



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DEL 'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES

MEMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie procédés de l'environnement

Présenté Par : FARSI Meriem et BETTAYEB Razika

Thème :

*Optimisation de l'efficacité des graines de
Moringa Oleifera dans le traitement des eaux de
source dans la région d'Ouargla*

Soutenu publiquement Le : 12/06/2024

Devant le jury composé de :

MOKHBI Yasmina	MCB	Université d'Ouargla	Président
CHERRAYE Ridha	MCB	Université d'Ouargla	Examineur
BENARIMA Abdelhakim	MAB	Université d'Ouargla	Encadreur

Année Universitaire : 2023 – 2024

Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier **DIEU** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude et l'accomplissement de ce présent mémoire.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Mr BENARIMA ABDELHAKIM**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses grandes compétences autant pédagogiques que scientifiques, pour ses conseils, ses remarques fructueuses et nous la remercions vivement pour sa gentillesse et ses encouragements. Tout notre respect et notre gratitude, merci*

*Nous remercions également les ingénieurs de laboratoire **Mr Djamel Ghilani**, Mandâmes **Zineb**, et **Houda Kherfi** pour leur Disponibilité ainsi que pour nous avoir accueillis dans d'excellentes conditions de travail, nous leur exprimons notre gratitude.*

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Un grand merci à nos familles pour leurs soutiens aussi bien pour leurs amours et leurs sacrifices.

*Nous tenons à remercier vivement tous les enseignants et tous ceux à qui nous devons notre formation universitaire en général et ceux du département de **Génie des Procédés** en particulier.*

Nous présentons également nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Dédicaces

*Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU**, le tout puissant qui m'a ouvert les portes du savoir et m'a permis de réaliser ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père **Djelloul** et ma mère **Mabrouka**, qui ont tout fait, pour moi pour arriver à cette place, je vous dis merci du fond de mon cœur pour tous vos sacrifices, votre amour, votre tendresse, votre soutien, votre patience tout au long de mes études, sans votre soutien ce mémoire ne serait jamais devenue une réalité, Je vous remercie d'avoir été toujours là pour moi. Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, mes parents, je ne pourrai jamais égaler votre mérite.*

Que dieu vous bénisse.

Je dédie ce travail aussi :

*A ma chère sœurs **zineb**, **Djamila**, **Amna**, **Hadjer** qui mes toujours soutenue et encouragé*

*A mes chers frères : **Abdelkarim**, **Abdelhamid**, **Mohamed rachid** pour leur appui et encouragement ;*

*Aux enfants de ma famille : **Abderrahmane**, **Farah**, **Adam**, **Alaa***

*A mes amis : **Soundous**, **Abir**, **Hanane**, **Isra**, **Amna**, **Aya**, **Ikram**,
Matira*

A tous les membres de ma famille et mes proches

*A ma chère binôme **Razika** et sa famille ;*

*A tous mes amies, et mes collègues de la promotion **2ème** année master spécialité génie procédés de l'environnement ;*

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Meriem

Dédicaces

*Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU**, le tout puissant qui m'a ouvert les portes du savoir et m'a permis de réaliser ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail aux deux êtres qui me sont très chers dans cette vie, à savoir mon père **Ahmed** et ma mère **Fatma** ;*

Je te dis merci maman du fond de mon cœur pour ton tout éducation, ton sacrifice, ton assistance, ta patience, ton courage et pour ce tu m'as fait et qui m'a permis d'avoir cette réussite et ce bonheur ;

Je te dis merci mon cher père qui n'a cessé de m'aider avec son indéfectible soutien ;

Avec toute ma fidélité et tout mon amour pour vous, mes parents, je ne pourrai jamais égaler votre mérite ;

Je dédie ce travail aussi :

*A mes sœurs surtout ma chère sœurs **Lamia** et ma chère **Romaissa***

A mes frères Et tous les enfants de la famille

A tous mes amis (e) proche en particulier pour leurs conseils très précieux

A mon profecur

*dr . **Hamadi Farouk**, pour votre guidance et votre conseils*

*A ma chère binôme **Meriem** qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

A Tous ceux qui m'ont aidé, à tous ceux que j'aime bien j'adresse mes sentiments les plus chaleureux.

