

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOU MAMMARI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Eau et Environnement.

Thème

**Évaluation comparative de phyto-coagulants et
de phyto-floculants pour la réduction de la
turbidité d'une eau de surface : Potentiel et
efficacité de coagulants naturels.**

Présenté par :

BEN YUCEF Messaoud

SEGHIR Chafika

Soutenu le 02 /07/ 2024

Devant le jury composé de :

M	MOUALEK Idir	Président	MCA, UMMTO
Mme	BERROUANE Naoual	Encadrante	MAA, UMMTO
Mme	YAKOUBI Saida	Examinatrice	MAA, UMMTO
M	SADOU Sid Ali	Examineur	MAB, UMMTO

Promotion : 2023/2024

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame BERROUANE Naoual, maitre assistante de classe A à l'Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou. Son orientation perspicace et son soutien indéfectible ont été déterminants pour la réalisation de ce travail. Nous lui sommes également reconnaissants pour la confiance qu'elle nous a témoignée tout au long de ce projet.

Nous adressons nos remerciements les plus chaleureux à Monsieur MOUALEK Idir, maitre de conférences de classe A à l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou pour avoir accepté de présider le jury. Sa disponibilité et son expertise ont grandement enrichi notre démarche académique.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à Madame YAKOUBI Saida, maitre assistante de classe A à l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, et à Monsieur SADOU Sid Ali, maitre assistant de classe B à la même université, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Leurs évaluations et commentaires ont été extrêmement précieux pour affiner et améliorer notre recherche.

Enfin, nous remercions sincèrement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. Leurs soutiens, leurs conseils et leurs encouragements ont été essentiels à notre progression.

Messaoud & Chafika

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en Hommage et à la mémoire de mon grand-père
maternelle*

*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
grand père que dieu t'accueille dans son vaste paradis*

Ainsi

*Qu'à mon père et à ma chère maman pour son amour, son dévouement et son
sacrifice pour nous*

A

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

Ainsi mon cousin Younes AIT TALEB

A

*Mes chers amis par mis eux le Dr AMZAL Farida, B. El Hachimi, B. Mouhamed,
H. Zahir, S. Youva,*

B. Kamal, BELMIHOUB Mehdi, M.Souhila

Sans oublier la promotion Production et Nutrition Animale 2023/2024

A

*Tous les résidents de la chambre C29 de la cité universitaire Ex-Habitat
anciens et nouveaux*

A

*Tous mes camardes au sein du Rassemblement pour la Culture et la Démocratie
(RCD)*

Ainsi qu'à tous les Martyres de la Démocratie

Pikou...

Dédicaces

Je dédie le travail à Mes chers parents, pour qui aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leurs sacrifices, que dieu leurs procure santé et longue vie,

Ma sœur, mes frères et mes amies,

Mon binôme, MESSAOUD, pour qui sans lui se travailler n'existerais pas,

Ainsi

Tous ceux qu'il y'ont participé de près ou de loin à ce travaille

Chafika...

Table des matières

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

Chapitre I : Coagulation-floculation

I.1. Introduction	3
I.2. Etat des particules présentes dans l'eau	3
I.3. Mécanisme de coagulation-floculation	5
I.3.1. Coagulation	6
I.3.1.1. Mécanisme de coagulation	7
I.3.2. Floculation	8
I.3.2.1. Mécanisme de floculation	9
I.3.2.2. Choix du floculant	9
I.4. Facteurs influençant le procédé de coagulation floculation	9
I.4.1. Effet du pH	9
I.4.2. Dose du coagulant	10
I.4.3. Type de coagulant	11
I.4.4. Température	11
I.4.5. Turbidité initiale	12
I.4.6. Vitesse de coagulation et floculation	13
I.4.7. Temps de coagulation et floculation	13
I.4.8. Temps de décantation	13
I.4.9. Particules colloïdales	14
I.4.10. Potentiel Zeta	14
I.4.11. Densité de l'extrait	15
I.4.12. Acides humiques	15

Chapitre II : Généralités sur la phyto-coagulation

II.1. Introduction	17
II.2. Les types de coagulants	17
II.2.1. Coagulant inorganique (chimique)	18

II.2.1.1. Sels d'aluminium	18
II.2.1.2 Sels de fer	19
II.2.2. Coagulants organique	20
II.3. Impacts des coagulants chimiques	21
II.3.1. Toxicité et risque potentiel pour la santé	21
II.3.2. Pollution environnementale	22
II.4. Avantages de coagulation naturels	22
II.4.1. Technologie respectueuse de l'environnement	23
II.4.2. Performances fiables	24
II.4.3. Réduction des déchets et l'utilisation des ressources locales	24
II.4.4. Applicables dans les zones éloignées	25
II.4.5. Réduction de la génération de boues	25
II.4.6. Potentiel d'utilisation des boues produites	25
II.5. Aperçu sur les plantes d'intérêts	26
II.5.1. Peau de <i>Musa acuminata</i>	26
II.5.2. <i>Quercus canariensis</i>	27
II.5.3. <i>Umbilicus rupestris</i>	28
II.5.4. <i>Cynara cardunculus</i>	29
II.5.5. <i>Taraxacum officinale</i> (Pissenlit).....	30
II.5.6. <i>Vitis vinifera</i> (Vigne)	31
II.5.7. <i>Thuja occidentalis</i> (Thuya).....	32

Chapitre III : Matériel et Méthodes

III.1. Objectif d'étude :	33
III.2. Zone et durée d'étude	33
III.3. Protocole d'expérimentale.....	35
III.3.1. Matériel et produits utilisés	35
III.3.2. Matériel végétal utilisé.....	35
III.4. Préparation et conservation du matériel végétal	35
III.4.1. Peau de <i>Musa acuminata</i>	36
III.4.2. Péricarpe du fruit de <i>Quercus canariensis</i>	36
III.4.3. Feuilles du <i>Umbilicus rupestris</i>	37
III.4.4. Feuilles de <i>Cynara cardunculus</i>	38

III.4.5. Feuilles du <i>Taraxacum officinale</i>	38
III.4.6. Feuilles de <i>Vitis vinifera</i>	39
III.4.7. Feuilles de <i>Thuja occidentalis</i>	39
III.5. Optimisation du traitement des eaux par Jar Test (protocole et applications)	40

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Caractéristiques de l'eau étudiée	43
IV.2. Phyto-coagulation et phyto-floculation.....	43
IV.2.1. Détermination de la dose optimale des coagulants	43
IV.3. Etude du pH	51
IV.4. Taux d'abattement de la turbidité	52
IV.5. Etude de la combinaison phyto-coagulant et coagulant chimique de référence (sulfate d'aluminium)	53
IV.5.1. Combinaison poudre de peau de <i>Musa acuminata</i> et sulfate d'aluminium.....	54
IV.5.2. Combinaison poudre de cosses de <i>Vicia faba</i> et sulfate d'aluminium	55
IV.5.3. Combinaison poudre des feuilles du <i>Robinia pseudoacacia</i> et sulfate d'aluminium.....	56
IV.5.4. Combinaison poudre des feuilles du <i>Morus alba</i> et sulfate d'aluminium.....	57
IV.6. Etude du pH	58
IV.7. Discussion	59

Conclusion et perspectives.....	68
---------------------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

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

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

AlCl_3 : Chlorure d'aluminium

$\text{Al}(\text{OH})_3$: Hydroxyde d'aluminium

$\text{Fe}(\text{OH})_3$: Hydroxyde de fer (III)

AlO_2Na : Aluminate de sodium

FeClSO_4 : Chlorosulfate ferrique

FeSO_4 : Sulfate ferreux

CuSO_4 : Sulfate de cuivre pentahydraté

OH^- : Ion hydroxyde

Al^{3+} : Ion aluminium

NaAlO_2 : Aluminate de sodium

H_2S : Le sulfure d'hydrogène

MES : Matière en suspension

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation mondiale de la santé

JORAD : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique

$\mu\text{S}/\text{cm}$: Micro Siemens par centimètre

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en oxygène

$\text{Al}(\text{OH})_3$: Hydroxyde d'aluminium

Alun : Sulfate d'aluminium

rpm : Tours par minutes

THM : Trichlorométhane

ADN : Acide désoxyribonucléique

av. J.-C : Avant Jésus Christ

Liste des figures

Figure 1 : Diamètres des particules présentes dans l'eau	4
Figure 2 : la charge électrique des colloïdes	5
Figure 3 : Processus de coagulation-floculation	6
Figure 4 : Stabilisation des colloïdes	8
Figure 5 : Mécanisme de la floculation.	9
Figure 6 : Phase du processus de la coagulation.....	11
Figure 7 : Nombre de publications de recherche sur les coagulants naturels dans le traitement des eaux.....	21
Figure 8 : Avantages de l'utilisation des phyto-coagulants dans le traitement de l'eau potable.....	23
Figure 9 : Lieu d'échantillonnage.....	33
Figure 10 : Zone de prélèvement -Aperçu satellitaire (36,5446044/4,2892670).....	34
Figure 11 : Phyto-coagulant à base de peau de Banane	36
Figure 12 : Phyto-coagulant à base des péricarpes des glands de chêne	37
Figure 13 : Phyto-coagulant à base des Feuilles de Nombri de venus	37
Figure 14 : Phyto-coagulant à base des Feuilles de Cardon.....	38
Figure 15 : Phyto-coagulant à base des Feuilles du Pissenlit	39
Figure 16 : Phyto-coagulant à base des feuilles de vigne.....	39
Figure 17 : Phyto-coagulant à base des feuilles de thuya	40
Figure 18 : Préparation du coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium.....	41
Figure 19 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de peau de banane	44
Figure 20 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de pissenlit	44
Figure 21 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de nombril de venus	45
Figure 22 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base péricarpe du fruit de <i>Quercus canariensis</i> (glands de chêne)	46
Figure 23 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de cardon	47
Figure 24 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de vigne	48
Figure 25 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de thuya	49

Figure 26 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium.....	50
Figure 27 : Taux d'abattement de la turbidité avec les différents coagulants organique et chimique...	53
Figure 28 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de peau de banane et de coagulant chimique à base sulfate d'aluminium	54
Figure 29 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de gousses de fève et de coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium	55
Figure 30 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à bases de feuilles de robinier et de coagulant chimique à base sulfate d'aluminium	56
Figure 31 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base des feuilles du murier coagulant chimique à base sulfate d'aluminium.....	57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Etat des particules présentes dans l'eau (Projet IRE. 2004).....	3
Tableau 2 : Coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux.	18
Tableau 3 : Classification taxonomique de <i>Musa acuminata</i>	27
Tableau 4 : Classification APG III de <i>Quercus canariensis</i>	28
Tableau 5 : Classification taxonomique du <i>Umbilicus rupestris</i>	29
Tableau 6 : Classification APG III de <i>Cynara cardunculus</i>	30
Tableau 7 : Classification APG III de <i>Taraxacum officinale</i>	31
Tableau 8 : Classification APG III des feuilles de <i>Vitis vinifera</i>	31
Tableau 9 : Classification taxonomique de <i>Thuja occidentalis</i>	32
Tableau 10 : Caractéristiques de l'eau étudiée	43
Tableau 11 : Variation du pH selon les différents coagulants	51
Tableau 12 : Variation du pH selon les différentes combinaisons de phyto-coagulant avec le coagulant chimique.....	58

Introduction

Introduction

Les méthodes traditionnelles de traitement de l'eau, telles que la coagulation chimique, ont prouvé leur efficacité pour éliminer les impuretés et améliorer la qualité de l'eau. La coagulation chimique implique l'ajout de coagulants, comme le sulfate d'aluminium (alun) ou le chlorure ferrique, qui provoquent l'agrégation des particules en suspension, facilitant ainsi leur élimination par sédimentation ou filtration (Nouhi, S et al, 2019). Cependant, ces méthodes présentent des inconvénients significatifs. Les coûts élevés des produits chimiques nécessaires peuvent représenter une charge financière importante, en particulier pour les pays en développement. De plus, l'utilisation de coagulants chimiques génère des quantités substantielles de boues, qui nécessitent un traitement et une élimination appropriés, posant ainsi des défis logistiques et environnementaux. Les boues résiduelles peuvent contenir des substances toxiques, augmentant les risques de pollution du sol et des eaux souterraines si elles ne sont pas correctement gérées. En outre, l'impact environnemental lié à la production et au transport des coagulants chimiques, ainsi que les risques de contamination résiduelle de l'eau traitée par des produits chimiques, soulèvent des préoccupations écologiques majeures (Kurniawan et al, 2020).

L'utilisation prolongée de coagulants chimiques peut également avoir des effets néfastes sur la santé humaine. Par exemple, l'exposition à long terme à l'aluminium dans l'eau potable a été associée à des troubles neurologiques, tels que la maladie d'Alzheimer, et à d'autres problèmes de santé, y compris des perturbations gastro-intestinales et des risques accrus de certains cancers (Kapsear Samadderb, 2021, Chaba, C, et al 2022,). Le chlore, bien qu'efficace pour désinfecter l'eau, peut également avoir des conséquences sur la santé et l'environnement, avec des effets potentiels sur le système immunitaire, le sang, le cœur et le système respiratoire (lenntech, 2024).

Pour répondre à ces défis, la recherche de solutions alternatives et durables est essentielle. Les phyto-coagulants, des coagulants naturels dérivés de plantes, offrent une alternative prometteuse et écologique aux coagulants chimiques traditionnels. Des plantes comme le *Moringa oleifera*, le cactus (*Opuntia*), et d'autres espèces végétales ont montré des capacités coagulantes notables dans des études préliminaires (Ndabigengesere & Narasiah, 1998, Miller et al, 2008). Ces phyto-coagulants sont non toxiques, biodégradables et souvent disponibles localement, ce qui les rend particulièrement intéressants pour les pays en développement et les régions éloignées (Kawamura, S, 1991, Ali et al, 2010).

Introduction

Malgré les avantages potentiels des phyto-coagulants, leur utilisation à grande échelle restait limitée en raison d'un manque de données systématiques et comparatives sur leur efficacité par rapport aux coagulants chimiques (Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín, 2009). Les recherches menées jusqu'à présent ont principalement porté sur des études de laboratoire ou des applications à petite échelle, avec des résultats prometteurs mais souvent fragmentaires. Il est donc crucial d'évaluer de manière rigoureuse les performances des phyto-coagulants dans différentes conditions de traitement de l'eau.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'efficacité des phyto-coagulants dans le traitement de l'eau, en comparaison avec les coagulants chimiques traditionnels. Les objectifs spécifiques incluent : identifier et sélectionner des plantes ayant des propriétés coagulantes prometteuses ; préparer et caractériser les extraits de phyto-coagulants ; évaluer l'efficacité des phyto-coagulants dans la réduction de la turbidité et des impuretés de l'eau ; comparer les performances des phyto-coagulants avec celles des coagulants chimiques ; et analyser les avantages écologiques et économiques des phyto-coagulants par rapport aux méthodes traditionnelles.

Pour atteindre ces objectifs, une approche expérimentale a été adoptée. Les étapes clés incluent la sélection de plantes, la préparation des extraits de plantes par des méthodes standardisées, la réalisation de tests de coagulation (jar tests) pour évaluer l'efficacité des extraits, la comparaison des résultats obtenus avec ceux des coagulants chimiques couramment utilisés, et l'analyse des données pour déterminer les conditions optimales d'utilisation des phyto-coagulants. Cette étude contribue à la connaissance des phyto-coagulants et à leur potentiel en tant qu'alternative durable pour le traitement de l'eau, répondant ainsi aux besoins urgents de solutions écologiques et efficaces pour la gestion de l'eau.

Notre travail est composé de deux parties principales. La première partie est dédiée à la recherche bibliographique, composée de deux chapitres : le premier chapitre traite des généralités sur le procédé clé du processus de potabilisation qu'est la coagulation-floculation ; le deuxième chapitre s'intéresse à la biotechnologie de traitement des eaux par des phyto-coagulants naturels. La seconde partie est dédiée à l'expérimentation et est divisée en deux chapitres : le premier est consacré à la description du matériel utilisé et à la méthodologie suivie ; le deuxième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus, discutés et interprétés. Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion.

Chapitre I :

Coagulation-floculation

I.1. Introduction

La coagulation et la floculation sont des méthodes largement employées dans le domaine de traitement de l'eau pour éliminer les particules en suspension.

Les coagulants inorganiques à base d'aluminium ou de fer sont actuellement les plus couramment employés dans les stations de traitement d'eau potable en Algérie et dans de nombreux pays du monde (A. Matilainen et al 2005, A. Benalia et K. Derbal, 2013). Ils sont utilisés pour éliminer les substances en suspension et colloïdales, diminuer la turbidité, éliminer la couleur et certains microorganismes. On peut obtenir un précipité appelé floc ($\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$) à pH neutre ou acide en ajoutant des coagulants, qui sont des sels métalliques trivalents (Al_2SO_4 ou FeCl_3) dans l'eau brute (R. Desjardins, 1997). Les floes formés seraient utilisés pour capter les particules négatives et faciliter leur séparation lors de la phase de prise (C. Desjardins, 1999).

I.2. Etat des particules présentes dans l'eau

Les matières présentes dans l'eau peuvent être classées en trois états en fonction de la taille des particules : dissous, colloïdal, et solides décantables (tableau 1 et figure 1).

Tableau 1 : Etat des particules présentes dans l'eau (Projet IRE. 2004)

Etat	Diamètre des particules (micromètre)	Exemple
Dissous	< 0,001	Solution de sels dissous
Colloïdal	0,001 à 1	Oxydes et hydroxydes Argile Huiles et graisses Bactéries
Solides décantables	> 1	Limon Sable Pollen

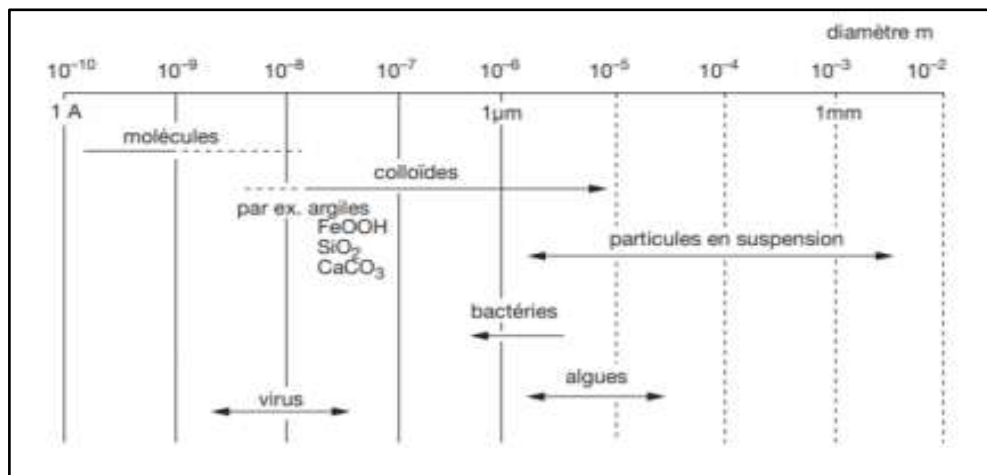


Figure 1 : Diamètres des particules présentes dans l'eau (Particules En Suspension Et Colloïdes QE, 2024)

Cette classification est essentielle pour choisir les méthodes de traitement de l'eau adaptées, comme la coagulation et la filtration pour les colloïdes, ou la décantation pour les solides plus gros, afin d'assurer une eau potable de haute qualité.

- **Matières dissoutes :** avec des particules de moins de 0,001 micromètre, comprennent des solutions de sels inorganiques et des petites quantités de matières organiques qui sont dissoutes dans l'eau et forment des solutions homogènes invisibles à l'œil nu. Habituellement, ils apparaissent soit sous forme de cations ou d'anions, (Alen, 2016). Une fraction de matière organique se trouvant également en solution. Des gaz tels que O_2 , CO_2 , H_2S , sont également présents (Hadji, L et Berbah, K 2017).
- **Etat colloïdales** Les particules à l'état colloïdal dont le diamètre varie entre 0,001 et 1 micromètre, restent en suspension et incluent des oxydes, hydroxydes, argile, huiles, graisses, et bactéries. Ils possèdent deux caractéristiques extrêmement significatives. La relation entre leur surface et leur volume leur donne des caractéristiques d'adsorption des ions présents dans l'eau. La présence de charges électriques à leur surface est en partie due à ce phénomène (figure 2). Souvent négatives, ces charges créent des forces de répulsion entre les colloïdales [Kurniawan, S et al 2020, Slimani, D et Soufi, D 2021).

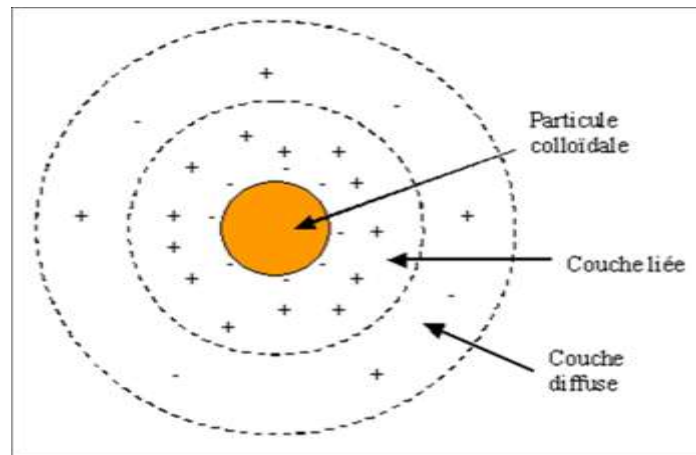


Figure 2 : la charge électrique des colloïdes (Lyde, A et al 2022)

- **Solides décantables :** Ces particules, d'une taille supérieure à 1 micromètre, se trouvent dans les eaux naturelles ou polluées. Elles peuvent être d'origine minérale ou organique. En raison de leur taille et de leur densité, ces particules ont tendance à se déposer naturellement au fond de l'eau sous l'effet de la gravité. Cette catégorie englobe divers éléments tels que le limon, le sable et le pollen. Leur sédimentation naturelle facilite souvent leur élimination dans les processus de traitement de l'eau, notamment par décantation.

I.3. Mécanisme de coagulation-floculation

La coagulation-floculation est une technique qui repose sur l'ajout de coagulants et de floculants qui neutralisent les charges des particules colloïdales, favorisant leur agglomération en floccs plus volumineux, facilitant ainsi leur séparation par sédimentation ou filtration (Miller & Fugate, 2010). Le processus de coagulation-floculation s'appuie sur trois mécanismes principaux (Ndabigengesere & Narasiah, 1998) :

- La neutralisation de charge : les coagulants réduisent les forces de répulsion électrostatiques entre les particules, facilitant leur agrégation ;
- Le balayage : les particules sont incorporées dans un réseau de précipité formé par les coagulants ;
- Le pontage de polymères : des chaînes de polymères relient les particules entre elles pour former des floccs plus importants.

Ce procédé physique permet d'éliminer une large gamme de polluants présents dans les effluents, notamment :

- Les particules inertes ou vivantes ;
- Les fractions floculables des matières organiques ;
- Certains métaux lourds ;
- Les micropolluants liés aux matières en suspension (MES) ;
- Les macromolécules colloïdales.

Une fois les floes formés, leur séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration (figure 3). Cette méthode de traitement s'avère efficace pour réduire significativement la charge polluante des eaux, contribuant ainsi à l'amélioration de leur qualité globale (Hadji, L et Berbah, K 2017).

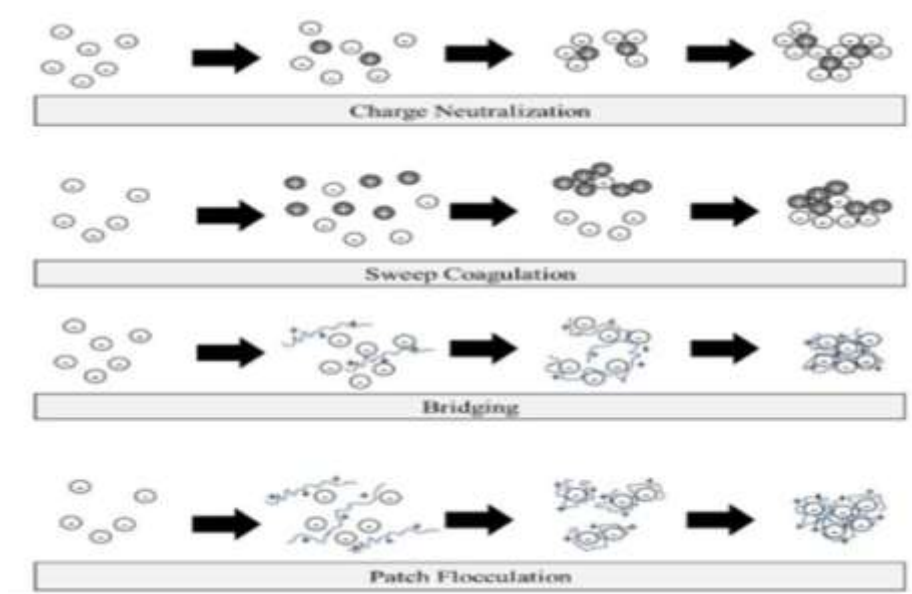


Figure 3 : Processus de coagulation-floculation (Kurniawan, S et al 2020).

