est un procédé nano-technologique mettant en œuvre au niveau nanoscopique des interactions physico-chimiques utilisant une ou plusieurs membranes de nature organique ou inorganique comme structure poreuse organisée (figure 9) permettant de séparer l'eau des substance solubles, telles que les huiles micellaires, les substances organiques, les macromolécules, les micro-organisme et les métaux. Il existe plusieurs types de procédés en fonction de la force motrice mise en œuvre et de la taille et la distribution en taille des pores [18].

Le traitement membranaire produit avec constance une eau de grande qualité. Son coût est concurrentiel comparativement à d'autres solutions classiques de traitement. Les nouvelles usines et les usines mises à niveau sont donc nombreuses à avoir adopté cette technologie. Cependant, malgré ses avantages, des obstacles limitent encore l'adoption de cette technologie à grande échelle au Canada. En général, leur usage s'est limité aux procédés membranaires fonctionnant à faible pression (principalement pour l'ultrafiltration) lorsque la source d'eau est de bonne qualité [32].

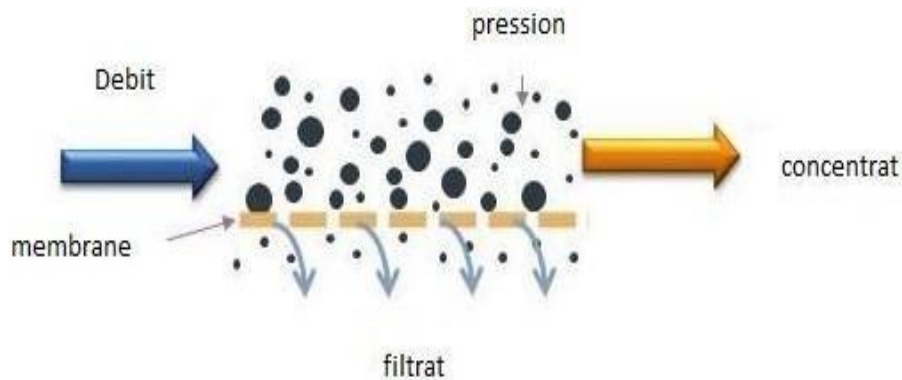


Figure 9: Schéma élémentaire sur le principe de la filtration membranaire [84].

4.2.2.1.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation de la microfiltration

Parmi les avantages et inconvénients de l'utilisation de la microfiltration on site (tableau 5) :

Tableau 5: Avantages et inconvénients de l'utilisation de la microfiltration [66].

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • L'investissement est très faible • Le système est très simple • Les bactéries sont enlevées de l'eau, et pas seulement inactivées 	<ul style="list-style-type: none"> • Le système est coûteux à l'utilisation, car il faut renouveler régulièrement les cartouches filtrantes • La microfiltration n'a aucun effet sur les virus, qui sont plus petits que les bactéries

4.3 Comparaison entre les différents procédés de désinfection

Les procédés de traitement préalablement cités présentent chacun des avantages et inconvénients pour cette raison le choix de la méthode la plus efficace pour le traitement de

l'eau destiné à la consommation humaine se base sur plusieurs critères qui sont résumés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Comparatif des principaux modes de désinfection des eaux [29].

	Chloration	Ozonation	Ultraviolet
Inactivation bactérienne	Bonne	Bonne	bonne
Inactivation virale	Faible	Bonne	bonne
Réactivation possible	Oui	Non	oui
Toxicité pour la vie aquatique	Elevée	Faible	Minime
Formation de produits Secondaires nuisibles	Oui	faible	non
Corrosif	Oui	Oui	non
Risque pour la sécurité publique	Oui	Non	non
Risque pour le personnel exploitant	Elevé	modéré	faible
Transport requis	Modéré	Non	non
Complexité de la technologie	Modéré	élevée	faible
Facilité de contrôle du procédé	Bien connue	En développement	En développement
Fiabilité des équipements	Bonne	Modéré	bonne

Application possible à des stations de taille	Toutes les tailles	Grosses stations	Petites et moyennes (de plus en plus pour les grosses)
Niveau de prétraitement requis	-----	secondaire	secondaires
Entretien requis	Minime	élevé	variable
Coûts totaux	Faibles	élevés	modérés

4.4 Danger des méthodes classique de traitement des eaux sur la santé humaine et environnemental

4.4.1 Danger de l'utilisation des coagulants-floculant chimique

La coagulation-floculation est une étape primordiale dans le processus de production d'eau potable. Cependant des inquiétudes concernant la toxicité des coagulants-floculants conventionnels utilisés dans notre vie quotidienne émergent. Ces préoccupations sont dues aux risques énormes de ces produits chimiques métalliques sur la santé humaine, l'écosystème et sur l'économie du pays [22].

4.4.1.1 Danger sur l'environnement

Plusieurs problèmes environnementaux dus à la toxicité chronique des coagulants/floculants sont actuellement en cours de discussion, en particulier pour les observateurs environnementaux du monde entier. Une analyse approfondie a été menée concernant l'impact pouvant être causé par l'utilisation des composés chimiques comme coagulants et floculants. Les impacts environnementaux comprennent [22]:

- l'augmentation du taux de corrosion des utilités métalliques.
- la modification du pH.
- la limitation de l'allongement des racines et l'inhibition de la germination des graines
- Le traitement de l'eau et des eaux usées impliquent l'utilisation des coagulants/floculants conventionnels, génère également des boues chimiques excessives en plus des solides en suspension à éliminer. Ainsi, la manipulation des boues chimiques devient un autre problème à résoudre [22].

- La possibilité élevée de lixiviation des métaux dans le sol et les eaux souterraines est actuellement évoquée comme la pollution environnementale potentielle qui pourrait être créée par cette voie d'élimination à long terme [22].
- l'élimination des boues d'aluminium directement dans les plans d'eau, peut entraîner une modification de la stabilité dans l'environnement aquatique, comme une diminution du pH, la bioaccumulation et la bioamplification de l'aluminium, et la libération potentielle supplémentaire de métaux toxiques [22].
- Une quantité abondante d'aluminium dans les plans d'eau exerce des effets négatifs sur les poissons et les invertébrés en perturbant leurs fonctions osmorégulateurs.
- Les coagulants à base de fer semblent avoir un rendement en boue plus faible que les coagulants à base d'aluminium. L'utilisation de ces composés crée une condition d'abaissement du pH de l'effluent. Et produit des boues acides qui contiennent du fer métallique. Des recherches considérables ont indiqué que le fer est nécessaire aux organismes en tant que micronutriment, mais une quantité excessive de ce composé sous des formes biodisponibles peut être préjudiciable à l'écosystème [22].
- Une quantité importante de fer inhibe la croissance des plantes [22].

4.4.1.2 Danger sur la santé humaine

Les coagulants/floculants à base de métal sont non dégradables ou non biodégradables, et leurs résidus dans l'eau potable peuvent induire un impact direct sur la santé humaine lorsqu'ils sont consommés, et peuvent s'accumuler dans les cellules du corps [22].

Certaines indications concernant les impacts des coagulants/floculants chimiques sur la santé humaine. Des découvertes récentes ont indiqué qu'une quantité excessive d'aluminium dans le corps humain (en particulier le cerveau) a une forte corrélation avec les maladies neurotoxiques, la maladie d'Alzheimer et l'autisme [22].

Le polymère synthétique (PAM polyacrylamide) présente également une cancérogénicité potentielle tout en montrant une très faible biodégradabilité [22].

4.4.2 Danger de l'utilisation des désinfectants chimiques

Danger de l'utilisation du chlore : Le chlore est un gaz très réactif, c'est un des produits les plus répandus pour le traitement de l'eau. De nombreuses études scientifiques ont démontré des effets néfastes du chlore, que ce soit sur la santé et sur l'environnement qui nous entoure [67].

4.4.2.1 Danger sur la santé publique (boire l'eau traitée par le chlore)

D'après l'US Council of Environmental Quality : "Le taux de cancer des personnes buvant de l'eau chlorée est 93% plus élevé que chez ceux buvant une eau sans chlore ^[59].

Au Canada, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) classe certains sous-produits de chloration parmi les causes possibles de cancer, en particulier le cancer de la vessie. Le gouvernement canadien alerte même la population sur une étude récente ayant montré un risque accru de cancer de la vessie (et peut-être du côlon) chez les personnes qui ont bu de l'eau chlorée pendant 35 ans ou plus ^[59].

Une étude menée dans l'Iowa (USA) en 1986 et en 1989 avec des données sur des patients atteints de cancer intestinal et du rectum, montre qu'il existe un risque élevé de cancer du rectum après une longue exposition à l'eau potable chlorée. En plus de ses effets cancérigènes sur le long terme, la molécule déséquilibre notre flore intestinale indispensable à une bonne digestion et à la production de certaines vitamines ^[59].

4.4.2.2 Danger Sur le personnels du centre de traitement des eaux

En quantité suffisante, le chlore irrite les yeux et provoque un dysfonctionnement du système respiratoire. Les problèmes peuvent aller de la simple difficulté respiratoire à des douleurs dans la poitrine en passant par une toux aiguë. Le chlore peut donc endommager le système respiratoire et pulmonaire de manière profonde en entraînant de la rétention d'eau dans les poumons, des bronchites ou des pneumonies, ou même des œdèmes pulmonaires. Il peut aussi causer de l'asthme sur les personnes les plus fragilisées ^[70].

En cas de contact avec la peau : Le gaz irrite ou brûle la peau. Peut causer des cicatrices permanentes. Le contact direct avec le gaz liquéfié peut refroidir ou geler la peau (gelures). Les symptômes de gelures légères comprennent l'engourdissement, le picotement et la démangeaison. Les symptômes de gelures plus sérieuses comprennent une sensation de brûlure et une raideur. La peau peut prendre une coloration blanc ciré ou jaune. Une vésication, la mort de tissus et une infection peuvent se manifester dans les cas graves ^[71].

En cas de contact avec les yeux : Le gaz irrite ou brûle les yeux. Des dommages permanents, y compris la cécité, pourraient en résulter. Le contact direct avec le gaz liquéfié peut geler l'œil. Des dommages oculaires permanents ou la cécité peuvent en résulter ^[71].

4.4.2.3 Danger sur l'environnement

Les plantes et les animaux ne sont pas susceptibles de stocker du chlore. Cependant des études en laboratoire ont montré que l'exposition répétée au chlore dans l'air peut affecter le système immunitaire, le sang, le cœur et le système respiratoire des animaux et il est spécialement nocif pour les organismes vivant dans l'eau et le sol ^[59].

Chapitre III

Biotechnologie de

traitements des eaux par des

plantes

De nombreuses études ont montré que les coagulants-floculants chimique à base de métaux (aluminium, fer ...) présentent un désavantage important : sont non dégradables ou non biodégradables, leurs résidus dans l'eau potable peuvent induire un impact direct sur la santé humaine lorsqu'ils sont consommés et peuvent s'accumuler dans les cellules du corps et causer plusieurs maladies graves comme le cancer de l'intestin et l'Alzheimer. Alors que les bio-coagulants peuvent être une solution alternative pour minimiser la pollution environnementale et les risques sanitaires causés par l'utilisation des coagulants chimiques. Cela a donc poussé les chercheurs à investiguer la possibilité d'utiliser des composées d'origine naturelle efficace et sans danger pour réaliser le procédé de coagulation-floculation [16, 21].

1 Coagulants-floculants d'origine naturelle

Historiquement, les coagulants d'origine végétale et animale sont apparus bien avant les coagulants synthétiques. Des manuscrits anciens en provenance de l'Inde rapportent que les graines de nirmali, une espèce d'arbre, étaient utilisées pour clarifier les eaux de surface, il y a 4000 ans de cela. Cependant, un manque de connaissances scientifiques au niveau de leurs mécanismes de fonctionnements et de leur efficacité a ralenti les recherches réalisées sur ces biocoagulants. Ainsi l'utilisation de coagulant naturel a été découragée dans les pays développés sous prétexte qu'ils n'ont jamais été soumis à une évaluation scientifique rigoureuse. par contre dans les pays en voie de développement, le recherche ont été poursuivie mais ils ont pas êtes suffisamment développée par manque de moyens d'expérimentation.si bien qu'aujourd'hui, les pays développés recommencent à s'intéresser à cette alternative après les multiple études et critique sur les inconvénients et les maladie grave causé par les coagulant chimique utilisé [16].

2 Avantages de coagulation-floculation à base de plantes

L'utilisation des biocoagulants/biofloculants dans le traitement de l'eau potable présente de nombreux avantages, comme le montre la figure 10 [22].

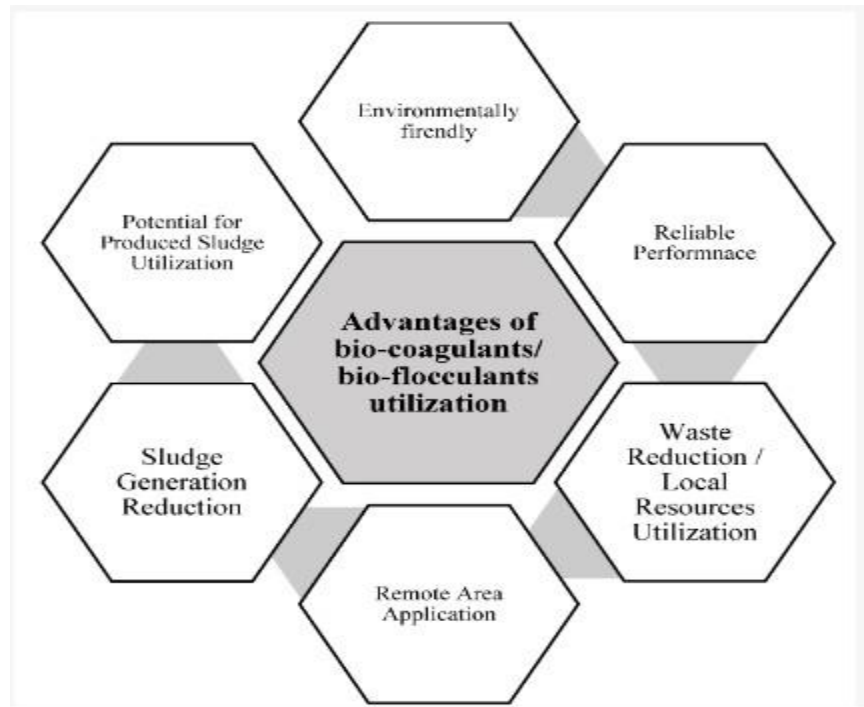


Figure 10 : Avantages de l'utilisation des biocoagulants-biofloculants dans le traitement de l'eau potable [22].

Les six principaux avantages qui peuvent être obtenus lors de l'utilisation de bio-coagulants/bio-floculant sont qu'ils sont : [22].

- Une technologie respectueuse de l'environnement,
- Présentent des performances fiables,
- Entraînent une réduction des déchets/l'utilisation des ressources locales,
- Applicables dans les zones reculées,
- Réduisent la production de boues
- Permettent une éventuelle utilisation du produit comme conditionneur de sol/engrais.

2.1 Technologie respectueuse de l'environnement

L'utilisation des biocoagulants/biofloculants dans le traitement de l'eau potable s'est avérée être une technologie respectueuse de l'environnement par rapport à l'utilisation de coagulants/floculants chimiques conventionnels. Cette technologie produit une quantité minimale de sous-produits nocifs pour l'environnement. Tous les matériaux impliqués dans cette technologie seront dégradés naturellement par l'environnement. A l'inverse à l'utilisation des coagulants/floculants conventionnels, l'utilisation des bio-coagulants/bio-floculant produit des boues avec une biodégradabilité plus élevée, qui sont moins nocives

pour le biote aquatique et peuvent être traitées biologiquement. L'utilisation des bio-coagulants/bio-floculant semble être ancienne, mais elle suscite actuellement une attention considérable en tant que technologie la plus propre et respectueuse de l'environnement pour les processus de coagulation et de floculation [22].

2.2 Performances fiables

Cette technologie est non seulement respectueuse de l'environnement, mais elle présente également des performances fiables en termes d'élimination des polluants. Exemple de L'utilisation d'*Azadirachta indica* comme bio-coagulants peut éliminer jusqu'à 97,91 % des micro-algues des eaux usées, par rapport à l'élimination de 91,62 % obtenue avec l'utilisation d'alun conventionnel. Un composé de chitosane extrait de champignons permet d'éliminer jusqu'à 99 % de la turbidité des effluents des usines d'huile de palme à une faible dose de 10 mg/L, alors que 1 200 mg/L d'alun ne permettent d'éliminer que 93 % de la turbidité. L'utilisation de bio-coagulants/bio-floculant peut également réduire le nombre de bactéries Gram-positives et négatives jusqu'à 85,61 % et 77,63 %, respectivement. Une étude menée par Megersa et al. ont montré le potentiel des bio-coagulants d'espèces végétales indigènes dans le traitement des eaux usées domestiques, avec les meilleures performances d'élimination de la turbidité à 99 % et d'élimination des microbes et des effluents à 98 %, ce qui répond aux normes de qualité pour le rejet des eaux usées. De telles preuves indiquent que l'application de bio-coagulants/bio-floculant dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées est probable, en particulier en termes d'élimination de la turbidité [22].

2.3 Réduction des déchets/Utilisation des ressources locales

Pour la production de bio-coagulants/biofloculants, il est fortement suggéré d'utiliser les ressources locales pour éviter une pénurie future de matières premières. Cette option profitera à l'économie de la communauté locale en optimisant le potentiel des ressources locales. Les ressources locales sont normalement abondantes et n'ont généralement pas encore été découvertes. La recherche actuelle met également en œuvre l'utilisation des déchets, y compris les déchets alimentaires, agricoles et industriels, pour explorer le potentiel des bio-coagulants/bio-floculats. De telles recherches sont bénéfiques pour la réduction des déchets et la découverte du potentiel des déchets à être utilisés comme bio-coagulants/bio-floculants. Ces avantages sont clairement prouvés, mais des recherches supplémentaires sur ce sujet sont nécessaires [22].