Razika

ABSTRACT

ملخص

RÉSUMÉ

Abstract

The presence of certain contaminants in our water can lead to health issues, including gastrointestinal illness, reproductive problems, and neurological disorders. Infants, young children, pregnant women, the elderly, and people with weakened immune systems may be especially at risk for illness. The present study determines the optimal conditions for the drinking water treatment process using *Moringa oleifera* seeds, to minimize the concentration of chlorine, calcium and magnesium, by applying the response surface methodology (RSM) based on a Box–Behnken design (BBD). The experimental values were agreed with these predicted values, thus indicating the suitability of the response surface methodology to the optimization process. The mathematical models were obtained and exhibit good compatibility. The parameters studied: Seed mass (X_1), Residence time (X_2) and Shaking speed (X_3) presented independent and interactive effects on the treatment process.

Keywords:

Optimal conditions; Treatment of drinking water; *Moringa oleifera*; RSM; BBD.

ملخص

يمكن أن يؤدي وجود بعض الملوثات في مياهنا إلى مشاكل صحية، بما في ذلك أمراض الجهاز الهضمي، ومشاكل الإنجاب، والاضطرابات العصبية. قد يكون الرضع والأطفال الصغار والنساء الحوامل وكبار السن والأشخاص الذين يعانون من ضعف في جهاز المناعة معرضين بشكل خاص لخطر الإصابة بالمرض. تحدد هذه الدراسة الظروف المثلى لعملية معالجة مياه الشرب باستخدام بذور المورينجا أوليفيرا من أجل لتقليل تركيز الكلور والكالسيوم والمغنيسيوم، من خلال تطبيق منهجية سطح الاستجابة المبنية على تصميم بوكس-بهنكين، بناء على النتائج المتحصل عليها تبين أن القيم التجريبية تتوافق مع هذه القيم المتوقعة، وهذا يشير إلى مدى ملاءمة منهجية سطح الاستجابة لعملية التحسين أيضا تم الحصول على النماذج الرياضية وأظهرت توافقا جيدا. العوامل التي تمت دراستها هي: كتلة البذور (X_1)، زمن البقاء (X_2) وسرعة الرج (X_3) قدمت هذه العوامل تأثيرات مستقلة وتفاعلية على عملية المعالجة.

الكلمات المفتاحية:

الظروف المثلى؛ معالجة مياه الشرب ; مورينجا اوليفيرا ; منهجية سطح الاستجابة; تصميم بوكس-بهنكين

Résumé

La présence de certains contaminants dans notre eau peut entraîner des problèmes de santé, notamment des maladies gastro-intestinales, des problèmes de reproduction et des troubles neurologiques. Les nourrissons, les jeunes enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées et les personnes dont le système immunitaire est affaibli peuvent être particulièrement exposés au risque de maladie. La présente étude détermine les conditions optimales pour le processus de traitement de l'eau potable utilisant des graines de *Moringa oleifera*, afin de minimiser la concentration de chlore, de calcium et de magnésium, en appliquant la méthodologie de surface de réponse (RSM) basée sur un plan Box-Behnken (BBD). Les valeurs expérimentales étaient en accord avec ces valeurs prédites, indiquant ainsi l'adéquation de la méthodologie de la surface de réponse au processus d'optimisation. Les modèles mathématiques ont été obtenus et présentent une bonne compatibilité. Les paramètres étudiés : Masse des graines (X_1), Temps de séjour (X_2) et Vitesse d'agitation (X_3) présentaient des effets indépendants et interactifs sur le processus de traitement.

Mots clés :

Conditions optimales ; Traitement de l'eaux potable ; *Moringa Oleifera* ; RSM ; BBD.

Liste des abréviations

- BBD** : Box–Behnken design
- BHA** : Butylhydroxyanisole
- EAU** : Extraction assistée par ultrasons
- R²** : Coefficient de corrélation
- RSM** : Response surface methodology
- Valeur-p** : Valeur de probabilité
- Valeur-f** : Test de Fisher
- pH** : Potentiel d'hydrogène
- Re** : Rendement d'élimination
- ONU** : Organisation des Nations Unies
- NTU** : néphélométrie turbidité unité
- OMS** : organisation mondiale de la santé.
- TH** : titre hydrométrique.
- CE** : La conductivité électrique
- a₀, a_i, a_{ij}, a_{ii}** : Coefficients du modèle
- TH** : titre hydrotimétrique
- CEE** : la communauté Économique Européenne
- CT** : complexe terminal
- CI** : continental intercalaire
- Ppm** : partie par million