I.3.1. Coagulation

La coagulation vient du latin *coagulare* qui signifie « agglomérer ». En tant que processus unitaire du traitement de l'eau (Ali, M et al 2019).

Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension, on dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation implique de déstabiliser des particules en suspension en neutralisant leurs charges négatives. Elle implique l'utilisation de réactifs chimiques appelés

coagulants. Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau, le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût [21]. Le type de coagulant et la dose ont une influence sur (Chennafi, BA et Douadi,A 2021) :

- Compression de la double couche ;
- Adsorption et neutralisation des charges ;
- Emprisonnement des particules dans un précipité ;
- Adsorption et pontage.

I.3.1.1. Mécanisme de coagulation

La stabilité des particules en suspension, et par conséquent leur instabilité, est gouvernée par l'équilibre entre différentes forces attractives et répulsives. Parmi ces forces, on trouve (Slimani, D et Soufi, D 2021) :

- **Forces d'attraction de Van der Waals** : Ces forces, de nature intermoléculaire, attirent les particules les unes vers les autres ;
- **Forces de répulsion électrostatiques** : Les particules en suspension, souvent chargées négativement, se repoussent mutuellement due à des charges électriques similaires ;
- **Attraction universelle** : La force de gravitation, bien que faible à l'échelle colloïdale, joue un rôle dans l'agrégation des particules ;
- **Mouvement brownien** : Ce mouvement aléatoire des particules, dû aux collisions avec les molécules du milieu environnant, peut favoriser leur rencontre et leur coagulation.

Pour déstabiliser une suspension colloïdale, le processus de coagulation agit en neutralisant les charges et en utilisant des mécanismes de pontage, comme illustré par les interactions montrées dans la figure 4. Il a été observé que, dans le domaine de la coagulation, la charge cationique des coagulants joue un rôle crucial, surpassant même l'importance du poids moléculaire. La capacité d'un coagulant à neutraliser efficacement les charges superficielles des colloïdes en suspension dépend principalement de sa charge cationique [Chaba, C et Seghilami, C, 2022]. Cette neutralisation est essentielle pour déstabiliser les colloïdes et favoriser leur agrégation en floccs plus gros, facilitant ainsi leur élimination de l'eau (Slimani, D et Soufi, D. 2021).

Les coagulants couramment employés sont des sels métalliques tels que le sulfate d'aluminium

($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) et le chlorure ferrique (FeCl_3) (Bratby, 2006).

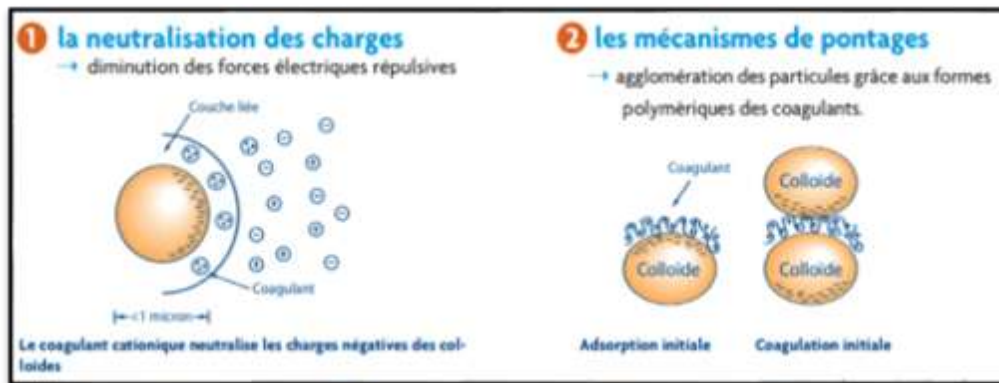


Figure 4 : Stabilisation des colloïdes (Slimani, D et Soufi, D. 2021)

I.3.1.2. 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. Il est nécessaire de prendre en considération plusieurs paramètres lors de la sélection du coagulant, tels que [Amirou, Y et Khoumri, Y 2022] :

- Température de l'eau ;
- Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique) ;
- Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité, couleur ou matières organiques, etc...) ;
- Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...) ;
- Coût du produit ;
- Choix imposé ou "considération esthétique".

I.3.2. 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 (Chaba, C et Seghilami, C, 2022). Les particules déstabilisées sont d'origine très différente et dépendent principalement de la source de l'eau à traiter. Elles peuvent provenir d'une phase préliminaire de coagulation. Le floculant apportera une charge positive (+) ou négative (-) en fonction du type de particules déstabilisées présentes dans l'eau. En général, elle peut se présenter comme suit (Slimani, D et Soufi, D. 2021) :

- Plus ou moins anionique pour les particules minérales ;
- Plus ou moins cationique pour les particules organiques.

I.3.2.1. Mécanisme de floculation

Les flocculants 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. Cette étape de formation des floccs est appelée floculation (figure 5). Il existe principalement des liaisons ioniques et des liaisons hydrogènes entre les particules et le flocculant (Kawamura, S,1991).

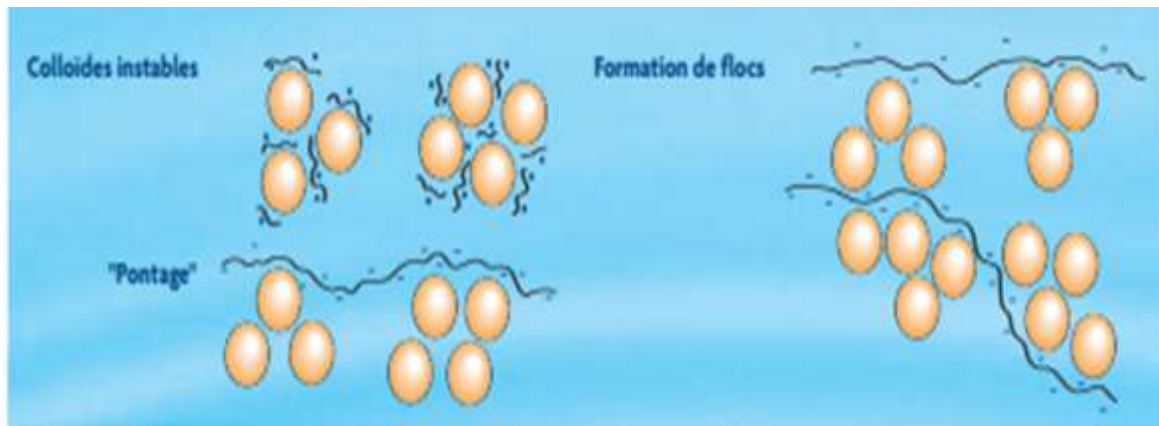


Figure 5 : Mécanisme de la floculation (Chaba,C et Seghilami,C, 2022).

I.3.2.2. Choix du flocculant

I.4. Facteurs influençant le procédé de coagulation floculation

Plusieurs paramètres influençant le procédé de coagulation floculation à savoir :

Le pH, la dose du coagulant, le type du coagulant, la température, la turbidité initiale, particules colloïdales, le temps de coagulation, le temps de floculation, la vitesse de coagulation et floculation, le temps de décantation, le potentiel Zeta, la densité de l'extrait et les acides humiques (Alen, S, 2016).

I.4.1. Effet du pH

Le pH est un paramètre très important pour le fonctionnement optimal de tel coagulant minéral ou naturel, donc la détermination de la valeur optimale de ce paramètre est nécessaire (H. Zheng et al 2011, B. K. Dwarapureddi et V. Saritha 2016). Plusieurs chercheurs ont confirmé l'effet du pH sur l'amélioration du procédé de coagulation utilisant différents types de coagulants organiques (*Moringa oleifera* (F.P. Camacho et al 2017), *Acorn* (A. Benalia 2019), *Fava bean* (B.S. Marina 2015)....), et minérales (sulfate d'aluminium (A. Benalia, K. Derbal 2015), chlorure ferrique (D. Heredia et T. Gonza 2005), sulfate de ferrique (A. Matilainen 2005), chlorure de poly aluminium (J. Tie et al, 2015)....

I.4.2. Dose du coagulant

Dans le processus de phyto-coagulation, le dosage du coagulant joue un rôle crucial car son efficacité repose sur l'interaction entre l'agent coagulant et les particules colloïdales présentes dans l'eau (C. Desjardins et al 2002. S. Mohd-Asharuddin et al, 2018).

L'addition de coagulant a provoqué la diminution de la turbidité et d'autres paramètres de l'eau à savoir les MES et la demande chimique en oxygène (DCO), Cela peut être expliqué du fait que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes chargés négativement présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre les colloïdes. En utilisant une quantité excessive de coagulant, les particules colloïdales se réstabilisent et les ponts inter-particulaires ne se forment pas, ce qui entraîne une eau très chargée avec une mauvaise clarification. Cela s'explique par la concentration accrue du coagulant dans l'eau. Il est possible d'accorder une priorité au mécanisme de neutralisation des charges par rapport aux autres mécanismes de manière à ce qu'à partir d'une dose spécifique (dose optimale), toutes les charges des particules soient neutralisées. Dans cette situation, l'emploi de quantités de coagulants supérieures à la dose optimale entraînera une diminution des charges des particules, ce qui entraînera une augmentation de la turbidité [Chennafi, BA et Douadi, A, 2021).

La figure 6, présente l'explication de ce phénomène.

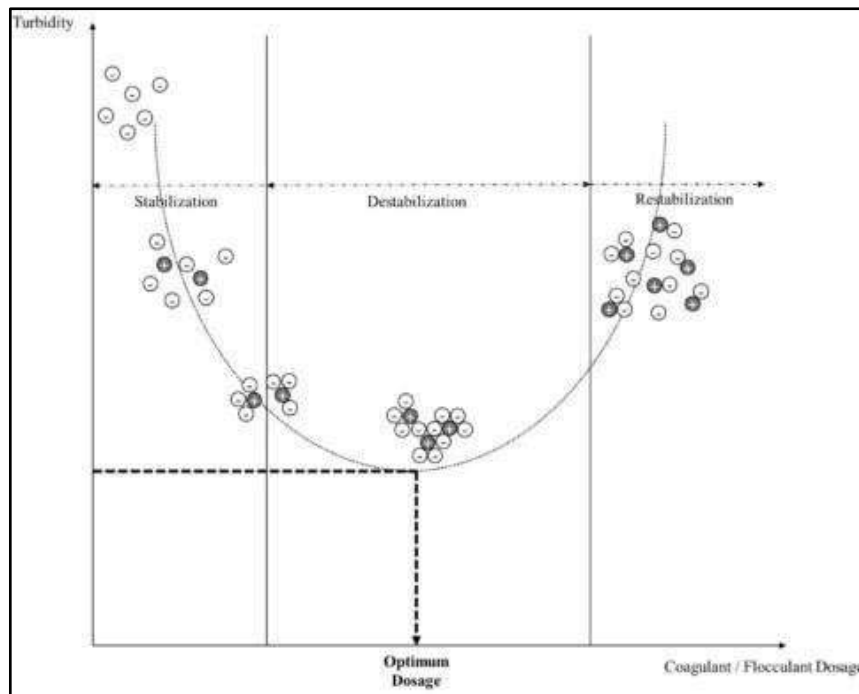


Figure 6 : Phase du processus de la coagulation (Kurniawan et al 2020).

Les minéraux coagulants, généralement très acides, ont tendance à diminuer le pH de l'eau. Au laboratoire, la concentration idéale du coagulant a été établie en utilisant la technique expérimentale du jar test (A. Benalia, 2015).

I.4.3. Type de coagulant

Lors de la séparation d'un mélange liquide/solide par le procédé de coagulation- floculation, le choix du coagulant est très large et très important, son influence est grande sur les procédés de séparations utilisées (filtration, décantation, flottation) et pour minimiser le volume des boues produites. Des coagulants organiques et inorganiques sont disponibles. La connaissance de leurs structures et des mécanismes d'interaction avec les minéraux sont nécessaires afin d'optimiser les procédés nécessaires (R. Desjardins, 1997).

I.4.4. Température

Dans le processus de coagulation floculation, la température joue un rôle crucial (F. Xiao et al 2009. I.G. Ezemagu 2021). Une température basse entraîne une augmentation de la viscosité de l'eau, ce qui ralentit la décantation des floes avec une faible solubilité des coagulants (L.S. Kang et J.L. Cleasby 1995). D'après Feng et ses collègues, la température basse a eu un impact négatif important sur la capacité d'agglomération des floes (Alen, S, 2016).

D'autres études ont été effectuées sur l'effet de la température sur la plage du pH optimal, c'est-à-dire qu'avec l'augmentation de la température, le pH de coagulation devrait être légèrement augmenté. Ceci est également lié à la stœchiométrie de la coagulation, qui est également influencé par la température. Les résultats obtenus par Guan et al, montrent que le rendement d'élimination de la turbidité a été améliorée en augmentant la température de l'eau dans la gamme de pH de 6 à 9, où la réduction maximale de la turbidité était de 66,20% et 76,06% pour les températures 10 C° et 18 C°, respectivement. La diminution de la température ralentit la vitesse des réactions chimiques, selon la loi d'Arrhenius entre la température et la constante de vitesse K (D. Guan et al, 2011):

$$K = Ae^{Ea/RT} \quad (1.1)$$

Où

A : facteur de fréquence ou facteur pré exponentiel

Ea : énergie d'activation (Joule)

R : constante des gaz parfaits (Joule/mol.k)

T : température (k)

I.4.5. Turbidité initiale

L'efficacité du processus de coagulation-floculation est significativement influencée par la turbidité. En effet, plus la concentration en particules colloïdales est élevée, plus la dose de coagulant nécessaire pour les déstabiliser et les agréger sera importante (T. Nkurunziza et al, 2009. A. Benalia et K. Derbal 2015).

Par ailleurs, il a été observé qu'une turbidité initiale élevée a un effet positif sur l'efficacité de la coagulation. Cela s'explique par le fait que la présence d'un plus grand nombre de particules favorise les collisions entre elles, augmentant ainsi la probabilité de formation de floes. En revanche, l'eau à faible turbidité présente des défis en matière de coagulation en raison de la faible concentration de particules stables. Dans de tels cas, il est parfois nécessaire d'augmenter artificiellement la turbidité de l'eau, en ajoutant des argiles par exemple. Cette addition permet de créer des "grumeaux" plus lourds qui facilitent la coagulation et la décantation des particules (S.A. Muyibi et L.M. Evison 1995).

Plusieurs études ont été effectuées sur l'effet de la turbidité initiale de l'eau sur le fonctionnement de la coagulation, à titre exemple, Odiyo et al ont trouvé que la plus rendement

de coagulation a été observée dans les eaux de fortes charges initiales (380 NTU) avec une pourcentage d'élimination de 71 %, l'activité de la coagulation a été diminuée avec la diminution de la turbidité initiale (65 NTU), dans ces cas la réduction maximale en turbidité été de 34,3 % (J.O. Odiyo, 2017).

Une autre expérience a été menée par Nkurunziza et al. Il a été observé que le *Moriga oleifera* n'est pas un bon coagulant pour l'eau brute à faible turbidité (50 NTU) par rapport à une turbidité élevée (450 NTU), notant que l'élimination de la turbidité obtenue était de 88,06 % et 99,80 % pour 50 NTU et 450 NTU, respectivement. Les dosages optimaux étaient de 150 mg/L pour 50 NTU et de 125 mg/L pour 450 NTU, ce qui indique que le dosage optimal diminue lorsque le niveau de la turbidité augmente (T. Nkurunziza et al, 2009).

I.4.6. Vitesse de coagulation et floculation

La vitesse de coagulation joue un rôle essentiel dans l'élimination des polluants des eaux lors du processus de coagulation-floculation (H. Zheng, 2011). Une fois que le coagulant est ajouté à l'eau à traiter, une agitation rapide est effectuée afin de disperser le coagulant et d'homogénéiser la solution finale (eau – coagulant) (S.A. Muyibi et L.M. Evison 1995). Mais une agitation intense empêche l'agrégation des particules, tandis qu'une agitation prolongée, permet l'effraction des liaisons entre coagulant et la surface des particules colloïdales, et le rabattement ultérieur des segments étendus sur la surface des particules.

Dans les expériences réalisées par Zheng et al, les effets de la vitesse d'agitation entre 50-600 rpm sur le rendement d'élimination de la turbidité et de la DCO ont été effectués, dans cette étude, à 100 rpm d'agitation l'efficacité d'élimination était de 99,5 % et 73,5 % pour la turbidité et la DCO respectivement (H. Zheng et al, 2011).

Le mélange lent joue un rôle essentiel dans le processus de floculation afin d'obtenir les meilleures performances. Dans leur recherche, Muyibi et ses collègues ont examiné l'impact de la vitesse de floculation. Dans cette étude, on a observé un gradient optimal de vitesse de mélange lent de 20 rpm et 40 rpm pour les eaux à faible et forte turbidité, respectivement (S.A. Muyibi et L.M. Evison 1995).

I.4.7. Temps de coagulation et floculation

Lors du processus de coagulation floculation, un temps adéquat doit être fourni pour permettre la formation des particules de taille suffisamment grandes pour permettre leurs éliminations efficaces dans le processus de décantation. Le temps de formation des floccs (temps de

floculation) est l'un des paramètres de fonctionnement très préoccupants pour toute station de traitement (V. Saritha et al 2017).

De nombreux scientifiques ont examiné l'impact du temps de coagulation et de floculation sur la capacité d'élimination de la turbidité [K. Zhu et al 2004. I.G. Ezemagu et al 2021). Selon Mhaisalker et al., on observe que le temps de mélange rapide (temps de coagulation) augmente avec la turbidité de l'eau brute.

I.4.8. Temps de décantation

Dans des conditions opératoires optimisées, à savoir le pH et le dosage du coagulant, l'effet du temps de décantation sur les performances de coagulation-floculation a été analysé. Le moment auquel le niveau de turbidité et/ou MES devient stagnant ou minimal est considéré comme le temps de décantation optimal (H. Padhiyar et al 2020).

Selon l'étude menée par Bhatia et ses collègues, il a été démontré que le temps de décantation (30-150 minutes) a un impact sur le rendement de la coagulation en utilisant *Moringa oleifera* comme coagulant principal. Dans cette étude, le pourcentage d'élimination des matières en suspension a été de 90,09 % pendant 114 minutes (S. Bhatia et al 2005). Dans une autre étude, le temps de décantation optimal a été sélectionné en fonction de la combinaison eaux usées-coagulant et de la turbidité résiduelle minimale obtenue au dosage optimisé. L'effet de la sédimentation sur la turbidité résiduelle a été étudié sur une plage de 30 à 360 minutes. Les temps de décantation optimisés pour la réduction de la turbidité ont été observés à 240, 60 et 120 min pour les combinaisons : eaux usées riche en colorant - *Moringa oleifera*, eaux usées riche en amidon - *Moringa oleifera* et eaux usées d'une industrie textile- *Moringa oleifera* respectivement (H. Padhiyar et al 2020).

I.4.9. Particules colloïdales

D'un point de vue dimensionnel, il existe un seuil approprié pour la coagulation. Pour les particules de taille inférieure à 1 micron, les forces de surface deviennent dominantes par rapport aux forces de masse. Dans ces conditions, un état de dispersion stable existe en raison de l'effet combiné du mouvement brownien (I.G. Ezemagu et al 2021). De même, il s'avère que le nombre des charges électriques des particules colloïdales a un effet important sur le procédé de coagulation. Ce processus est très difficile lorsque la concentration de colloïde est faible car le taux de contact interarticulaire peut être réduit (A. Benalia et K. Derbal 2015).

La distribution de la taille des particules peut être extrêmement bénéfique pour élaborer un

système de traitement par filtration adapté pour traiter plus efficacement le lisier de porc après les étapes de coagulation/floculation et de décantation (K. Zhu et al 2004).

I.4.10. Potentiel Zeta

La charge de surface totale de toutes les particules et colloïdes présentes dans l'eau est mesurée par le potentiel zêta (M. Holmes et al 2015). Ce potentiel atteint son maximum à la surface de la particule et diminue en s'éloignant de la surface, cette baisse étant influencée par la nature de la couche diffuse, le nombre et le type d'ions présents dans la solution (E.A. López-Maldonado et al 2014, Lyde .A et al 2022).

Le potentiel Zêta est défini par l'équation :

$$\eta = 4\pi\mu U / D \quad (1.2)$$

μ : viscosité dynamique du liquide ($\text{Kg.m}^{-1}\text{s}^{-1}$) ;

D : constante diélectrique du milieu ;

U : mobilité de la particule (m/s).

Selon Jefferson et al. La plupart des particules colloïdales dans les eaux naturelles sont chargées négativement et possèdent un potentiel zêta compris entre -14 et -30 mV. Ces charges de surface donnent lieu à des forces répulsives qui empêchent l'agrégation et donnent lieu à un système stable (B. Jefferson et al 2004).

I.4.11. Densité de l'extrait

La densité de l'extrait coagulant joue un rôle crucial dans l'efficacité du processus de coagulation. La recherche sur les coagulants naturels s'est intensifiée, avec des études explorant comment ajuster les propriétés physiques et chimiques des extraits pour optimiser leur performance.

L'étude de Hussain et al a met en lumière l'influence déterminante de la densité de l'extrait sur l'activité coagulante. Leurs résultats indiquent que la densité optimale se situe à $1,8 \text{ g/cm}^3$, permettant d'atteindre une activité coagulante remarquable de 78 et 82 % pour des turbidités initiales de 67 et 75 %, respectivement. Cette relation positive entre la densité de l'extrait et l'activité coagulante s'explique par l'augmentation de la concentration en substances actives

dans l'extrait à mesure que la densité s'élève de 1,2 à 1,8 g/cm³. Ces substances actives, responsables de la déstabilisation et de l'agrégation des particules en suspension, sont maximisées à la densité optimale, conduisant à une efficacité de coagulation optimale. Cependant, au-delà de 1,8 g/cm³, un phénomène inverse s'observe : l'activité coagulante de l'extrait décline. Cette diminution pourrait s'expliquer par une contribution de l'extrait de pin noir lui-même à la turbidité, contrecarrant l'effet des substances actives et réduisant finalement le rendement de la coagulation (S. Hussain et al 2019).

I.4.12. Acides humiques

L'influence des acides humiques sur le processus de coagulation est un sujet de recherche majeur, particulièrement en raison de leur impact sur la formation de trichlorométhane (THM) lors de la désinfection par chloration (M. Fooladvand et al 2011).

Des études, notamment celle de Bahman Ramavandi, ont démontré l'effet modulateur des acides humiques sur l'élimination de la turbidité par coagulation à l'aide de coagulants organiques tels que *Plantago ovata*. Les résultats de ces recherches indiquent que la présence de faibles concentrations d'acides humiques (0,5 et 1 mg/L) améliore légèrement l'élimination de la turbidité initiale (100 et 300 NTU). Cependant, des concentrations plus élevées d'acides humiques (41 mg/L) entraînent la formation de floccs volumineux, augmentant ainsi la turbidité résiduelle après traitement (B. Ramavandi 2014).

Chapitre II :

Généralité sur la phyto-coagulation

II.1. Introduction

Bien que ces coagulants inorganiques soient efficaces et rentables, ils requièrent dans de nombreux cas des modifications du pH et de l'alcalinité (Degrémont SA 2005, A. Benalia et K. Derbal 2019). En outre, lorsqu'on utilise du sulfate d'aluminium comme coagulant, une surdose de celui-ci, une mauvaise utilisation du coagulant ou un problème chimique lors du processus de traitement peuvent entraîner une concentration élevée d'aluminium dissous dans l'eau traitée (R. Desjardins 1997, Benalia, K. Derbal 2015). La présence résiduelle de ces substances dans l'eau peut entraîner diverses affections comme la maladie d'Alzheimer, des maladies neurotoxiques et le cancer (C. Exley, 2016, W. Zengjin, 2016).

Il convient également de souligner que les désavantages de l'emploi de coagulants inorganiques peuvent avoir un impact sur les boues produites. Ces substances contiennent des métaux tels que l'aluminium et le fer. Il arrive que ces boues soient stockées sans traitement dans des stations de traitement d'eau potable dans plusieurs situations. Une fois que leur durée de stockage est restreinte, ces boues peuvent engendrer des problèmes environnementaux (A. Ndabigengesere et N. K. Subba 1998, M. Megersa et al 2019).