2.4 Application en région éloignée

L'utilisation des ressources locales crée l'avantage de l'application de bio-coagulants/bio-floculant dans les zones reculées. La distribution de produits chimiques atteint rarement les zones reculées, alors que la quantité de ressources locales est normalement élevée. L'application de bio-coagulants/bio-floculants dans les zones reculées a été menée par de nombreux chercheurs pour fournir de l'eau potable aux communautés rurales au Bangladesh, au Kenya, en Afrique australe, en Malaisie, en Inde, Indonésie et autres pays. Malgré l'application, un défi demeure dans l'optimisation des ressources locales, 5.5. Réduction de la génération de boues.

Il a été prouvé que l'utilisation de bio-coagulants/bio-floculant réduit jusqu'à 30 % les boues produites par les procédés de traitement par rapport à l'utilisation d'alun. Le potentiel de réduction des boues bénéficiera à tous les secteurs du procédé, notamment pour la partie traitement des boues [22].

2.5 Réduction de la génération de boues

L'utilisation de coagulants conventionnels, notamment l'alun, produit une énorme quantité de boues non biodégradables. La quantité de boues générées par l'eau potable et le traitement des eaux usées avait atteint jusqu'à 270 000 tonnes de boues séchées par an au Royaume-Uni en 2014. Les boues finissent normalement dans des décharges régulières car il n'existe actuellement aucune réglementation limitant strictement la manipulation de l'aluminium et du fer dans les boues. Il a été prouvé que l'utilisation de bio-coagulants/bio-floculant réduit jusqu'à 30 % les boues produites par les procédés de traitement par rapport à l'utilisation d'alun. Le potentiel de réduction des boues bénéficiera à tous les secteurs du procédé, notamment pour la partie traitement des boues [22].

2.6 Potentiel d'utilisation des boues produites

L'utilisation de bio-coagulants/bio-floculant produit des boues hautement biodégradables ; par conséquent, l'utilisation des boues est également possible. Le traitement ultérieur des boues par digestion anaérobie est applicable et produit un gaz précieux comme sous-produit. Les bio-coagulants/bio-floculants ont de faibles effets toxiques sur les micro-organismes dans la digestion anaérobie et n'interrompent donc pas leurs performances. La tendance actuelle indique également le potentiel d'utilisation des boues générées par le traitement des eaux

usées comme conditionneur de sol/engrais. Les boues provenant du traitement des eaux usées dans les secteurs agricoles, tels que l'aquaculture, l'industrie de l'huile de palme, la production de sagou et la fabrication de café, se composent normalement d'une teneur élevée en matières organiques et en nutriments. Le contenu organique des boues peut être davantage composté et utilisé comme conditionneur de sol, tandis que les éléments nutritifs disponibles agiront comme engrais pour le sol. Les solides récupérés des stations d'épuration urbaines peuvent contenir jusqu'à 15 % de phosphore, qui peut être utilisé dans le domaine agricole. En plus de la déclaration précédente, Kominko et al. Rapportent la possibilité de synthétiser un engrais organo-minéral à partir des eaux usées domestiques. L'utilisation des boues produites réduira non seulement les dommages potentiels à l'environnement, mais pourrait également profiter au secteur agricole [22].

3 Aperçu sur les plantes d'intérêts

3.1 Arbousier (*Arbutus unedo*)

Communément appelé arbre aux fraises, il tire son nom de « *arbois* » signifiant bois austère et de « *unumedo* » signifiant un seul fruit [39]. C'est un arbuste persistant aux tiges dressées et ramifiées. La plante peut atteindre une hauteur de 12 mètres, mais c'est normalement un arbuste entre 1,5 et 3 mètres de haut (figure 11A),

Les feuilles (figure 11B) elliptiques de 5 à 10 cm, sont coriaces avec le bord en dents de scie ou légèrement dentelées, d'un vert foncé luisant au-dessus et vert pâle dessous, à court pétiole de 7 à 8 mm peut atteindre jusqu'à 15 mm [39].

C'est une plante médicinale importante d'un grand intérêt scientifique en raison de ses propriétés nutritionnelles, pharmacologiques et chimiques [40].

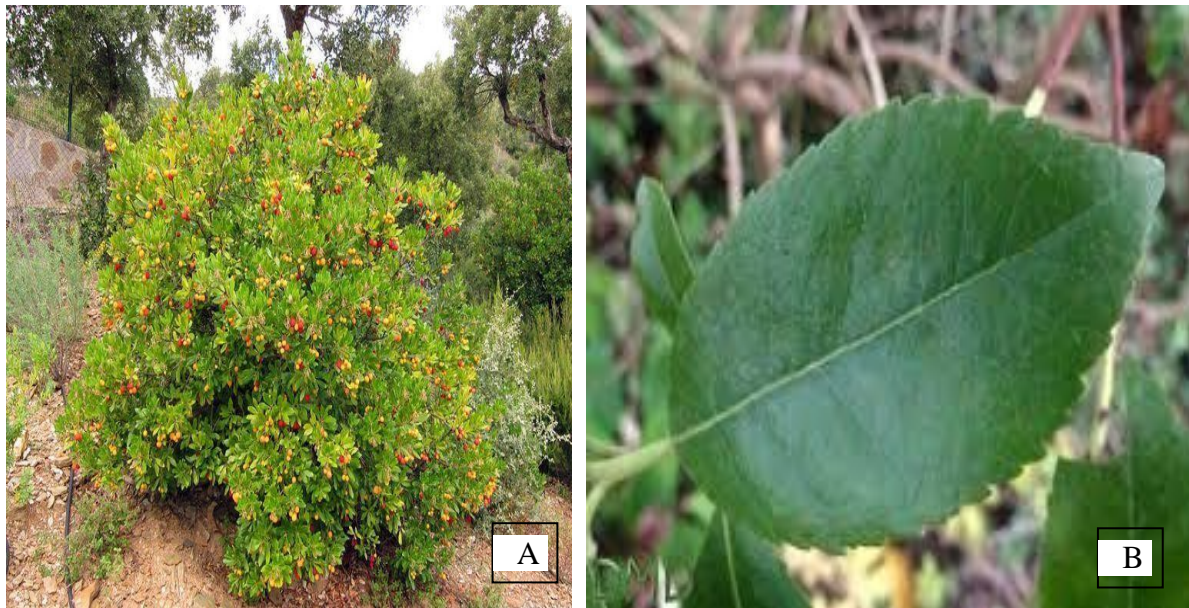


Figure 11: Arbuste et feuille d'*arbutus unedo*^[73,74].

3.1.1 Classification taxonomique

Le tableau 8 représente la classification taxonomique d'*Arbutus unedo* L. (JUDD et al, 2002).

Tableau 7: Classification taxonomique d'*arbutus unedo*[39].

Règne	Végétal
Embranchement	Spermatophytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Gamopétales
Ordre	Ericales
Famille	Ericaceae
Genre	Arbutus
Espèce	<i>Arbutus unedo</i>

3.1.2 Répartition géographique

Arbutus unedo, est l'une des espèces les plus communes de la région méditerranéenne. On le trouve également aux îles Canaries et en Asie occidentale, Sa progression dans la zone tempérée d'Europe se situe du nord de la péninsule ibérique, le long de la côte ouest, à la limite la plus septentrionale au nord-ouest de l'île d'Irlande [39]. Où le climat est propice à son développement [40]

3.1.3 Composition chimique

Dans les feuilles de *A.unedo*, différents composés phytochimiques sont présents, tels que les terpénoïdes, l' α -tocophérol, les huiles essentielles et les composés phénoliques. La fraction phénolique des feuilles comprend une grande variété de composés: les tanins, les flavonoïdes (gallate de catéchine, myricétine, rutine, afzelin, juglanin, avicularin), les glycosides phénoliques (quercitrine, isoquercitrine, hyperoside) et les glucosides iridoïdes. Les composés phénoliques les plus importants de la feuille d'arbousier sont l'arbutin, la catechin et l'éthyl gallate. Les terpénoïdes identifiés dans cette même partie de l'arbre sont: l'acétate d'amine, l'acide bétulinique et le lupéol [39].

3.2 Cactus (*Opuntia ficus indica*)

Communément appelé figuier de Barbarie, *Opuntia ficus-indica*. Appartenant à la famille des cactacées, c'est la plante Cactaceae avec la plus grande importance économique dans le monde, elle est principalement connue pour ses fruits, mais les cladodes (figure 12) sont également consommés [41]. En plus de son utilisation dans l'alimentation, la figue de barbarie est également utilisée pour la santé en raison de sa teneur élevée en polyphénols et de ses propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires et anxiolytiques [42].



Figure 12 : Cladodes et fruit d'*Opuntia ficus indica*^[75,76].

3.2.1 Classification taxinomique

Plusieurs auteurs ont élaboré des classifications du genre *Opuntia*, et celle qui est considérée comme la plus valable à ce jour et sans doute celle du Britton et Rose (1963) (Mulas M et Mulas G, 2004) [43]. D'après Wallace et Gibson (2002), leur classification systématique est rappelée ci-dessous :

Tableau 8 : Classification taxonomique de l'*Opuntia ficus indica* [43].

Règne	PLANTAE
Sous-règne	tracheobionta
Division	magnoliophyta
Classe	magnoliopsida
Sous classe	caryphyllidae
Ordre	caryophyllales
Famille	cactaceae
Sous famille	oputioideae
tribu	opuntiae
genre	<i>opuntia</i>
espèce	<i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill

3.2.2 Répartition géographique

C'est une plante originaire du Mexique [42], qui est le pays avec la plus grande superficie cultivée et aussi le plus grand producteur [41]. Elle peut également être trouvée dans tous les hémisphères américains et pousse dans le monde entier, comme l'Afrique, l'Australie et le bassin méditerranéen [42].

3.2.3 Composition chimique

La composition chimique des cladodes varie en fonction des facteurs édaphiques, l'endroit de la culture, la saison et l'âge de la plante. Par conséquent, les teneurs en éléments nutritifs respectifs varient à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne devraient pas être pris comme des valeurs absolues.

Les jeunes cladodes ont des valeurs élevées en glucides, en protéines, et la teneur en eau. Fait intéressant, la fertilisation faible en azote conduit à une augmentation de la teneur en protéines brutes, alors que pour l'alimentation des animaux et spécialement les vaches allaitantes, les doses d'azote recommandées sont de 224 kg /ha. Un supplément de 112 kg /ha de phosphate améliore la faible teneur en phosphate des cladodes. Au cours de la croissance, l'ossature fibreuse est décomposée dans le parenchyme, mais se développe dans le cortex. Cependant, les protéines totales et les fibres diminuent avec l'âge. Le jus de cladodes présente un pH de 4,6 avec 0,45% d'acidité titrable et 6,9 g /100 g de matières sèches. Les cladodes ont

une haute teneur en calcium et en fibres. Elles sont moins nutritives que les épinards et plus nutritives que la laitue. La teneur en eau varie entre 88 à 95%, elle donne aux cladodes une valeur alimentaire en étant pauvre en calories (27 kcal /100 g) [44].

3.3 Caroubier (*Ceratonia siliqua*)

Scientifiquement le caroubier est appelé *Ceratonia siliqua*, ce nom dérive de grec *keras* et de latin *siliqua*, faisant allusion à la forme de son fruit (figure 13a) qui rassemble à la corne de bouc [45]. C'est un arbre à feuilles persistantes légumineuses vivaces [46]. Elles mesurant généralement cinq mètres de hauteur et pouvant atteindre exceptionnellement quinze mètres (figure 13b), cultivé depuis longtemps qui peut vivre jusqu'à 500 ans, pour ses produits divers mais aussi pour sa résistance au manque d'eau donc le caroubier présente une bonne résistance à la sécheresse par ce qu'il a de fortes racines qui pénètrent dans le sol, pour atteindre une profondeur de 18 m ou même plus. [45]. Il est considéré comme un élément important de la végétation pour des raisons économiques et environnementales. [46]

Son fruit est en forme de gousses brunes avec une surface ridée et sont coriace à maturité. La pulpe comprend une couche externe coriace (péricarpe) et une douce région interne (mésocarpe). Les graines se trouvent dans la gousse transversalement, séparées par un mésocarpe [45].

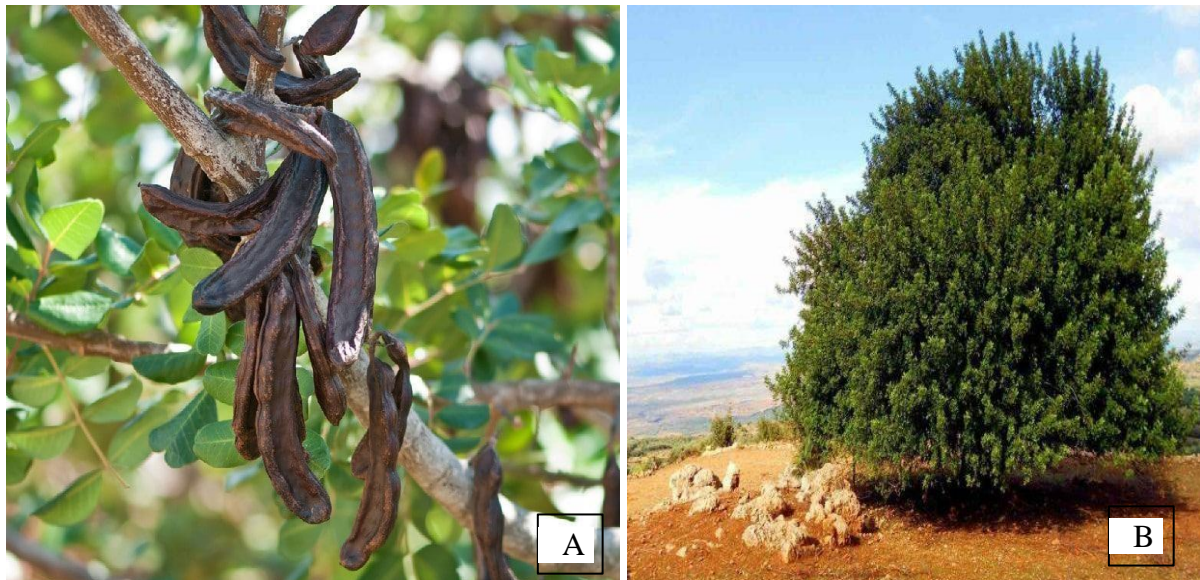


Figure 13: Fruit et arbre de *ceratonia siliqua*^[77,78].

3.3.1 Classification taxonomique

Le tableau 10 représente la classification taxonomique de *Ceratonia siliqua*

Tableau 9: classification taxonomique de *ceratonia siliqua*[46].

Règne	Plante
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnaoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Famille	Fabaceae
Ordre	Fabales
Genre	Ceratonia
Espèces	<i>Ceratonia siliqua</i>

3.3.2 Répartition géographique

Cet arbre prospère dans les conditions de croissance semi-arides. Il originaire des régions côtières du bassin méditerranéen et de l'Asie du sud-ouest, Il s'est récemment répandu dans d'autres régions de type méditerranéen telles que la Californie, l'Arizona, le Mexique, le Chili et l'Argentine par les Espagnols, dans certaines parties de l'Australie par les migrants méditerranéens et en Afrique du Sud et en Inde par les Anglais [46].

3.3.3 Composition chimique

La Gousse de caroube est riche en hydrates de carbone et en fibres, elle contient une faible quantité de protéines et des teneurs négligeables en lipides ; quant à la teneur de la caroube en minéraux elle est appréciable.

La graine est composée essentiellement d'antioxydants et de polysaccharides (galactose et mannose dans une proportion de 1 pour 4). Son embryon est riche en protéines (52 %) et en carbohydrates (27%). Aussi, l'analyse de la composition chimique de la farine du germe du caroubier a montré une haute quantité d'acides aminés comme l'acide glutamique, l'acide aspartique et l'arginine .Les recherches scientifiques ont démontré que cette plante est riche en sucres (40-60%) en particulier, saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%) qui sont considérés comme étant les sucres majeurs qui contribuent à la saveur des fruits .La composition chimique de la pulpe de gousses dépend en général de la variété, du climat, des techniques de cultures, de l'origine et parfois de la période de récolte [45].

3.4 Ciste (*Cistus Salviifolius L*)

Le genre *Cistus* fait partie de la famille de Cistaceae qui comprend environ 180 taxons d'arbustes, arbrisseaux, annuelles ou plantes vivaces. *Cistus salviifolius L*, dont le nom commun est Ciste à feuilles de sauge, et Tuzzala en arabe, est un arbrisseau de 30 à 80 cm de hauteur, très ramifié, dont les jeunes rameaux sont couverts de poils étoilés, non visqueux. Ses Feuilles (figure 14 a) sont simples, opposées brièvement pétiolées, oblongues à elliptiques, avec un limbe réticulé un peu rugueux sur la face supérieure ; ses fleurs (figure 14b) sont blanches de 4-5 cm de diamètre, longuement pédonculées, avec 5 pétales et 5 sépales, largement lancéolés, en cœur à la base ; son fruit est en capsule pentagonale, tronquée au sommet, et ses graines presque lisses ou fortement réticulées ; sa floraison se fait en Mars-Juin [47].



Figure 14 : Fleurs et feuille de *cistus salviifolius L*^[79,81].

3.4.1 Classification taxonomique

La classification taxonomique de *Cistus salviifolius L* représenté dans le tableau 11 :

Tableau 10: Classification taxonomique de *cistus salviifolius L*[47].