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur l'eau potable

Figure I.1: Cycle de l'eau dans la nature	18
---	----

Chapitre II : Généralités sur la moringa oleifera

Figure II.1: Distribution géographique de Moringa Oleifera dans le monde.....	17
Figure II.2: L'arbre de Moringa Oleifera.....	18
Figure II.3: Les racines de Moringa Oleifera.....	19
Figure II.4: Les branches de Moringa Oleifera.....	19
Figure II.5: Les feuilles de Moringa Oleifera.....	20
Figure II.6: Les fleurs de Moringa Oleifera	20
Figure II.7: Les gousses de Moringa Oleifera.....	21
Figure II.8: Les graines de Moringa Oleifera.....	21

Chapitre III : Matériels et méthodes

Figure III.1: Carte géographique montrant les zones d'échantillonnage.....	28
Figure III.2: L'arbre et les graines utilisées dans ce travail.....	29
Figure III. 3: Diagramme général de la procédure expérimentale.....	31
Figure III.4: Protocole expérimentale détermination la concentration de chlore.....	33
Figure III.5: Protocole expérimentale de détermination la dureté totale.....	33
Figure III.6: Protocole expérimentale de détermination la dureté calcique.....	34
Figure III.7: image graphique du Design Box-Behnken	36

Chapitre IV : Résultats et discussions

Figure IV. 1 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le chlore.....	42
Figure IV. 2 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le chlore.....	42
Figure IV. 3 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le chlore.....	42

Figure IV. 4 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le calcium.....45

Figure IV. 5 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le calcium.....45

Figure IV.6 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le calcium.....46

Figure IV. 7 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le magnésium.....47

Figure IV. 8 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le magnésium.....48

Figure IV. 9 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le magnésium.....49

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur l'eau potable

Tableau I.1 : Classes de turbidités usuelles (NTU).....	08
Tableau I.2: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO ₃	09
Tableau I.3 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS [16].....	11

Chapitre II : Généralités sur la moringa Oleifera

Tableau II.1 : Quelques noms vernaculaires du Moringa Oleifera	17
Tableau II.2 : La classification systématique de Moringa Oleifera	18
Tableau II.3 : Composition chimique des graines de Moringa Oleifera	22
Tableau II.4 : Les propriétés physiques de Moringa oleifera	22
Tableau II.5 : Les Exigences environnementales de Moringa oleifera.....	23

Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau III.1: Matériels et produits d'expérience.....	30
Tableau III.2: Niveaux de conception expérimentale pour divers paramètres.....	35
Tableau III.3: La matrice de design Box – Behnken.....	37

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau IV. 1 : les concentrations de chlore, calcium, magnésium et les paramètres physiques de l'eau de source.....	41
Tableau IV. 2 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de chlore.....	43
Tableau IV. 3 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de Magnésium.....	46
Tableau IV. 4 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de calcium.....	50

Table des matières

RÉSUMÉ.....	IV
Abstract.....	V
ملخص.....	VI
Résumé.....	VII
Liste des abréviations.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XI
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur l'eau potable.....	4
2. Définition de l'eau potable.....	4
2.1.Origine de l'eau potable.....	4
2.1.1. Les eaux souterraines.....	4
2.1.2. Eaux de source.....	4
2.1.3. Eaux brutes.....	5
I.1.Cycle de l'eau potable.....	5
I.2.Cycle de l'eau de consommation.....	6
I.3.Les Critères de potabilité.....	6
2.6.1. Les paramètres organoleptiques.....	6
2.6.2. Les paramètres physico-chimiques :.....	7
I.5.2.2 Paramètre physique.....	7
I.5.2.2 Paramètres chimiques.....	8
2.6.3. Les paramètres microbiologiques.....	10
2.6.4. Les paramètres liés aux substances indésirables.....	10
2.6.5. Les paramètres liés aux substances toxiques.....	10
I.4.Les Normes.....	10
I.5.Réglementations concernant la qualité de l'eau potable.....	10
I.7.1. Réglementation de l'organisation mondiale de la santé (OMS).....	10
I.7.2. Réglementation de l'Union Européenne.....	11
I.7.3. Réglementation algérienne.....	11
I.6.Les ressources en eau dans le Sahara.....	12
I.7.Effet des ions de l'eaux potable sur la santé.....	13