Devant ces divers désavantages de l'utilisation de coagulants inorganiques, de nombreuses recherches ont récemment été réalisées afin de trouver des coagulants naturels durables et respectueux de l'environnement comme remplacement aux coagulants inorganiques utilisés dans le processus de coagulation-floculation pour le traitement de l'eau potable (A. Matilainen et al 2005). En fonction de la disponibilité et de l'efficacité du traitement, plusieurs matières végétales ont été utilisées pour préparer ces coagulants organiques, tels que *Moringa oleifera* (T. Chu et al 2017, A. Scholes et al 2020), *Cactus* (M. Choudhary et al 2019), *Citrus fruit peel* (Z. Dollah et al 2019), *Plantago Ovata* (G.N. Bidhendi et al 2009, B. Ramavandi et al 2015), *Fava bean* (B.S. Marina et al 2015), *Chitosan* (F. Hanis et al 2017),.....

II.2. Les types de coagulants

Les coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux potables sont majoritairement d'origine minérale et possèdent également des propriétés floculantes. Les principaux floculants et aides-coagulants incluent des polymères à longues chaînes ou des polyacrylamides. Parmi ces polymères, on distingue les polymères minéraux et les polymères de synthèse, qui ont considérablement amélioré les performances de la floculation, ainsi que les polymères naturels extraits de substances animales ou végétales (Edeline, 1992).

II.2.1. Coagulant inorganique (chimique)

Les impuretés colloïdales présentes dans l'eau ou les eaux usées sont déstabilisées par la coagulation chimique, qui implique l'utilisation de substances produites chimiquement. Il est possible d'utiliser des coagulants tels que l'aluminium, le sulfate d'aluminium, le potassium sulfate d'aluminium, le chlorure de fer (III) hexahydraté et le sulfate ferrique pour traiter l'eau [Chaba,C et Seghilami,C 2022). Le tableau 2 présente une liste détaillée de ces coagulants et floculants, illustrant leur diversité et leur rôle crucial dans le processus de traitement des eaux (Degrémont SA 2005).

Tableau 2 : Coagulants conventionnels utilisés dans le traitement des eaux (Bourezg N. Belguermi Abdelmoumne 2022).

Nature du coagulant	Nom	Formule
A base d'alumine	Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$
	Chlorure d'aluminium	$AlCl(OH)_2$
	Aluminate de sodium	AlO_2Na
A base de fer	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3.7H_2O$
	Chlorosulfate ferrique	$FeClSO_4$
	Sulfate ferreux	$Fe SO_4.7H_2O$
Autres	Sulfate de cuivre	$CU SO_4.7H_2O$

Plusieurs avantages et inconvénients accompagnent l'utilisation des agents chimiques présentés ci-dessus, il faut noter que ces sels métalliques peuvent être utilisés seuls ou combinés.

Généralement, on les utilise avec un floculant afin d'augmenter l'efficacité du procédé (Degrémont SA 2005).

II.2.1.1. Sels d'aluminium

En général, on distingue les sels d'aluminium commerciaux par leur concentration en aluminium, exprimée en pourcentage Al_2O_3 (représentant la quantité de matière active présente) et par la basicité du produit, représentée par le rapport molaire $(OH^-) / 3 (Al^{3+})$ (représentant le degré de polymérisation des ions aluminium). Selon Mottot, l'ajout d'un sel

d'aluminium dans une eau provoque la formation d'hydroxyde d'aluminium et la libération d'acide (Yves Mottot, 2000).



Les principaux produits commercialisés sont :

- Le sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18 \text{H}_2\text{O}$;
- L'aluminate de sodium NaAlO_2 .

Le produit le plus couramment employé est le sulfate d'aluminium, mais il est progressivement remplacé par des polymères minéraux plus efficaces (Slimani, D et Soufi, D 2021).

II.2.1.2 Sels de fer

Les sels ferriques, qui sont plus chargés, ont une capacité de coagulation supérieure à celle des sels ferreux. Comme pour les sels d'aluminium, il y a l'apparition d'espèces polycondensées pendant le traitement, qui sont très influencées par le pH. Le principal désavantage de ces produits est que l'eau traitée est souvent colorée en rouille par l'utilisation d'un sel ferrique à forte dose. Selon Mottot, la majorité des sels de fer utilisés dans le traitement des eaux sont des sels de fer en cite :

- Le chlorure ferrique $\text{FeCl}_3, 6 \text{H}_2\text{O}$;
- Le sulfate ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, 9 \text{H}_2\text{O}$;
- Le sulfate ferreux $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$.

La coagulation des eaux usées et des eaux de surface par l'utilisation de coagulants chimiques présente plusieurs conséquences, notamment leur capacité à causer des maladies selon l'OMS, la contamination des eaux souterraines ou le ruissellement de surface des eaux traitées contenant une concentration élevée d'aluminium résiduel, ce qui rend leur utilisation pour le traitement des eaux usées inappropriée sur le plan écologique. Par ailleurs, une alternative prometteuse pour le traitement des eaux de surface et des eaux usées est l'utilisation de substances naturelles pour la coagulation, plutôt que de produits chimiques (Gautam. S et G. Saini, 2020).

II.2.2. Coagulants organique

Historiquement, les coagulants d'origine végétale et animale ont été introduits bien avant les coagulants synthétiques. Il y a 4000 ans, des manuscrits anciens provenant de l'Inde mentionnent l'utilisation des graines de Nirmali, une espèce d'arbre, pour clarifier les eaux de surface. Cependant, le manque de connaissances scientifiques sur leurs mécanismes de fonctionnement et leur efficacité a entravé les études sur ces bio-coagulants. En conséquence, les pays développés ont abandonné l'utilisation de coagulants naturels, car ils n'avaient jamais été soumis à une évaluation scientifique rigoureuse. En revanche, la recherche s'est poursuivie dans les pays en développement, mais elle n'a pas été développée de manière adéquate en raison du manque de moyens d'expérimentation. Aujourd'hui, l'intérêt pour les coagulants naturels a été ravivé dans les pays développés à la suite de nombreuses études et critiques concernant les inconvénients et les maladies graves causés par les coagulants chimiques utilisés (Guene, RL 2017).

L'utilisation de coagulants naturels pour traiter les eaux usées et les eaux de surface est essentielle en raison des risques potentiels pour l'environnement et la santé humaine liés à l'utilisation de coagulants chimiques. De nos jours, les coagulants naturels sont de plus en plus valorisés car ils représentent une alternative efficace aux coagulants chimiques (Slimani, D et Soufi, D 2021). Des matériaux à base de plantes, comme *le Moringa oleifera*, le *chitosan*, la *chitine*, *l'Opuntia ficus-indica* (cactus) et *l'Acacia mearnsii*, ont été étudiés pour le traitement des effluents industriels de diverses industries, constituant ainsi une approche durable (Gautam. S et G. Saini, 2020).

La recherche de coagulants organiques non toxiques et biodégradables a été encouragée par les désavantages liés à l'utilisation des coagulants minéraux, qui sont généralement considérés comme plus respectueux de l'environnement en termes de production et d'utilisation. Par exemple, les femmes rurales du Soudan ont historiquement utilisé des coagulants organiques, notamment des graines de poudre de *Moringa oleifera*, pour traiter l'eau potable (S. Jahn et H. Dinar 1979). Depuis lors, de nombreuses études ont été menées sur l'utilisation des phyto-coagulants dans le traitement des eaux usées, potables et industrielles, comme le montre le nombre croissant de publications de recherche (Figure 7) (W.L. Ang et A.W. Mohammad 2020).

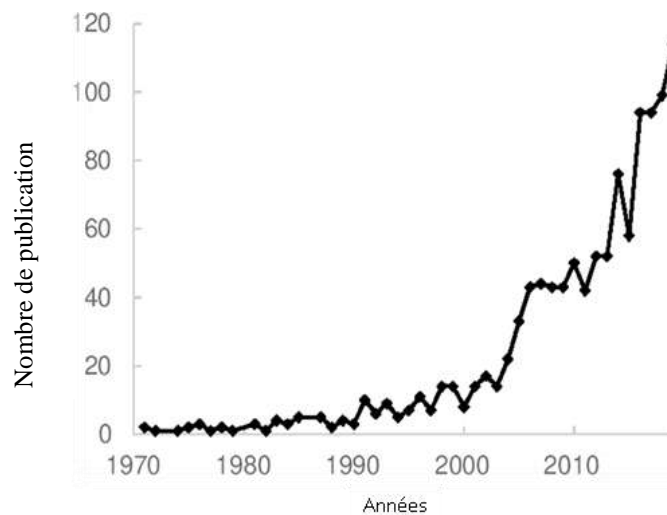


Figure 7 : Nombre de publications de recherche sur les coagulants naturels dans le traitement des eaux.

Jusqu'à présent, quatre types de coagulants naturels à base de plantes ont été étudiés : les graines, les déchets de fruits (pelures, graines), les fruits et les feuilles. Les données essentielles et les caractéristiques physicochimiques de différents coagulants végétaux offrent une vision de leurs caractéristiques et des éléments actifs qui sont responsables de la coagulation (S.Y. Choy et al 2014).

II.3. Impacts des coagulants chimiques

II.3.1. Toxicité et risque potentiel pour la santé

L'utilisation croissante de coagulants et flocculants conventionnels, notamment à base d'aluminium et de polymères synthétiques, soulève des préoccupations majeures concernant leur impact sur la santé humaine et l'environnement. La toxicité des coagulants à base d'aluminium, démontrée par des tests Microtox et des études sur les polymères inorganiques à haut poids moléculaire, est aggravée par la faible biodégradabilité des polymères synthétiques et la toxicité supérieure des sédiments traités avec ces coagulants (Al-Mutairi, N.Z 2006, Lapointe. M et Barbeau. B 2019).

L'usage excessif de coagulants à base d'aluminium perturbe le pH de l'eau, menaçant les écosystèmes aquatiques. La toxicité des coagulants et flocculants est influencée par le pH, qui peut augmenter la dangerosité des coagulants à base d'aluminium et de fer, notamment pour la croissance des plantes (Jørgensen, S.E et al 2005, Zhang, K et Zhou, Q 2005). Les interactions complexes avec les adjuvants coagulants et la présence de polluants dans les sédiments aggravent la toxicité. Les polymères de grande masse moléculaire peuvent causer des

dommages à l'ADN des micro-organismes. L'eau potable contaminée peut entraîner l'accumulation de métaux non dégradables dans les chaînes alimentaires (Kluczka, J et al 2017).

L'utilisation de coagulants à base d'aluminium suscite des inquiétudes liées aux maladies neurotoxiques, la maladie d'Alzheimer et l'autisme, bien que des études scientifiques n'aient pas établi de lien concluant entre les métaux utilisés dans le traitement de l'eau potable et la DM. La controverse sur la neurotoxicité de l'aluminium reste une source d'inquiétude et souligne la nécessité de rechercher des alternatives plus durables et respectueuses de l'environnement (Gillete-Guyonnet, et al 2005, Tomljenovic, L 2011, B. Ramavandi et al 2015, Mold. M et al 2018, Mold. M et al 2020, Exley. C et Clarkson, E 2020].

II.3.2. Pollution environnementale

Les processus de coagulation et de floculation, essentiels au traitement de l'eau et des eaux usées, génèrent des quantités croissantes de boues d'aluminium, posant un défi environnemental majeur. Au Royaume-Uni, l'utilisation de coagulants aluminiques et ferriques a produit 182 000 tonnes de boues séchées en 2014, avec une projection de quadruplement d'ici 2020, atteignant 72,8 millions de tonnes par an (Keeley, J et al 2014). L'élimination inadéquate de ces boues dans des décharges classiques entraîne des risques de lixiviation des métaux (aluminium, fer, manganèse, chrome) dans le sol et les eaux souterraines, provoquant une pollution durable (Kurniawan, S. B et al 2020, Barakwan, R.A et al 2019). De plus, le rejet direct des boues d'aluminium dans les milieux aquatiques perturbe les écosystèmes, abaissant le pH, provoquant la bioaccumulation d'aluminium et menaçant la santé des organismes aquatiques (Fouad, M.M et al 2017, Cardwell, A.S et al 2018, Barakwan, R.A et al 2019).

II.4. Avantages de coagulation naturels

Il existe de nombreux bénéfices à l'utilisation des phyto-coagulants dans le traitement de l'eau potable, comme le montre (la figure 8).

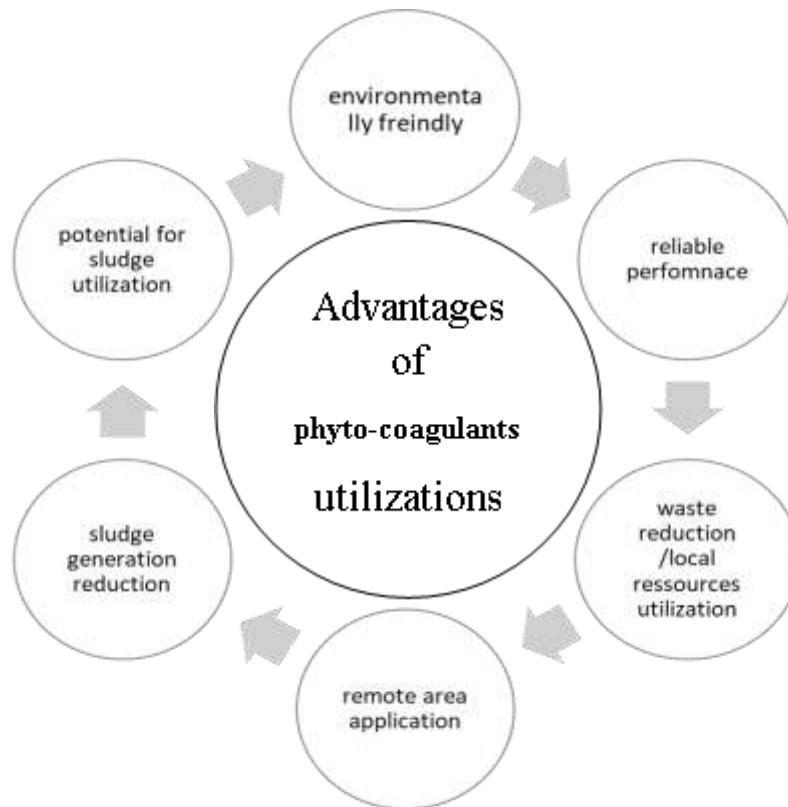


Figure 8 : Avantages de l'utilisation des phyto-coagulants dans le traitement de l'eau potable (Kurniawan, S. B et al 2020).

Parmi les principaux bénéfices associés à l'emploi de ces phyto-coagulants, on peut citer [Chaba,C et Seghilami,C. 2022):

II.4.1. Technologie respectueuse de l'environnement

Le traitement de l'eau potable avec des phyto-coagulants s'est révélé être une technologie plus respectueuse de l'environnement que l'utilisation de coagulants/floculants chimiques traditionnels. Cette technologie génère une faible quantité de sous-produits préjudiciables à l'environnement., tous les matériaux utilisés seront naturellement dégradés par l'environnement. Contrairement aux coagulants/floculants classiques, l'utilisation des phyto-coagulants génère des boues avec une biodégradabilité accrue, qui sont moins néfastes pour le milieu aquatique et peuvent être traitées de manière biologique. Les phyto-coagulants semblent être une technologie ancienne, mais elle est actuellement très étudiée en tant que technologie la plus écologique et respectueuse de l'environnement pour les processus de coagulation et de floculation (Kurniawan et al 2020).

II.4.2. Performances fiables

Non seulement cette technologie est écologique, mais elle offre également des résultats fiables en matière d'élimination des polluants. Illustration de L'emploi d'*Azadirachta indica* en tant que phyto-coagulant permet d'éliminer jusqu'à 97,91 % des micro-algues présentes dans les eaux usées, contrairement à l'élimination de 91,62 % obtenue avec l'utilisation d'alun conventionnel (Ali, M et al 2019). En utilisant une dose de 10 mg/L, un composé de *chitosane* extrait de champignons peut éliminer jusqu'à 99 % de la turbidité des effluents des usines d'huile de palme, tandis que 1 200 mg/L d'alun ne permet d'éliminer que 93 % de la turbidité. Il est également possible de diminuer le nombre de bactéries Gram-positives et négatives en utilisant des phyto-coagulants, allant jusqu'à 85,61 % et 77,63 % respectivement. Selon Megersa et ses collègues, les phyto-coagulants d'espèces végétales indigènes ont démontré leur potentiel pour traiter les eaux usées domestiques. Ils ont démontré des performances exceptionnelles en éliminant la turbidité à 99 % et en éliminant les microbes et les effluents à 98 %, ce qui correspond aux normes de qualité pour le rejet des eaux usées. Il est probable que l'utilisation de phyto-coagulants dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées soit utilisée, notamment pour éliminer la turbidité (Megersa, M et al 2016).

II.4.3. Réduction des déchets et l'utilisation des ressources locales

Il est vivement recommandé d'utiliser les ressources locales pour la fabrication de phyto-coagulants afin d'éviter une pénurie à venir de matières premières. En optimisant le potentiel des ressources locales, cette option sera bénéfique pour l'économie de la communauté locale. En général, les ressources locales sont abondantes et n'ont pas encore été identifiées. L'étude actuelle utilise également les déchets, tels que les déchets alimentaires, agricoles et industriels, afin d'explorer le potentiel des phyto-coagulants. Il est avantageux de mener de telles études afin de diminuer les déchets et de découvrir les possibilités d'utilisation des déchets comme phyto-coagulants. Ces bénéfices sont évidents, mais il est nécessaire de mener des études supplémentaires sur ce sujet (Aviso, K.B et al 2011).

II.4.4. Applicables dans les zones éloignées

La mise en œuvre de phyto-coagulants dans les zones éloignées présente un avantage en utilisant des ressources locales. Les produits chimiques sont rarement distribués dans les régions éloignées, alors que la quantité de ressources locales est généralement importante. De nombreux chercheurs ont utilisé des phyto-coagulants dans les régions éloignées afin de fournir de l'eau potable aux populations rurales au Bangladesh (Asrafuzzaman, M et al 2011) au Kenya (Mumbi, A.W et al 2018), en Afrique australe (Lim, T.K 2016), en Malaisie (Birima, A.H. et al 2013), en Inde (Kaushal, R et Goyal, H 2019), en Indonésie (Kristianto, H. 2017) et dans d'autres pays. En dépit de l'application, il reste un défi à relever pour optimiser les ressources locales.

II.4.5. Réduction de la génération de boues

Phyto-coagulants ont démontré une réduction de 30 % des boues produites par les procédés de traitement par rapport à l'utilisation d'alun. Tous les secteurs du procédé profiteront du potentiel de réduction des boues, en particulier pour la partie de traitement des boues. Le recours à des coagulants classiques, tels que l'alun, génère une grande quantité de boues non biodégradables. En 2014, le Royaume-Uni avait produit jusqu'à 270 000 tonnes de boues séchées par an en raison de l'eau potable et du traitement des eaux usées. En règle générale, les boues se retrouvent dans des décharges régulières car il n'y a pas de réglementations strictes pour la manipulation de l'aluminium et du fer dans les boues. On a démontré que l'emploi de phyto-coagulants permet de réduire jusqu'à 30 % les boues que les procédés de traitement génèrent par rapport à l'utilisation du sulfate d'aluminium. Tous les secteurs du procédé profiteront du potentiel de réduction des boues, en particulier pour la partie de traitement des boues (Keeley, J et al 2014, Kristianto, H et al 2019).

II.4.6. Potentiel d'utilisation des boues produites

L'emploi de phyto-coagulant génère des boues qui sont très biodégradables, ce qui permet également d'utiliser ces boues. Il est possible d'utiliser la digestion anaérobie ultérieure pour traiter les boues, ce qui génère un gaz précieux en tant que sous-produit. Les phyto-coagulants présentent des effets toxiques limités sur les micro-organismes lors de la digestion anaérobie, ce qui ne perturbe pas leur efficacité. L'actuelle tendance suggère également l'opportunité d'utiliser les boues produites par le traitement des eaux usées comme un conditionneur de sol/engrais. Dans les industries agricoles, comme l'aquaculture, l'huile de palme, la production

de sagou et la fabrication de café, les boues sont généralement riches en matières organiques et en nutriments [124]. Il est possible de composter davantage le contenu organique des boues et de l'utiliser comme conditionneur de sol, tandis que les éléments nutritifs disponibles serviront d'engrais au sol. Les déchets issus des stations d'épuration urbaines peuvent renfermer jusqu'à 15 % de phosphore, utile pour l'agriculture. Outre la déclaration précédente, Kominko et ses collègues suggèrent la création d'un engrais organo-minéral à partir des eaux usées domestiques. Les boues produites pourraient non seulement diminuer les éventuels dégâts à l'environnement, mais aussi apporter des avantages au secteur agricole (Kirchmann, H et al 2017).

II.5. Aperçu sur les plantes d'intérêts

II.5.1. Peau de *Musa acuminata*

En général, la peau de la banane est jaune à maturité, mais elle peut aussi présenter des taches brunes ou noires, surtout lorsque la banane est très mûre ou commence à pourrir. La texture est lisse et fine, mais elle peut être légèrement ridée ou bosselée au fil du temps ou lorsqu'elle est stockée dans des conditions de stockage inappropriées. Elle est relativement mince par rapport à d'autres fruits à écorce plus épaisse tels que l'orange ou la pastèque. Elle a une fragrance particulière, souvent douce et fruitée, qui est liée au fruit qu'elle veille.

Même si la majorité des individus évitent de consommer la peau de banane, elle renferme une grande quantité de fibres alimentaires, d'antioxydants et de nutriments tels que le potassium. La peau de banane est même employée par certaines personnes pour des usages domestiques tels que le compostage ou le polissage des meubles. On peut également utiliser la peau de banane de différentes manières, telles que comme fertilisant dans le compost, comme exfoliant naturel pour la peau ou comme ingrédient dans des recettes maison pour nourrir les plantes d'intérieur. Ces particularités peuvent légèrement différer selon la variété de banane et son niveau de maturité.

La banane est originaire de l'Inde et des îles mélanésiennes du Pacifique, en passant par l'Indonésie et la Nouvelle-Guinée. Pendant la conquête islamique, elle se répand au Moyen-Orient et dans le bassin méditerranéen. Dans les Amériques, la banane de culture fut introduite au début de la colonisation européenne vers 1500. Le bananier se répand si vite en Amérique qu'il est très vite, de manière erronée, considéré comme une espèce native du continent. Le fruit

est alors convaincu par Alexander von Humboldt d'une origine américaine (Alexander von Humboldt 1825). De nos jours, on cultive la banane dans toutes les régions tropicales du monde.

❖ Classification

Le tableau 3 représente la classification taxonomique de *Musa acuminata* (Banane) (Häkkinen M., 2009).

Tableau 3 : Classification taxonomique de *Musa acuminata*.

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
classe	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe	<i>Zingiberidae</i>
Ordre	<i>Zingiberales</i>
Famille	<i>Musace</i>

II.5.2. *Quercus canariensis*

Les chênes algériens, scientifiquement appelé *Quercus canariensis*, sont caractéristiques de la famille des Fagacées. Voici quelques-unes de leurs caractéristiques :

Le *Quercus canariensis* présente des feuilles larges, de 4 à 7 cm de long et de 7 cm de large. Elles sont ovales ou oblongues, avec des bords dentelés ou ondulés. Elles sont vertes, mais leur couleur peut différer selon la saison et les conditions météorologiques. En automne, elles peuvent prendre une teinte brunâtre ou rougeâtre avant de tomber. En général, les feuilles sont coriaces et lisses sur le dessus, plus velues sur le dessous (Khellaf Rabhi 2011).

Elles se placent en alternance le long des branches, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas en face les unes des autres sur la tige. Feuilles bien visibles, nervures principales et secondaires venant de la nervure centrale et caduques, elles tombent l'automne suivant pour être remplacés par de nouvelles feuilles au printemps suivant. Les chênes algériens ont, en plus des feuilles, des glands, qui sont les fruits de l'arbre. Les glands sont ovales et présentent une cupule distinctive. Il est possible que ces caractéristiques diffèrent légèrement selon la sous-espèce et les conditions de croissance particulières de l'arbre (Khellaf Rabhi 2011).

❖ **Classification**

Le tableau 4, représente la classification APG III de *Quercus canariensis* (Classification APG III 2009).

Tableau 4 : Classification APG III de *Quercus canariensis*.

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Hamamelidae</i>
Ordre	<i>Fagales</i>
famille	<i>Fagaceae</i>
Genre	<i>Quercus</i>

II.5.3. *Umbilicus rupestris*

Umbilicus (« nombril », « petit cercle ») est le nom scientifique qui fait référence à la forme des feuilles circulaires et déprimées au centre. La *rupestris* est une plante saxicole qui pousse sur les rochers (rupes en latin) et sur les murs, en position verticale, selon l'épithète.

La plante est également appelée carinet, cotylédon, coucoumelle, cymbalion, escudet, gobelet, oreille-d'abbé de manière vernaculaire (François Couplan 2012).