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Dilleniidae

Ordre	Violales
Famille	Cistaceae
Genre	Cistus
Espèce	<i>Salviifolius L</i>

3.4.2 Répartition géographique

Les espèces du genre *Cistus* poussent dans la région méditerranéenne d'Afrique, d'Europe, et d'Asie. *Cistus salviifolius L.* et *Cistus monspeliensis L.*, sont parmi les espèces les plus répandues au Maroc. Ces espèces sont présentes dans les terrains chauds, ensoleillés, protégés des intempéries. *C. monspeliensis* est une espèce calcifuge fréquemment rencontrée dans les forêts claires des Béni Snassen, de Debdou, du Maroc occidental, du Maroc central, du Rif, du Moyen Atlas et du Haut Atlas, jusque vers 1 300 m d'altitude. On trouve *C. salviifolius* surtout dans les forêts claires à substrat siliceux du Rif, du Moyen Atlas et du Haut Atlas jusque vers 2 100 m d'altitude [47].

3.4.3 Composition chimique

La majorité des études photochimiques effectuées sur un nombre important d'espèces du genre *Cistus* ont montré la richesse ainsi que la diversité structurale de ce genre en métabolites secondaires, d'ailleurs ont trouvé les flavonoïdes, les tanins et terpénoïdes en quantité remarquable, les saponosides avec une quantité modérée, par contre ces étude on montre l'absence des alcaloïdes, anthraquinones ainsi des quinones libres [48].

L'étude phytochimique réalisée par Danne et ses collaborateurs (1994) sur l'espèce *C. salviifolius* a permis l'isolement de plusieurs composés. L'extrait acétate d'éthyle de la fraction aqueuse acétonique des parties aériennes de *C. salviifolius* a été chromatographié sur sephadex LH-20, et après une série de purification sur colonne les composés isolés sont : des dérivés de flav-3-ol , catechine, epicatechine, gallocatechine, epigallocatechine, epicatechine-3-O-gallate, gallocatechine 3-O-gallate, epigallocatechine 3-O-gallate , epigallocatechin-3-O-hydroxy benzoate, prodilphinidine-epigallocatechine (4 β —8)-epigallocatechine, epigallacatechine 3-O-gallate-(4 β —8)-epigallocatechine, epigallocatechine-(4 β —8)- epigallacatechine-3-O- gallate , epigallocatechine-(4 β —6) epigallocatechine-3-O-gallate, et phloroglucinol glucosides :1-O- β -D-glucopyranosyl-3-O-methoxy-5-hydroxy benzene, 1-O- β - D-(6' O-galloyl) glucopyranosyl-3-methoxy-5-hydroxy-benzène [47]

3.5 Romarin (*Rosmarinus officinalis*)

R. officinalis, populairement connu sous le nom de romarin, appartenant à la famille des Lamiacées. C'est une plante vivace et aromatique, en forme d'arbuste avec des branches pleines de feuilles (figure 15a), pouvant atteindre jusqu'à deux mètres de hauteur et des feuilles vertes [26], qui sont étroitement lancéolées linéaires, friables et coriaces, les fleurs d'un bleu pâle, maculées intérieurement de violet sont disposées en courtes grappes denses. (Figure 15 b) [49].

R. officinalis peut être utilisé comme épice en cuisine, comme conservateur naturel dans l'industrie alimentaire, et comme plante ornementale et médicinale [50].



Figure 15: Plante et feuilles de *R. officinalis*^[81,82].

3.5.1 Classification taxonomique

Selon (Begum et al, 2013) le romarin est classé comme suit [51] dans le tableau 12 :

Tableau 11 : classification taxonomique de *R. officinalis* [51].

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermatophyta
Sous embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Rosmarinus L.</i>

3.5.2 Répartition géographique

Cette plante est originaire de la région méditerranéenne. Cependant, elle pourrait être trouvée partout dans le monde [50]. Elle pousse à l'état sauvage dans le sud de l'Europe, au Maghreb et en Algérie, elle apprécie les climats chauds, modérément secs et pousse dans les régions chaudes et ensoleillées près des plages.

3.5.3 Composition chimique du romarin

Rosmarinus officinalis L. contient de 1 à 2% d'huile essentielle. Celle-ci renferme du l' α -pinène (7 à 80%), de la verbénone (1 à 37%), du camphre (1 à 38%), de l'eucalyptol (1 à 35%), du bornéol (4 à 19%), de l'acétate de bornyle (jusqu'à 10%) et du camphène. En plus de l'huile essentielle on trouve dans le Romarin : des flavonoïdes, des tanins, des diterpènes tricycliques, des triterpènes, et des acides phénols, dont l'acide rosmarinique et de la résine. [52]

Partie expérimentale

Chapitre IV

Matériel et méthodes

Ce travail a pour objectif le traitement d'une eau brute (cas de l'eau brute de l'oued Sébaou), par le procédé de coagulation-floculation en utilisant des coagulants naturels ; dans le but d'avoir le meilleur abattement de la turbidité. Autrement dit, trouver une alternative naturelle (plantes) aux coagulants chimiques utilisés dans les usines de traitement de l'eau potable, car ces coagulants sont nocifs pour la santé des consommateurs. Cette alternative doit être accessible, économique et sans danger pour l'homme et l'environnement. Nous avons testé aussi l'effet désinfectant de ces plantes (effet sur les micro-organismes présents dans cette eau).

Dans ce présent chapitre on vous présentera les différents matériels et méthodes suivis au cours de la réalisation de ce travail.

1 Zone d'études

L'Oued Sebaou est le principal cours d'eau de la Kabylie. Il reçoit l'ensemble des affluents provenant du bassin versant, il débute à l'Est de la chaîne de Djurdjura, entre le col de Tirourda, col de Chellata, et col de L'Akfadou. Il coule d'Est à l'Ouest sur une distance de 100 km. Puis prend la direction Sud-Nord, sur une vingtaine de km, avant de se jeter dans la mer.

Les figures 16 et 17 représentent la zone de prélèvement



Figure 16 : Aperçu satellite de la zone de prélèvement ^[83].



Figure 17: Point d'échantillonnage

2 Lieu et durée du stage :

Notre étude expérimentale a été réalisée au niveau du laboratoire de la station du traitement de TAKSEBT (voir annexe) sur une période de 2 mois (du 15 juin au 15 août).

2.1 Matériel

2.1.1 Matériel de la bio-coagulation

- pH Mètre WTW avec terminal 730 et électrodes en verre ;
- Barreaux magnétique ;
- Agitateur magnétique ;
- Turbidimètre HACH 2100 NTU avec cuvette de verre incolore de 25 ml ;
- Conductimètre WTW avec terminal 740 ;
- Jar-test à six béchers (LOVIBOND) ;
- Etuve réglable BINDER ;

- Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000 ;
- Verreries : béchers, erlenmeyers ... ;
- Autre : entonnoir, broyeur, tamis, filtre en acétate de cellulose 45 µm de diamètre, seringues ... ;
- Produit utilisé : Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$.
- Balance analytique OHAUS adventurer Pro ;

2.1.2 Matériel de la biodésinfection

- Etuve réglable BINDER ;
- Balance analytique OHAUS adventure Pro ;
- Pipette pasteur ;
- Bec-benzène ;
- Boîtes de pétris ;
- Différente gélose ;
- Eau distillé ;
- Bain marie ;
- Autre : Fioles de 10 et 100 ml, entonnoir, filtre, pissette...

2.1.3 Matériel végétale

- Feuilles d'Arbousier ;
- Cladode du Cactus ;
- Feuilles de Cistus ;
- Fruits mûre du caroubier ;
- Feuilles du Romarin.

2.2 Méthode expérimentale et analytiques

2.2.1 Préparation du matériel végétale

Les feuilles des plantes utilisées ont été collectées en mai 2022 dans différentes régions de la wilaya de Tizi-Ouzou. Le choix des zones d'échantillonnages est motivé par leur éloignement de la route et de toute exploitation agricole. Après récolte, les feuilles sont triées et lavées à l'eau distillée, celle-ci sont séchées à température ambiante et à l'abri de la lumière puis broyées à l'aide d'un moulin à café ensuite tamisé afin d'obtenir des particules de la même taille. Les poudres ont été réservées dans des bocaux en verre à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation.

2.2.2 Préparation de la solution de sulfate d'alumine (coagulants chimique)

2.5 g de sulfate d'alumine ont été pesés puis introduits dans 250 ml d'eau distillée en agitant à l'aide d'un agitateur magnétique. Nous obtenons ainsi la solution mère de sulfate d'aluminium d'une concentration de 10 g/l.

2.2.3 Échantillonnage

En raison de la faible turbidité de l'eau brute de TAKSEBT qui varie de 1.50 à 5 NTU lors de notre période de stage au sein de la station de traitement de TAKSEBT. Nous avons été dans l'obligation de faire un prélèvement d'eau brut de l'oued Sebaou en amont de son alimentation du barrage TAKSEBT au lieu-dit Oued Aïssi afin de voir l'efficacité des bio-coagulants utilisés.

L'eau de prise était recueillie et conservée dans des bidons en plastique propres de 20 l. Avant l'échantillonnage, les bidons ont été soigneusement nettoyés avec de l'eau de robinet, suivis d'un rinçage à l'eau de l'oued à plusieurs reprises avant remplissage. Les échantillons collectés ont été transportés et analysés dans le laboratoire de la station de traitement de TAKSEBT.

2.2.4 Jar-test

Les essais de coagulation-floculation ont été effectués dans un jar-test (figure 18) composé d'une série de six béciers d'un litre. Après remplissage des béciers par l'eau brut ils serrent par la suite enrichies en quantités croissante de coagulants (chimique ou naturel), puis sont soumises à deux étapes d'agitations, une agitation rapide de 150 tr/min pendant 5 min en premier moment juste après l'ajout des poudres de plantes. Puis la vitesse sera réduite à 30 tr/min pour une agitation lente pendant 20 min.

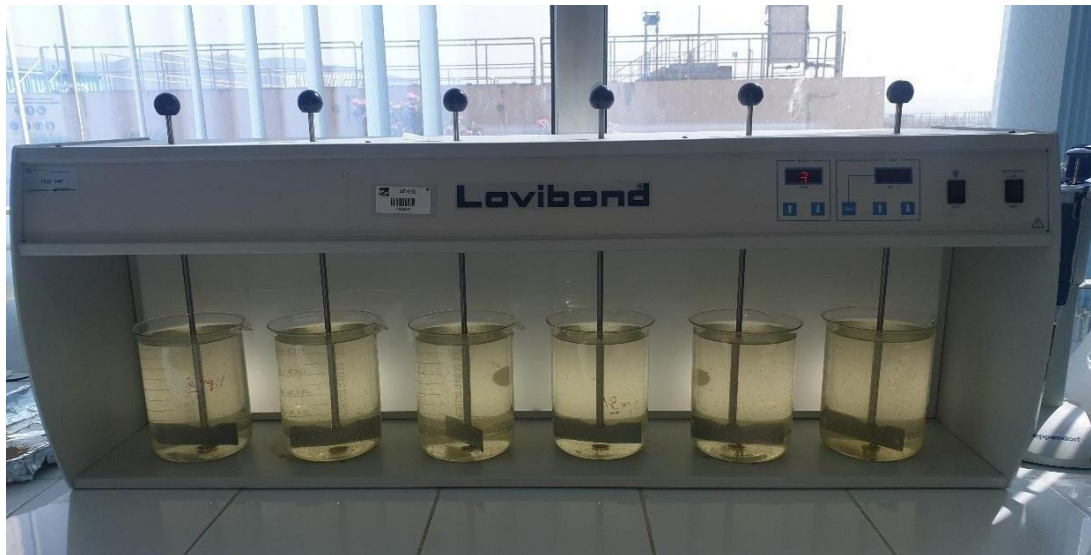


Figure 18 : Jar test

La turbidité sera mesurée après 1 heure puis après 2 heures de décantation (figure 19)



Figure 19 : Décantation

2.2.5 Détermination de la dose optimale des bio coagulants et du coagulant chimique

Pour chaque plante étudiée, plusieurs essais ont été réalisés dans un jar test avec des dosages croissant de 20 mg/l à 120 mg/l avec un pas de 20 mg/l de façon à obtenir la dose permettant un meilleur abattement de la turbidité.

Nous avons suivi le même protocole pour la détermination de la dose optimale du coagulant chimique (Sulfate d'alumine).

2.2.6 Préparation des solutions aqueuses

Pour la préparation de la solution aqueuse du cactus, 0.25 g du tamisât a été pesé à l'aide d'une balance de précision. Ensuite, cette quantité du tamisât a été introduit dans 25 ml d'eau distillée contenue dans un erlenmeyer. Puis mélangée à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 5 minutes. Les mêmes étapes ont été suivies pour la préparation des solutions aqueuses des plantes restantes.

Les solutions aqueuses ont été préparées afin de déterminer la concentration réelle de chacune des plantes.

2.2.7 Détermination de la concentration massique des bio coagulants

Après avoir nettoyé et pesé les erlenmeyer vide et noté le poids, nous avons versé 25 ml des solutions aqueuses des plantes déjà préparées (figure 20). Ces dernières sont placées dans une étuve à une température de 105°C pendant 3 h. Après séchage des solutions, les capsules ont été placées dans un dessiccateur, puis pesées.



Figure 20 : Détermination de la concentration massique des biocoagulants

2.3 Etude de la désinfection

2.3.1 Méthodes expérimentales et analytiques

2.3.1.1 Préparation du matériel végétal (désinfectants naturels)

20g de poudre a été macérés, sous agitation à 100 rpm à température ambiante dans 200 ml d'eau distillée pendant 24 heures. Le macérât est filtré une première fois sur une passoire afin d'éliminer le maximum de matière végétale puis une deuxième fois par un

papier filtre wattman jusqu'à obtention d'un liquide homogène. Le filtrat obtenu est versé dans des capsules d'évaporation, ces derniers sont placés dans une étuve réglée à 37°C jusqu'à l'évaporation du liquide (10 à 15 jours). Après séchage la poudre est grattée et conservée dans des tubes à essai stériles à l'abri de la lumière et de l'humidité.

2.3.1.2 Echantillonnage

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans l'eau. Un examen bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé. Pour cette raison, nos échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en verre stérile, rincés plusieurs fois avec cette eau et transportés dans une glacière (4 °C) vers le laboratoire. Les analyses bactériologiques ont été entamées une heure après l'échantillonnage. L'analyse est basée sur la recherche et le dénombrement des bactéries suivantes :

- Coliforme totaux ;
- Coliforme fécaux ;
- Les germes aérobies revivifiables (flore mésophile totale) ;
- Clostridium sulfito-réducteur.

2.3.1.3 Essai de biodésinfection

La dose de bio désinfectant est déterminée selon la valeur optimale de coagulation après les essais du jar-test de chaque plante, ces valeurs sont exprimées dans le tableau 12.

Tableau 12 : préparation des solutions à ensemercer

Plante	Ciste	Arbousier	Romarin	Caroubier	Cactus
Eau brute	20 mg /l	60 mg/l	10 mg /l	70 mg/l	20 mg/l
Eau distillé (témoin)	20 mg /l	60 mg /l	10 mg /l	70 mg / l	20 mg/l

2.3.1.4 Analyses microbiologiques

2.3.1.4.1 Recherche et dénombrement des Coliforme totaux, coliforme fécaux et streptocoques fécaux

L'ensemencement se fait en surface pour les coliformes totaux et fécaux (*E.coli*), et pour les streptocoques fécaux près d'un bec benzène dans la zone stérile. En suivant les étapes ci-dessous :

- Etiqueter les boîtes de pétrie
- Prélever un volume précis de 0.1 ml (5 gouttes) à l'aide d'une pipette pasteur stérile ;
- Déposer ce volume sur la gélose solide ;
- Ensemencer par des stries toute la surface de la gélose : (CCA pour les coliformes totaux et *E. coli*) et (Slanetz et bartley pour les streptocoques fécaux) ;
- Incuber les boîtes de pétrie dans une étuve : l'incubation pour les coliformes totaux ce fait à 37°C pendant 24 à 48 heures, par contre celle des streptocoques fécaux fait à 37°C pendant 48 heures. Chaque expérience est répétée 3 fois pour chaque échantillon sans oublier les témoins (Témoin + : Eau brute ; Témoin - : Eau distillée).

2.3.1.4.2 Recherche et dénombrement des Bactérie anaérobie sulfito-réductrice

Pour les Clostridium sulfito-réducteur nous avons suivi le protocole suivant :

A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 25 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80°C pendant 10 min, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes. Un autre flacon rempli d'une autre eau servira de témoin de température ;
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau de robinet ;
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles préalablement étiquetés, à raison de 5 ml par tube ;
- Ajouter environ 18 ml de gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 47±1°C, additionnée de leurs additifs spécifiques ;
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène ;

- Laisser refroidir sur paillasse pendant 30 min, puis incuber à $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.

L'expérience est répétée pour chacune des solutions. La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont envahissantes auquel on se trouvera face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible, la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et la dernière lecture se fera à 48 heures.

2.3.1.4.3 Recherche et dénombrement des germes revivifiables

La préparation des dilutions décimales était nécessaire, en raison de la forte charge bactérienne de l'eau.

La préparation des dilutions décimales se fait en suivant les étapes ci-dessous :

- Marquer les fioles des échantillons dilués (10-1 ; 10-2 ; 10-3 ; 10-4 ; ... ; 10-9) ;
- Prélever aseptiquement 10 ml de la suspension mère à l'aide d'une pipette graduée stérile :
- Transférer aseptiquement les 10 ml prélevés dans la première fiole (10-1) et ajuster par la suite avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;
- Jeter la pipette utilisée dans un conteneur approprié. À l'aide d'une deuxième pipette stérile de 10 ml, procéder de même du tube 10-2 au tube 10-2 ;
- Faire de même pour toutes les fioles.