I.8. Les polluants présents dans l'eau potable	14
Chapitre II : Généralités sur la moringa oleifera.....	16
II.2. Histoire de la plante	16
II.3. Moringa Oleifera	16
II.4. Distribution géographique de Moringa Oleifera.....	16
II.5. Nomenclature et Classification	17
II.5.1. Nomenclatureur	17
II.5.2. Classification.....	18
II.6. Description botanique de la plante Moringa Oleifera.....	18
II.7. Différentes parties de moringa oleifera	19
II.7.1. La racines	19
II.7.2. Les branches.....	19
II.7.3. Feuilles	19
II.7.4. Les fleurs	20
II.7.5. Fruits	20
II.7.6. Les graines	21
II.8. Valeurs nutritionnelles des graines de Moringa oleifera	21
II.9. La composition chimique des graines de moringa oleifera.....	21
II.10. Les propriétés Physiques de Moringa Oleifera.....	22
II.11. Les exigences environnementales du Moringa.....	22
II.12. Les avantages de moringa oleifera dans le traitement de l'eau.....	23
II.13. Utilisation de Moringa Oleifera	23
II.13.1. Consommation humaine.....	23
II.13.2. Utilisations industrielles de l'huile de Moringa	24
II.14. Traitement de l'eau	24
II.14.4. La médecine traditionnelle.....	25
II.14.5. Autres utilisations du Moringa.....	25
II.15. Impact socio-économique	25
Chapitre III : Matériels et méthodes	27
III.2. Echantillonnage.....	27
III.11.2.4. DESIGN BOX-BEHNKEN (BBD) :	34
<i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i>	40
IV.2. Les analyses de l'eau de source.....	40
IV.3. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour élimine le chlore, le calcium et le magnésium de l'eau de source	40

IV.3.1. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour élimine le chlore ...	40
IV.3.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le chlore	40
IV.3. 2. Montage du modèle du l'élimination le chlore :.....	42
IV.4.1. Optimisation l'efficacité des graines de moringa oleifera pour éliminer le calcium	43
IV.4.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le calcium :	43
IV.4. 2. Montage du modèle du l'élimination le calcium :	45
IV.5.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le magnésium :.....	46
IV.5. 2. Montage du modèle du l'élimination le magnésium:.....	48
<i>Conclusion générale</i>	52
<i>Références bibliographiques</i>	54
<i>Annexes</i>	59

***INTRODUCTION
GÉNÉRALE***

Introduction générale

L'eau est essentielle à la vie. Il est également très important dans la préparation et la cuisson des aliments, l'assainissement et l'hygiène, ainsi que dans un large éventail d'autres utilisations. L'approvisionnement en eau potable a pour objectif principal de protéger la santé humaine, notamment en garantissant l'accès à des quantités suffisantes d'eau potable. On estime qu'environ 17 % de la population mondiale utilise l'eau provenant de sources non protégées et éloignées, 32 % d'une certaine forme de sources protégées et 51 % d'une sorte de système centralisé (d'adduction) jusqu'à l'habitation ou une parcelle. Parmi ces derniers, une proportion faible mais croissante applique une certaine forme de traitement au sein du foyer. La consommation individuelle d'eau s'effectue aussi bien à la maison qu'ailleurs, comme dans les écoles et les lieux de travail. L'eau potable est consommée non seulement sous forme d'eau en soi, mais également sous forme de boissons et incorporée à des denrées alimentaires. En réponse à la pénurie croissante d'eau à l'échelle mondiale et locale, on utilise de plus en plus de sources telles que l'eau récupérée/recyclée, l'eau de pluie récupérée et l'eau dessalée. 884 millions de personnes n'ont pas accès à un approvisionnement en eau potable ; environ une personne sur huit.[1] Parmi eux, un bon pourcentage consomme de l'eau dure, qui est considérée comme un facteur étiologique important dans le monde entier, provoquant de nombreuses maladies telles que des problèmes cardiovasculaires, le diabète, l'échec de la reproduction, les maladies neuronales et le dysfonctionnement rénal, etc [2].

On reconnaît l'eau impure par sa couleur, son odeur ou son goût, dont le calcaire, les matières organiques, les métaux lourds et le tartre sont les principaux facteurs. Ainsi, même après le passage au réseau de distribution, l'eau peut encore être de moindre qualité, car elle est trop chlorée, trop dure ou altérée par un canal vétuste cela nous oblige à le retraiter [3].