Cette géophyte se compose de la partie souterraine d'une souche tubéreuse subsphérique. La plante mesure (9)15-30(60) cm de long. Le limbe présente des feuilles radicales longuement pétiolées (4-25 cm), orbiculaires et peltées, avec une dépression en forme de nombril au centre. La tige présente des feuilles plus petites, linéaires lancéolées. Les clochettes hermaphrodites d'un blanc verdâtre ou jaune pâle, parfois rose, se présentent de mai à août sur des pédicelles le long de grappes terminales denses, avec une inflorescence qui occupe (60)70-90 % de la tige. La pollinisation est un processus entomogame et autogame. Les fruits verts, qui sont des capsules avec de nombreuses graines, sont à maturité pendant l'été. La propagation se fait par dyszoochore. La plante pousse dans le sud et l'ouest de l'Europe et au Nord-Africain, sur des murs ou dans les fissures de rocher humides et ombragées, parfois aussi dans les brèches des écorces des arbres (François Couplan 2012).

❖ **Classification**

Le tableau 5, représente la classification taxonomique de *Umbilicus rupestris* (Nombril de venus) (François Couplan 2012).

Tableau 5 : Classification taxonomique du *Umbilicus rupestris*.

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Rosales</i>
famille	<i>crassulaceae</i>
Genre	<i>Umbilicus</i>

II.5.4. *Cynara cardunculus*

Le cardon sauvage est une plante bisannuelle, vivace par ses rejets, d'abord en rosette, puis avec une tige principale épaisse et rameuse pouvant atteindre deux mètres de haut.

Feuilles très-longues, très-lobées, pennatifides, avec des épines grêles de 1-3 cm, d'un gris argenté, aranées ou tomenteuses en dessous, longuement pétiolées. Il a un pétiole large et charnu qui se prolonge en nervure principale. Les fleurs, d'un bleu violacé, se rassemblent en capitules qui commencent à fleurir à partir de la seconde année. On entoure ces capitules d'un involucre de bractées pointues, terminées par une épine très forte. Leur taille est inférieure à celle de l'artichaut et ils sont aussi consommables (Anna Ciancolini, 2012).

Les pétales sont hermaphrodites, d'un bleu violacé à un blanc, soudés à la base en une corolle en tube. La protandrie, c'est-à-dire la maturation des surfaces du stigmate deux à trois jours avant la libération du pollen, empêche l'autopollinisation. (Anna Ciancolini, 2012).

Le cardon cultivé diffère de la forme sauvage en l'absence (presque totale) d'épines au bout des lobes et en l'existence de bractées involucreales mucronées, avec ou sans épines de 1-2 mm. Sa taille, la forme de ses feuilles, le nombre des épines sont très différents. Le pétiole est la partie comestible des côtes de cardons dans la forme cultivée (on retire le pétiole des grandes feuilles extérieures). *Cynara Cardunculus* est une espèce de la flore nord-américaine.

Le cardon sauvage est de loin le taxon le plus répandu de *Cynara*. Il pousse dans les régions chaudes et sèches ainsi que à des altitudes basses. Il s'agit d'une plante qui est sensible au gel, tout comme l'artichaut, elle ne peut pas supporter des températures inférieures à $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il s'installe également dans les zones anthropisées telles que les bords des champs et des routes (Sergio Lanteri et Ezio Portis 2008).

Il provient des parties centrales et occidentales de la Méditerranée (Mutated dandelion, 2012) :

- Afrique septentrionale (des îles Canaries et du Maroc jusqu'à la Libye) ;
- Europe méridionale et atlantique ; Grèce, Italie, ex-Yougoslavie, sud de la France, Portugal, Espagne ;

La culture du cardon s'est répandue un peu partout ailleurs. Aux États-Unis, au Mexique, en Australie et dans la pampa argentine, il est considéré comme une plante invasive.

❖ Classification

Le tableau 6, représente la classification APG III de *Cynara cardunculus* (Classification APG III 2009).

Tableau 6 : Classification APG III de *Cynara cardunculus*

Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Asterales</i>
famille	<i>Asteraceae</i>
Genre	<i>Cynara</i>

II.5.5. *Taraxacum officinale* (Pissenlit)

Le pissenlit est une plante qui mesure environ 5 à 30 cm de haut. Cependant, on a pu observer des *Taraxacum* de 75 cm à Tōkyō (Mutated dandelion, 2012).

Sa végétation est herbacée, avec une souche épaisse et charnue qui se termine insensiblement en une racine pivotante pouvant atteindre 30 cm de long et 20 mm de long. L'extérieur du racin est d'un gris brunâtre, avec une section transversale blanchâtre qui laisse couler un latex abondant. (ANSES 2012)

❖ **Classification**

Le tableau 7, représente la classification APG III de *Taraxacum officinale* (Classification APG III 2009).

Tableau 7 : Classification APG III de *Taraxacum officinale*

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Asteridae</i>
Ordre	<i>Asterales</i>
famille	<i>Asteraceae</i>
Sous-famille	<i>Cichorioideae</i>
Genre	<i>Leontodon</i>

II.5.6. *Vitis vinifera* (Vigne)

La vigne (*Vitis vinifera*) est une espèce de plantes dicotylédones de la famille des *Vitaceae*, sous-famille des *Vitoideae*, originaire d'une zone tempérée de l'Ancien Monde, du Sud-Est de l'Europe au Caucase et à l'Asie centrale, mais cultivée aujourd'hui sur tous les continents (sauf l'Antarctique). Il s'agit d'arbrisseaux sarmenteux, grimpants, supportés par des vrilles, dont les tiges peuvent mesurer six mètres de long.

❖ **Classification**

Le tableau 8, représente la classification APG III des feuilles de *Vitis vinifera* (Classification APG III 2009).

Tableau 8 : Classification APG III des feuilles de *Vitis vinifera*

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>

Ordre	<i>Rhamnales</i>
famille	<i>Vitaceae</i>
Genre	<i>Vitis</i>

II.5.7. *Thuja occidentalis* (Thuya)

Les feuilles de thuya ont généralement des bords minces et peuvent être légèrement incurvés vers l'extérieur. Elles sont persistantes, ce qui implique qu'elles restent sur l'arbre tout au long de l'année et ne tombent pas en automne comme les feuilles des arbres à feuilles caduques. Elles ont un parfum froissé ou écrasé, elles ont souvent une odeur de résine de pin ou de citron, selon l'espèce. En médecine traditionnelle, les feuilles de thuya sont employées en raison de leurs propriétés antiseptiques et expectorantes. On les utilise aussi dans le domaine des parfums et des produits de beauté en raison de leur senteur fraîche et boisée (L.Checklist 2017).

❖ Classification

Le tableau 9, représente la classification taxonomique de *Thuja occidentalis* (L.Checklist 2017).

Tableau 9 : Classification taxonomique de *Thuja occidentalis*.

Règne	Plantae
Division	Pinophyta
Classe	Pinopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Pinales
famille	Cupressaceae
Genre	Thuja

Chapitre III :

Matériel et Méthodes

III.1. Objectif d'étude :

Notre étude expérimentale sur la coagulation-floculation vise à déterminer les concentrations optimales pour maximiser la réduction de la turbidité d'une eau chargée. L'accent est mis sur l'identification d'un coagulant efficace, accessible et inoffensif pour la santé humaine. Notre recherche vise quatre objectifs principaux :

- Etudier l'efficacité des phyto-coagulants étudiés et optimiser leurs dosages ;
- Comparer l'efficacité des phyto-coagulants à celle d'un coagulant chimique de référence, le sulfate d'aluminium ;
- Explorer la possibilité de réduire la quantité de coagulant chimique utilisée en le combinant avec différentes concentrations de phyto-coagulants ;
- Étudier l'impact des phyto-coagulants utilisés sur le pH de l'eau traitée.

III.2. Zone et durée d'étude

L'échantillon d'eau brute analysé provient d'un cours d'eau situé dans la commune d'Ain El Hammam, à proximité des localités d'Agouni-n-Teslent et Tawrirt-Amrane. Le point de prélèvement est précisément localisé aux coordonnées géographiques 36,5446044 de latitude nord et 4,2892670 de longitude (figures 9 et 10). Ce cours d'eau de surface est le réceptacle des effluents provenant des villages environnants ainsi que de la ville d'Ain El Hammam. Il s'inscrit dans le réseau hydrographique alimentant le barrage de Taksebt.



Figure 9 : Lieu d'échantillonnage

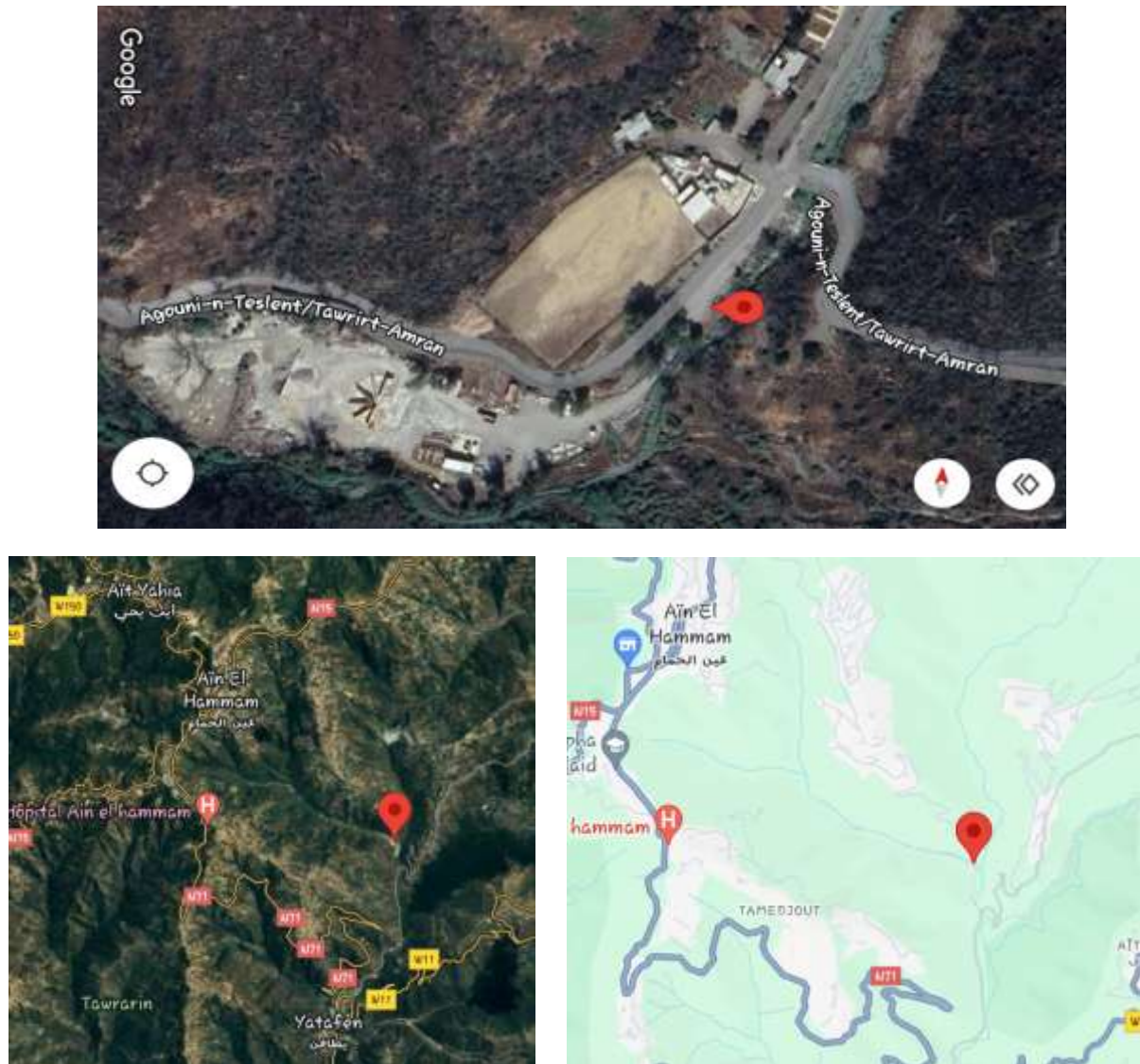


Figure 10 : Zone de prélèvement -Aperçu satellitaire (36,5446044/4,2892670).

Notre protocole d'échantillonnage a impliqué l'utilisation de jerricans de 5 et 20 litres, dont le contenu a été ensuite transféré dans un baril de 200 litres. Cette méthode visait à assurer l'homogénéité des caractéristiques de l'eau pour tous les essais de jar test effectués. L'ensemble du processus, comprenant les prélèvements et l'étude expérimentale, s'est déroulé du 9 mars au 30 mai 2024. Les travaux ont été menés au sein du laboratoire de traitement des eaux (G03), rattaché au département des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

III.3. Protocole d'expérimentale

III.3.1. Matériel et produits utilisés

- Etuve de marque Selecta ;
- Broyeur de marque M&D ;
- Tamis ;
- Balance de précision Mettler Toledo ;
- pH mètre de marque Hanna ;
- Turbidimètre de marque Newtry WGZ-1B ;
- JAR test ;
- Béchers de 1000ml ;
- Verres de montre ;
- Tubes en verre ;
- Pipette de 10 ml ;
- Eau ultra pure pour l'étalonnage du turbidimètre.

III.3.2. Matériel végétal utilisé

Nous avons utilisé des phyto-coagulants préparés au laboratoire avec le matériel nécessaire.

- Peau de *Musa acuminata* (Banane) ;
- Péricarpe du fruit de *Quercus canariensis* (glands de chêne) ;
- Feuilles du *Umbilicus rupestris* (Nombril de venus) ;
- Feuilles de *Cynara cardunculus* (Cardon) ;
- Feuilles du *Taraxacum officinale* (Pissenlit) ;
- Feuilles de *Vitis vinifera* (Vigne) ;
- Feuilles de *Thuja occidentalis* (Thuya).

En complément, nous avons également utilisé comme coagulant de référence : Sulfate d'aluminium (coagulant chimique)

III.4. Préparation et conservation du matériel végétal

Notre processus de collecte et de préparation du matériel végétal s'est déroulé en trois phases distinctes. La phase de collecte a débuté en décembre 2023 pour les épluchures de légumes et fruits (Fève, Petits Pois, Banane), impliquant nos foyers et ceux de nos camarades. Le matériel

foliaire, quant à lui, a été collecté à partir de mars 2024. La phase de traitement a ensuite englobé plusieurs étapes : le tri et le lavage du matériel, son séchage à l'air libre à l'abri de la lumière, suivi d'un broyage à l'aide d'un moulin à café et d'un tamisage pour uniformiser la taille des particules. Enfin, la phase de conservation a consisté à stocker toutes les poudres obtenues dans des bocaux en verre, à l'abri de la lumière, jusqu'à leur utilisation.

III.4.1. Peau de *Musa acuminata*

La préparation du phyto-coagulant à base de peau de *Musa acuminata* (Banane) a suivi un processus en quatre étapes (figure 11).

- Tout d'abord, nous avons recueilli les peaux de banane et les avons soigneusement lavées ;
- Ensuite, nous les avons laissées sécher à l'air libre pendant 20 jours, en les couvrant de papier pour absorber l'humidité ;
- Une fois sèches, les peaux ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Enfin, cette poudre a été tamisée pour assurer une granulométrie uniforme, puis conservée dans un bocal hermétique étiqueté avec le nom du produit.



Figure 11 : Phyto-coagulant à base de peau de Banane

III.4.2. Péricarpe du fruit de *Quercus canariensis*

La transformation des péricarpes des glands de *Quercus canariensis* en coagulant naturel s'est effectuée selon un processus méticuleux en quatre phases (figure 12) :

- Initialement, nous avons procédé à la collecte et au nettoyage minutieux des enveloppes de glands ;

- Ces péricarpes ont ensuite été soumis à une déshydratation prolongée dans une étuve maintenue à 40°C pendant cinq jours, assurant ainsi une élimination complète de l'humidité ;
- L'étape suivante a consisté en une pulvérisation fine du matériel séché à l'aide d'un broyeur mécanique. Le produit obtenu a alors subi un tamisage rigoureux pour garantir l'homogénéité de la granulométrie ;
- Pour finir, la poudre résultante a été conditionnée dans un récipient en verre hermétiquement scellé, dûment étiqueté pour en faciliter l'identification et l'utilisation ultérieure.



Figure 12 : Phyto-coagulant à base des péricarpes des glands de chêne

III.4.3. Feuilles du *Umbilicus rupestris*

La préparation du phyto-coagulant à base de feuilles du *Umbilicus rupestris* (Nombril de venus) a suivi un processus en quatre étapes (figure 13).

- Nous avons d'abord recueilli les feuilles du nombril de venus et les avons soigneusement lavées ;
- Ensuite, nous les avons séchées dans une étuve à 40°C pendant 5 jours ;
- Une fois sèches, les feuilles ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Enfin, cette poudre a été tamisée pour assurer une granulométrie uniforme, puis conservée dans un bocal hermétique étiqueté avec le nom du produit.



Figure 13 : Phyto-coagulant à base des Feuilles de Nombriil de venus

III.4.4. Feuilles de *Cynara cardunculus*

La préparation du phyto-coagulant à base de feuilles de *Cynara cardunculus* (Cardon) a suivi un processus en quatre étapes (figure 14).

- Tout d'abord, nous avons recueilli les feuilles de cardon et les avons soigneusement lavées ;
- Ensuite, nous les avons séchées dans une étuve à 40°C pendant 5 jours ;
- Une fois sèches, les feuilles ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Enfin, cette poudre a été tamisée pour assurer une granulométrie uniforme, puis conservée dans un bocal hermétique étiqueté avec le nom du produit.



Figure 14 : Phyto-coagulant à base des Feuilles de Cardon

III.4.5. Feuilles du *Taraxacum officinale*

La transformation des feuilles du *Taraxacum officinale* en coagulant naturel s'est effectuée selon un processus en quatre phases (figure 15) :

- Nous avons d'abord recueilli les feuilles du pissenlit et les avons soigneusement lavées ;
- Ces feuilles ont ensuite été soumis à une déshydratation prolongée dans une étuve maintenue à 40°C pendant trois jours, assurant ainsi une élimination complète de l'humidité ;

- Une fois sèches, les cosses ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Pour finir, la poudre résultante a été conditionnée dans un récipient en verre hermétiquement scellé, dûment étiqueté pour en faciliter l'identification et l'utilisation ultérieure.



Figure 15 : Phyto-coagulant à base des Feuilles du Pissenlit

III.4.6. Feuilles de *Vitis vinifera*

La préparation du phyto-coagulant à base des feuilles de *Vitis vinifera* (Vigne) a suivi un protocole en quatre étapes (figure 16) :

- Nous avons d'abord recueilli les feuilles de vigne et les avons soigneusement lavées ;
- Ensuite, nous les avons laissées sécher à l'air libre pendant 20 jours, en les couvrant de papier pour absorber l'humidité ;
- Une fois sèches, les peaux ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Enfin, cette poudre a été tamisée pour assurer une granulométrie uniforme, puis conservée dans un bocal hermétique étiqueté avec le nom du produit.



Figure 16 : Phyto-coagulant à base des feuilles de vigne

III.4.7. Feuilles de *Thuja occidentalis*

La préparation du phyto-coagulant à base de peau des feuilles de *Thuja occidentalis* (Thuya) a suivi un processus en quatre étapes (figure 17) :

- Initialement, nous avons procédé à la collecte et au nettoyage minutieux des feuilles de thuya ;
- Ces feuilles ont ensuite été soumises à une déshydratation prolongée dans une étuve maintenue à 40°C pendant trois jours, assurant ainsi une élimination complète de l'humidité ;
- Une fois sèches, les feuilles ont été broyées pour obtenir une poudre fine ;
- Enfin, cette poudre a été tamisée pour assurer une granulométrie uniforme, puis conservée dans un bocal hermétique étiqueté avec le nom du produit.



Figure 17 : Phyto-coagulant à base des feuilles de thuya

III.5. Optimisation du traitement des eaux par Jar Test (protocole et applications)

Le Jar Test, méthode éprouvée dans le traitement des eaux depuis des décennies, permet d'optimiser les paramètres clés du processus de coagulation-floculation. On a utilisé un appareil WISESTIR JAR TEST, simulant à échelle réduite les processus d'une station de traitement. Cet équipement, composé de six béciers d'un litre avec axes rotatifs synchronisés, facilite l'évaluation de multiples variables : dosage et type de coagulant, pH optimal, durées et vitesses de coagulation-floculation, et temps de décantation.

Le protocole expérimental se déroule en trois phases :

- Ajout de diverses concentrations de phyto-coagulant sous agitation rapide pour déstabiliser les particules colloïdales, neutralisant leurs charges répulsives et favorisant leur agrégation ;
- Agitation lente permettant l'interaction du phyto-coagulant avec les matières en suspension sans perturber la formation de floccs naissants. Il est à noter que dans notre étude, les produits organiques ont joué le double rôle de coagulants et de flocculants, sans ajout de flocculant supplémentaire (polymère) ;
- Arrêt de l'agitation pour permettre la sédimentation des matières en suspension flocculées, suivi du prélèvement du surnageant pour analyse.

Notre méthodologie détaillée pour l'optimisation des phyto-coagulants comprend :

- Laver soigneusement les béchers ;
- Mesurer la turbidité de l'eau brute à l'aide d'un turbidimètre ;
- Remplir les six béchers avec de l'eau brute (1000 ml chacun) ;
- Placer chaque bécher sous l'agitateur et immerger les palettes ;
- Peser des doses de 10 à 60 mg et plus de phyto-coagulant à l'aide d'une balance de précision ;
- Injecter les doses correspondantes de phyto-coagulant dans chaque bécher ;
- Allumer le jar test à une vitesse de 180 tr/min pendant 2 minutes (agitation rapide) ;
- Réduire la vitesse à 40 tr/min pendant 20 minutes (agitation lente) ;
- Arrêter l'agitation et retirer les palettes avec précaution ;
- Laisser l'eau décanter pendant deux heures ;
- Mesurer la turbidité de l'eau après 1 heure, puis après 2 heures de décantation, en étalonnant le turbidimètre avec de l'eau ultra pure à chaque fois ;
- Prendre l'échantillon à mesurer à l'aide d'une pipette de 10 ml.

Un protocole identique a été appliqué pour le sulfate d'aluminium comme coagulant chimique de référence (figure 18).



Figure 18 : Préparation du coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium

Des essais combinant phyto-coagulants et sulfate d'aluminium ont été réalisés pour réduire la quantité du coagulant chimique nécessaire tout en atteignant la norme de potabilité (5 NTU).

Enfin, l'impact des produits végétaux sur le pH de l'eau traitée a été évalué par des mesures avant et après traitement.

Cette approche méthodique permet une évaluation comparative rigoureuse de l'efficacité des phyto-coagulants par rapport aux méthodes conventionnelles, ouvrant la voie à des solutions de traitement des eaux plus durables et respectueuses de l'environnement.

Chapitre IV :

Résultats et discussions

IV.1. Caractéristiques de l'eau étudiée

Les résultats de l'analyse de l'eau brute du cours d'eau de Ain El Hammam sont exprimés dans le tableau 10 avec les normes nationale et OMS relatives à ces paramètres :

Tableau 10 : Caractéristiques de l'eau étudiée

Paramètre	unité	Résultat	JORAD	OMS
ph	/	7.80	$\geq 6,5$ et ≤ 9	$\geq 6,5$ et ≤ 9
Turbidité	NTU	130	5	/

IV.2. Phyto-coagulation et phyto-floculation

IV.2.1. Détermination de la dose optimale des coagulants

Afin de trouver la quantité idéale de coagulants à ajouter afin de diminuer la turbidité et d'atteindre la norme de potabilité, nous avons effectué des tests avec Jar Test sur les eaux brutes collectées. Nous avons utilisé des doses croissantes de coagulants chimiques (sulfate d'aluminium) et de différents phyto-coagulants.