L'ensemencement (flores mésophile totale) ce fait partir des neuvièmes dilutions décimales comme suit :

- Prélever un volume précis de 1 ml à l'aide d'une micropipette de 1 ml stérile après agitation ;
- Déposer ce volume goutte par goutte sur une boîte de Pétri vide (6 boîtes par dilution)
- Couler 15 ml de milieu gélosé maintenu en surfusion mais légèrement refroidi (à une température environ 50°C) ;
- Homogénéiser en gardant à la boîte de Pétri fermée des mouvements circulaires (en dessinant des 8 sur la paillasse) ;
- Laisser refroidir les boîtes jusqu'à la solidification complète ;
- Retourner les boîtes et les incuber 3 boîtes de chaque dilution à $36^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures et les 3 autres boîtes $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 68 heures $\pm 4\text{h}$.

Chapitre V

Résultats et discussion

Rappelons que le but de notre travail est de valoriser les produits locaux en les utilisant comme produits alternatifs sains et sans danger pour la santé humaine et aide à la protection de l'environnement, en générant des déchets facilement biodégradables pour remplacer les produits synthétiques utilisés dans le traitement de l'eau potable par coagulation-floculation suivie d'une désinfection, qui présentent des dangers pour l'homme, l'environnement et leur coût très élevé influence négativement sur l'économie des pays pauvres ou en voie de développement. Pour cette raison, notre choix a été dirigé vers cinq plantes présentes d'une façon très abondante dans notre région et qui peuvent être exploitées afin d'atteindre l'objectif de notre travail.

Ce chapitre résume les résultats expérimentaux obtenus au cours de cette étude ainsi que l'interprétation et la discussion.

1 Caractéristiques de l'eau étudiée

Les résultats de l'analyse de l'eau brute de l'oued Sébaou sont exprimés dans le tableau 13.

Tableau 13: Caractéristique de l'eau brute étudiée

Paramètres	résultats	Unités
Conductivité	704	µs/cm
Turbidité	55	NTU
Température	25,5	°C
Potentiel d'hydrogène (pH)	7,93	/

Il est important de mentionner que la turbidité de l'oued sébaou est une turbidité due à la présence des planctons, déchets industriels et domestiques en concentration très élevée induisant le changement de la couleur de cette eau vers un jaune-vert, ce qui rend la décantation plus difficile, cette eau ne peut être clarifiée qu'après traitement ou un très grand temps de décantation contrairement à d'autres turbidités comme la turbidité minérale et humique qui sont généralement chargées en matières organiques ou argiles qui se décantent plus facilement et en temps plus réduit que la turbidité due au plancton.

2 Concentration massique des bio coagulants

La concentration massique des biocoagulants a été calculée par l'équation suivante :

$$Cm(\rho) = \frac{m}{v}$$

Avec :

$Cm(\rho)$: concentration massique

(g/l)

m : masse (g)

v : volume (l)

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Concentration massique

Plante	Cistus	Arbousier	Romarin	Caroubier	Cactus
Concentration massique (g/l)	9,4	9,34	9,44	9,82	9,15

Nous remarquons que la concentration massique initiale qui est de 10 g/l est différente de la concentration massique final. Cette légère différence peut être expliquée soit par une perte de matière lors des manipulations, ou par l'évaporation des particules d'eau ce qui a induit une faible diminution de la concentration.

3 Bio coagulation

Pour confirmer que l'abattement de la turbidité n'est pas dû simplement au phénomène de décantation, la turbidité a été mesurée 1h après le prélèvement et aussi après 24 et 48 heures les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Turbidité de l'eau

Temps (h)	Turbidité (NTU)
1	55
24	55
48	55

Afin de confirmer que l'ajout des bios coagulants améliore la qualité de l'eau et éliminer tout doute que l'abattement de la turbidité et la formation de floc n'est pas dû à l'effet de l'agitation, un test jar-test témoin a été effectué sur notre eau sans ajout de coagulant. Les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Jar test témoin

Turbidité initial	55 NTU
Turbidité après 1 h de décantation	13 NTU
Turbidité après 2 heures de décantation	11,5 NTU

3.1 Détermination de la dose optimale des coagulants

Les résultats des Jar-test réalisés auparavant afin de déterminer la dose optimale pour chaque coagulant (naturel et synthétique) sont illustrés dans les tableaux suivants

3.1.1 Arbousier

Le tableau 17 présente les résultats des essais du jar-test obtenu en utilisant l'arbousier comme bio coagulant

Tableau 17 : Dose optimale de l'arbousier

Dose coagulant (mg/l)	20	40	60	80	100	120
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	2,50	2,61	1,20	1,33	2,36	1,54
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1,21	1,18	0,91	1,30	1,98	1,08

D'après le tableau 20 nous observons une chute de la turbidité de 55 NTU à 0.90 NTU avec une dose optimale de 60 mg/l, soit un taux d'abattement de 98,36 %. Ce résultat est obtenu après 2 h de décantation avec filtration sur papier wattman.

3.1.2 Cactus

Nous avons testé le pouvoir coagulant du cactus les résultats obtenus est exprimé dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Dose optimale du cactus

Dose coagulant (mg/l)	20	40	60	80	100	120
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	0,94	1,29	0,97	1,67	1,77	1,81
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1,01	1,28	0,90	1,53	1,15	1,22

Nous observant que la turbidité varie entre 0,90 NTU et 1,01 NTU dans l'intervalle de 20 à 60 mg/l puis l'augmentation de la turbidité est proportionnelle à l'augmentation de la concentration du bio coagulant dans l'intervalle de concentration 80 à 120 mg/l

La dose optimale a rajouté pour une meilleure élimination de la turbidité de notre eau est de 20 mg/l pour atteindre 0.94 NTU après 1h de décantation, et de 60 mg/l pour atteindre 0.90 NTU après 2 h de décantation avec un taux d'abattement respectivement de 98,28 % et 98,36%.

3.1.3 Caroubier

Le premier test de réduction de la turbidité utilisant le caroubier comme coagulant biologique a été réalisé avec un intervalle de 20 mg/l, montrant de meilleurs taux de réduction de turbidité dans la gamme de 40 à 60 mg/l. Pour cette raison, un autre essai a été réalisé avec un intervalle réduit (5 mg/l) pour déterminer plus précisément la dose optimale. Les résultats sont illustrés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Dose optimale du caroubier

Dose coagulant (mg/l)	45	50	55	60	65	70
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	1,68	1,33	1,92	1,45	1,56	1,46
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1,11	1,50	1,58	1,32	1,08	1,53

Le meilleur taux de réduction de la turbidité a été obtenu avec une dose de 50 mg/l après 1 heure de décantation (1,33 NTU) avec un taux d'abattement de 97,58 % et de 98,03% après 2 h de décantation avec une dose de 65 mg/l.

3.1.4 Cistus

Le tableau 20 présente les résultats des essais du jar-test obtenu en utilisant du cistus comme bio coagulant

Tableau 20 : Dose optimale du cistus

Dose coagulant (mg/l)	20	40	60	80	100	120
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	1,85	3,33	3,97	4,33	5,45	6,51
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1,73	2,25	3,42	4,29	5,33	6,19

Selon le tableau nous remarquons que l'augmentation de la turbidité est proportionnelle à l'augmentation de la dose du coagulant dans l'intervalle de 20 à 120 mg/l.

La dose optimale du cistus à avoir un meilleur abattement de la turbidité est de 20 mg/l après 2 h de décantation avec un taux d'abattement de 96.88 %.

3.1.5 Romarin

Les résultats obtenu du le jar-test de l'utilisation du romarin comme bio coagulant sont exprimé dans le tableau suivant :

Tableau 21: Dose optimale du romarin

Dose coagulant (mg/l)	20	40	60	80	100	120
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	1,43	1,69	1,60	2,02	2,94	2,02
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1,52	1,55	1,68	1,85	1,85	1,86

Les résultats présentés dans le tableau 24 montrent une diminution de la turbidité de 55 NTU jusqu'à atteindre une valeur optimale de 1,43 et 1,52 NTU après 1 h et 2 h de décantation respectivement, afin d'abattre 97.23 % de la turbidité initial

3.1.6 Sulfate d'Aluminium

Afin de trouver la dose de sulfate d'aluminium capable de donner un meilleur abattement de la turbidité plusieurs série de jar-test ont été réalisé à partir d'un volume de 1,5 ml soit (15 mg/l) jusqu'au volume de 6 ml Soit 6 mg/l avec un pas de 0.5ml. Le résultat du dernier essai comprend la dose optimale est illustré dans le tableau 22.

Tableau 22 : Dose optimale du sulfate d'alumine

Dose coagulant (mg/l)	35	40	45	50	55	60
Après 1 heure de décantation						
Turbidité (NTU)	2.03	1.80	1.19	1.32	1.45	1.50
Après 2 heures de décantation						
Turbidité (NTU)	1.56	1.23	1.00	1.15	1.37	1.42

D'après le tableau 22, Le meilleur taux de réduction de la turbidité a été obtenu avec une dose de 45 mg/l après 1 heure et 2 heures de décantation. Soit un taux d'abattement de 98.18%.

La turbidité varie entre 1 et 1,80 NTU dans l'intervalle de 40 à 45 mg/l puis l'augmentation de la turbidité est proportionnelle à l'augmentation de la concentration du coagulant dans l'intervalle de concentration 50 à 60 mg/l.

3.2 Taux d'abattement de la turbidité avec les coagulant naturel et le coagulant chimique sulfate d'alumine

La figure 21 représente le taux d'abattement de la turbidité obtenu après différents essais de traitement avec des coagulants naturels et chimiques.

Chaque taux d'abattement est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{Pe - R}{Ps} \times 100$$

Avec :

$R(\%)$ est le taux d'abattement pour la turbidité

P_e est la valeur du paramètre à l'entrée (turbidité initial)

P_s est la valeur du paramètre à la sortie (turbidité obtenu par la valeur optimale)

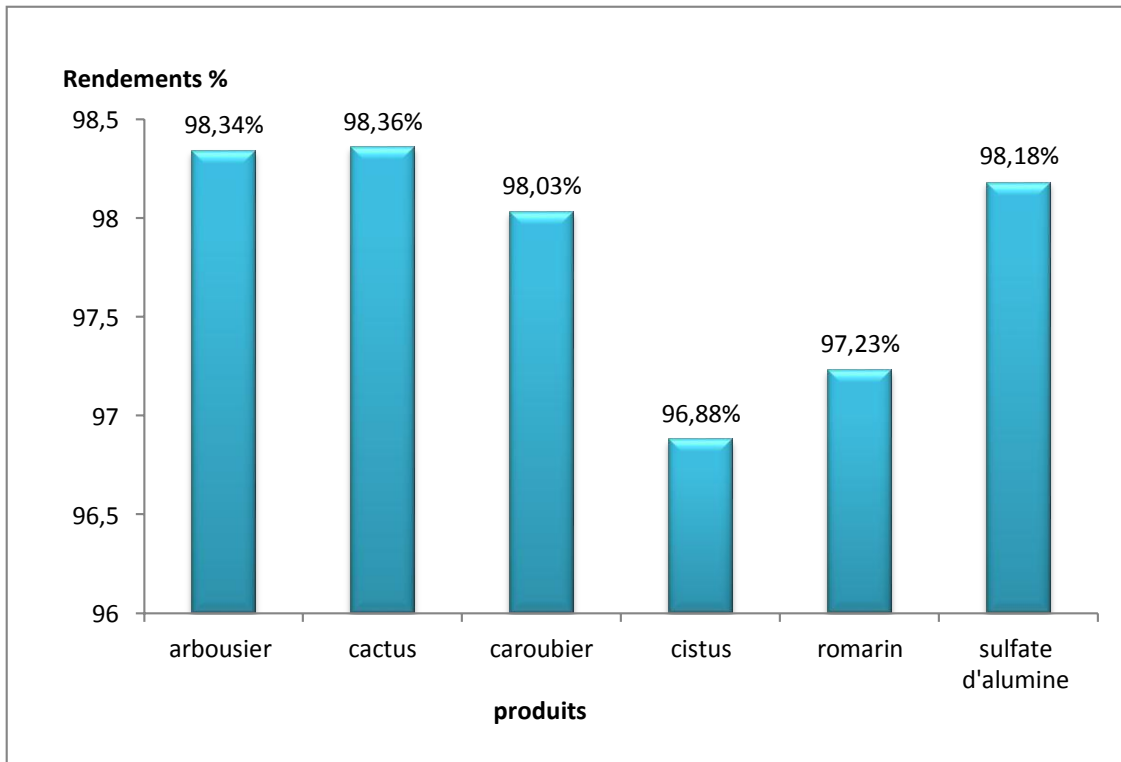


Figure 21 : Taux d'abattement de la turbidité avec coagulants organique et inorganique

L'histogramme représente le taux d'abattement de la turbidité de chaque coagulant utilisé, ce dernier nous permis de déduire que :

Le pouvoir coagulant des plantes utilisées est très élevé, atteignant respectivement 98,36% et 98,34% pour le cactus et l'arbousier, montrant de meilleurs résultats que ceux obtenus avec le sulfate d'alumine (98,18%).

Un très bon résultat est obtenu aussi en utilisant les poudres de caroubier et du romarin avec des taux d'abattement respectivement de 98,03% et 97,23%.

Selon la même figure, nous observons la capacité des poudres à déstabiliser les particules en suspension, dont le meilleur taux d'abattement (98,36%) est enregistré pour la poudre de cactus. Le plus bas taux d'abattement enregistré est de 96,88% en utilisant le cistus.

Il convient de mentionner que le taux de réduction de 98,18% obtenu après utilisation d'une dose de 45 mg/l de sulfate d'aluminium engendre un taux d'aluminium résiduel de 0.480 mg/l. Ce dernier dépasse largement les normes de potabilité qui est de 0.2 selon la NA.

Selon d'autres études basé sur l'utilisation de gel de cactus, exemple des travaux de Gandi Wa, moyo et *al* (2020) comme coagulant naturel ont montré l'efficacité de ce bio coagulant, par une diminution de la turbidité de 29 NTU à 3 NTU soit un taux d'abattement de 97% [1].

D'autres auteurs, (Young et *al.* 2006 ; Kevin et *al.*, 2005 ; Young et *al.*, 2005) confirment également que le mucilage extrait de cactus agit comme un coagulant efficace dans le traitement de l'eau trouble [1].

Les résultats de l'étude effectuée par Aylin.H et *al* (2012) ont indiqué qu'à des valeurs de turbidité particulièrement élevées (150 NTU et 80 NTU), l'alginate de calcium (extrait à partir des algues brunes) s'est avéré être un coagulant très efficace provoquant des éliminations de turbidité généralement supérieures à 98 %. Des valeurs de turbidité très faibles de l'ordre de 1 NTU ont été atteintes même à de très faibles doses d'alginate (0,02 mg/L). Ces résultats ont montré aussi l'efficacité de l'alginate de calcium à abattre la turbidité des échantillons avec une turbidité initiale faible (10 NTU) pour atteindre des valeurs de turbidité inférieur à 1 NTU.

D'après les travaux d'Almeida et *al* (2015) menée sur le pouvoir coagulant d'*Abelmoschus esculentusa* ont montré qu'elle est plus efficace pour le traitement des eaux usées textiles que le chlorure ferrique. *A. esculentus* a pu éliminer 97,25 % de la turbidité et 93,57% de la couleur, avec un pH et une concentration optimale de 6 et 2 mg/l respectivement.

Les recherches effectuées par Idriss,J et *al* (2013) avec les feuilles du fruit du dragon ont montré un effet considérable de la réduction de la DCO, MES et la turbidité jusqu'à 94,7% , 88,9% et 99,7%, respectivement à un pH de 10. Ces résultats sont obtenus avec un dosage de 200 à 800 mg/l à montrer une élimination constante de polluants.

D'après Magalhães ERB et *al* (2020) les graines crues de *Moringa Oleifera* ont montré un pouvoir coagulant, intéressant, mais leur contenance en huile peut réduire le potentiel d'activité de coagulation ; son extraction augmente considérablement l'activité de coagulation. L'utilisation de ce bio coagulant a montré 82.43 % d'élimination d'huile et de graisse dans

l'eau. Cette étude a confirmé le résultat de Nonfodji, OM et *al* (2017) qui a travaillé sur la même espèce végétale, et qui a affirmé que les protéines dimères présentes dans les graines de Moringa provoquent une élimination de 65% de la turbidité.

Remarque :

Les coagulants sont utilisés dans le but de traiter l'eau brute pour éliminer sa turbidité, mais dans certain cas, ce coagulant utilisé peut influencer négativement sur la qualité de l'eau en augmentant sa turbidité. Ceci est expliqué par l'augmentation du résiduel du coagulant dans l'eau. Le mécanisme de neutralisation des charges pourrait être priorisé par rapport aux autres mécanismes de telle sorte qu'à partir d'une dose donnée (dose optimale), toutes les charges des particules seraient neutralisées. Dans ce cas, l'utilisation de doses de coagulants supérieures à la dose optimale causera l'atténuation des charges des particules ; induisant ainsi l'augmentation de la turbidité [8]. Ce phénomène est expliqué dans la figure 22.