L'un des moyens efficaces et peu coûteux de traiter l'eau potable consiste à utiliser des bio-coagulants tels que les graines de *Moringa oleifera*, des études récentes ont confirmé que le *Moringa oleifera* a une bonne activité coagulante dans ses graines sèches décortiquées ou non, qu'il n'est pas toxique, et qu'il contient aussi une huile végétale comestible, dont l'extraction est compatible avec celle du coagulant, mais d'autres problèmes demeurent, à savoir comment l'exploiter au maximum [4].

Les méthodes d'optimisation traditionnelles modifient une variable à la fois. Cependant, les inconvénients de cette approche comprennent le temps et la consommation des réactifs ainsi que l'ignorance des effets synergiques potentiels [5]. Afin de surmonter ces problèmes, l'optimisation peut être effectuée à l'aide des techniques statistiques multi-variées telles que la méthodologie de surface

de réponse (RSM), qui est un ensemble des techniques mathématiques et statistiques basées sur l'ajustement d'une équation polynomiale aux données expérimentales et permet l'évaluation des plusieurs paramètres et leurs interactions, la caractéristique la plus avantageuse du RSM est qu'il réduit le nombre des cycles expérimentaux, économise de l'énergie, du temps et des matières premières ainsi que la prise en compte de l'interaction des différents facteurs [6].

L'objectif de ce travail consiste à déterminer les conditions optimales pour le processus de traitement de l'eau potable utilisant des graines de *Moringa Oleifera*, afin de minimiser la concentration de chlore, de calcium et de magnésium et obtenu modele mathématiques a chaque processus , en appliquant la méthodologie de surface de réponse (RSM) basée sur un plan Box-Behnken (BBD).

Notre travail est réparti comme suit :

Une introduction générale précédée les quatre chapitres constituant ce manuscrit.

Le premier chapitre présente un rappel des principales données bibliographiques sur l'eau potable.

Le deuxième chapitre présente un généralité sur le *Moringa Oleifera*

Le troisième chapitre est consacré aux expériences effectuées, leurs modes opératoires ainsi qu'aux matériels utilisés dans chaque expérience.

Les résultats de nos expériences sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques dans le dernier chapitre m suivis de discussions et d'interprétations, puis d'une conclusion générale.

Enfin, la présente thème est achevée par une liste des références bibliographiques, des annexes.

GENERALITES
SUR L'EAU POTABLE



Chapitre I : Généralités sur l'eau potable

1. Introduction

Les eaux, qu'elles soient naturelles ou traitées pour devenir potables, sont essentielles à la vie sur Terre. Elles ne se trouvent jamais à l'état pur, contenant toujours des éléments minéraux, organiques, ou des microorganismes. L'eau potable, une ressource vitale, est une eau considérée comme sûre pour la consommation humaine, exempte de substances nocives pour la santé. La potabilité de l'eau est réglementée par des critères stricts, couvrant des aspects organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques, et la présence de substances indésirables ou toxiques. L'accès à une eau potable propre et de qualité est reconnu comme un droit fondamental par l'ONU, soulignant son importance pour la santé et le bien-être des populations à travers le monde [7-8].

2. Définition de l'eau potable

L'eau potable est une eau qui peut être bue par l'homme sans danger pour elle doit pour cela répondre à un certain nombre des normes fixées par l'OMS. L'eau potable ou l'eau destinée à la consommation humaine doit être fraîche (la température comprise entre 20 °C et 25 °C), limpide, incolore et de saveur agréable. Ainsi que : ses propriétés physico-chimiques, ses composés minéraux et organique et sa qualité bactériologique ne peuvent nuire à la santé. [9].

2.1. Origine de l'eau potable

2.1.1. Les eaux souterraines

L'eau d'une nappe souterraine a une composition généralement plus stable et elle est plus riche en sels minéraux. Seul, les sources et les gisements aquifères souterraines sont susceptibles, sous certaines conditions de fournir des eaux naturellement pures.

Les nappes d'eau souterraine sont revêtues d'une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent la plus grande réserve d'eau potable dans la plupart des régions du monde, c'est à dire les nappes souterraines produisent généralement une eau de bonne qualité et longtemps considéré comme pure et protégées par le sol contre les diverses activités humaines. Mais son exploitation sont plus difficiles et nécessite la mise en place de système de captage et des équipements hydrauliques de distribution (pompe) qui sont souvent importants [10].