- **Peau de *Musa acuminata***

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la peau de Banane comme phyto-coagulant sont illustrés dans la figure suivante :

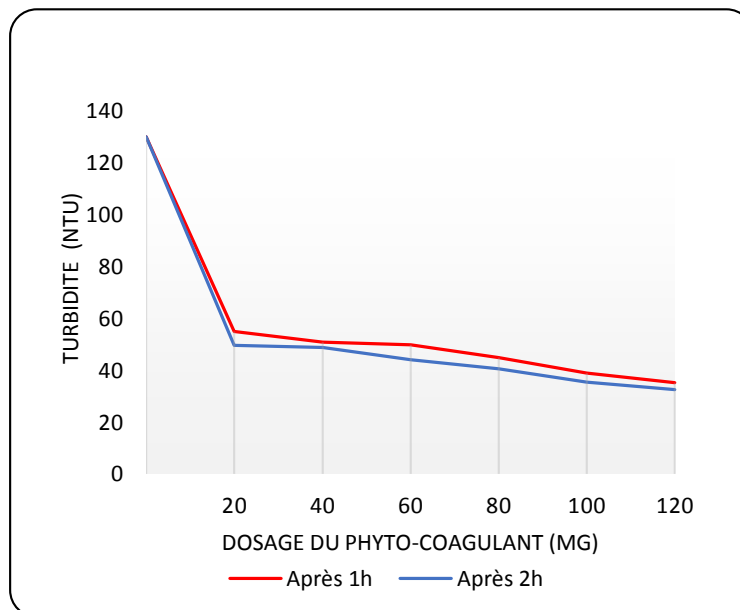


Figure 19 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de peau de banane

La figure montre que l'augmentation de la dose de phyto-coagulant de 20 à 120 mg/L réduit progressivement la turbidité de l'eau, mesurée après 1 heure et 2 heures de décantation. Après 1 heure, la turbidité diminue de 54,9 NTU à 35,2 NTU, et après 2 heures, elle passe de 49,5 NTU à 32,6 NTU. Ces résultats indiquent que des doses plus élevées de phyto-coagulant, ainsi qu'un temps de décantation plus long, améliorent l'efficacité de la réduction de la turbidité, suggérant qu'une dose de 120 mg/L est optimale parmi celles testées, bien qu'une exploration de doses plus élevées soit justifiée, étant donné la diminution continue de la turbidité.

- **Feuilles du *Taraxacum officinale***

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant le phyto-coagulant à base de la poudre du pissenlit sont illustrés dans le graphe suivant :

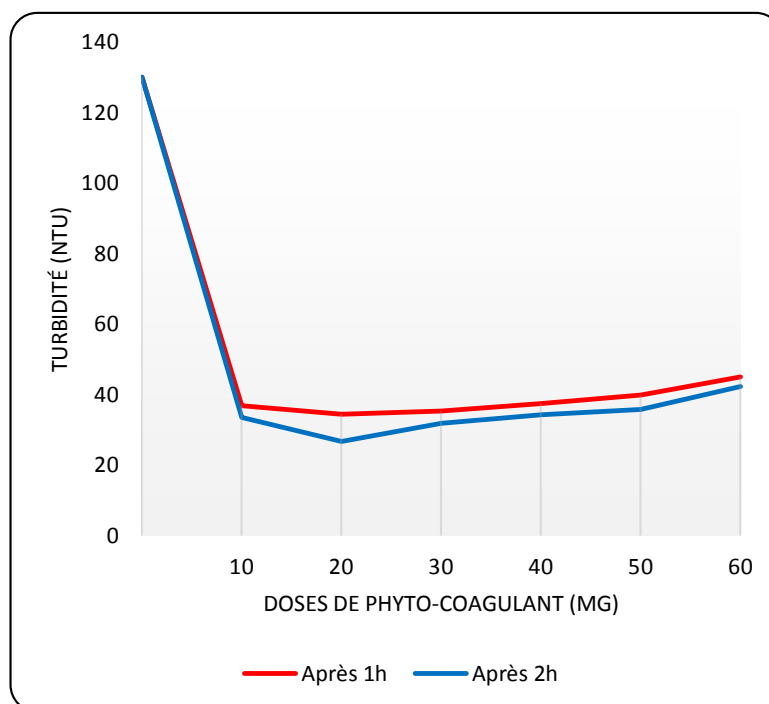


Figure 20 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de pissenlit

La Figure montre que la turbidité de l'eau varie en fonction de la dose de phyto-coagulant et du temps de décantation. Après 1 heure, la turbidité fluctue de 36,9 NTU à 45 NTU pour des concentrations allant de 10 à 60 mg/L. Après 2 heures, la turbidité diminue globalement, allant de 33,5 NTU à 42,3 NTU.

La dose de la poudre à base du pissenlit de 20 mg/L est la plus efficace, réduisant la turbidité à 26,7 NTU après 2 heures de décantation. Le temps de décantation améliore la réduction de la turbidité, avec des valeurs plus faibles après 2 heures par rapport à 1 heure.

- **Feuilles du *Umbilicus rupestris***

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant phyto-coagulant à base des feuilles du nombril de venus sont illustrés dans le schéma suivant :

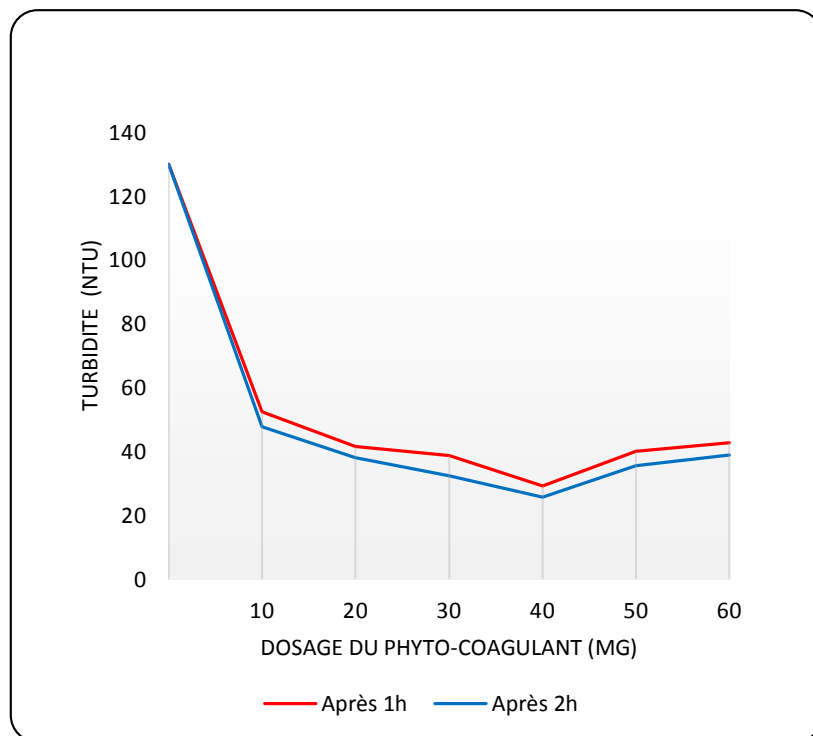


Figure 21 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de nombril de venus

L'analyse des données de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des doses de phyto-coagulant, préparé à partir des feuilles du nombril de venus, révèle une tendance claire : la turbidité de l'eau diminue progressivement à mesure que la concentration de coagulant augmente, atteignant un minimum de 29,2 NTU après 1 heure de décantation et de 25,8 NTU après 2 heures. Au-delà de cette concentration optimale d'environ 40 mg/L, la turbidité commence à augmenter à nouveau.

- **Péricarpe du fruit de *Quercus canariensis***

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant les épluchures de chêne comme phyto-coagulant sont illustrés dans le schéma suivant :

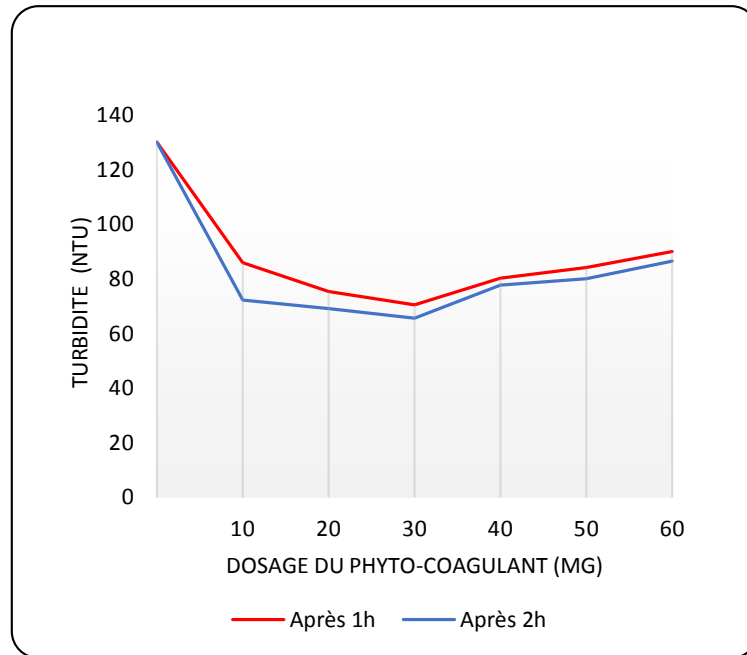


Figure 22 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base péricarpe du fruit de *Quercus canariensis* (glands de chêne)

Les mesures de turbidité, comme illustré dans la figure 22, démontrent une diminution progressive jusqu'à une valeur minimale de 65,4 NTU avec une dose de phyto-coagulant de 30 mg/L. Les autres doses varient entre 72,2 NTU et 90 NTU. Ces résultats indiquent clairement que la concentration optimale pour une réduction efficace de la turbidité se situe à 30 mg/L. Cette constatation est essentielle pour optimiser les processus de traitement de l'eau, visant à améliorer sa qualité en réduisant les particules en suspension.

- Feuilles de *Cynara cardunculus*

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la poudre des feuilles de cardon comme phyto-coagulant sont illustrés dans le schéma suivant :

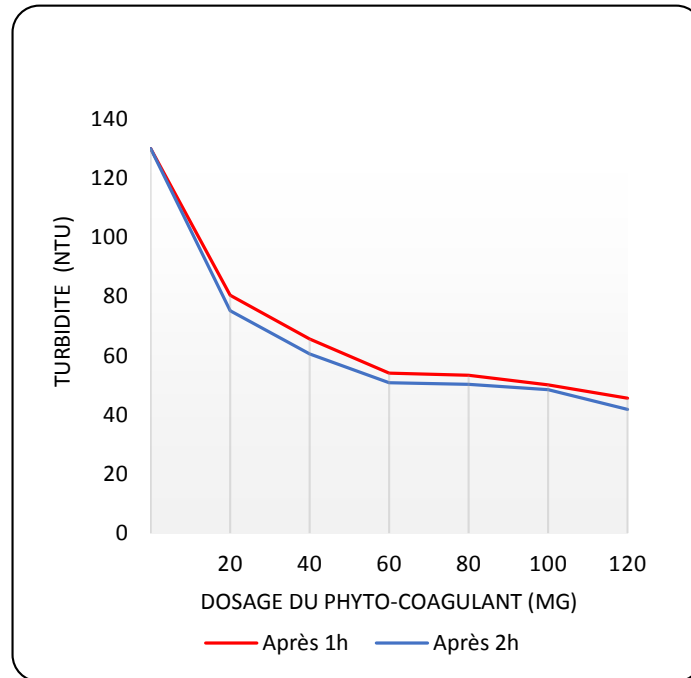


Figure 23 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de cardon

La figure montre que l'augmentation de la dose de phyto-coagulant de 20 à 120 mg/L réduit progressivement la turbidité de l'eau, mesurée après 1 heure et 2 heures de décantation. Après 1 heure, la turbidité diminue de 80.4 NTU à 45,6 NTU, et après 2 heures, elle passe de 75.2 NTU à 41.8 NTU. Ces résultats indiquent que des doses plus élevées de phyto-coagulant, ainsi qu'un temps de décantation plus long, améliorent l'efficacité de la réduction de la turbidité, suggérant qu'une dose de 120 mg/L est optimale parmi celles testées, bien qu'une exploration de doses plus élevées soit justifiée, étant donné la diminution continue de la turbidité.

- Feuilles de *Vitis vinifera*

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant les feuilles de vigne comme phyto-coagulant sont illustrés dans le tableau et le schéma suivant :

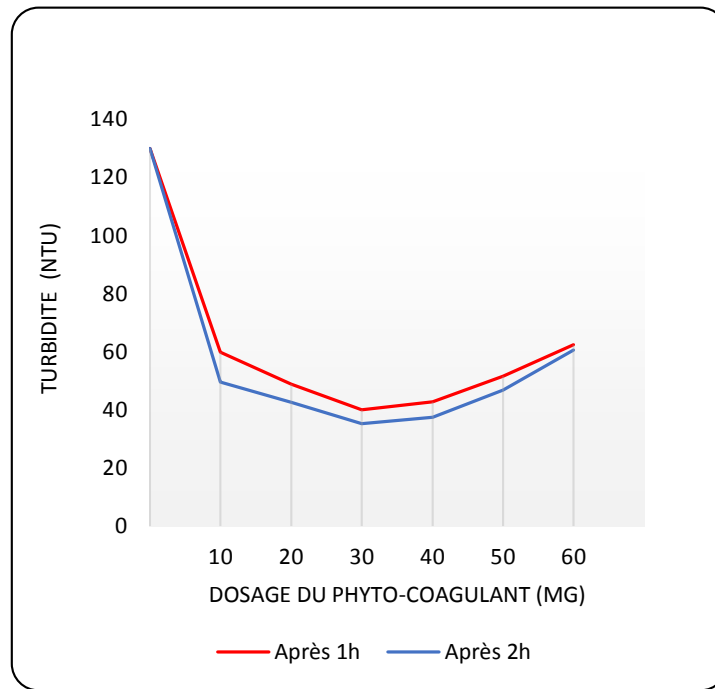


Figure 24 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de vigne

Les mesures de la turbidité illustrées sur la figure ci-dessous, nous montrent que la turbidité de l'eau varie en fonction de la dose de phyto-coagulant et du temps de décantation. Après 1 heure, la turbidité diminue de 59.8 NTU à 40 NTU pour des doses de 10 à 30 mg/L, puis remonte à 62.4 NTU à 60 mg/L. Après 2 heures, la turbidité est globalement plus basse, diminuant de 51.4 NTU à 35.1 NTU pour des doses de 10 à 30 mg/L, et augmentant à 60.5 NTU à 60 mg/L.

La dose de 30 mg/L est la plus efficace, réduisant la turbidité à 40 NTU après 1 heure et à 35.1 NTU après 2 heures. Le temps de décantation de 2 heures améliore la réduction de la turbidité pour toutes les doses, indiquant que l'efficacité du bio-coagulant est optimisée à cette dose et ce temps de décantation.

- Feuilles de *Thuja occidentalis*

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant le phyto-coagulant à base des feuilles de thuya sont illustrés dans le schéma suivant :

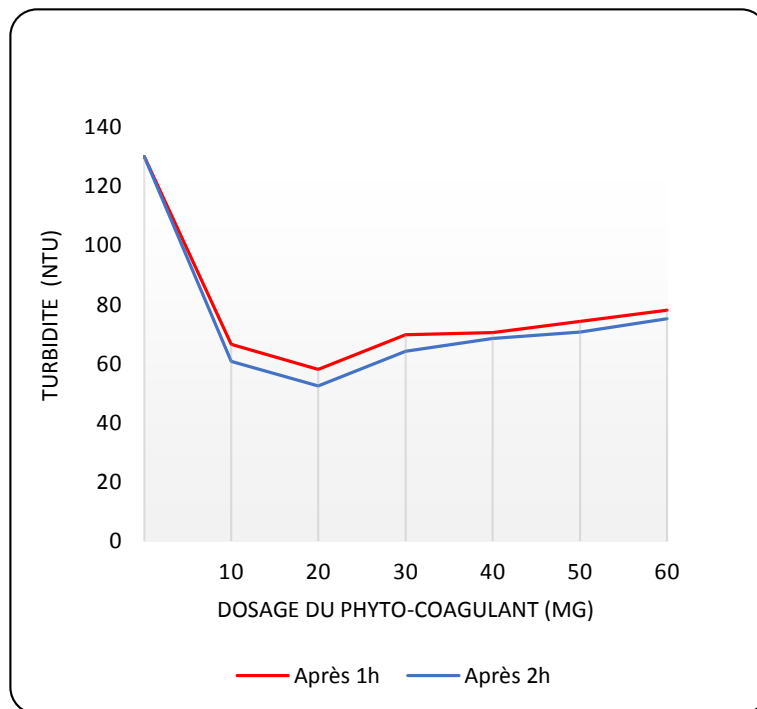


Figure 25 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de feuilles de thuya

La concentration optimale de phyto-coagulant s'est révélée être 20 mg/l, produisant les meilleurs résultats en termes de réduction de la turbidité. Après une heure de décantation, la turbidité a chuté à 58 NTU, correspondant à un taux d'abattement de 55.39 %.

L'efficacité s'est encore améliorée après deux heures, atteignant une turbidité de 52.5 NTU et un taux d'abattement de 59.62 %.

Cependant, l'étude a démontré qu'augmenter la concentration du coagulant au-delà de ce point optimal n'apporte pas de bénéfices supplémentaires. Pour des concentrations comprises entre 30 et 60 mg/L, on observe un ralentissement de la réduction de la turbidité, avec des valeurs finales oscillant entre 64.2 et 78.1 NTU.

- **Sulfate d'aluminium**

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant le coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium sont illustrés dans le schéma suivant :

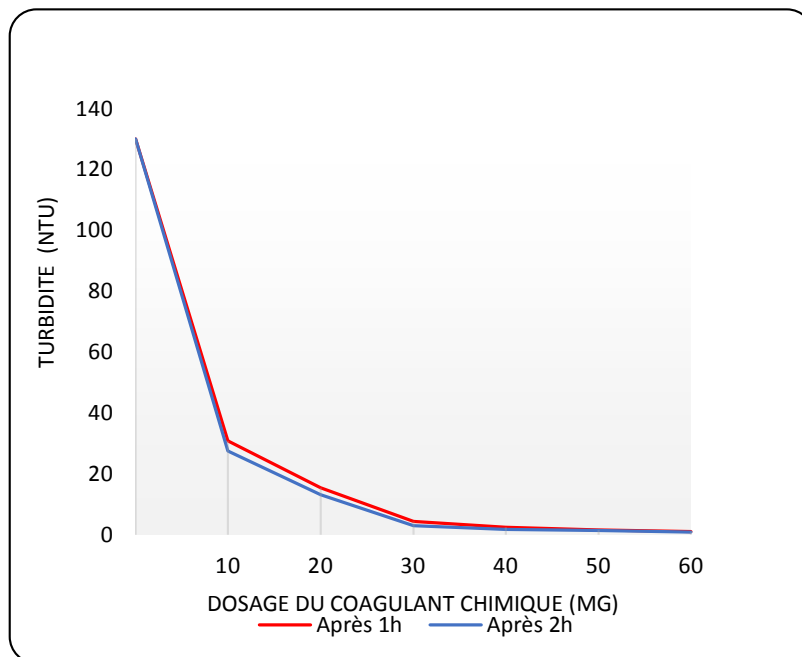


Figure 26 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses du coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium

Les mesures de turbidité révèlent des variations significatives selon les doses de sulfate d'aluminium ajoutées à l'eau. À des concentrations de 40, 50 et 60 mg/L, la turbidité varie de 1 à 1,8 NTU. L'ajout de 10 et 20 mg/L de coagulant chimique entraîne une chute notable de la turbidité, jusqu'à atteindre 13,2 NTU, mais la dose optimale pour répondre aux normes de potabilité est de 30 mg/L, où la turbidité atteint respectivement 4,4 NTU après 1 heure de décantation et 3 NTU après 2 heures. La dose maximale efficace de 60 mg/L de sulfate d'aluminium réduit la turbidité à 1,1 NTU après 1 heure de décantation et à 1 NTU après 2 heures. Ces observations mettent en évidence l'importance de doser précisément les coagulants pour obtenir une qualité d'eau conforme aux normes de sécurité sanitaire.

IV.3. Etude du pH

Pour étudier l'impact de l'ajout de différents phyto-coagulants sur le pH de l'eau traitée, nous avons mesuré le pH initial de l'eau à 7,80 avant d'effectuer les tests de coagulation. Les résultats obtenus sont répertoriés dans le tableau suivant, montrant les variations de pH pour chaque type de coagulant.

Tableau 11 : Variation du pH selon les différents coagulants

Coagulants	Variation du pH
Peau de banane	8,05 à 8,08
Epluchures de gland de chêne	8,04 à 8,20
Pissenlit	8,02 à 8,04
Feuilles de cardon	8,04 à 8,11
Feuilles de vigne	8,04 à 8,08
Feuilles de thuya	8,19 à 8,24
Nombril de venus	8,08 à 8,17
Sulfate d'aluminium	6,20 à 7,20

Ces observations mettent en évidence l'impact différencié des différents coagulants sur le pH de l'eau traitée, soulignant l'importance de choisir des méthodes de traitement qui maintiennent les paramètres chimiques dans les limites requises pour assurer la qualité de l'eau potable.

Après l'application des divers phyto-coagulants, les valeurs de pH ont oscillé entre 7,74 et 8,20, variant selon le matériau coagulant utilisé. Ces résultats sont particulièrement significatifs car ils restent dans la plage acceptable pour l'eau potable définie par la législation algérienne, qui fixe les limites de pH entre 6,5 et 9,5.

En revanche, l'utilisation de sulfate d'aluminium comme coagulant a démontré un impact plus prononcé sur le pH de l'eau traitée. Dans certains cas, le pH a chuté jusqu'à 6,20, une valeur inférieure à la norme minimale de potabilité.

Ces observations soulignent la différence d'impact entre les phyto-coagulants et les coagulants chimiques traditionnels sur les propriétés chimiques de l'eau traitée. Elles mettent en évidence l'importance cruciale du choix des méthodes de traitement pour maintenir les paramètres de l'eau dans les limites requises, garantissant ainsi sa qualité et sa potabilité.

Cette étude comparative renforce l'intérêt potentiel des phyto-coagulants comme alternative plus douce aux coagulants chimiques, offrant un traitement efficace tout en préservant mieux l'équilibre chimique naturel de l'eau.

IV.4. Taux d'abattement de la turbidité

La figure 36 représente le taux d'abattement de la turbidité obtenu après différents essais de traitement avec des coagulants naturels et chimique.

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

$$R (\%) = 100 \% - Pf$$

$$Pf = \frac{(Tf \times 100 \%)}{Ti}$$

Avec :

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

Pf : est le pourcentage de la valeur de turbidité représenté par la dose optimale

Tf : est la valeur de la turbidité représentée par la dose optimale

Ti : est la valeur de la turbidité initiale

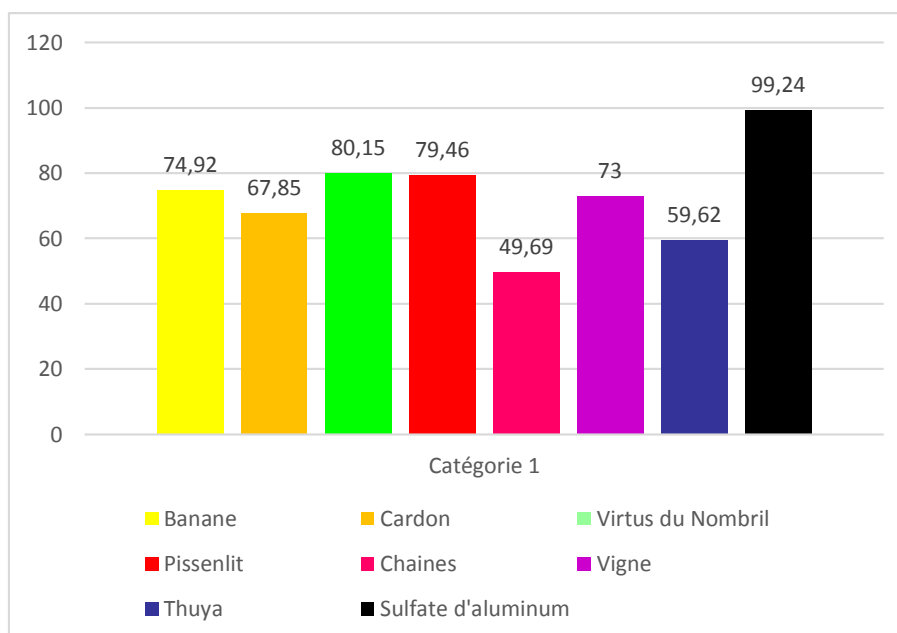


Figure 27 : Taux d'abattement de la turbidité avec les différents coagulants organique et chimique

L'histogramme présente le taux d'abattement de la turbidité pour chaque phyto-coagulant utilisé, illustrant leur capacité à déstabiliser les particules en suspension. Les taux varient entre un maximum de 80.15 % obtenu avec le nombril de venus et un minimum de 49.69 % obtenu avec les épiluchures de glands de chêne.

Ces résultats permettent de déduire que :

- De très bons résultats sont également obtenus avec la poudre de nombril de venus, affichant un taux d'abattement de 80.15 % ;
- Des résultats moyens ont été enregistrés avec les phyto-coagulants suivants : le pissenlit, la peau de banane et les feuilles de vigne, avec des taux d'abattement respectifs de 79,46 %, 74,92 % et 73 % ;
- Les feuilles de cardon et de thuya montrent une efficacité modérée avec des taux d'abattement de 67,85 % et 59,62 % respectivement ;
- Le taux d'abattement obtenu avec les épiluchures de glands de chêne, soit 49,69 %, indique une faible efficacité comme agent coagulant.