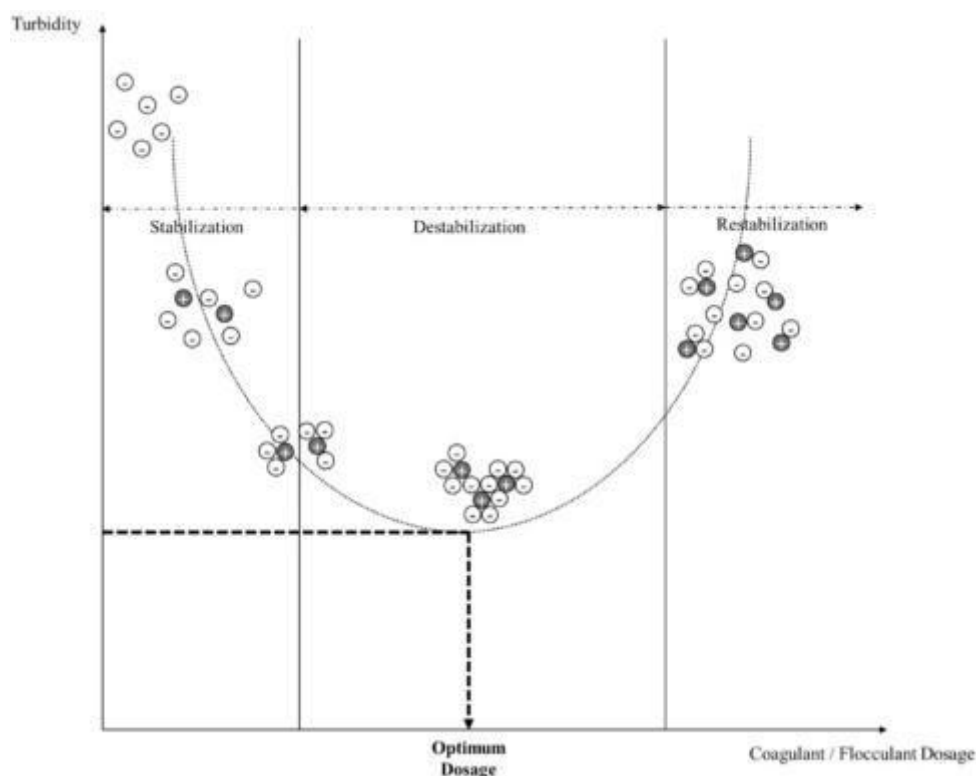


Figure 22 : Phase du processus de la coagulation [4].

D'après les résultats obtenus nous remarquons que ce phénomène se produit avec nos bios coagulants. Nous avons également constaté une légère augmentation de la turbidité après la deuxième heure de décantation, qui pourrait s'expliquer par le même phénomène de re-

stabilisation des charges et aussi la rupture des faibles liaisons formées entre les floccs lors de la coagulation-floculation.

4 Bio désinfection

Pour s'assurer que nos plantes étaient exemptes de contamination microbienne et que la présence des micro-organismes était d'une autre origine (l'eau), nous avonsensemencé les extraits aqueux préparés avec de l'eau distillée de la même façon que ceux avec l'eau brute. Les résultats ont confirmé que l'origine de la contamination été l'eau.

Afin de connaître le pouvoir inhibiteur de chacun des cinq extraits aqueux des plantes testés, nous avons dénombré les microorganismes présents dans l'eau brute. Pour ce faire, les coliformes fécaux, coliformes totaux, germes et les spores ASR ont étéensemencés sur milieu solide. L'ensemencement de l'eau brute dans différent milieu de culture et à des conditions et temps d'incubation différents ont donné les résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Caractéristique microbiologique de l'eau brute

Micro-organisme	Charge dans l'eau
Coliformes totaux	Fortement chargé
Coliforme fécaux	Charge modérée
Spore anaérobie sulfito-réducteur	Très fortement chargé
Germes aérobie revivifiables à 22°C	Très fortement chargé
Germes aérobie revivifiables à 37°C	fortement chargé
Streptocoques fécaux	Absence

4.1 Bactérie anaérobie sulfito-réductrice

Premier ensemencement effectué directement de l'eau brute a donné le résultat montre par la figure 23A. Ce résultat n'est pas interprétable en raison de la forte charge de ce genre bactérien dans notre échantillon. Pour cette raison nous avonsensemencé une deuxième fois notre témoin après filtration sur papier wattman de grade 1 (diamètre des pores 11µm) car la filtration est une étape indispensable dans les stations de production d'eau potable. Le résultat est illustré dans la figure 23B qui montre un résultat interprétable. Nous avons donc décidé

d'utiliser l'eau brute filtrée pour tester l'effet des EA des plantes sur les micro-organismes présents dans l'eau brute de l'ouad sébaou.



Figure 23A : Résultat d'ensemencement de l'eau brute



Figure 23 B : Résultat d'ensemencement de l'eau brute filtre

Les résultats obtenus après incubation des échantillons inoculés dans des conditions spécifiques pour la germination des spores de Clostridium sont illustrés dans le tableau 24.

Tableau 24 : effet des extraits aqueux des plantes sur clostridium

	Clostridium sulfito-réducteur			
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Eau brute(Témoin)	0	0	7	9
Arbousier	0	19	18	13
Cactus	0	0	13	10
Caroubier	0	0	8	8
Cistus	0	9	12	8
Romarin	0	13	IND	IND

Les figures (24. 25. 26. 27. 28et 29) illustrent les résultats de l'effet des plantes sur le genre Clostridium

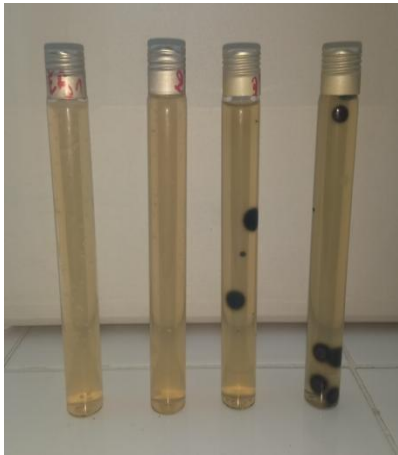


Figure 24 : Eau brute filtré (témoin)

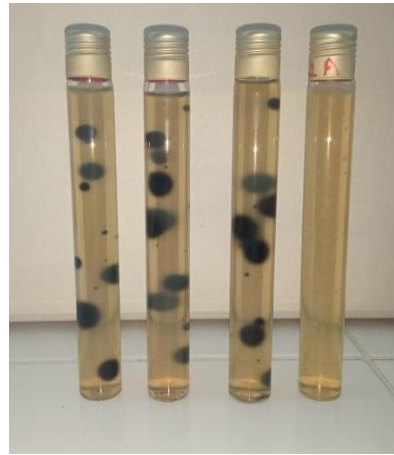


Figure 25 : Effet de l'EA de l'arbousier sur les spore des ASR

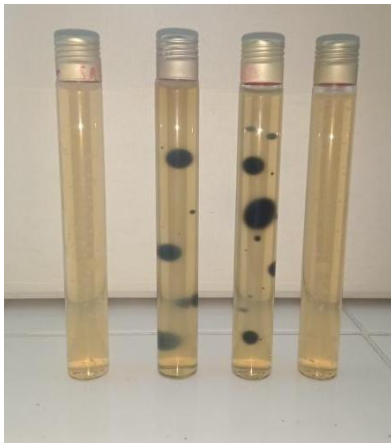


Figure 26: Effet de l'EA du cactus
Sur les spores des ASR

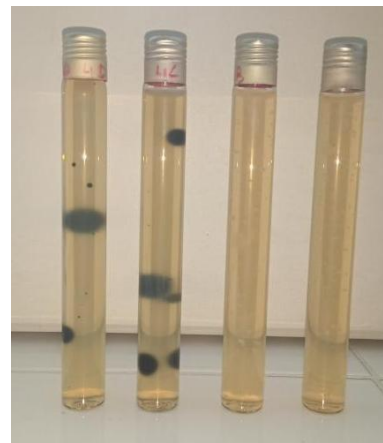


Figure 27: Effet de l'EA du caroubier
sur les spores des ASR



Figure 28: Effet de l'EA du cistus
sur les spores des ASR

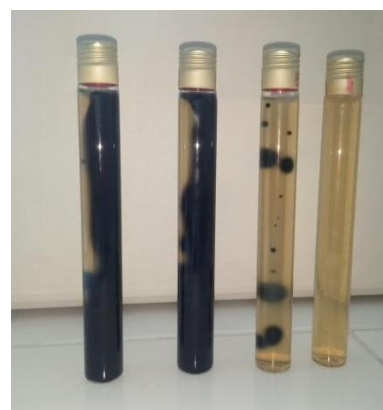


Figure 29: Effet de l'EA du romarin
sur les spores des ASR

D'après le tableau 24 est les figures ci-dessus, nous remarquons que les extraits de plantes utilisées n'ont aucune activité anticlostridiale. Bien au contraire, la présence de la plupart des extraits à favoriser la prolifération de ces bactéries.

Le résultat obtenu montre que la présence de la poudre d'arbousier a favorisé la croissance et la prolifération des spores ASR, et cela d'un pourcentage de 62 %.

43 % et 45 % d'augmentation de la charge bactérienne été enregistré suite à l'utilisation de l'extrait aqueux du Cistus et celui du Cactus respectivement.

Par contre les résultats du caroubier montrent que ce dernier n'a aucun effet sur les Clostridium (que ce soit pour l'inhibition ou la prolifération microbienne).

4.2 Coliforme totaux et fécaux

Le tableau 25 illustre les résultats obtenus après incubation des échantillons inoculés dans des conditions favorables de croissance pour les CT et CF.

Tableau 25 : Effets des extraits aqueux des plantes sur le développement des CT et CF

	Coliforme totaux			Coliforme fécaux		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
eau brute(Témoin)	30	20	80	1	2	2
Arbousier	8	11	6	0	1	0
Cactus	11	10	12	2	1	0
Caroubier	9	16	14	1	2	0
Cistus	14	24	18	2	0	0
Romarin	8	11	9	0	1	0

Les figures suivantes représentent l'effet de chacune des plantes contre les CT et CF

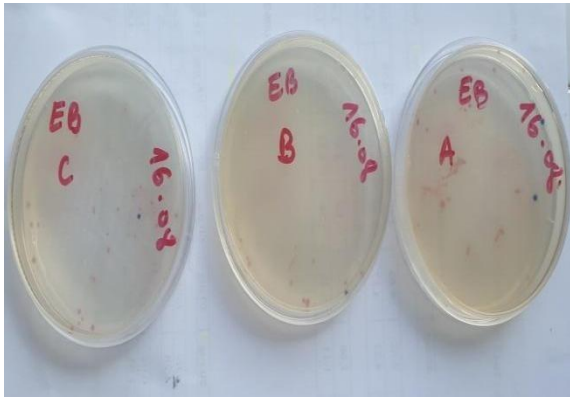


Figure 30: Résultat de l'eau brute

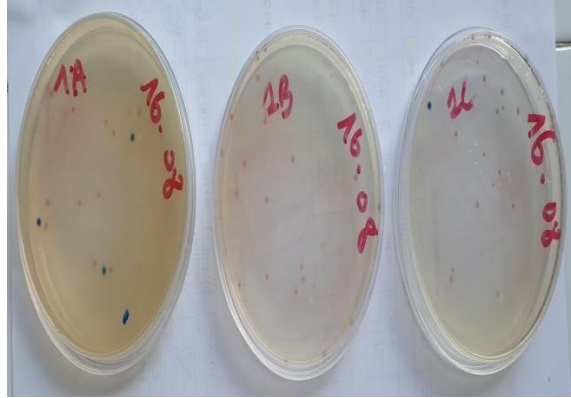


Figure 31: Effet de l'EA du cistus
et CT et CF

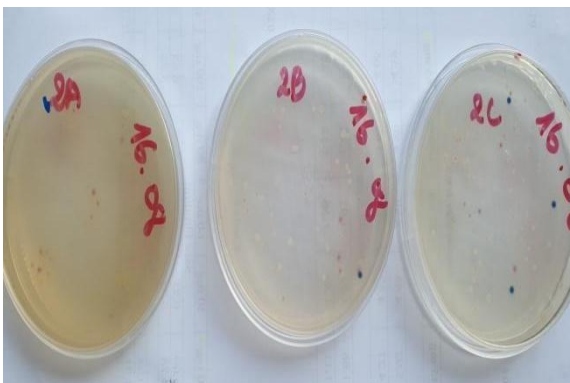


Figure 32 : Effet de l'EA de l'arbousier
sur les CT et CF

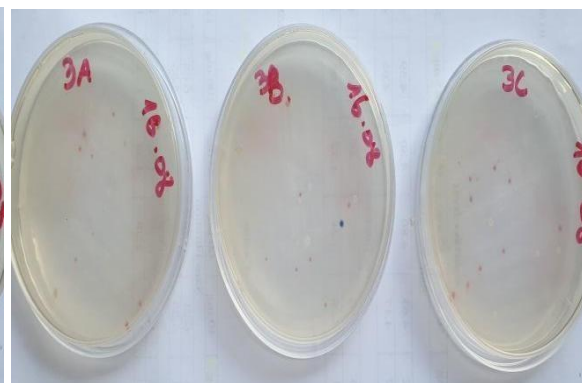


Figure 33 : Effet de l'EA du romarin
sur CT et CF

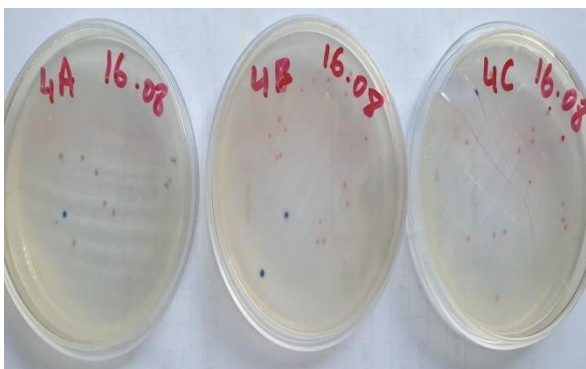


Figure 34: Effet de l'EA du caroubier
Sur les CT et CF

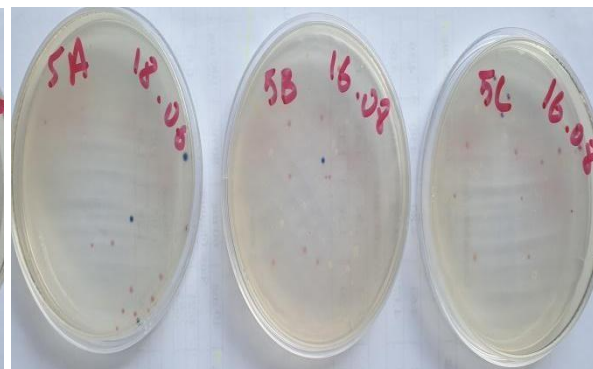


Figure 35 : Effet de l'EA du cactus
sur les CT et CF

Nous pouvons observer à partir du tableau et les figure que les extraits aqueux des plantes ont un effet considérable dans la diminution de la charge bactérienne de cette l'eau en coliforme totaux.

Le meilleur taux d'abattement de la charge bactérienne a été enregistré par l'extrait aqueux de l'arbousier par un taux de 80 % pour les coliformes totaux et *E.coli*. Suivie par le romarin qui a enregistré une diminution de 78,46 % pour les CT et 80 % pour les CF .Cactus et le romarin ont pu abattre respectivement 74,61 % et 70% de la charge des coliformes totaux et 40 % des *E.coli*. Le plus faible abattement a été enregistré par le cistus avec 20% de diminution de la charge en Coliforme fécaux et 56,9 % pour le CT.

L'extrait aqueux du cactus utiliser au cour de notre expérimentation a montré une diminution de 40% de la charge en *E.coli* contrairement au résultat obtenu lors de l'utilisation de l'extrait méthanolique et éthanolique de cette même espèce au laboratoire de bactériologie de l'institut des vétérinaires de l'université de Constantine qui ont observé que tous les extraits de raquettes n'ont aucun effet contre les espèces de *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* testées[43].

1.1 Germes aérobies revivifiables

Le résultat des tests effectués pour évaluer l'effet des extraits aqueux des plantes sur la flore mésophile aérobie totale sont exprimés dans le tableau 26.