2.1.2. Eaux de source

Une eau de source est une eau d'origine souterraine, c'est une catégorie d'eau embouteillée dont les caractéristiques doivent respecter une réglementation qui varie selon les pays. En général, elle doit être d'origine souterraine, ayant bénéficié d'une protection contre la pollution Elle doit donc être naturellement conforme aux critères de potabilité [11].

2.1.3. Eaux brutes

Destinée à la consommation humaine, est prélevée dans un cours d'eau ou une nappe d'eau souterraine. Elle est ensuite acheminée vers une usine de traitement de l'eau où elle subit divers traitements physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques ; Ressource en eau avant tout traitement de potabilisation va dépendre à l'autorisation de prélever cette eau pour la rendre potable et la filière de potabilisation appropriée. Ces eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixés par des organismes spécialisés

Les eaux brutes utilisables pour fournir de l'eau destinée à la distribution sont classées en trois catégories de qualité :

- A₁, bonne ; traitement physique simple et désinfection
- A₂, moyenne ; traitement normal physique, chimique et désinfection
- A₃, médiocre ; traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection [9].

1.1. Cycle de l'eau potable

L'eau circulant de l'atmosphère vers les nappes souterraines et les océans, et retournant à l'atmosphère, participe à un cycle global qui assure la fécondité de la terre : par évaporation l'eau est empruntée aux étendues liquides et monte dans l'atmosphère : les vents la transportent au loin dans les continents sous forme de nuages. Puis elle retombe en pluies L'eau s'infiltrate dans le sol en saturant la terre et pénétrée en profondeur vers les nappes, Ou bien elle ruisselle sur les pentes. Érode le sol ou la roche et rejoint les ruisseaux et les rivières : ces derniers deviennent des fleuves qui se jettent dans les mers et les océans [12].

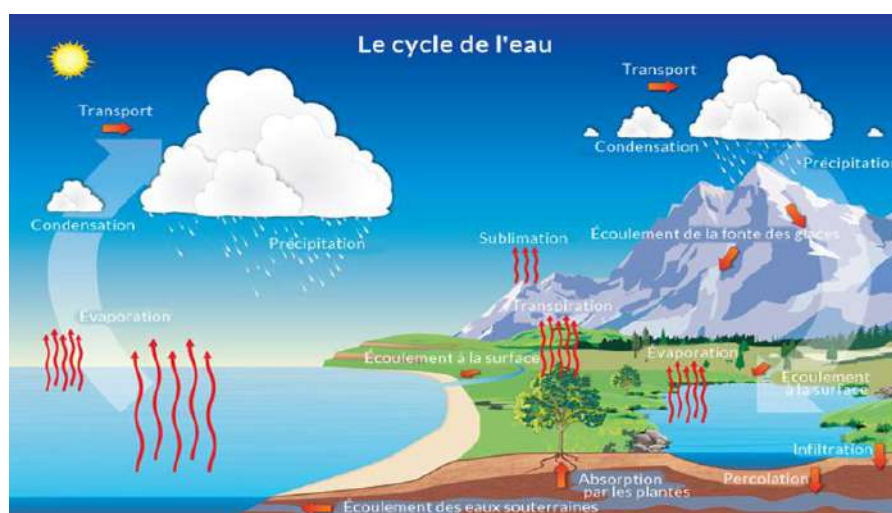


Figure I.1: Cycle de l'eau dans la nature [13].

1.2. Cycle de l'eau de consommation

L'eau brute destinée à la consommation humaine est prélevée dans un cours d'eau ou une nappe d'eau souterraine, elle est ensuite acheminée vers une usine de production d'eau potable ou elle subit divers traitements physiques, chimiques et biologiques pour la rendre potable. Ce cycle subit par l'eau du fait de son usage par les sociétés humaines se décompose en cinq grandes étapes : le captage, le transport, la production d'eau potable, la distribution puis la collecte [3].

1.3. Les Critères de potabilité

Pour être consommée, l'eau doit répondre à des critères de la qualité très stricte fixée par le ministère de la santé et le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur. Il existe plusieurs critères pour une eau propre à la consommation. Ces critères, décidés selon le principe de précaution maximal qui permet de protéger la santé des personnes les plus fragiles [5].

2.6.1. Les paramètres organoleptiques

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

➤ La couleur

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colore. La couleur, dans les systèmes publics d'approvisionnement d'eau, est esthétiquement indésirable. Il est important de la mesurer, étant donné qu'une couleur élevée provoque son rejet par le consommateur et l'amène à chercher d'autres sources de suppressions parfois beaucoup moins sûres [10].