Le coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium inscrit le taux d'abattement le plus élevé avec 99.24 %.

Selon la même figure, nous observons la capacité des poudres à base de différents phyto-coagulants à déstabiliser les particules en suspension, dont le meilleur taux d'abattement (80.15 %) est enregistré par la poudre de nombril de venus. Le plus bas taux d'abattement enregistré est de (49.69 %) en utilisant les péricarpes du fruit de *Quercus canariensis* (glands de chêne).

En résumé, l'histogramme du taux d'abattement de la turbidité met en évidence la performance variable des différents phyto-coagulants testés, soulignant l'importance de choisir le coagulant le plus adapté en fonction des objectifs de traitement de l'eau et de l'efficacité recherchée dans l'élimination de la turbidité.

IV.5. Etude de la combinaison phyto-coagulant et coagulant chimique de référence (sulfate d'aluminium)

Étant donné que les résultats obtenus avec le phyto-coagulant seul n'ont pas permis d'atteindre la norme de potabilité fixée par la législation algérienne (5 NTU), des essais supplémentaires ont été menés. Ces nouveaux tests ont consisté à combiner le phyto-coagulant avec un coagulant chimique, le sulfate d'aluminium.

L'objectif de cette approche était double :

- Tenter d'atteindre la norme de potabilité requise de 5 NTU ;
- Réduire la quantité de sulfate d'aluminium nécessaire dans le processus de traitement de l'eau.

Cette stratégie vise à exploiter les avantages potentiels du phyto-coagulant naturel tout en minimisant l'utilisation du coagulant chimique, dans l'espoir de trouver un équilibre optimal entre efficacité de traitement et réduction de l'impact environnemental lié à l'utilisation de produits chimiques.

IV.5.1. Combinaison poudre de peau de *Musa acuminata* et sulfate d'aluminium

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la combinaison (phyto-coagulant/coagulant chimique) à base de peau de *Musa acuminata* et de sulfate d'aluminium sont illustrés dans le schéma suivant :

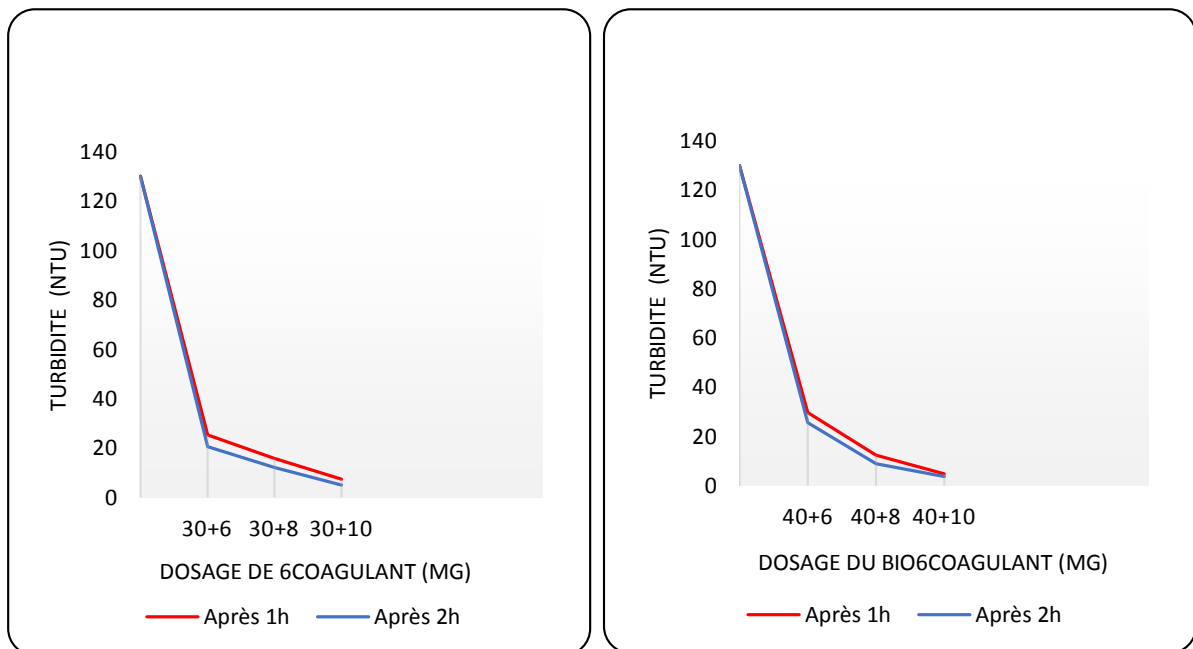


Figure 28 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de peau de banane et de coagulant chimique à base sulfate d'aluminium

Les résultats illustrés dans la figure 28, démontrent l'efficacité de la combinaison phyto-coagulant/coagulant chimique pour le traitement de l'eau. Deux mélanges ont permis d'atteindre la norme de potabilité : 30 mg/L de peau de banane + 10 mg/L de sulfate d'aluminium (5 NTU) et 40 mg/L de peau de banane + 10 mg/L de sulfate d'aluminium (3,6 NTU). Visant à minimiser la quantité de coagulant, le mélange optimal a été identifié comme étant 30 mg/L de peau de banane avec 10 mg/L de sulfate d'aluminium. Cette approche a non seulement permis d'obtenir une eau conforme aux normes de turbidité pour la potabilité, mais a aussi réduit significativement la quantité de sulfate d'aluminium nécessaire, passant de 30 mg/L à 10 mg/L. Ces résultats soulignent l'efficacité de l'utilisation combinée de ce phyto-coagulant naturel et d'une dose réduite de coagulant chimique pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau tout en minimisant l'emploi de produits chimiques.

IV.5.2. Combinaison poudre de cosses de *Vicia faba* et sulfate d'aluminium

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la combinaison (phyto-coagulant/coagulant chimique) à base de *cosses de Vicia faba* et de sulfate d'aluminium sont illustrés dans le schéma suivant :

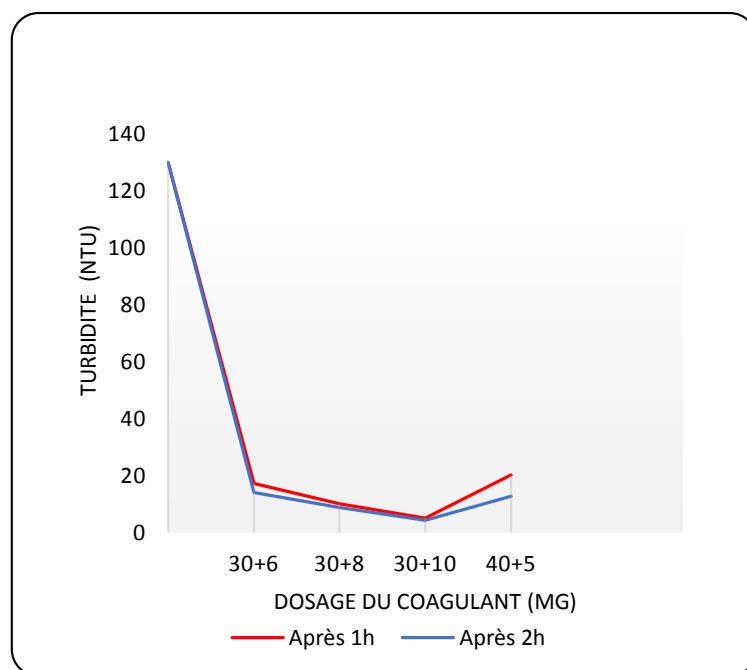


Figure 29 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base de gousses de fève et de coagulant chimique à base de sulfate d'aluminium

L'analyse de la courbe représentant l'évolution de la turbidité en fonction des doses des coagulants combinés révèle une diminution progressive jusqu'à atteindre une valeur de 4,4 NTU, inférieure aux normes fixées par le JORAD et l'OMS, ce qui témoigne de l'efficacité du traitement. Cette série d'essais avait pour but de respecter les normes de turbidité tout en réduisant la quantité de sulfate d'aluminium utilisée, passant ainsi de 30 mg/L à seulement 10 mg/L. Les résultats détaillés mettent en évidence l'impact significatif des mélanges de 30 mg de phyto-coagulant avec différentes quantités de sulfate d'aluminium sur la turbidité. Par exemple, le mélange de 30 mg/L de phyto-coagulant avec 10 mg/L de sulfate d'aluminium a permis d'atteindre une turbidité de 5,2 NTU après 1 heure de décantation et de 4,4 NTU après 2 heures. Ces observations soulignent l'efficacité des mélanges coagulants pour optimiser le traitement de l'eau tout en minimisant l'utilisation de produits chimiques, une approche cruciale pour assurer la conformité aux normes rigoureuses de qualité de l'eau potable et réduire l'empreinte environnementale des procédés de traitement.

IV.5.3. Combinaison poudre des feuilles du *Robinia pseudoacacia* et sulfate d'aluminium

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la combinaison (phyto-coagulant/coagulant chimique) à base de feuilles de *Robinia pseudoacacia* et de sulfate d'aluminium sont illustrés dans le schéma suivant :

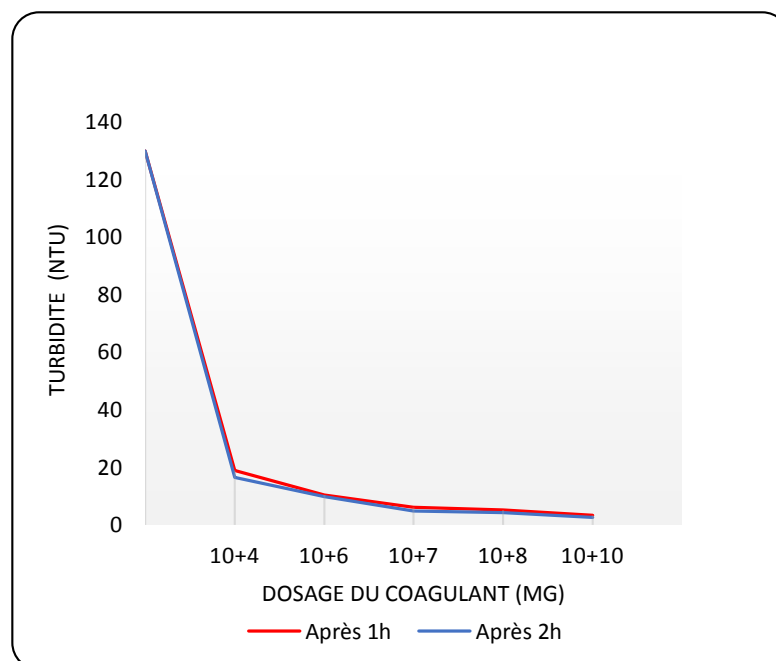


Figure 30 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à bases de feuilles de robinier et de coagulant chimique à base sulfate d'aluminium

Les résultats démontrent l'efficacité synergique du robinier et du sulfate d'aluminium dans la réduction significative de la turbidité, atteignant la valeur cible de 4,8 NTU. Ce test a permis d'atteindre une qualité d'eau conforme aux normes de turbidité tout en réduisant la quantité de sulfate d'aluminium utilisé, diminuant de 30 mg/L à 7 mg/L.

Les diverses combinaisons de 10 mg/L de robinier (R) avec des doses variables de sulfate d'aluminium (S) ont eu un impact notable sur la turbidité mesurée. Par exemple, l'association de 10 mg de robinier avec 7 mg/L de sulfate d'aluminium a abouti à une turbidité de 6 NTU après 1 heure de décantation et de 4,8 NTU après 2 heures. Ces résultats soulignent la capacité des mélanges coagulants à optimiser efficacement le traitement de l'eau tout en minimisant l'utilisation de produits chimiques, une approche cruciale pour garantir une eau de qualité conforme aux standards sanitaires rigoureux.

IV.5.4. Combinaison poudre des feuilles du *Morus alba* et sulfate d'aluminium

Les résultats des essais sur jar test obtenus en utilisant la combinaison (phyto-coagulant/coagulant chimique) à base de feuilles de *Morus alba* et de sulfate d'aluminium sont illustrés dans le schéma suivant :

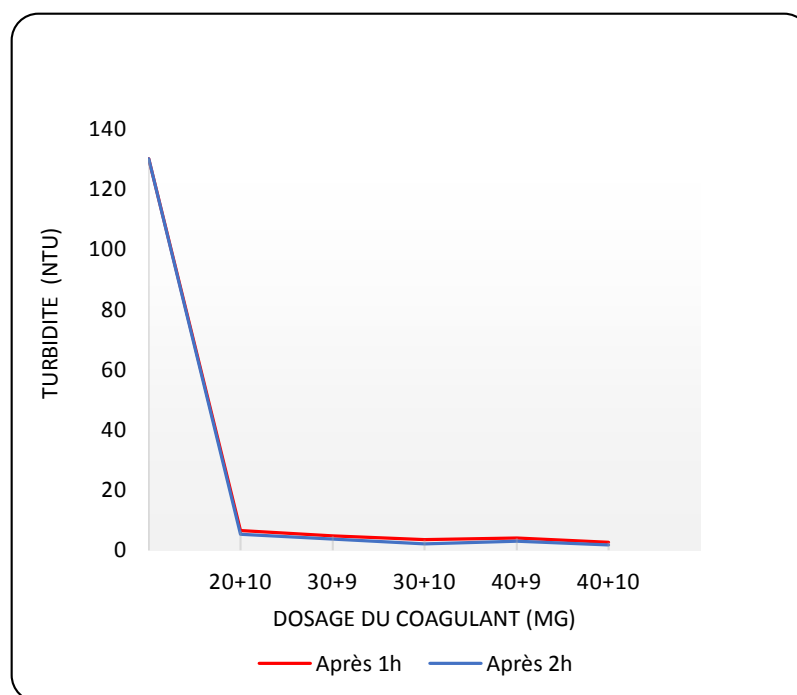


Figure 31 : Variation de la turbidité en fonction de différentes doses de phyto-coagulant à base des feuilles du murier coagulant chimique à base sulfate d'aluminium

Les résultats illustrés dans la figure 31, démontrent l'efficacité de la combinaison phyto-coagulant/coagulant chimique pour le traitement de l'eau. Quatre mélanges (phyto-coagulant + coagulant chimique) ont permis d'atteindre la norme de potabilité : (30 mg + 9 mg) avec une valeur de 3,7 NTU, la combinaison (30 mg/L + 10 mg/L) qui donne une turbidité de 2 NTU, les doses (40 mg/L + 9 mg/L) avec 3 NTU et le mélange (40 mg/L + 10 mg/L) résulte 1.8 NTU. Visant à minimiser la quantité de coagulant, le mélange optimal a été identifié comme étant 30 mg/L de poudre de feuilles du murier avec 9 mg/L de sulfate d'aluminium. Cette approche a non seulement permis d'obtenir une eau conforme aux normes de turbidité pour la potabilité, mais a aussi réduit significativement la quantité de sulfate d'aluminium nécessaire, passant de 30 mg/L à 9 mg/L. Ces résultats soulignent l'efficacité de l'utilisation combinée de ce phyto-coagulant naturel et d'une dose réduite de coagulant chimique pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau tout en minimisant l'emploi de produits chimiques.

IV.6. Etude du pH

Pour étudier l'impact de l'ajout de différentes combinaisons (phyto-coagulants + coagulant chimique) sur le pH de l'eau traitée, nous avons mesuré le pH initial de l'eau à 7,80 avant d'effectuer les tests de coagulation. Les résultats obtenus sont répertoriés dans le tableau suivant, montrant les variations de pH pour chaque type de combinaison.

Tableau 12 : Variation du pH selon les différentes combinaisons de phyto-coagulant avec le coagulant chimique

Phyto-coagulant + Coagulants chimique	Variation du pH
Peau de banane + Sulfate d'aluminium	7,85 à 8
Feuilles de robinier + Sulfate d'aluminium	7 à 7,40
Feuilles de murier + Sulfate d'aluminium	7,20 à 7,40
Gousses de fève + Sulfate d'aluminium	7,87 à 7,92

Après l'application des diverses combinaisons de phyto-coagulants avec le coagulant chimique, les valeurs de pH ont oscillé entre 7 et 8, variant selon le matériau coagulant utilisé. Ces résultats

sont particulièrement significatifs car ils restent dans la plage acceptable pour l'eau potable définie par la législation algérienne, qui fixe les limites de pH entre 6,5 et 9,5.

Ces observations soulignent la différence d'impact entre les mélange de (phyto-coagulants et le coagulants chimiques) et l'élaboration du coagulant chimique traditionnels à lui seul sur les propriétés chimiques de l'eau traitée. Elles mettent en évidence l'importance cruciale du choix des méthodes de traitement pour maintenir les paramètres de l'eau dans les limites requises, garantissant ainsi sa qualité et sa potabilité.

Cette étude comparative réaffirme l'intérêt potentiel des phyto-coagulants comme alternative plus douce aux coagulants chimiques, offrant un traitement efficace tout en préservant mieux l'équilibre chimique naturel de l'eau.

IV.7. Discussion

Les résultats obtenus à partir des tests sur différents phyto-coagulants et le sulfate d'aluminium fournissent des indications précieuses sur leur efficacité respective dans le traitement de l'eau. Initialement, nous avons évalué l'effet de divers phyto-coagulants, tels que la peau de banane, les épluchures de gland de chêne, le pissenlit, les feuilles de cardon, les feuilles de vigne, les feuilles de thuya et le nombril de venus, sur la turbidité de l'eau. Les résultats ont montré des diminutions significatives de la turbidité, atteignant par exemple une valeur minimale de 29,2 NTU après 1 heure de décantation et de 25,8 NTU après 2 heures pour le phyto-coagulant optimal.

En parallèle, nous avons également analysé l'impact de ces phyto-coagulants sur le pH de l'eau traitée. Les variations de pH observées après l'ajout des différents coagulants se sont maintenues dans une plage acceptable pour l'eau potable, entre 7,74 et 8,20, à l'exception notable du sulfate d'aluminium qui a entraîné une diminution marquée du pH jusqu'à 6,20 dans certains cas, en deçà des normes réglementaires.

Pour compléter ces analyses, des mélanges de phyto-coagulants avec le sulfate d'aluminium ont été testés afin de trouver des combinaisons efficaces permettant de réduire la quantité de sulfate d'aluminium tout en maintenant la qualité de l'eau conforme aux normes de potabilité. Les résultats ont montré que des mélanges spécifiques, comme celui associant 30 mg de phyto-coagulant avec 10 mg/L de sulfate d'aluminium, ont permis d'atteindre une turbidité de

seulement 4,4 NTU après 2 heures de décantation, tout en réduisant la dose de sulfate d'aluminium de manière significative, passant de 30 mg/L à 10 mg/L.

L'étude montre que l'élimination de la turbidité la plus élevée est de 97.16 % par les feuilles du murier avec le sulfate d'aluminium avec un rapport de 9 mg/L et 30 mg/L (sulfate d'aluminium et phyto-coagulant) suivi par les cosses de fève avec le sulfate d'aluminium qui peut éliminer 96.62 % de la turbidité également avec un rapport de 30 mg/L : 10 mg/L (phyto-coagulant : alun) alors que les feuilles du robinier avec le sulfate d'aluminium peut éliminer 96.31 % de turbidité au rapport 10 mg/L : 7 mg/L (phyto-coagulant : alun), en dernier la peau de banane combinée avec le sulfate d'aluminium avec un rapport de 30 mg/L : 10 mg/L (phyto-coagulant : alun) montre un taux d'abattement de 96.16 %. Les résultats montrent également que phyto-coagulants à base de peau de banane, feuilles du robinier, feuilles du murier et les cosses de fève combinés avec le coagulant chimique ont un potentiel élevé qui peut réduire la turbidité plus que le coagulant chimique tout seul et cela en réduisant la quantité du sulfate d'aluminium jusqu'à des doses de 7, 9 et 10 mg/L.

Ces résultats démontrent que les phyto-coagulants peuvent offrir une alternative prometteuse aux coagulants chimiques traditionnels comme le sulfate d'aluminium, en assurant une efficacité comparable dans la clarification de l'eau tout en minimisant les impacts sur le pH. Cette approche non seulement répond aux exigences de qualité de l'eau potable, mais contribue également à réduire l'empreinte environnementale des procédés de traitement de l'eau. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour affiner les dosages et les combinaisons de coagulants végétaux afin d'optimiser leur efficacité et leur applicabilité dans différents contextes environnementaux et géographiques.

D'autres études, telles que celles de Gandi Wa, Moyo et al. (2020), ont montré l'efficacité du gel de cactus comme coagulant naturel, réduisant la turbidité de 29 NTU à 3 NTU, soit un taux d'abattement de 97 %. D'autres auteurs comme Young et al. 2005 et 2006 ; et Kevin et al. 2005, confirment également que le mucilage extrait de cactus agit comme un coagulant efficace dans le traitement de l'eau trouble.

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 inférieure à 1 NTU.

D'après les travaux d'Almeida et al (2015) menée sur le pouvoir coagulant d'*Abelmoschus esculentus* 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 teneur 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.

L'étude réalisée par Sures Narayasamy et Halimi Mohd Saud en 2014 a évalué l'efficacité des graines de *Moringa oleifera* comme coagulant naturel pour réduire la turbidité de l'eau en Malaisie. Les résultats indiquent que les graines de *Moringa oleifera*, récoltées durant la saison sèche, peuvent réduire la turbidité de l'eau jusqu'à 88% avec une dose de 1,0 g/L [125].

De manière complémentaire, Ali et al. (2010) ont démontré une capacité de réduction de la turbidité atteignant 96,23 % avec une dose plus faible de graines de *Moringa oleifera* (0,4 mg/L), appliquée à des eaux de rivière présentant une turbidité initiale de 34-36 NTU [126].

En 2022, Tariq Zedan et al, ont utilisé un coagulant naturel à base de graines de noix pour traiter l'eau et réduire la turbidité, tant seul qu'en complément de l'alun. Les tests ont été effectués avec des turbidités initiales de 10 à 200 NTU, des pH de 3 à 11, et des doses de coagulant allant de 1 à 5 ml/L. La dose optimale d'extrait de graines de noix a été déterminée à 3 ml/L, atteignant une efficacité maximale de réduction de la turbidité à un pH supérieur à 7. L'extrait de graines de noix a non seulement amélioré les performances de la coagulation mais aussi réduit la quantité d'alun nécessaire [127].

L'efficacité de la coagulation du cactus en tant que coagulant macromoléculaire naturel a été explorée par Zhang et al, dans une étude visant à traiter une source d'eau potable prélevée de Changjiang, Wuhan. Cette étude comparait le cactus à deux coagulants chimiques, l'alun ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) et le polyferric sulfate (PFS). Avec une turbidité initiale de 50 NTU, un pH de 8,15 et une température de l'eau de 16,8°C, les résultats ont montré que l'alun présentait l'efficacité maximale de réduction de la turbidité, suivi par le PFS et enfin le cactus. Cependant, les trois coagulants ont obtenu une réduction de la turbidité supérieure à 93 %, indiquant que le cactus pourrait potentiellement remplacer $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et PFS dans le traitement des sources d'eau potable [128].

En 2016, Hussein Janna a conduit des expériences en laboratoire pour évaluer l'efficacité de la solution de feuilles de *Conocarpus* (CLS) comme coagulant naturel, en combinaison avec de l'alun, dans la purification de l'eau trouble. Utilisant le jar-test, les essais ont porté sur des turbidités de 20-35 NTU et 90-120 NTU. Les résultats ont montré que la dose optimale d'alun seul pour l'eau à haute turbidité est d'environ 18 mg/L à pH 7 et de 24 mg/L à pH 5 et 9. Pour l'eau à faible turbidité, la dose optimale d'alun était inférieure. En combinant l'alun avec la CLS, un ratio de 33% de solution de feuilles a permis de réduire la turbidité de 50 % à pH 5 et de 75 % à pH 9 dans la plage de turbidité élevée. À pH 7 et 9, la réduction de la turbidité a atteint respectivement 62 % et 65 % dans la plage de turbidité faible. Une réduction moindre de la turbidité a été observée à pH 5 [129].

Les capacités coagulantes des extraits de graines de *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec) et de *Cuminum cyminum* (cumin) ont été évaluées par Chitteti et al, en 2012 en utilisant de l'eau trouble naturelle. Seul l'extrait de *T. foenum-graecum* a démontré une capacité de coagulation indépendante des variations de pH et de température, restant stable jusqu'à 100°C et dans une plage de pH de 4,0 à 10,0. L'extrait de *C. cyminum* a montré une propriété de coagulation très limitée (16 ± 2). L'extrait de graines de *T. foenum-graecum* a atteint environ 80% de propriétés coagulantes, comparé aux coagulants naturels tels que *Strychnos potatorum* et *Moringa oleifera*, et au coagulant chimique $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, qui ont montré des efficacités respectives d'environ 90 %, 65 % et 95 %, utilisés comme références pour cette étude [130].