Tableau 26 : effet des plantes sur la FMAT

	FMAT 22°C			FMAT 37°C		
	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Eau brute	IND	IND	IND	21	26	32
Arbousier	IND	IND	81	26	43	19
Cactus	80	64	104	42	34	95
Caroubier	112	IND	132	49	17	11
Cistus	IND	85	40	32	79	59
Romarin	IND	IND	IND	18	68	53

Les figures suivantes représentent l'effet de plante sur la FAMT incubé à 22°C

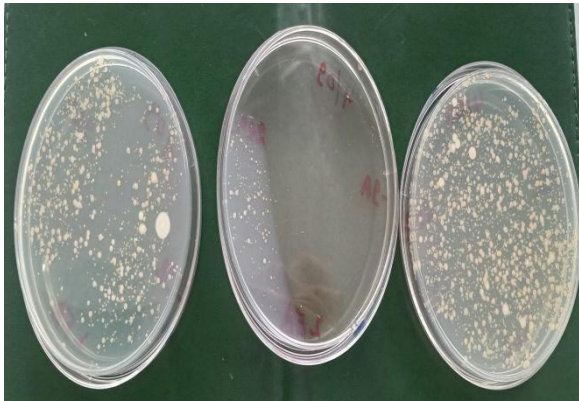


Figure 36 : Résultat de l'eau brute

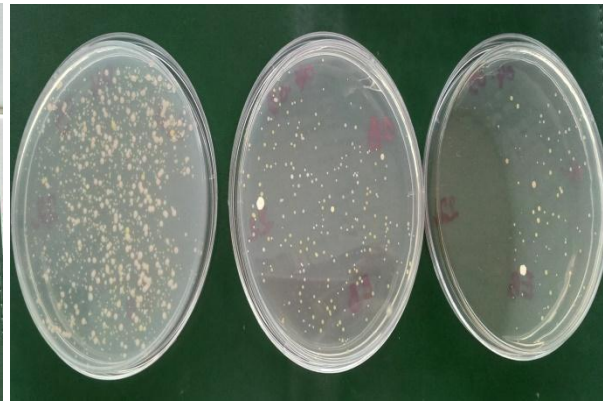


Figure 37 : Effet de l'EA du cistus sur FMAT à 22°C

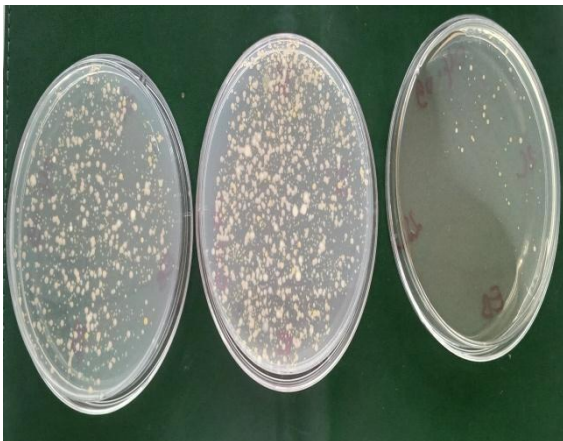


Figure 38: Effet de l'EA de l'arbousier sur FMAT à 22°C

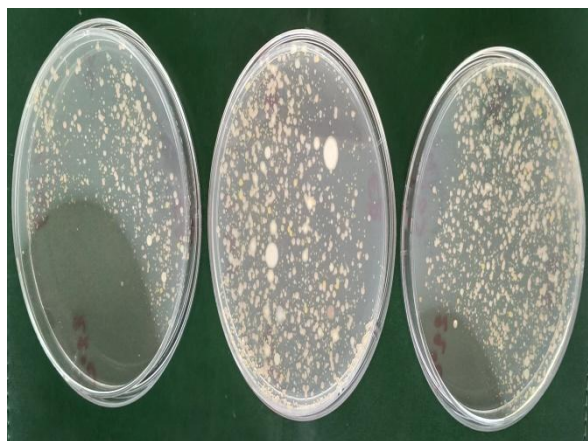


Figure 39: Effet de l'EA du romarin sur FMAT a 22°C

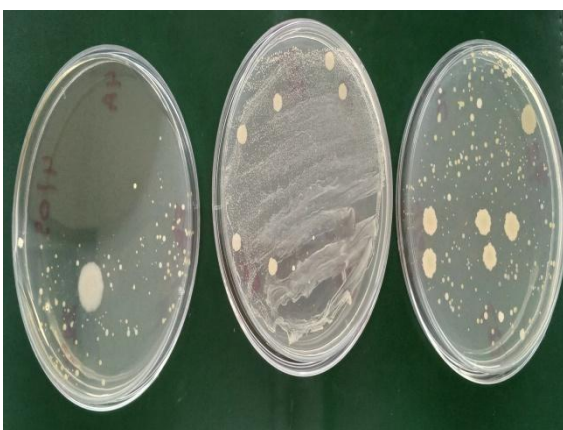


Figure 40: Effet de l'EA du caroubier sur FAMA à 22°C

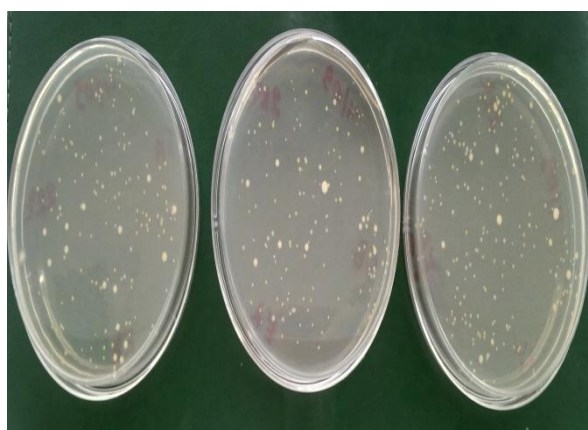


Figure 41: Effet de l'EA du cactus sur FAMA à 22°C

Les résultats obtenus après incubation à 22°C pendant 72 h dès boîteensemencé montrent que les extraits aqueux des plantes utilisées n'ont pas d'effet significatif contre la croissance des FMAT.

Les boîtesensemencées par l'eau brute considérée comme témoin. Été indénombrables. Le même résultat a été enregistré pour les boîtesensemencé afin de testé l'effet de l'extrait aqueux du romarin contre la prolifération des germes aérobie revivifiables. Ce qui confirme que cette plante n'a aucun effet inhibiteur sur ces germes.

Pour le Caroubier, le Cistus et l'Arbousier une légère diminution a été remarquée après l'utilisation des extraits aqueux de ces plantes. Le meilleur résultat a été obtenu avec l'extrait du cactus mais sa diminution est très faible pour être considérablement significative.

Par ailleurs, les résultats obtenus après incubation à 37°C pendant 48 h sont illustrés dans les figures 42, 43, 44, 45 et 46.

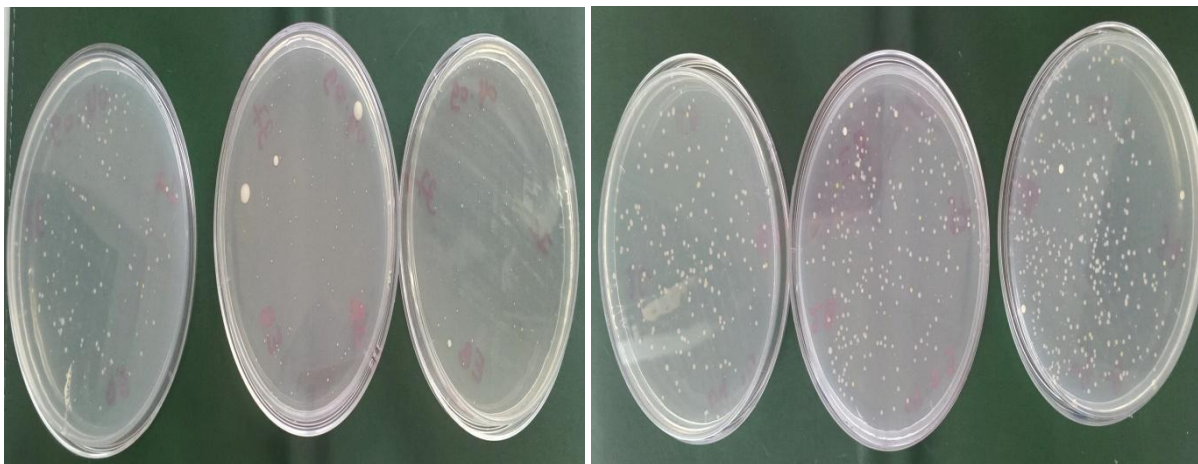


Figure 42: Effet de l'EA du cistus sur FAMT à 37°C

Figure 43 : Effet de l'EA de l'arbousier sur FAMT à 37°C

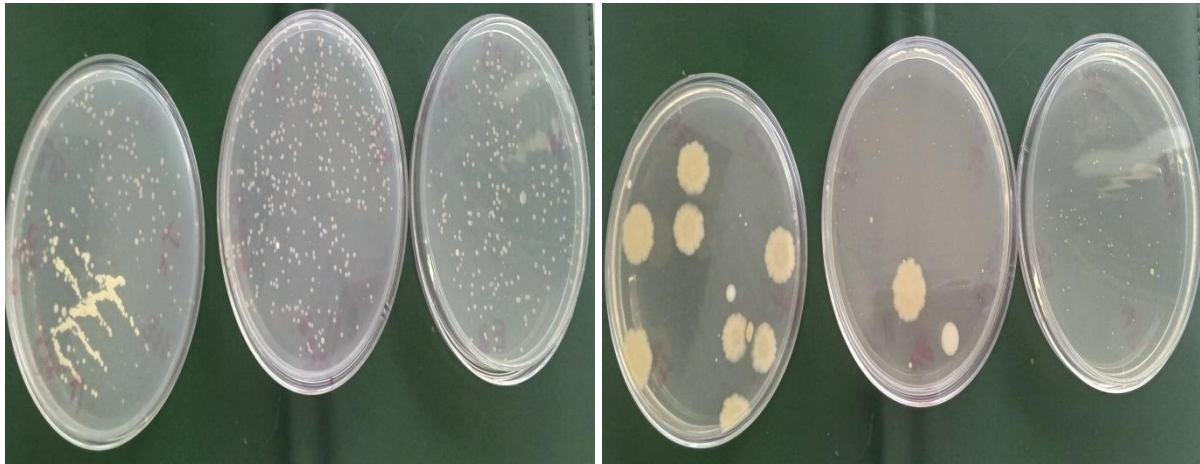


Figure 44: effet de l'EA du romarin
sur FAMT à 37°C

Figure 45: Effet de l'EA du caroubier
sur FAMT à 37°C

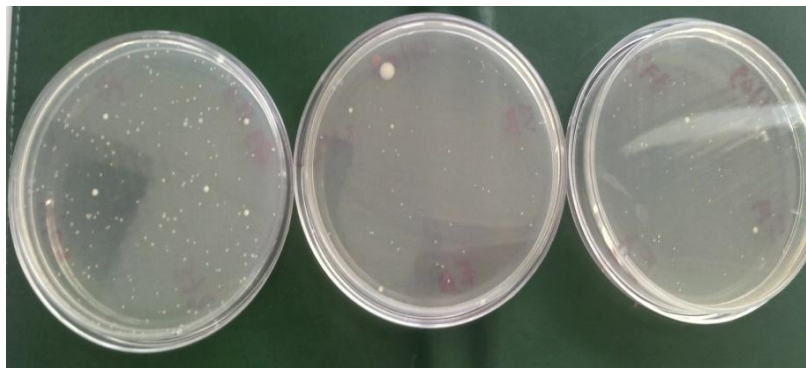


Figure 46: Effet de l'EA du cactus sur FAMT à 37°C

Les extraits des quatre plantes (arbousier, cactus, ciste romarin) montrent une augmentation considérable de la charge en FMAT avec des taux respectifs de 10,22 %, 53,80 %, 53,52 % et 43,16 %. Par contre l'extrait du caroubier montre une diminution de 2,53 %.

Du fait de l'absence de travaux sur la désinfection de l'eau en utilisant l'extrait aqueux des plantes, nous n'avons malheureusement pas pu comparer nos résultats. Néanmoins, il existe plusieurs travaux qui traitent l'effet antibactérien des plantes parmi eux on cite :

Gebrekidan et Aragaw, (2017) ont affirmé que les extraits de cladodes et de fruits d'OFI obtenus avec le chloroforme, le méthanol et l'éthanol, possèdent une grande activité antibactérienne contre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif, en raison de la présence de divers constituants bioactifs dans ces extraits [43]. L'extrait aqueux d'*Opuntia ficus-indica* a montré aussi une excellente efficacité dans l'activité anti-staphylococcique [53].

Une autre étude approfondie a été menée par El Feghali et *al.*,(2018) pour tester le potentiel d'extraits bruts, aqueux et méthanoliques d'OFI (cactus) comme inhibiteurs de la croissance de quatre isolats bactériens cliniques multi-résistants: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiellapneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa*. Comme résultats, cette étude a montré que les extraits bruts et aqueux d'OFI ont enregistré une inhibition totale de la croissance de toutes les souches bactériennes testées à une concentration de 0,1 mg/ml (extrait aqueux autoclavé), alors que l'extrait brut autoclavé a marqué une inhibition totale de la croissance de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Klebsiellapneumoniae*, et partielle de la croissance de *Pseudomonas aeruginosa*,[43].

Alreshidi et *al.* (2020) ont montré que l'huile *T.polium* à un niveau d'activité élevé contre *P.aeruginosa* et *Enterobactercloacae*, ainsi qu'une activité modérée envers *E.coli*, *K.pneumoniae*, *S.aureus* et *C.albicans*. Sachant que la plus faible activité a été enregistrée contre *P.mirabilis* (souche environnementale). Si on compare nos résultats avec ceux trouvés par les auteurs mentionnés ci-dessus, on constate que les CMI enregistrées par l'HE de *T.polium* locale étaient nettement supérieures. En effet, nous avons trouvé que cette HE était efficace envers uniquement *S.aureus* (CMI 0.25%), à la différence des autres études ayant constaté que l'HE de *T.polium* a un large spectre antimicrobien,[54].

Dans le cadre de l'étude effectuée par Moualek (2016) sur l'évaluation l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux des feuilles d'*Arbutusunedo* à l'aide de la méthode de diffusion sur disque, vis-à-vis de 10 souches bactériennes de référence qui sont : *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 43300, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Enterococcusfaecalis* ATCC 49452, *Bacillus cereus* ATCC 10876, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Klebsiellapneumoniae* ATCC 700603, *Proteus mirabilis* ATCC 35659, *Listeria monocytogene* ATCC 15313 et *Citrobacterfreundii* ATCC 8090.

L'extrait aqueux de feuilles d'Arbousier à la concentration de 50 mg/ml, présente une activité antibactérienne vis-à-vis de la majorité des bactéries testées. L'analyse de ces résultats montre clairement un effet plus important de cet extrait sur les bactéries Gram positif. En effet, l'absence de zone d'inhibition dans les boîtes test ensemencées avec *Citrobacterfreundii* ATCC 8090, *Escherichia coli* ATCC 25922 et *Klebsiellapneumoniae* ATCC 700603 traduit leur résistance à l'extrait étudié. Dans une moindre mesure, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311 laisse apparaître une zone d'inhibition faible, par contre *Pseudomonas aeruginosa* 27853 connue pour être une bactérie très résistante donne une zone

d'inhibition qui dépasse celles relevées pour quatre des cinq bactéries Gram + testées. Ces résultats, traduisent clairement une plus grande sensibilité des bactéries Gram + à l'extrait appliqué [39]

Bouteldja (2021) rapporte que l'activité antibactérienne de *Salvia officinalis* L est maximale avec l'extrait éthanolique et méthanolique contre *S.aureus*, *E.coli* ($13,63 \pm 0,55$; $13,80 \pm 1,53$) ; ($11,5 \pm 2,17$; $11,6 \pm 0,52$) respectivement, par contre l'extrait aqueux n'a aucune activité bactérienne vis-à-vis des deux souches testées. Le screening phytochimique de cette étude a démontré l'absence des flavonoïdes et des tanins dans les extraits aqueux, par contre la présence de ces derniers dans les extraits éthanoliques et méthanoliques ce qui justifiait leur activité antibactérienne [48].

D'après Aissaoui (2022) L'extrait aqueux de feuilles *Cistus Salviifolius* d'une concentration de 0,2 g/ml, présente une activité antibactérienne très importante vis-à-vis des deux souches bactériennes testées (*Staphylococcus aureus* et *E.coli*). L'analyse de ces résultats montre clairement un effet plus important de cet extrait sur les bactéries gram positif que les bactéries gram négatif, ce qui est justifié par la présence de la membrane externe des gram négatifs qui empêche la pénétration des principes actifs hydrophiles donc diminution de l'efficacité de l'extrait.

D'après l'étude comparative effectuée par Kamal ELHARAS et al. (2013). Il a été déclaré que l'huile essentielle de Laurier noble est 2,5 fois plus active que celle de la Lavande. L'huile essentielle du *Laurusnobilis* et *Lavandulaangustifolia* inhibe la croissance des trois souches bactériennes testées : *Escherichia coli* ATCC 25921, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 29733 et *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. La souche bactérienne *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 est la plus sensible face aux deux autres espèces étudiées. En effet, la CMI du *Laurusnobilis* vis à vis d'elle est de 200 µL/L. Celle de *Lavandulaangustifolia* est de 500 µL/L

Cependant, selon d'autres auteurs l'huile essentielle de *Laurusnobilis* possède une forte activité antibactérienne. Une activité qui a même inhibé la croissance de *Bacillus brevis* FMC 3, *Bacillus cereus* FMC 19, *Enterobacteraerogenes* CCM 2531, *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50071, *Staphylococcus aureus* Cowan 1, *Micrococcusluteus* LA 2971, *Candida tropicali* [55].

D'après Carev et al (2020) portent sur l'évaluation du potentiel antimicrobien des extraits aqueux du *Cistus creticus*(CC) et *Cistus salviifolius*(CS), en utilisant des tests de diffusion sur disque et de microdilution en bouillon, Des dosages antimicrobiens ont révélé

que les champignons étaient en général plus sensibles à la fois aux cistes extraits aqueux, par rapport aux bactéries où deux extraits ont montré une activité très similaire. L'extrait CS a montré une très bonne activité antifongique contre *C.albicans* (CMI 125 µg/mL et zone d'inhibition de $23,2 \pm 1,2$ mm). D'autre part, les valeurs de CMI pour les deux extraits contre les souches bactériennes ont été enregistrées dans la gamme de 250 à 2000 µg/mL, respectivement. Les zones d'inhibition mesurées pour 5 mg de chaque extrait/disque varient de $10,0 \pm 0,5$ à $29,0 \pm 0,8$ mm. Il est important de noter qu'en général, les deux extraits ont montré une activité très similaire envers la même espèce bactérienne. Cependant, une activité légèrement meilleure de CC était évidente contre *S. aureus ATCC 29213* et *P. aeruginosa ATCC 27853* (CMI 500 µg/mL). Parmi les souches bactériennes testées, l'activité la plus puissante a été observée contre *A. baumannii Isolat clinique FSST-20* (CMI 250 µg/mL) pour les deux extraits. Notamment, cette souche multi résistante particulière ainsi que la souche *P. aeruginosa FSST-21* et la souche *MRSA-1* se sont révélées plus sensibles et présentaient une réduction de 2 fois de la CMI d'au moins un extrait par rapport à la souche sensible aux antibiotiques. Souches ATCC. Cette découverte indique le potentiel des extraits de ciste à agir contre les pathogènes opportunistes multi résistants Gram-négatifs et Gram-positifs qui provoquent des infections, qui sont donc difficiles à traiter par les antibiotiques conventionnels. L'activité la plus prometteuse a été enregistrée par le test de diffusion sur disque contre la souche *MRSA-1*, qui a été inhibée de $29,0 \pm 0,8$ et $25,0 \pm 1,0$ mm à la concentration de 5 mg/disque pour les extraits aqueux CC et CS, respectivement [56].

Conclusion et perspectives

Le but de notre travail est de traiter une eau de surface chargée en matière colloïdales et en micro-organisme, en utilisant des produits naturels comme alternative aux produits chimiques traditionnellement utilisés pour la coagulation floculation et désinfection dans les stations classiques de traitement d'eau.