Aussi les tests de coagulation-floculation trouvés par Abderrezzaq BENALIA, 2023 ont montré que les réductions de turbidité étaient de 93,26 % pour l'*Aloe Vera* et 88,59 % pour l'*Acorn*. Les traitements des eaux usées industrielles de Sonatrach ont également démontré des

efficacités maximales de réduction de la turbidité, 90,60 %, pour l'*Acorn*, et 93,64 % pour l'*Aloe Vera* [55].

L'étude menée par Tometin et al, en 2022 a analysé les échantillons d'eaux usées provenant des hôpitaux de Bakita et Zone, situés dans le nord du Bénin. Ces échantillons ont été collectés, caractérisés et traités avec des extraits de graines de *Moringa oleifera* (MO), de *Luffa cylindrica* (LC) et de feuilles d'*Azadirachta indica* (AZ). Les résultats du jar-test ont montré des réductions de la turbidité de 95 % avec MO, de 75 % avec LC et de 60,30 % avec AZ [131].

Slimani et Soufi (2021) ont démontré des taux d'abattement de la turbidité remarquables en utilisant différents bio-coagulants sur les eaux du barrage de Taksebt. Les graines de *Moringa oleifera* ont montré une réduction de la turbidité de 92,19 %, suivies par le cactus (88,29 %), le tanin (79,51 %) et les feuilles de *Moringa oleifera* (61,46 %) après 2 heures de décantation. Ces résultats soulignent le potentiel des bio-coagulants à base de plantes pour des applications pratiques dans le traitement de l'eau.

Belhoucine et Hamou Lhadj (2019) ont approfondi cette recherche en testant des bio-coagulants à base d'arbousier, de cactus, de caroubier et de *cistus*, obtenant des taux d'abattement de la turbidité atteignant 98,34 % après optimisation des doses. Cette étude confirme l'efficacité élevée des bio-coagulants et suggère que l'optimisation des doses peut améliorer encore d'avantage leurs performances.

Saleem et Bachmann (2019) ont réalisé une revue systématique compilant les résultats de nombreuses études sur les bio-coagulants, soulignant leur efficacité comparable aux coagulants chimiques conventionnels. Nandini et Sheba (2016) ont également rapporté des taux d'abattement de la turbidité très élevés pour divers bio-coagulants naturels, tels que les graines de *Nephelium lappaceum* (99 %), les feuilles de *Cassia alata* (93,33 %), le fruit de *Cocinia indica* (99,3 %) et les graines de *Parkinsonia aculeata* (99,7%). Ces résultats renforcent l'idée que les bio-coagulants peuvent être des alternatives viables aux coagulants chimiques.

Hiremath et al et Jaseela et al ont utilisé des graines de pois chiches pour traiter l'eau provenant de l'industrie laitière et ont rapporté une réduction de la turbidité de 86,29 %. Un autre groupe a rapporté une réduction de plus de 95 % de la turbidité préliminaire, qui était similaire à celle de l'alun. Choy et al. (2015) ont indiqué que la présence de fortes teneurs en sucre et en protéines dans le pois chiche était principalement responsable de l'élimination/la coagulation des particules.

Mataka et al (2006) ont rapporté que les graines d'arachide ont un effet similaire à celui des graines de *moringa*, et les tourteaux délipidés se sont avérés plus efficaces (dans l'élimination des métaux lourds des eaux usées) que l'extrait de graines brut. Par conséquent, l'efficacité de l'activité coagulante de l'arachide peut être augmentée en éliminant la partie lipidique des graines.

L'étude faite par Mbogo, S.A (2008) Les extraits de graines de *Glycine max L.* (soja) peuvent être utilisés comme coagulant principal ou comme coagulant auxiliaire de l'alun pour nettoyer les eaux de surface brutes contaminées. L'efficacité de la coagulation des graines de soja était excellente dans la clarification des eaux de surface au-delà de 450 NTU, tandis que, en tant qu'adjuvant coagulant de l'alun, une élimination de la turbidité de 96 % a été rapportée.

Raji et al (2016) ont découvert que les extraits de graines de gombo étaient très efficaces pour éliminer la turbidité de 580 à 5 NTU à une dose de 300 mg/L et à un pH de 7,0, ce qui est conforme à la limite standard recommandée par l'OMS. Des travaux similaires menés par Thakur et al (2014) et Mishra et al (2017) ont révélé que les extraits de graines de gombo peuvent efficacement éliminer la saleté de l'eau même à une dose de 200 mg/L.

Mohandhas Dharsana et Arul Jose Prakash (2023) prouvent que l'élimination de la turbidité avec 0,4 g/L de peau de banane modifiée a atteint 90 %. Bien que la performance de la coagulation ait été quelque peu améliorée à des concentrations de NaCl inférieures à 0,4 g/L, l'activité a été réduite, même dans la poudre modifiée, à des concentrations plus élevées. La poudre de peau de banane a réduit de manière significative l'aquarelle, le total des solides dissous et en suspension, ainsi que les paramètres chimiques et biologiques dans l'eau de rivière, mais n'a réduit la turbidité que de 75 % et 83 %, respectivement. Pour les poudres non modifiées et modifiées.

Chaturvedi et al. (2018) ont utilisé l'extrait aqueux de peau de banane et ont pu éliminer jusqu'à 88 % de la turbidité de l'eau des eaux usées domestiques dans les conditions optimisées des paramètres testés. Dans une autre étude, l'extrait en poudre de peaux de banane (*Musa paradisiaca*) a éliminé jusqu'à 83 % de la turbidité de l'eau à toutes les valeurs de pH testées, et l'élimination maximale de la turbidité a été enregistrée à un pH compris entre 5 et 9, soit 98,8 % (Daverey et al., 2019), ce qui suggère le potentiel prometteur de l'utilisation des peaux de banane en tant que technique de traitement de l'eau sûre et rentable pour l'élimination de la turbidité.

Le jus de moelle de banane a été utilisé par Alwi et al. (2013) à réduire les paramètres physico-chimiques de l'eau, notamment la turbidité, matières en suspension et demande chimique en oxygène ; ils ont réussi réduction de la turbidité de 98,5 %. Ils ont proposé que le jus contienne l'inuline, qui est l'agent coagulant actif responsable de la création ponts et ainsi diminuer les paramètres mentionnés.

Dans cette étude de Dragana V. Kukić et autres (2015) l'applicabilité des extraits de graines de fèves (*Vicia faba* L.), en tant que coagulants naturels, a été étudiée. Les coagulants ont été obtenus par extraction, avec de l'eau distillée ou des solutions de NaCl, à partir de graines broyées et ont été appliqués comme coagulants, à différentes doses, dans de l'eau synthétique ayant différentes turbidités initiales et valeurs de pH. La présence de NaCl dans l'eau a montré que l'augmentation de la force ionique entraîne une plus grande quantité de composés extraits, mais n'affecte pas l'activité de coagulation. L'application de différentes doses de coagulant dans l'eau a montré que la meilleure activité de coagulation est obtenue en ajoutant une dose de 0,125 ml/l.

L'expérience réalisée par Marina Šćiban et autres (2009) nous montre que la capacité des extraits de graines de plusieurs espèces de marrons et de glands à agir comme coagulants naturels a été testée en utilisant une eau trouble synthétique. Les composants actifs ont été extraits de graines moulues de marron d'Inde et de glands de certaines espèces de la famille des *Fagaceae* : chêne commun, chêne de Turquie, chêne rouge du Nord et marron d'Europe. Tous les extraits étudiés avaient des capacités de coagulation et leurs quantités dépendaient des valeurs de pH et des turbidités initiales. Les extraits de graines de châtaignier européen et de gland de chêne commun étaient les plus efficaces, exprimant les activités de coagulation les plus élevées, environ 80 % et 70 %, respectivement, dans les turbidités faibles et moyennes de l'eau étudiée, à la dose de coagulant la plus faible, 0,5 ml/L.

Par conséquent, l'objectif de cette étude faite par Nur Syamimi Zaidi (2019) est d'examiner l'efficacité des pelures de fruits en tant que coagulants naturels dans le traitement de l'eau par rapport à l'utilisation de l'alun. D'après les résultats, la concentration optimale de solvant de 2,0 M d'hydroxyde de sodium (NaOH) réagissant avec des écorces de mangue à un pH optimal et un dosage de coagulant de pH 2 et 110 mg/L, respectivement, a montré la plus grande élimination de turbidité de 92,7 % par rapport aux autres coagulants naturels testés, y compris le coagulant chimique, qui était l'alun.

Azzah Syahmina et Noor Farahin (2019) ont exploré l'efficacité de différents bio-coagulants en combinaison avec le sulfate d'aluminium. La tige de bananier s'est révélée particulièrement efficace, éliminant jusqu'à 97 % de la turbidité lorsqu'elle était combinée à l'alun dans un rapport de 1:3. Ces résultats suggèrent que les combinaisons de bio-coagulants et de coagulants chimiques peuvent offrir des solutions optimisées pour le traitement de l'eau. [132].

Selon les résultats obtenus par H. Kashi et al (2017), la quantité optimale d'alun (sans additifs) a été calculée comme étant de 35 mg/L pour l'eau avec une turbidité initiale de 70-75 NTU, en tant qu'intervalle de turbidité moyen. En utilisant les graines d'*A. Gossypinus* et de *T. foenum-graecum* comme coagulants, la quantité optimale d'alun a atteint 22 mg/L. L'efficacité de l'*A. gossypinus* performance d'*A. Gossypinus*, en tant qu'auxiliaire coagulant, était bien meilleure à de faibles concentrations. Il a été utilisé à des doses de 0,25, 1 et 2 mg/L avec 20, 22 et 28 mg/L d'alun pour des niveaux de turbidité faibles, intermédiaires et élevés (28, 70 et 120 NTU) et a conduit à des pourcentages d'élimination de la turbidité. Ont conduit à des pourcentages d'élimination de la turbidité de 85, 94,5 et 96,4, respectivement. Les quantités optimales de graines de *T. foenum-graecum* pour les trois niveaux de turbidité mentionnés ont été calculées comme étant de 1, 2 et 4 mg/L. Les pourcentages d'élimination de la turbidité de 91,5, 95,7 et 97,8 ont été obtenus en utilisant les quantités mentionnées de graines de *T. foenum-graecum* avec 20, 22 et 25 mg/L d'alun, respectivement. Des résultats similaires ont été obtenus en utilisant les deux additifs avec l'alun.

Selon Subhash K.Y (2022), des peaux d'orange, des peaux de banane et des mélanges d'alun avec des peaux d'orange et des peaux de banane sont utilisés comme coagulants à la place des coagulants chimiques couramment utilisés pour réduire la turbidité d'une eau trouble synthétiquement préparée de 1005 NTU. L'efficacité des écorces d'orange, des écorces de banane, du mélange d'alun et d'écorces de banane, du mélange d'alun et d'écorces d'orange était respectivement de 79,4 %, 85,4 %, 90,8 % et 88,9 %. L'effet du coagulant naturel sur d'autres paramètres de qualité de l'eau, tels que le pH, la dureté et l'alcalinité, a également été déterminé.

L'intérêt pour la phytofloculation, qui utilise des flocculants d'origine végétale, s'est accru ces dernières années. Piotr Macczak et al. (2020) ont mis en évidence l'efficacité des polysaccharides tels que l'amidon, la cellulose et le *chitosane* pour éliminer la turbidité, la DCO, les microorganismes et divers polluants. Des phyto-flocculants comme la gomme de guar et la gomme xanthane ont montré des résultats prometteurs dans l'élimination des métaux lourds et des colorants.

Dans l'étude faite par Ashwini.P.S (2023) comparative du bio-floculant de cocoyam (CYBF) avec d'autres floculants prouve qu'en utilisant le bio-floculant, l'élimination la plus élevée de TSS (85,5 %), TDS (76,2 %), BOD (74 %), COD (50,5 %), sulfate (54,4 %), nitrate (52 %), plomb et autres métaux lourds a été obtenue, nitrate (52 %), plomb (65%), chrome (60 %), nickel (57,9 %), des effluents de tannerie a été obtenue à un pH de 6 et avec le cocoyam. Le bio-floculant a montré une excellente efficacité de floculation et peut donc être utilisé dans le traitement des eaux usées pour éliminer les métaux lourds et d'autres

Dans une étude précédente de Nath et al. (2021), les auteurs ont montré que plusieurs coagulants chimiques ont la capacité de modifier les propriétés physicochimiques de l'eau traitée. Les mêmes auteurs ont encouragé l'utilisation de coagulants naturels pour remplacer les coagulants chimiques. Plusieurs études ont conclu que les coagulants naturels solution durable pour le traitement des eaux usées. L'environnement et l'écosystème comme une solution durable aux problèmes de des eaux usées (Mumbi et al., 2018). L'utilisation de coagulants naturels est pratiquée depuis l'Antiquité et a fait ses preuves dans le traitement de l'eau, tout en conservant les avantages naturels (Nandini et Sheba (2016).

Conclusion et perspectives

Dans le cadre de cette étude, nous avons cherché à améliorer le traitement des eaux de surface riches en matières colloïdales et en micro-organismes en utilisant des produits naturels pour remplacer ou réduire l'utilisation des coagulants chimiques traditionnels dans les stations de traitement d'eau classiques.

Nous avons examiné la qualité physico-chimique de l'eau de surface d'Ain El Hammam, près des villages Agoun-n-teslent et Taourirt-amran, constatant une minéralisation moyenne, un pH légèrement basique (pH = 7.80) et une turbidité élevée de l'ordre de 130 NTU.

L'utilisation du sulfate d'aluminium comme coagulant a montré une grande efficacité pour réduire la turbidité et éliminer les matières en suspension colloïdales, atteignant un rendement de 99,22 % à la dose optimale de 30 mg/L.

Cependant, nos tests avec des phyto-coagulants à base de plantes et de déchets alimentaires (comme la peau de banane, le cardon, les épiluchures de glands de chêne, le pissenlit, la vigne, le nombril de Vénus et le thuya) ont également donné des rendements élevés, variant entre 49,69 % et 80,15 %. Ces résultats montrent que les phyto-coagulants peuvent être une alternative prometteuse et écologique aux coagulants chimiques.

L'utilisation de phyto-coagulants présente plusieurs avantages : ils sont respectueux de l'environnement, non toxiques, biodégradables et peuvent être produits localement, ce qui les rend particulièrement intéressants pour les pays en développement. En combinant les coagulants organiques avec des coagulants chimiques, nous avons réussi à réduire la quantité de sulfate d'aluminium nécessaire pour atteindre la norme nationale de turbidité acceptable pour l'eau de consommation (≤ 5 NTU). Les résultats ont montré une réduction significative de la quantité de coagulant chimique, allant de 30 mg/L à 7 mg/L avec le mélange de robinier et sulfate d'aluminium, et à 10 mg/L avec les combinaisons de sulfate d'aluminium avec les cosses de fèves et la peau de banane.

L'observation des valeurs de pH après traitement a montré des variations acceptables entre 7,74 et 8,20 sont conformes aux normes de l'OMS et de la loi algérienne (6,5 à 9,5).

En résumé, nos résultats démontrent que :

- Certaines poudres de plantes testées ont une capacité de coagulation comparable à celle du sulfate d'aluminium ;

Conclusion et perspectives

- La poudre du nombril de venus a montré une excellente capacité de coagulation, avec une réduction de la turbidité dépassant 80 % ;
- Les produits naturels ont un pouvoir coagulant et floculant rivalisant avec celui des coagulants chimiques et des polymères synthétiques ;
- Les phyto-coagulants offrent une solution écologique et efficace pour le traitement de l'eau, avec des performances fiables et une acceptabilité publique ;
- Ils peuvent être combinés avec des coagulants chimiques pour réduire leur quantité et atteindre les normes de qualité de l'eau ;
- L'utilisation de phyto-coagulants n'affecte pas négativement le pH de l'eau traitée.

Les perspectives futures incluent une étude approfondie de la composition biochimique des plantes pour identifier les composés responsables de la coagulation, l'optimisation des méthodes d'extraction pour améliorer le rendement des phyto-coagulants, et une évaluation économique de leur commercialisation. De plus, la valorisation des déchets produits par la coagulation-floculation à base de plantes pourrait offrir des avantages supplémentaires en tant que conditionneur du sol ou engrais dans le secteur agricole. Nous espérons que cette recherche contribue à l'utilisation future de phyto-coagulants dans le traitement de l'eau à une échelle industrielle, promouvant ainsi une technologie verte et durable.

Références bibliographiques

- **Benalia, K. Derbal, A. Panico, F. Pirozzi**, Use of acorn leaves as a natural coagulant in a drinking water treatment plant, *Water*. 11 (2019) 1–12. <https://doi.org/10.3390/w11010057>.
- **A. Benalia, K. Derbal**, Comparative study between aluminum sulfate and ferric chloride in water treatment : turbidity removal, *J. Des Dr.* 1 (2015) 4–9.
- **A. Benalia, K. Derbal**, Etude expérimentale et modélisation du processus de la coagulation floculation : application aux eaux destinée a la consommation, Université Constantine3, 2015.
- **A. López-Maldonado, M.T. Oropeza-Guzman, J.L. Jurado-Baizaval, A. Ochoa- Terán**, Coagulation-flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements, *J.Hazard.Mater.* 279(2014)1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.025>.
- **A. Matilainen, N. Lindqvist, T. Tuhkanen**, Comparison of the Efficiency of Aluminium and Ferric Sulphate in the Removal of Natural Organic Matter During Drinking Water Treatment Process, *Environ. Technol.* 26 (2005) 867–875. <https://doi.org/10.1080/09593332608618502>
- **A. Ndabigengesere, N. K.Subba**, Quality Of Water Treated By Coagulation Using Moringa Oleifera Seeds, *Water Res.* 32 (1998) 781–791. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9).
- **A. Scholes, K. Adenike, O. Aderonke**, Efficacy of a natural coagulant protein from Moringa oleifera (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water , Ile-Ife , Nigeria, *Heliyon*. 6 (2020) e03335. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335>.
- **Abderrezzaq BENALIA.**, 2023 , Extraction et valorisation des produits actifs des plantes en tant que biocoagulants utiles dans l’amélioration de qualité des eaux, thèse de doctorat, université Constantine 3.
- **Alen,S** (2016).Etude comparative entre coagulation-floculation et electrocoagulation-electrofloculation.Memoire de fin de cycle .UAMB.105p.Algerie.
- **Alexander von Humboldt**, Essai politique sur le royaume de la Nouvelle-Espagne, Chez Antoine-Augustin Renouard, 1825
- **Ali, M.; Mustafa, A.; Saleem, M.** Comparative Study between Indigenous Natural Coagulants and Alum for Microalgae Harvesting. *Arab. J. Sci. Eng.* 2019, 44, 6453–6463.
- **Al-Mutairi, N.Z.** Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2006, 65, 74–83.

- **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. 44 pages. Algérie.
- **Anna Ciancolini**, DÉFINITION ET CHOIX DU GERMPLEIN GLOBE ARTICHOKE ET CARDOON POUR BIOMASS, PRODUIT DE FOOD ET BIOCOMPOUND, Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, ENEA, 2012
- **Asrafuzzaman, M.; Fakhrudin, A.N.M.; Hossain, M.A.** Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. *ISRN Microbiol.* 2011, 2011, 1–6.
- **Aviso, K.B.; Tan, R.R.; Culaba, A.B.; Cruz, J.B.** Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints. *J. Clean. Prod.* 2011.
- **Azzah S. Noor Farahin** 2022. Study on Aloe Vera, Cactus and Banana stem as bio-coagulant in removal of turbidity. Civil engineering department, politeknik sultan IDRIS Shah, Sabak Bernam, Selangor.
- **B. Jefferson, E.L. Sharp, E. Goslan, R. Henderson, S.A. Parsons**, Application of charge measurement to water treatment processes, *Water Sci. Technol. Water Supply.* 4 (2004) 49–56. <https://doi.org/10.2166/ws.2004.0092>
- **B. K. Dwarapureddi, V. Saritha**, Plant based Coagulants for Point of Use Water Treatment – A Review, *Curr. Environ. Eng.* 3 (2016) 61–76. <https://doi.org/10.2174/221271780301160527201624>
- **B. Ramavandi, S. Hashemi, R. Kafaei**, A novel method for extraction of a proteinous coagulant from *Plantago ovata* seeds for water treatment purposes, *MethodsX.* 2 (2015) 278–282. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2015.05.006>.
- **B. Ramavandi**, Treatment of water turbidity and bacteria by using a coagulant extracted from *Plantago ovata*, *Water Resour. Ind.* 6 (2014) 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.07.001>.
- **B.S. Marina, J.M. Prodanovi, V.K. Dragana, N.T. Aleksandra, A.V. Mirjana**, Extracts of fava bean (*Vicia faba L.*) seeds as natural coagulants, *Ecol. Eng.* 84 (2015) 229–232. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.008>.
- **Barakwan, R.A.; Trihadiningrum, Y.; Bagastyo, A.Y.** Characterization of alum sludge from Surabaya Water Treatment Plant, Indonesia. *J. Ecol. Eng.* 2019, 20, 7–13.
- **Bernd schulz** (trad. de l'allemand), Bourgeons et rameaux : avec 180 dessins et 280 aquarelles de l'auteur, Paris, Delachaux, 2015, 190 p

- **Birima, A.H.; Hammad, H.A.; Desa, M.N.M.; Muda, Z.C.** Extraction of natural coagulant from peanut seeds for treatment of turbid water. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2013, 16.
- **Bojórquez-Quintal, E.; Escalante-Magaña, C.; Echevarría-Machado, I.; Martínez-Estévez, M.** Aluminum, a Friend or Foe of Higher Plants in Acid Soils. *Front. Plant Sci.* 2017, 8, 363–369.
- **Bourezg N. Belguermi Abdelmoumne.** (2022). Etudes des performances du chitosane comme coagulant pour l'enlèvement de la turbidité des eaux usées. Mémoire de fin de cycle Master. UBBA. Algérie
- **C. Desjardins, B. Koudjonou, R. Desjardins,** Laboratory study of ballasted flocculation, *Water Res.* 36 (2002) 744–754. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00256-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00256-1)
- **C. Desjardins,** Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (Actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Université de Montréal, 1999.
- **C. Exley,** La toxicité de l'aluminium chez l'homme, *Morphologie.* 100 (2016) 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2015.12.003>.
- **Cardwell, A.S.; Adams, W.J.; Gensemer, R.W.; Nordheim, E.; Santore, R.C.; Ryan, A.C.; Stubblefield, W.A.** Chronic toxicity of aluminum, at a pH of 6, to freshwater organisms: Empirical data for the development of international regulatory standards/criteria. *Environ. Toxicol. Chem.* 2018, 37, 36–48
- **Chaba, C, Seghilami, C.** (2022). Etude de l'efficacité des bio-floculants sur la qualité des eaux de surfaces. Mémoire de fin de cycle. UMMTO. 67.p. Algérie.
- **Chennafi, BA., Douadi, A.** (2021). Traitement des eaux de surface du barrage EL K'sob par coagulation-floculation. Mémoire de fin de cycle. UABM. 87p. Algérie.
- **Chitteti Ramamurthy, Malige Uma Maheswari, Natarajan Selvaganabathy, Muthuvel Suresh Kumar, Venugopal Sujatha,** Chinnasamy Thirunavukkarasu. Evaluation of eco friendly coagulant from *Trigonella foenum-graecum* seed. *Advances in Biological Chemistry* > Vol.2 No.1, February 2012
- **D. Guan, Z. Zhang, X. Li, H. Liu,** Effect of pH and temperature on coagulation efficiency in a North-China water treatment plant, *Adv. Mater. Res.* 243–249 (2011) 4835–4838. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.243-249.4835>.
- **D. Heredia, T. Gonza,** Evaluation of Ferric Chloride as a Coagulant for Cork Processing Wastewaters. Influence of the Operating Conditions on the Removal of Organic Matter and Settability Parameters, (2005) 6539–6548

- **Degrémont SA**, Mémento technique de l'eau, 10ème édit, Paris, 2005.
- **Edeline,1992** : Epuration physico-chimique des eaux, 2ème édition, Ed.Cebedoc, France.
- **Eman N. Ali, Suleyman A. Muyibi, Hamzah M. Salleh, Md Zahangir Alam, Mohd Ramlan M. Salleh**, 2010. Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. Journal of Water Resource and Protection, Vol.2 No.3, 2010
- **EPA Final Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Aluminum 2018**. Available online: <https://www.epa.gov/wqc/2018-final-aquatic-life-criteria-aluminum-freshwater>
- **Exley, C.; Clarkson, E.** Aluminium in human brain tissue from donors without neurodegenerative disease: A comparison with Alzheimer's disease, multiple sclerosis and autism. Sci. Rep. 2020, 10.
- **F. Hanis, M. Yunos, N. Mohd, H. Hartini, W. Jusoh, H. Khatoon, S. Shiung, A. Jusoh**, Harvesting of microalgae (Chlorella sp .) from aquaculture bio flocs using an environmental-friendly chitosan-based bio-coagulant, Int. Biodeterior. Biodegradation. 124 (2017) 243–249. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.07.016>.
- **F. Xiao, J.H. Huang, B. Zhang, C. Cui**, Effects of low temperature on coagulation kinetics and floc surface morphology using alum, Desalination. 237 (2009) 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.12.033>.
- **F.P. Camacho, V.S. Sousa, R. Bergamasco, M.R. Teixeira**, The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment, Chem. Eng. J. 313 (2017) 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>.
- **Fabrice et Valérie Le Bellec**, La culture des arbres fruitiers dans le verger tropical, Saint-Denis (Réunion), Orphie, décembre 2007, 266 p.
- **Fiche de l'ANSES**, 5 mars 2012, Taraxacum dens leonis PPH / Pissenlit PPH (Pharmacopée française 2002).
- **Fouad, M.M.; El-Gendy, A.S.; Razek, T.M.A.** Evaluation of leached metals in recovered aluminum coagulants from water treatment slurry. Water Sci. Technol. 2017, 75, 998–1006.
- **François Couplan**, Les végétaux et leurs appellations. Des récits étranges, Quae, 2012, p.103
- **G.N. Bidhendi, T. Shahriari, S. Shahriari**, Plantago Ovata Efficiency in Elimination of Water Turbidity, J. Water Resour. Prot. 1 (2009) 90–98. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2009.12013>.

- **Gautam. S and G. Saini**, 2020 : Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment Department of Civil Engineering, School of Engineering and Technology, Sharda University, Uttar Pradesh, India Global J. Environ.
- **Gillete-Guyonnet, S.; Andrieu, S.; Nourhashemi, F.; De La Guéronnière, V.; Grandjean, H.; Vellas, B.** Cognitive impairment and composition of drinking water in women: Findings of the EPIDOS study. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005, 81, 897–902.
- **Guene,RL.**(2017).Contribution a la valorisation des plantes flocculantes naturees dans le traitement de l'eau : cas de solanummelongena.Rapport de fin de formation de licence professionnelle en technologie alimentaire.Université d'ambey-calavi.70p.Benin.
- **H. Padhiyar, A. Thanki, N. Kumar, S. Pandey, M. Yadav**, Parametric and kinetic investigations on segregated and mixed textile effluent streams using *Moringa oleifera* seed powders of different sizes, *J. Water Process Eng.* 34 (2020) 101159– 101170. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101159>.
- **H. Zheng, G. Zhu, S. Jiang, T. Tshukudu, X. Xiang, P. Zhang, Q. He**, Investigations of coagulation – flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of floccs, *DES.* 269 (2011) 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.10.054>.
- **Hadji,L .,Berbah,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
- **Häkkinen M., 2009. Musa chunii Häkkinen**, a new species (Musacea) from Yunnan, China and taxonomic identity of *Musa rubra*. *J. Syst. Evol.*, 47, 87-91.
- **Halimi Mohd Saud**, 2014. Water Phytoremediation by Sedimentation Using *Moringa oleifera* Seed Powder to Remove Water Turbidity in Malaysia. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, Vol.3 No.2, 2014
- <https://flore-et-sante.fr/du-chlore-dans-leau-du-robinet-notre-sante-en-danger> consulter le 10/05/2024
- <https://www.lenntech.fr/periodique/elements/cl.htm> consulter le 10/05/2024
- **Hussein Janna**, 2016, Effectiveness of Using Natural Materials as a Coagulant for Reduction of Water Turbidity in Water Treatment, *World Journal of Engineering and Technology* > Vol.4 No.4.

- **I.G. Ezemagu, M.I. Ejimofor, M.C. Menkiti, C.C. Nwobi-okoye**, Modeling and optimization of turbidity removal from produced water using response surface methodology and artificial neural network, *South African J. Chem. Eng.* 35 (2021) 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.11.007>.
- **Ismail, N.; Halmi, M.I.E.; Al Sbani, N.H.; Idris, M.; Hasan, H.A.; Hashim, M.H.; Abdullah, S.R.S.; Jehawi, O.H.; Sanusi, S.N.A.; Sheikh Abdullah, S.R.; et al.** Accumulation of Fe-Al by *Scirpus grossus* Grown in Synthetic Bauxite Mining Wastewater and Identification of Resistant Rhizobacteria. *Environ. Eng. Sci.* 2017, 34, 367–375.
- **J. Tie, M. Jiang, H. Li, S. Zhang, X. Zhang**, A comparison between *Moringa oleifera* seed presscake extract and polyaluminum chloride in the removal of direct black 19 from synthetic wastewater, *Ind. Crop. Prod.* 74 (2015) 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.004>.
- **J.M. Siéliéchi, B.S. Lartiges, G.J. Kayem, S. Hupont, C. Frochot, J. Thieme, J. Ghanbaja, J.B. d’Espinoze de la Caillerie, O. Barrès, R. Kamga, P. Levitz, L.J. Michot**, Changes in humic acid conformation during coagulation with ferric chloride: Implications for drinking water treatment, *Water Res.* 42 (2008) 2111–2123. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.017>.
- **J.O. Odiyo, O.J. Bassey, A. Ochieng, L. Chimuka**, Coagulation efficiency of *Dicerocaryum eriocarpum* (DE) plant, *Water SA.* 43 (2017) 1–6. <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i1.01>
- **Jingdong Zhang, Fang Zhang, Yuhong Luo, Hong Yang**, 2006. A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment. *Process Biochemistry* Volume 41, Issue 3, March 2006, Pages 730-733
- **Jørgensen, S.E.; Löer, H.; Rast, W.; Straškraba, M.** Chapter 4 Measures for improving water quality. In *Developments in Water Science*; Elsevier B.V.: Amsterdam, Netherlands, 2005; Volume 54, pp. 169–242.
- **K. Zhu, M.G. El-din, A.K. Moawad, D. Bromley**, Physical and Chemical Processes for Removing Suspended Solids and Phosphorus from Liquid Swine Manure, *Environ. Technol.* 25 (2004) 1177–1187. <https://doi.org/10.1080/09593332508618385>.
- **KapseaSR Samadderb** ; 2021 : *Moringa oleifera* à base de tourteau de graine de presse dégraissée biocoagulant pour le traitement du charbon effluent de l'usine d'enrichissement. *Journal of Environmental*

- **Kaushal, R.; Goyal, H.** Treatment of Waste Water Using Natural Coagulants. SSRN Electron. J. 2019
- **Kawamura, S.**1991: Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. Journal of the American Water Works Association.88-91.
- **Keeley, J.; Jarvis, P.; Judd, S.J.** Coagulant recovery from water treatment residuals: A review of applicable technologies. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 2014, 44, 2675–2719.
- **Khellaf Rabhi,** Ajustement de modèles hauteur–circonférence–âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi Ouzou) ; effet de la densité et de la station. (Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Foresterie), Tlemcen, Université Abou Bekr Belkaïd, 2011, 82 p.
- **Kirchmann, H.; Börjesson, G.; Kätterer, T.; Cohen, Y.** From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: A soil science outlook. *Ambio* 2017, 46, 143–154.
- **Kluczka, J.; Zolotajkin, M.; Ciba, J.; Staroń, M.** Assessment of aluminum bioavailability in alum sludge for agricultural utilization. *Environ. Monit. Assess.* 2017, 189, 422. Mold, M.; **Linhart, C.; Gómez-Ramírez, J.; Villegas-Lanau, A.; Exley, C.** Aluminum and Amyloid-B in Familial Alzheimer's Disease. *J. Alzheimer's Dis.* 2020.
- **Kristianto, H.** The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: A Mini Review. *Water Conserv. Sci. Eng.* 2017, 2, 51–60.
- **Kristianto, H.; Rahman, H.; Prasetyo, S.; Sugih, A.K.** Removal of Congo red aqueous solution using *Leucaena leucocephala* seed's extract as natural coagulant. *Appl. Water Sci.* 2019, 9.
- **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>.
- **L.Checklist** 2017 *Morus alba*.
- **L.Checklist** 2017 *Thuja occidentalis*.
- **L.-S. Kang, J.L. Cleasby,** Temperature Effects on Flocculation Kinetics Using Fe(III) Coagulant, *J. Environ. Eng.* 121 (1995) 893–901. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(1995\)121:12\(893\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(1995)121:12(893)).
- **La classification APG III** (2009), établie par l'Angiosperm Phylogeny Group.

- **Lapointe, M.; Barbeau, B.** Substituting polyacrylamide with an activated starch polymer during ballasted flocculation. *J. Water Process Eng.* 2019, 28, 129–134.
- **Lim, T.K.** *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*; Springer International Publishing: Gewerbestr, Switzerland, 2016; ISBN 9789401772761.
- **Lyde A. S. Tometin, Odilon M. Nonfodji, Waris K. Chouti, Marius Dannon, Akim Aboubakari, Jacques K. Fatombil,** 2022. Use of Natural Coagulants in Removing Organic Matter, Turbidity and Fecal Bacteria from Hospital Wastewater by Coagulation-Flocculation Process. *Journal of Water Resource and Protection* > Vol.14 No.11, November 2022
- **M. Choudhary, M.B. Ray, S. Neogi,** Evaluation of the Potential Application of Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Bio-coagulant for Pre-treatment of Oil Sands Process- Affected Water, *Sep. Purif. Technol.* 209 (2019) 714–724. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.033>.
- **M. Fooladvand, B. Ramavandi, K. Zandi, M. Ardestani,** Investigation of trihalomethanes formation potential in Karoon River water, Iran, *Environ. Monit. Assess.* 178 (2011) 63–71. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1672-4>.
- **M. Holmes, P. Reeve, C. Pestana, C. Chow, G. Newcombe, J. West, S.A. Water,** Zeta Potential Measurement for Water Treatment Coagulation Control, *Conf. Oz Water.*(2015) 1-8.
- **M. Megersa, A. Beyene, A. Ambelu, L. Triest,** Comparison of purified and crude extracted coagulants from plant species for turbidity removal, *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16 (2019) 2333–2342. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1844-2>.
- **Martin Brink,** *Céréales et Pulses, Volume 1 des ressources végétales de l'Afrique tropicale,* PROTA, 2006, 297 p
- **Megersa, M.; Beyene, A.; Ambelu, A.; Asnake, D.; Bekele, T.; Firdissa, B.; Alebachew, Z.;** Triest, L.A Preliminary Evaluation of Locally Used Plant Coagulants for Household Water Treatment. *Water Conserv. Sci. Eng.* 2016,1, 95–102.
- **Mold, M.; Umar, D.; King, A.; Exley, C.** Aluminium in brain tissue in autism. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2018, 46, 76–82.
- **Mortula, M.; Bard, S.M.; Walsh, M.E.; Gagnon, G.A.** Aluminum toxicity and ecological risk assessment of dried alum residual into surface water disposal. *Can. J. Civ. Eng.* 2009, 36, 127–136.

- **Mumbi, A.W.; Fengting, L.; Karanja, A.** Sustainable treatment of drinking water using natural coagulants in developing countries: A case of informal settlements in Kenya. *Water Util. J.* 2018, 18, 1–11.
- **Mutated dandelion** in Setagaya Tokyo", dans Fukushima Diary, 8 mai 2012
- **N.S. Zaidi, K. Muda, L.W. Loan, M.S. Sgawi, M.A. Abdul Rahman,** Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment, *Int. J. Integr. Eng.* 11 (2019) 140–150. <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.01.017>.
- **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>
- **Particules En Suspension Et Colloïdes QE.** Consulté le: 8 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://qualitexpert-dz.com/divers/particules-en-suspension/>
- **Projet IRE. 2004**
- **R. Desjardins,** traitement des eaux.pdf, 2e éd., Montréal, Presses Polytechnique de de Montréal, Canada, 1997.
- **S. Bhatia, Z. Othman, A.L. Ahmad,** Coagulation – flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract : Optimization studies, *Chem. Eng. J.* 133 (2007) 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.034>
- **S. Hussain, A.S. Ghouri, A. Ahmad,** Pine cone extract as natural coagulant for purification of turbid water, *Heliyon.* 5 (2019) e01420. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01420>.
- **S. Jahn, H. Dinar,** Studies on Natural Water Coagulants in the Sudan , with Special : R ~ eference to *Moringa Oleifera* Seeds, *Water SA.* 5 (1979) 90–106
- **S. Ma, C. Liu, K. Yang, D. Lin,** Coagulation removal of humic acid-stabilized carbon nanotubes from water by PACl: Influences of hydraulic condition and water chemistry, *Sci. Total Environ.* 439 (2012) 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.046>.
- **S. Mohd-Asharuddin, N. Othman, N.S. Mohd-Zin, H.A. Tajarudin,** Removal of total suspended solid by natural coagulant derived from cassava peel waste, *J. Phys. Conf. Ser.* 995 (2018) 1–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012040>.
- **S.A. Muyibi, L.M. Evison,** Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa Oleifera* seeds, *Water Res.* 29 (1995) 2689–2695.

- **S.Y. Choy, K. Murthy, N. Prasad, T.Y. Wu, M.E. Raghunandan, R.N. Ramanan**, Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification, *J. Environ. Sci.* 6 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>.
- **Said, N.S.M.; Abdullah, S.R.S.; Ismail, N.; Hasan, H.A.; Othman, A.R.** Phytoremediation of real coffee industry effluent through a continuous two-stage constructed wetland system. *Environ. Technol. Innov.* 2020,17, 100502.
- **SDS-PAGE** Seed morphology and protein patterns as a mean in classification of some taxa of the subfamily Mimosoideae (Fabaceae)
- **Sergio Lanteri, Ezio Portis**, « Artichoke et Cardoon du Globe », dans Jaime Prohens-Tomás, Fernando Nuez, *Plantes I : Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae et Cucurbitaceae*, Springer-Verlag New York Inc., 2008
- **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.
- **Sorokina, E.V.; Yudina, T.P.; Bubnov, I.A.; Danilov, V.S.** Assessment of iron toxicity using a luminescent bacterial test with an Escherichia coli recombinant strain. *Microbiology* 2013, 82, 439–444.
- **Stanley J. Kays**, *Cultivated Vegetables of the World : a multilingual onomasticon*, Wageningen, Wageningen Academic Publishers, 2011, 828 p. (ISBN 978-90-8686-164-4, BNF 42477517, DOI 10.3920/978-90-8686-720-2, lire en ligne [archive]), p. 168.
- **T. Chu, S. Manaf, A. Matar, E.A. Makky, E.N. Ali**, The use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal, *Appl. Water Sci.* 7 (2017) 1369–1376. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0499-8>.
- **T. Nkurunziza, J.B. Nduwayezu, E.N. Banadda, I. Nhapi**, The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment, *Water Sci. Technol.*59 (2009) 1551–1558. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.155>.
- **Tariq Zedan , Mohamed Mossad, Moharram Fouad and Hani Mahanna**, 2022, Potential application of natural coagulant extraction from walnut seeds for water turbidity removal, *Water Practice & Technology* Vol 17 No 3, 684 doi: 10.2166/wpt.2022.019
- **Tomljenovic, L.** Aluminum and Alzheimer's disease: After a century of controversy, is there a plausible link? *J. Alzheimer's Dis.* 2011, 23, 567–598.
- Histoire écologique et évolutive du robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) depuis son introduction en Europe

- **V. Saritha, N. Srinivas, N. V. Srikanth Vuppala**, Analysis and optimization of coagulation and flocculation process, *Appl. Water Sci.* 7 (2017) 451–460. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0262-y>.
- **W. Zengjin, W. Xiaomin, Y. Junlin, S. Jinning, C. Jingyi, L. Xianchen, X. Zhao**, Chronic exposure to aluminum and risk of Alzheimer's disease: A metal-analysis, *Neurosci. Lett.* 610 (2016) 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.11.014>.
- **W.L. Ang, A.W. Mohammad**, State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment, *J. Clean. Prod.* 20 (2020) 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- **Yves Mottot** ; 2000 : conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 5 octobre 2000. Coagulants et flocculants.
- **Z. Dollah, A.R.C. Abdullah, N.M. Hashim, A. Albar, S. Badrealam, M. Zaki**, Citrus fruit peel waste as a source of natural coagulant for water turbidity removal, *J. Phys. Conf. Ser.* 1349 (2019) 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1349/1/012011>.
- **Zhang, K.; Zhou, Q.** Toxic effects of Al-based coagulants on *Brassica chinensis* and *Raphanus sativus* growing in acid and neutral conditions. *Environ. Toxicol.* 2005, 20, 179–187.

Annexes

Dans notre étude, nous avons mesuré des paramètres physico-chimiques tels que la turbidité, le pH.

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

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



Figure 3 : Balance de précision



Figure 4 : JAR test



Figure 5 : Etuve

Annexes

Les normes de potabilité selon l'OMS

Tableau : les normes de l'OMS

Paramètres généraux	Norme OMS (1993)	Normes UE (1998)
Matières en suspension	Pas de lignes directrices	Non mentionées
DCO	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
DBO	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
Pouvoir oxydant		5,0 mg/L O ₂
Graisse/huiles	Pas de lignes directrices	Non mentionées
Turbidité	Pas de lignes directrices ⁽¹⁾	Non mentionnée
pH	Pas de lignes directrices ⁽²⁾	Non mentionnée
Conductivité	250 microS/cm	250 microS/cm
Couleur	Pas de lignes directrices ⁽³⁾	Non mentionnée
oxygène dissous	Pas de lignes directrices ⁽⁴⁾	Non mentionnée
Dureté	Pas de lignes directrices ⁽⁵⁾	Non mentionnée
Conductivité électrique	Pas de lignes directrices	Non mentionnée

cations (ions positifs)	Norme OMS (1993)	Normes UE (1998)
Aluminium (Al)	0,2 mg/L	0,2 mg/L
Ammoniac (NH ₄)	Pas de lignes directrices	0,50 mg/L
Antimoine (Sb)	0,005 mg/L	0,005 mg/L
Arsenic (As)	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Baryum (Ba)	0,3 mg/L	Non mentionnée
Beryllium (Be)	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
Bore (B)	0,3 mg/L	0,001 mg/L
Brome (Br)	Pas de lignes directrices	0,01 mg/L
Cadmium (Cd)	0,003 mg/L	0,005 mg/L
Chrome (Cr)	0,05 mg/L	0,05 mg/L
Cuivre (Cu)	2 mg/L	2,0 mg/L
Fer (Fe)	Pas de lignes directrices ⁽⁶⁾	0,2mg/L
Plomb (Pb)	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Manganèse (Mn)	0,5 mg/L	0,05 mg/L
Mercuré (Hg)	0,001 mg/L	0,001 mg/L
Molybdène (Mo)	0,07 mg/L	Non mentionnée
Nickel (Ni)	0,02 mg/L	0,02 mg/L
Azote (total N)	50 mg/L	Non mentionnée
Sélénium (Se)	0,01 mg/L	0,01 mg/L
Argent (Ag)	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
Sodium (Na)	200 mg/L	200 mg/L
Etain (Sn) inorganique	Pas de lignes directrices	Non mentionnée
Uranium (U)	1,4 mg/L	Non mentionnée
Zinc (Zn)	3 mg/L	Non mentionnée

anions (ions négatifs)	Norme OMS (1993)	Normes UE (1998)
Chlore (Cl)	250 mg/L	250 mg/L
Cyanure (CN)	0,07 mg/L	0,05 mg/L
Fluor (F)	1,5 mg/L	1,5 mg/L
Sulfate (SO ₄)	500 mg/L	250 mg/L
Nitrate (NO ₃)	(Voir azote)	50 mg/L
Nitrite (NO ₂)	(voir azote)	0,50 mg/L

Paramètres microbiologique	Norme OMS (1993)	Normes UE (1998)
Escherichia coli	Non mentionnée	0 in 250 mL
Enterococci	Non mentionnée	0 in 250 mL
Pseudomonas aeruginosa	Non mentionnée	0 in 250 mL
Clostridium perfringens	Non mentionnée	0 in 100 mL
bactérie coliforme	Non mentionnée	0 in 100 mL
Nbre de colonie à 22oC	Non mentionnée	100/mL
Nbre de colonie à 37oC	Non mentionnée	20/mL

Autres paramètres	Norme OMS (1993)	Normes UE (1998)
Acrylamide	Non mentionnée	0,0001 mg/L
Benzène (C ₆ H ₆)	Non mentionnée	0,001 mg/L
Benzo(a)pyrène	Non mentionnée	0,00001 mg/L
dioxyde de chlore (ClO ₂)	0,4 mg/L	
1,2-dichloroéthane	Non mentionnée	0,003 mg/L
Epichlorhydrine	Non mentionnée	0,0001 mg/L
Pesticides	Non mentionnée	0,0001 mg/L
Pesticides - Totaux	Non mentionnée	0,0005 mg/L
PAHs	Non mentionnée	0,0001 mg/L
Tetrachloroéthène	Non mentionnée	0,01 mg/L
Trichloroéthène	Non mentionnée	0,01 mg/L
Trihalométhanes	Non mentionnée	0,1 mg/L
Tritium (H ₃)	Non mentionnée	100 Bq/L
Chlorure de vinyle	Non mentionnée	0,0005 mg/L

(1) Desirée: Moins de 5 NTU
(2) Desirée: 6.5-8.5
(3) Desirée: 15 mg/l Pt-Co
(4) Desirée: Moins de 75% de la concentration de saturation

Résumé :

L'utilisation de coagulants synthétiques dans le traitement de l'eau potable soulève des préoccupations concernant leurs impacts sur la santé humaine et l'environnement, ce qui justifie la recherche de produits naturels de substitution. Cette étude examine les procédés de coagulation utilisant des coagulants d'origine végétale sous forme de poudre pour le traitement des eaux de surface. Divers coagulants organiques ont été testés à différentes concentrations sans ajustement du pH, en suivant les paramètres physico-chimiques à différents temps de décantation pour déterminer les conditions optimales et évaluer l'efficacité des traitements. Les résultats indiquent qu'un temps de décantation de 1 à 2 heures est suffisant pour éliminer la majorité des matières en suspension et des colloïdes. La réduction de la turbidité a atteint 80,15 % avec le nombril de venus. D'autres résultats notables incluent : pissenlit (79,46 %), peau de banane (74,92 %), feuilles de vigne (73 %), cardon (67,85 %), feuilles de thuya (59,62 %), et épluchures de chêne (49,69 %), pour un temps de décantation de 2 heures. Globalement, les résultats montrent que les coagulants naturels présentent un potentiel prometteur et peu coûteux pour le traitement de l'eau.

Mots clés : Traitement de l'eau, Coagulants chimiques, Phyto-coagulation, Turbidité.

Abstract

The use of chemical coagulants in drinking water treatment raises concerns about their impacts on human health and the environment, prompting the search for natural substitutes. This study explores coagulation processes using plant-based coagulants in powdered form for treating surface water. Various organic coagulants were tested at different concentrations without pH adjustment, monitoring physico-chemical parameters over different settling times to determine optimal conditions and assess treatment effectiveness. Results indicate that a settling time of 1 to 2 hours effectively removes the majority of suspended solids and colloids. Turbidity reduction reached 80.15 % with navelwort. Other noteworthy reductions include dandelion (79.46%), banana peel (74.92%), vine leaves (73%), cardoon (67.85%), thuja leaves (59.62%), and oak peelings (49.69%), with a settling time of 2 hours. Overall, the findings demonstrate that natural coagulants offer promising and cost-effective potential for water treatment.

Key words: Water treatment, Chemical coagulants, Phyto-coagulation, Turbidity.

ملخص

يثير استخدام المواد الكيميائية المخثرة في معالجة مياه الشرب مخاوف بشأن تأثيرها على صحة الإنسان والبيئة، مما يدفع إلى البحث عن بدائل طبيعية. تستكشف هذه الدراسة عمليات التخثر باستخدام مواد التخثر النباتية في شكل مسحوق لمعالجة المياه السطحية. تم اختبار العديد من مواد التخثر العضوية بتركيزات مختلفة دون تعديل الرقم الهيدروجيني، ومراقبة المعلمات الفيزيائية والكيميائية خلال أوقات استقرار مختلفة لتحديد الظروف المثلى وتقييم فعالية العلاج. تشير النتائج إلى أن وقت الترسيب الذي يتراوح من ساعة إلى ساعتين يزيل بشكل فعال غالبية المواد الصلبة والغرويات العالقة. بلغت نسبة 80.15% نبات السرة .

تشمل التخفيضات الأخرى الجديرة بالملاحظة)، الهندباء (79.46%)، قشر الموز (74.92%)، ورق العنب (73%)، الكردون (67.85%)، أوراق العفص (59.62%)، وقشور البلوط (49.69%)، مع زمن ثبات قدره ساعتين. بشكل عام، توضح النتائج أن مواد التخثر الطبيعية توفر إمكانات واعدة وفعالة من حيث التكلفة لمعالجة المياه

معالجة المياه، المثبتات الكيميائية، الجمعية النباتية، العكرة