Le travail expérimental de cette étude a été réalisé à la station de production d'eau potable TAKSEBT. Les résultats des expériences ont donné des rendements très élevés par rapport à l'élimination de la turbidité en appliquant des bio-coagulants à base des plantes (arbousier, cactus, caroubier, cistus et cactus) testés après optimisation des doses à appliquer par Jar Test. Le meilleur abattement 98,34% a été enregistré par la poudre du cactus et celle d'arbousier avec une différence négligeable avec une dose optimale de 60 mg/l. la poudre de caroube a pu diminuer la turbidité de notre échantillon de 55 NTU à 1.08 NTU soit un taux d'abattement de 98,03% avec une dose de 65 mg/l. 97,23% et 96,88% d'abattement ont été enregistrés par le romarin et cistus respectivement. , contre 98,18% pour le coagulant chimique sulfate d'aluminium.

Les résultats obtenus nous permettent de tirer les informations suivantes :

- Les poudres de plantes testées ont une capacité de coagulation comparable à celle du sulfate d'alumine, voire meilleure.
- La poudre de cactus a une très bonne capacité de coagulation et son taux de réduction de la turbidité dépasse 98 %.
- Les produits naturels disposent d'un pouvoir mutuel coagulant et floculant qui rivalise celui des coagulants chimiques et des polymères synthétiques.
- De tels rendements donnent une lueur d'espoir de possibilité de remplacer les procédés chimiques de traitement des eaux par des procédés de technologie verte à l'avenir.
- L'utilisation de bio coagulants/biofloculants est une technologie prometteuse pour le traitement de l'eau car elle est respectueuse de l'environnement et acceptée par le public et à des performances fiables.

Pour ce qui concerne l'essai de biodésinfection l'utilisation de l'extrait aqueux des plantes étudié a montré un effet considérable pour la diminution de la charge bactérienne en coliforme totaux et fécaux. Par contre pour les autres genres bactériens (FAMT et clostridium) les extraits des plantes favorisent la prolifération bactérienne ce qui a augmenté leur charge.

Néanmoins les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie.

Ainsi, les perspectives futures sont dans un premier temps une étude approfondie sur la composition biochimique des plantes étudiées afin d'identifier le composé exacte responsable du phénomène de formation de floc, ce composé pourrait être extrait et purifié dans le but de son utilisation pour le traitement des eaux. Aussi l'élimination des glucides et vitamine présente dans les plantes qui peuvent constitue un milieu favorable pour la croissance bactériennes de cette manière la désinfection pourra être meilleur.

En deuxième lieu l'utilisation d'un coagulant et généralement suivie par l'ajout d'un floculant. Dans ce cas le gel de l'Aloè vera, des graines de lin ou des grains de cresson peuvent jouer le rôle d'un bio-floculant.

D'autre paramètre peuvent aussi être contrôlé et optimisé tel que le temps et la vitesse d'agitation au jar-test ainsi que le temps de décantation

Pour améliorer le rendement de ces plantes d'autre méthodes d'extraction peuvent être utilisés tel que l'extraction des huile essentiel qui peuvent améliorer le rendement de la plante et son pouvoir de désinfection, l'étape de désinfection peut être aussi amélioré par la technique de la phyto-désinfection c'est-à-dire exposition des échantillons à la lumière du soleil.

Nous pouvons aussi effectuer des études d'un point de vue économique afin d'évaluer la possibilité de leur commercialisation à l'avenir

La valorisation des déchets engendrés par le processus de coagulation floculation à base de plante peut être traitée car ils sont biodégradables et utiles comme conditionneur du sol ou comme engrais dans le domaine de l'agriculture.

Nous espérons avoir posé une pierre dans le domaine de l'utilisation des bio coagulant et bio désinfectant et qu'un jour nous verront l'application de cette technologie verte à l'échelle industrielle.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- [1]-Chaba,C.,Seghilami,C.(2022).Etude de l'efficacité des biofloculants sur la qualité des eaux de surfaces.Memoire de fin de cycle.UMMTO.67.p.Algerie.
- [2]-Benradour,B.(2018).Contribution a l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'oued chelif.Thèse de doctorat.Univésité de perpignan via domitia,et Université de mostaganem. 193p.France,Algerie.
- [3]-Nouhi, S., Kwaambwa, H. M., Gutfreund, P., & Rennie, A. R. (2019). Comparative study of flocculation and adsorption behaviour of water treatment proteins from *Moringa peregrina* and *Moringa oleifera* seeds.Scientific reports, 9(1), 17945.<https://doi.org/10.1038/s41598-019-54069-2>
- [4]-Kurniawan, S. B., Abdullah, S., Imron, M. F., Said, N., Ismail, N. ',Hasan, H. A., Othman, A. R., &Purwanti, I. F. (2020). Challenges and Opportunities of Biocoagulant/Biofloculant Application for Drinking Water and Wastewater Treatment and Its Potential for Sludge Recovery.International journal of environmental research and public health, 17(24), 9312.<https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- [5]-Maurya, S., &Daverey, A. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment.3 Biotech, 8(1), 77. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1103-8>
- [6]-Bouteria,A.,Baci,Z.,deayen,N.,chine,N.(2022).L'analyse de l'eau des puits de hassikalifa,ELoued.Memoire de fin d'etude.UEHL.84p.Algerie.
- [7]-Hadji,L .,Bebah,K.(2017).Caractérisation et traitement des eaux du barrage TAKSEBT par la station monobloc en vue de leur potabilisation.Mémoire de fin de cycle .UMMTO.79p.Algerie
- [8]-Chennafi,BA.,Douadi,A.(2021).Traitement des eaux de surface du barrage EL K'sob par coagulation-floculation.Memoire de fin de cycle .UABM.87p.Algerie.
- [9]-Slimani,D.,Soufi,D.(2021).Etude de deux méthodes de coagulation-floculation : la Biocoagulation et l'electrocoagulation.Memoire de fin de cycle.UMMTO.97p.Algerie.

- [10]-Kettal,A.,Mitiche,R.,bennacer,N.(2008). De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies Water for a sustainable development: challenges and strategies journal of water science.21(2),247-256.
- [11]-Khattab,NH.,Chemmam,F .(2017).Impacte des barrages et des retenus collinaires sur la qualité des eaux de surface du bassin versant d'oued D'houus .Mémoire de fin de cycle .UAMOB.81p.algerie.
- [12]-Adjagoda,A.,Agassounon,M.,Kelame,N.,Lawani,R.(2016).Flux des pollutions liés aux activités anthropique,risque sur les ressources en eau de surface et la chance trophique a travers le monde.international of journal of biological and chimical science.10(3),145-1472.
- [13]-Rahmani,S.,Chaib,S.(2020).Suivie de la qualité physico-chimique des eaux de surface de oued soummam.Memoire de fin de cycle .UAMOB.71p.Algerie.
- [14]-Cherif,L.(2021).L'influence de la coagulation floculation et décontation sur le pré traitement des eaux saumatre.Memoire de fin de cycle .UABB.170.Algerie.
- [15]-Leugbe, B. (2015).Production d'eau potable filières et procédés de traitements. Dunod.Paris. 432p.France.
- [16]-Guene,RL.(2017).Contribution a la valorisation des plantes floculantes natures dans le traitement de l'eau : cas de solanum melongena.Rapport de fin de formation de licence professionnelle en technologie alimentaire.Université d'ambey-calavi.70p.Benin.
- [17]-Das,N.,ojha,N.,Mandal,SK.(2021).Wastewater treatment using plant derived biofloculants : green chemistry approche for sofenvironment.water science and technology.15(83,8),1797-1812.
- [18]-Senet,D.(2003).Les désinfectants existants pour le traitement de l'eau et la désinfection des installations.Synthèse technique.ENGREF.30p.France.
- [19]-Alen,S(2016).Etude comparative entre coagulation-floculation et electrocoagulation-electrofloculation.Memoire de fin de cycle .UAMB.105p.Algerie.
- [20]-Amirou,Y.,Khoumri,Y.(2022).Evaluation de l'impact des eaux de lavage sur la qualité de l'eau brute.Mémoire de fin de cycle .UMMTO.44pages.Algerie.

- [21]-Kurniawan, S. B., Abdullah, S., Imron, M. F., Said, N., Ismail, N. ', Hasan, H. A., Othman, A. R., & Purwanti, I. F. (2020). Défis et opportunités de l'application de biocoagulants/biofloculants pour le traitement de l'eau potable et des eaux usées et son potentiel pour la récupération des boues. International journal of environmental research and public health, 17(24), 9312. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- [22]-Chaba, C., Seghilami, C. (2022). Etude de l'efficacité des biofloculants sur la qualité des eaux de surfaces. Mémoire de fin de cycle. UMMTO. 67 p. Algérie.
- [23]-Hector, R. H. D. L. (2007). Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. thèse. INSA de Toulouse. 164 p. France.
- [24]-Bousaab, H., Nassif, N., El samrani, A. G., Daoud, R., Medowan, S., ouaine, N. (2007). Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahribrahim). Journal of water science. 20(4), 341, 352.
- [25]-Rebouillon, P., Moulin, L., Chanode, P., Dujadin, P., Gosselin, S., Seux, R. (2009) L'analyse de l'eau. 9e édition. Dumon Paris. 1526 p. France.
- [26]- Litimi, A., Moukrani, L., (2018). Suivi de la désinfection des eaux traitées du barrage Taksebt Tizi-Ouzou. Mémoire de fin de cycle. UMMTO. 38 p. Algérie.
- [27]-Ladel, M. (2010). Contrôle des paramètres physico-chimique et bactériologique d'une eau de consommation. ADE. Algérie
- [28]-Djoutern H. (2011). Efficacité d'un procédé membranaire pour le traitement des eaux usées. Mémoire pour l'obtention de maître en science expérimentale de la santé. Université du Québec. 106 p. Canada
- [29]-Milous, H. (2011). Modélisation par la méthode numérique de la dynamique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolet. Mémoire de fin de magister. UMC. 108 p. Algérie.
- [30]-article-Chloration_eau_potable-FR.pdf
- [31]- Blarel, A. (2005). Evaluation des dispositifs de désinfection des eaux distribuées dans le bassin artois-picardie. thèse professionnelle. Polytech Lille. 71 p. France.

[32]-Robert,C.(2008).Procédes membranaires des progrès dans le traitement de l'eau potable.Université de toronto.1p-6p.Canada.

[33]-Devrimci HA, Yuksel AM, Sanin FD Alginate d'algues : un coagulant potentiel pour le traitement de l'eau potable. Dessalement. 2012 ; 299 : 16–21 doi:10.1016/j.desal.2012.05.004

[34]-Freitas TKFS, Oliveira VM, de Souza MTF, Geraldino HCL, Almeida VC, Fávoro SL, Garcia JC Optimisation du processus de coagulation-floculation pour le traitement des eaux usées textiles industrielles en utilisant le mucilage de gombo (*A. esculentus*) comme coagulant naturel. Ind. Cultures Prod. 2015 ; 76 : 538–544. doi : 10.1016/j.indcrop.2015.06.027.

[35]-Idris J., Som AM, Musa M., Ku Hamid KH, Husen R., MuhdRodhi MN Coagulant à base de plantes de feuillage de fruit du dragon pour le traitement des effluents concentrés de latex : Comparaison du traitement avec le sulfate ferrique. J. Chem. 2013 ; 2013 doi : 10.1155/2013/230860.

[36]-Magalhães ERB, Fonseca de Menezes NN, Silva FL, Alves Garrido JW, Angélica dos Santos Bezerra Sousa M., Santos ES dos Effet de l'extraction d'huile sur la composition, la structure et l'effet coagulant des graines de *Moringa oleifera*. J. Propre. Prod. 2021 ; 279 :123902. doi : 10.1016/j.jclepro.2020.123902.

[37]-Keogh MB, Elmusharaf K., Borde P., Mc Guigan KG Évaluation du coagulant naturel *Moringa oleifera* comme prétraitement pour SODIS dans de l'eau trouble contaminée. Sol. Énergie. 2017 ; 158 : 448–454. doi : 10.1016/j.solener.2017.10.010

[38]-Nonfodji OM, Fatombi JK, Ahoyo TA, Osseni SA, Aminou T. Performance de la protéine de graines de *Moringa oleifera* et du coagulant composite protéine-chlorure de polyaluminium de *Moringa oleifera* dans l'élimination des matières organiques et des bactéries résistantes aux antibiotiques des eaux usées hospitalières. J. Water Process Eng. 2020 ; 33 doi : 10.1016/j.jwpe.2019.101103

[39]-Moualek,I.(2016).Activité biologique de l'extract aqueux de feuilles d'arbutusunedo de la region de T.O.thèse de doctorat.UMMTO.176p.Algerie

[40]-Miguel, M. G., Faleiro, M. L., Guerreiro, A. C., & Antunes, M. D. (2014). *Arbutus unedo* L.: chemical and biological properties. *Molecules* (Basel, Switzerland), 19(10), 15799–15823. <https://doi.org/10.3390/molecules191015799>.

- [41]-Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Miedzianka, J., Andreu-Coll, L., Legua, P., & Hernandez, F. (2020). Characterization of Bioactive Compounds of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Seeds from Spanish Cultivars. *Molecules* (Basel, Switzerland), 25(23), 5734. <https://doi.org/10.3390/molecules25235734>
- [42]-Silva, M. A., Albuquerque, T. G., Pereira, P., Ramalho, R., Vicente, F., Oliveira, M., & Costa, H. S. (2021). *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.: A Multi-Benefit Potential to Be Exploited. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(4), 951. <https://doi.org/10.3390/molecules26040951>
- [43]-Reggane, L. (2021). Étude bibliographique sur la valorisation biotechnologique des cladodes du figuier de barbari (*Opuntia ficus indica*). mémoire de fin d'études. UMMTO. 42p. Algérie.
- [44]-Boutakiout, A. (2017). Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode de figuier de barbarie marocain. These de doctorat. UNAM. 212p. Belgique.
- [45]-Bouzar, K. K., Benfriha, N. (2020). Activités biologique de l'extraits de quelques légumineuses. Memoire de fin de cycle. UDB. 61p. Algerie.
- [46]-Benković, M., Srećec, S., Bauman, I., Ježek, D., Karlović, S., Kremer, D., Karlović, K., & Erhatic, R. (2016). Assessment of Drying Characteristics and Texture in Relation with Micromorphological Traits of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Pods and Seeds. *Food technology and biotechnology*, 54(4), 432–440. <https://doi.org/10.17113/ftb.54.04.16.4475>
- [47]-Sayah, K. (2021). Etude phytochimique et pharmacologique du potentiel antidiabetique des plantes *Cistus salviifolius* L. et *Cistus monopelensis* L. du maroc. These de doctorat. Université Mohammed V rabat. 173p. Maroc.
- [48]-Aissaoui, A. (2022). Valorisation de l'activité antibactérienne de cinq plantes locales. Memoire de fin de cycle. UMMTO. 82p. Algerie.
- [49]-Ahmed azi, M., Herizi, C., Laichi, K. (2022). *Rosmarinus officinalis* : activités biologiques et composés bioactifs. mémoire de fin de cycle académique. UMBM. 43p. Algérie
- [50]-De Oliveira, J. R., Camargo, S., & de Oliveira, L. D. (2019). *Rosmarinus officinalis* L. (rosemary) as therapeutic and prophylactic agent. *Journal of biomedical science*, 26(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12929-019-0499-8>

[51]-de Oliveira, JR, Camargo, S., & de Oliveira, LD (2019). Rosmarinus officinalis L. (romarin) comme agent thérapeutique et prophylactique. Journal des sciences biomédicales , 26 (1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12929-019-0499-8>.

[52]-Saouli,S.,Abdennebi,B.(2020).Contribution a l'étude des caractéristiques phytochimiques de l'extrait aqueux de romarinus officinalis L. Mémoire de fin de cycle. UMKB. 54p. Algérie.

[53]-Malathi,G.,Arul,MK.(2021). Phytochemical analysis, antioxidant and antibacterial properties of Opuntia Ficus-indica (L.) mill. against the wound infecting bacteria. International Journal of Botany Studies. 6(2). 367-373.

[54]-Allaoua,A.,Medkour,F.(2021). Évaluation de l'activité antimicrobienne et antibiofilm des plantes médicinales de la région de Biskra. mémoire de fin de cycle. UMKB. 57. Algérie.

[55]-Elharas,K.,Daggare,A.,Mesfioui,A.,Ouhssine,M.(2013).activité antibactérienne de l'huile essentielle des inflorescences de laurus nobilis et lavandula angustifolia. Afrique Science. 09(2),134-141

[56]-Carev, I., Maravić, A., Ilić, N., Čikeš Čulić, V., Politeo, O., Zorić, Z. et Radan, M. (2020). Analyse phytochimique UPLC-MS/MS de deux espèces de cistes croates et de leur activité biologique. Life (Bâle, Suisse) , 10 (7), 112. <https://doi.org/10.3390/life10070112>.

Webographie

[57]-https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp consulter le 15/06/2022

[58]-<https://www.lenntech.fr/periodique/elements/cl.htm> consulter le 15/06/2022

[59]-<https://flore-et-sante.fr/du-chlore-dans-leau-du-robinet-notre-sante-en-danger/> consulter le 15/06/2022

[60]-<https://www.iowater.org/Mediatheque/illustrations/la-part-deau-douce-sur-terre> consulter le 15/06/2022

[61]-<https://www.aquaportail.com/definition-9354-eaux-naturelles.html> consulter le 15/06/2022

[62]-<https://www.franceenvironnement.com/sous-rubrique/traitement-par-potabilisation-de-l-eau#:~:text=Le%20traitement%20par%20potabilisation%20de,doit%20subir%20un%20traitement%20sp%C3%A9cifique>. Consulter le 15/06/2022

[63]-<https://qualitexpert-dz.com/divers/particules-en-suspension/>. Consulter le 17/06/2022

[64]-<https://agriculture.canada.ca/fr/agriculture-environnement/eau-agriculture/etangs-etangs-reservoirs/gestion-leau-surface-zone-rurale/pourquoi-desinfection-est-elle-necessaire>
consulter le 17/06/2022

[65]-<https://iwaponline.com/wst/article/83/8/1797/80951/Wastewater-treatment-using-plant-derived> consulter le 18/06/2022

[66]-
<https://hmf.enseiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome5/avapro/avapro4.htm#La%20C2%A0Microfiltration>. Consulter le 18/06/2022

[67]-<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/desinfection.htm#:~:text=3.1%20Le%20rayonnement%20ultraviolet,tr%C3%A8s%20r%C3%A9pandue%20dans%20le%20monde>. Consulter le 18/06/2022

[68]-<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/desinfection.htm> consulter le 18/06/2022

[69]-<https://www.europlus.fr/fr/article/15/du-chlore-dans-leau-potable-est-ce-un-danger-pour-la-sante> consulter le 18/06/2022

[70]-<https://www.josmose.fr/blog/127-limpact-du-chlore-sur-votre-sante> consulter le 19/06/2022

[71]-
[https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/chlorine.html#:~:text=Inhalation%20%3A%20TR%C3%88S%20TOXIQUE%2C%20peut%20causer,les%20poumons%20\(%C5%93d%C3%A8me%20pulmonaire\)](https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/chlorine.html#:~:text=Inhalation%20%3A%20TR%C3%88S%20TOXIQUE%2C%20peut%20causer,les%20poumons%20(%C5%93d%C3%A8me%20pulmonaire)) consulter le 19/06/2022

[72]-<https://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/production/traitement-des-eaux/>
consulter le 19/06/2022

[73]-<https://www.pinterest.fr/pin/841680617854290540/> consulter le 19/06/2022

[74]-<http://herbierdicietdailleurs.eklablog.com/arbutus-unedo-arbousier-a47460722> consulter le 22/09/2022

[75]-<https://www.grainesdefolie.com/cactus-agave-et-yucca/2382-figuier-des-barbaries-opuntia-ficus-indica.html> consulter le 22/09/2022

[76]-<https://www.bionap.com/opuntia-ficus-indica/> consulter le 22/09/2022

[77]-https://www.gastronomiac.com/glossaire_des_produi/caroube/ consulter le 22/09/2022

[78]-<https://www.lesoirdalgerie.com/regions/le-caroubier-la-nouvelle-richeesse-du-dahra-62502> consulter le 22/09/2022

[79]-<https://www.boutique-vegetale.com/p/cistus-salviifolius-ciste-a-feuilles-de-sauge> consulter le 22/09/2022

80- https://www.pepiniere-bretagne.fr/detail-article.php?ID_ARTICLE=6368 consulter le 22/09/2022

[81]-<https://koromy.com/product/romarin-1kg/> consulter le 22/09/2022

[82]-<https://www.myrtea-formations.com/index.php?mod=aromatheque&act=fiche&ind=48> consulter le 22/09/2022

[83]-

<https://www.google.com/maps/place/36%C2%B042'52.5%22N+4%C2%B006'04.4%22E/@36.7145982,4.0970008,598m/data=!3m2!1e3!4b1!4m9!1m2!2m1!1soued+sebaou++Tizi+Ouzou!3m5!1s0x0:0xa20d91c6fd652821!7e2!8m2!3d36.7145939!4d4.1012283>

Google maps de l'oued sébaou, consulter le 23/09/2022

[84]- <https://processindustriel.wordpress.com/2017/01/29/quest-ce-que-la-filtration-membranaire-des-liquides/> consulter le 23/09/2022

Annexes

Dans notre étude, nous avons mesuré des paramètres physico-chimiques tels que la turbidité, le pH, la conductivité, la température et la concentration résiduelle en aluminium dans l'eau brute.

Mesure de la turbidité

La turbidité est l'effet optique qui traduit le caractère trouble de l'eau. Qui est due par la présence de diverses matières en suspension telles que limon, argile, matières organiques et inorganiques (oxydes et hydroxydes métalliques) en fines particules, composés organiques colorés solubles, plancton et autres micro-organismes.

On mesure la turbidité en unités de turbidité néphalométriques (NTU) 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.



Figure 1 : Turbidimètre HACH 2100

Mesure du pH

Le pH, ou potentiel hydrogène, est la mesure qui décrit le degré d'acidité ou d'alcalinité. Elle est mesurée sur une échelle de 0 à 14.

L'échelle pH est utilisée pour déterminer le degré d'acidité d'une substance. Elle représente la concentration des ions H^+ dans une solution. Plus une substance contient d'ions H^+ , plus elle

est acide. Plus elle contient d'ions OH^- , plus elle est basique. Donc un pH inférieur à 7 la solution est acide, supérieur à 7 la solution est basique.



Figure 2 : pH Mètre WTW avec terminal 730 et électrodes en verre.

Mesure de la conductivité

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions.

Elle est mesurée par la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm . Elle augmente avec la teneur en sels dissous et varie en fonction de la température. La conductivité est exprimée en siemens par mètre ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$). Le sous-multiple microsiemens par cm ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) est l'unité la plus utilisée en traitement d'eau.



Figure 3 : Conductimètre WTW avec terminal 740.

Dosage de l'aluminium par la méthode LCK

La méthode utilisée est la méthode spectrophotométrique au chromazurol S. Cette méthode est basée sur la formation d'un complexe coloré entre la molécule de chromazurol S nommé CAS et l'ion aluminium. Le dosage se fait à $\lambda = 620$ nm longueur d'onde maximale d'après un spectrophotomètre DR 6000, l'absorption du complexe, en milieu tampon acétate légèrement acide.



Figure 4 : Spectrophotomètre HACH-LANGE DR 6000.



Figure 5 : LCK 301

Présentation de la station de traitement d'eau potable TAKSEBT

Cette station, mise en service en juillet 2008, a été construite par SNC LAVALIN / DEGREMONT puis exploitée par SNC LAVALIN jusqu'en 2013. Elle a été reprise en gestion par SEAAL le 18 juillet 2013 et est désormais le plus important ouvrage de traitement d'eau géré par la SEAAL. C'est aussi la plus importante station de traitement d'eau potable algérienne, en capacité. Elle a une vocation régionale, puisqu'elle alimente 25 communes et assure l'approvisionnement de trois wilayas, Alger, Boumerdes, et Tizi-Ouzou.

Alimentée à partir du barrage de TAKSEBT (capacité 181 Millions m³), elle est constituée d'une usine de traitement de 605 000 m³/j, dotée d'une filière classique coagulation, floculation, décantation, filtration, de dernière génération. Elle dispose d'une capacité de stockage, sur site, de 28 000 m³.

Le projet TAKSEBT, dans son ensemble, comprend également une station de pompage de 613 000 m³/j (5 groupes de pompes + 1 en secours de 1.42 m³/s chaque), 98 km d'adduction dont 10 km en tunnel et 196 équipements hydrauliques annexes.

La station de potabilisation SEAAL s'étend sur une surface de 34 ha, constitué de plusieurs bâtiments représentés dans la figure 16.



Figure 6 : Aperçu général de la station de traitement d'eau potable TAKSEBT

- 1) Ouvrage d'entrée
- 2) Chambre de mélange
- 3) Décanteurs (pulsatube)
- 4) Filtres (aquazur v)
- 5) Réservoirs
- 6) Dessableur
- 7) Épaississeurs
- 8) Lagune de boues
- 9) Bâtiment acide
- 10) Bâtiment chimie
- 11) Bâtiment administratif
- 12) Atelier magasin
- 13) Bâtiment électrique
- 14) Bâtiment chlore
- 15) Bâtiment chaux
- 16) Poste de garde
- 17) DIAPAC
- 18) Zone d'habitation

Capacité de la station

La production nominale de la station de traitement TAKSEBT est de 605 000 m³/j (700 l/s) basée sur un approvisionnement en eau brute de 616 000 m³/j

- Débit d'eau brute 616 000 m³/j
- Volume des boues extraites des clarificateurs 7 400 m³/j
- Volumes des boues extraites des filtres 3 600 m³/j
- Production d'eau traitée 605 000 m³/j

La capacité hydraulique nominale de la station est de 647 000 m³/prenant en compte un débit recirculé de 5% du débit d'eau brute.

- Débit minimum 202 000 m³/j
- Débit moyen 474 000 m³/j
- Débit maximum (nominale) 605 000 m³/j

Qualité de l'eau d'entrée

L'eau brute alimentant le barrage TAKSEBT provient de l'oued AISSI et de l'oued BOUG DOURA. la conception de l'usine de traitement est basés sur les valeurs du tableau suivant :

Tableau 1 : Qualité de l'eau à l'entrée de la station

Paramètres	Unité	Valeurs contractuelles		
		Min.	Max.	Typique
Ph	/	7.00	9.00	8.00
Couleur	Hazen	5	25	6
Turbidité	NTU	1	100	5
Conductivité	μS/cm	300	800	500
Température	C	10	30	18
Ammoniac	Mg/l N	0.01	0.2	0.05
Nitrite	Mg/l N	< 0.001	0.05	0.002
Nitrate	Mg/l N	0.5	4	1

Matière organique	Mg/l O	2.5	10	3.5
Alcalinité	Mg/l CaCO ₃	100	250	160
Dureté total	Mg/l CaCO ₃	100	350	200
Calcium	Mg/l Ca	20	70	40
Magnésium	Mg/l Mg	15	60	24
Sodium	Mg/l Na	5	60	15
Chlorure	Mg/l Cl	10	70	30
Sulfate	Mg/l SO ₄	20	100	40
Ortho phosphate	Mg/l P	< 0.01	0.2	0.05
Fer (total)	Mg/l Fe	0.05	5	0.15
Manganèse (total)	Mg/l Mn	< 0.01	0.1	0.02
Silice réactive	Mg/l SiO ₂	0.1	10	5
Oxygène dissous	Mg/l O	4.0	10.0	8.0
Demande biochimique en oxygène	Mg/l O	0.2	10.0	1.0
Demande chimique en oxygène	Mg/l O	< 10	60	20
Coliformes totaux	MPN/100 ml	10	10 000	200
E. coli	MPN/100 ml	5	5 000	100
Chlorophylle a	Mg/m ³	< 5	40	15

Qualité de l'eau de sortie

La station de traitement est conçue pour assurer une alimentation fiable et continue en eau potable, exempte d'organismes pathogènes. Dans les conditions de qualité de l'eau contractuelle et d'une exploitation normale, la qualité finale après traitement doit être conforme aux normes suivantes 100% du temps illustré dans le tableau 14.

Tableau 2 : Qualité de l'eau à la sortie de la station

Paramètres	Valeurs
Eaux non filtrée	
Turbidité (avant injection de chaux)	< 1.0 NTU
Goût et odeur	Acceptables pour le consommateur
Couleur	< 5° Hazen
Aluminium	< 0.2 mg/l
Fer	< a 0.3 mg/l
Manganèse	< 0.1 mg/l
pH	6.5 à 8.5
<i>E. coli</i> ou bactérie thermotolérante	Néant sur tout échantillon de 100 ml

Total bactéries coliformes	Néant sur tout échantillon de 100 ml
Eaux filtrée	
Turbidité (avant injection de chaux)	< 0.4 NTU
Aluminium	< 0.1 mg/l
Fer	< 0.1 mg/l
Manganèse	< 0.05 mg/l
pH (après injection de chaux)	pHs 0.2

Les réactifs utilisés

- Acide sulfurique
- Charbon actif en poudre
- Chaux
- Chlore gazeux
- Hypochlorite de calcium
- Hypochlorite de sodium
- Polymère
- Sulfate d'alumine

Chaîne de traitement de la station TAKSEBT

Ouvrage d'entrée

L'eau brute provient de la station de pompage incluse dans l'installation du barrage TAKSEBT, dans cet ouvrage (figure 17) qui sert à stabiliser le débit et à assurer une bonne aération. Au niveau duquel se fait l'injection du chlore gazeux (Cl_2), sulfate d'alumine ($Al_2(SO_4)_3$), hypochlorite de calcium ($Ca(ClO)_2$) et l'hypochlorite de sodium ($NaClO$).



Figure 7 : Ouvrage d'entrée

Chambre de mélange

L'eau brute traverse ensuite la chambre de mélange (figure 18) d'un volume de 450 m³, qui permet le mélange des produits chimiques injectés et un temps de contact suffisant, équipée de chicanes murales.

Les réactifs suivants sont injectés dans le sens du flux :

- Permanganate de potassium (KMnO₄) : pour réduire les taux de paramètres de pollutions élevées dans l'eau brute tels que : fer (Fe) et manganèse (Mn).
- Charbon actif en poudre (CAP) : pour améliorer les paramètres organoleptiques.
- Acide sulfurique (H₂ SO₄) : pour ajuster le pH pour optimiser la coagulation.



Figure 8 : Chambre de mélange

Décanteur

Suite à la sortie de la chambre de mélange, le polymère est injecté en amont des décanteurs (figure 19) afin de permettre la concentration des matières en suspension en floccs facilement décontables permettant ainsi la séparation des particules flocculés de l'eau épurée.

Les décanteurs sont fermés pour éviter la photosynthèse et limiter la croissance des algues en suspension dans l'eau.



Figure 9 : Décanteurs pulsa tube

Filtration

La filtration est un procédé qui permet d'éliminer les derniers flocons formés lors de la coagulation floculation et consiste à filtrer l'eau par gravité à travers un filtre à sable de granulométrie homogène.

La station assure la filtration de l'eau par 24 filtres (figure 20) AQUAZUR V installées en deux filières, composés d'une couche de 1m20 de sable du plus fin au plus dense et 15 cm de gravier sur des buselures.

Les buselures équipant le plancher collectent l'eau uniformément dans une chambre située sous le plancher et reliée au régulateur de niveau. L'eau filtrée est ensuite orientée vers les étapes ultérieures du traitement.



Figure 10 : Filtre à sable AQUAZUR V

Désinfection et stockage de l'eau traitée

Il s'agit de la dernière étape du traitement avant sa distribution, qui comprend l'injection d'hypochlorite de calcium pour éliminer tous les micro-organismes présents dans l'eau.

Après chloration, l'eau traitée est envoyée dans des réservoirs d'eau traitée où la chaux est ajoutée pour ajuster le pH et limiter les effets corrosifs de l'eau.

Résumé

L'utilisation des coagulants synthétiques dans le traitement de l'eau destiné à la consommation soulève des inquiétudes quant à leur impact sur la santé humaine et l'environnement, ces produits chimiques doivent désormais être remplacés par des produits naturels. Dans cette étude, cinq coagulants naturels d'origine végétale sous forme de poudre ont été évalués pour l'élimination de la turbidité et la désinfection de l'eau potable. Pour la coagulation, des tests ont été effectués sans ajustement du pH, l'élimination maximale de la turbidité a été observée avec la poudre de cactus avec un taux d'abattement de 98,36% contre 98,18% pour le sulfate d'aluminium, En revanche, pour la bio désinfection l'extrait aqueux d'arbousier été le plus efficace, avec une diminution de 80% contre les coliforme totaux et fécaux, suivi par le romarin avec le même taux abattement pour les coliforme fécaux et 78,46% contre *Escherichia coli*. Alors que pour les spores anaérobies sulfite-réductrices et les germes revivifiables, ces plantes favorisent leur prolifération. Globalement, les résultats montrent un très bon potentiel de coagulation naturelle à faible coût dans le traitement de l'eau.

Mots clés : Arbousier, Cactus, Caroubier, Cistus, Romarin, Bio coagulation, Bio désinfection, Eau de surface

Abstract

The use of synthetic coagulants in the treatment of drinking water has raised concerns about their impact on human health and the environment, and these chemicals must now be replaced by natural products. In this study, five natural coagulants of plant origin in powder form were evaluated for turbidity removal and disinfection of drinking water. For coagulation, tests were carried out without pH adjustment, the maximum removal of turbidity was observed with cactus powder with an abatement rate of 98.36% against 98.18% for aluminum sulfate, In contrast, For bio-disinfection, the aqueous extract of arbutus was the most effective, with a reduction of 80% against total and faecal coliforms, followed by rosemary with the same abatement rate for faecal coliforms and 78.46% against *Escherichia coli*. While for sulfite-reducing anaerobic spores and revivable germs, these plants promote their proliferation. Overall, the results show a very good potential of natural coagulation at low cost in water treatment.

Keywords: Arbutus, Cactus, Carob, Cistus, Rosemary, Bio coagulation, Bio disinfection, Surface water

ملخص:

يثير استخدام مواد التخثر الاصطناعية في معالجة المياه مخاوف بشأن تأثيرها على صحة الإنسان والبيئة ، ويجب الآن استبدال هذه المواد الكيميائية بمنتجات طبيعية. في هذه الدراسة ، تم تقييم خمسة مواد تخثر طبيعية مشتقة من النباتات في شكل مسحوق لإزالة التعكر وتطهير مياه الشرب. بالنسبة للتخثر ، أجريت الاختبارات دون تعديل الأس الهيدروجيني (pH) ، ولوحظ الحد الأقصى من التعكر مسحوق الصبار بمعدل اختزال قدره 98% ، ومن ناحية أخرى ، للتطهير الحيوي ، كانت المستخلصات المائية لنبات السيسنو وإكليل الجبل هي الأكثر فعالية في التقليل نسبة البكتيريا CF و CT ، بينما ساعدت هذه النباتات على رفع نسبة للجراثيم ASR و

FMAT

الكلمات المفتاحية: أربوتوس ، صبار ، خروب ، قيس ، إكليل الجبل ، تخثر حيوي ، تطهير حيوي ، مياه سطحية