➤ L'odeur

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces Substances [10].

➤ Le goût

peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche, la propriété des produits provoquant ces sensations. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la

suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs. La qualité de cette sensation particulière est provoquée par ces substances [10].

2.6.2. Les paramètres physico-chimiques :

Ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.

I.5.2.2 Paramètre physique

➤ La température

L'eau est plus agréable à boire lorsqu'elle est fraîche plutôt que tiède. Les eaux souterraines tendent à conserver une température constante, ce qui les rend généralement fraîches. Une eau potable est considérée comme ayant une bonne fraîcheur lorsqu'elle est entre 9 et 12°C. Des températures élevées dans les réseaux de distribution peuvent favoriser la croissance excessive de plancton dans les conduites ou une saturation excessive en gaz dissous, ce qui peut rendre l'eau trouble [14].

➤ Le pH

Le terme pH est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. Dans les laboratoires de routine des usines de traitement, il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau.

La valeur du pH allant de 0 à 14. En dessous de 7, l'eau est considérée comme acide et au-dessus de 7 comme alcaline. L'eau au pH de 7 est neutre [10].

➤ Oxygène dissous

L'oxygène dissous dans l'eau agit essentiellement sur les réactions d'oxydoréduction qui met en jeu le fer, le manganèse, le cuivre et des composés contenant de l'azote et du sulfure. Aucune valeur indicative n'est recommandée, car de faibles concentrations d'oxygène dissous sont plus ou moins tolérables en fonction de la présence dans l'eau d'autres constituants [14].

➤ La conductivité (CE)

Par définition, c'est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. Donc ce paramètre traduit une aptitude de l'eau à laisser passer le courant électrique, exprimé en mho/cm et corrigé à une température de 20°C. Ce paramètre permet de donner une estimation sur la minéralisation totale de l'eau (sels dissous, matière organique) [10].

➤ La Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matière organique ...), elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 [12].

Le tableau ci-dessous représente les Classes de turbidités usuelles.

Tableau I.1 : Classes de turbidités usuelles (NTU) [12].

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

➤ La Salinité

La salinité est l'une des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) au travers de la conductivité électrique de cette eau [15].

➤ La matière solide dissoute totale (TDS)

Les solides dans l'eau se trouvent soit en solution ou en suspension, et se distinguent par le passage de l'échantillon de l'eau à travers un filtre de fibres de verre. Par définition, les matières en suspension sont retenues sur le dessus du filtre, et les solides dissous passent à travers le filtre avec de l'eau. Lorsque la partie filtrée de l'échantillon d'eau est placée dans une coupelle, puis évaporé, les solides dissous dans l'eau restent comme résidu dans la capsule d'évaporation. Cette matière est appelée matières totales dissoutes ou TDS [15].

I.5.2.2 Paramètres chimiques

➤ Alcalinité

Dans la nature, l'eau naturelle est alcaline en raison de la présence d'hydrogénocarbonate, de carbonate et d'hydroxyde [15].

➤ Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté de l'eau ou titre hydrométrie (TH) est une mesure globale de la concentration en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na^+ , K^+) et H^+ dissous dans l'eau. Elle est souvent due aux ions (Ca^{2+} et Mg^{2+}). Une eau à titre hydrométrie élevé dite « dure », dans le cas contraire il s'agit d'une d'eau douce. On distingue la dureté carbonatée ou « dureté temporaire » qui

provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou « dureté permanente » qui provient des sulfates et chlorures. Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés des détergents des lessives, savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau. Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb [12].

Tableau I.2: Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO_3 [12].

<i>Dureté de l'eau</i>	<i>Concentration (Ca^{2+} et Mg^{2+}) en mg/l</i>
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	Plus de 180

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage CaCO_3 (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume. La concentration du calcium dans l'eau de consommation n'est pas généralement élevée par rapport au besoin journalier (2 g/j) [12].

➤ **Chlorure (Cl^-)**

Dans l'eau, le chlorure n'a ni odeur, ni couleur, mais peut procurer un goût salé. Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution. Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration. Dans la nature ils sont souvent indicateurs d'arrivée d'effluents urbains. A titre indicatif, dans l'eau du robinet le maximum admis est de 250 mg/l. de chlorures. La concentration naturelle de l'eau en chlorure est fonction de la géologie des sols en générale inférieure à 50 mg/l [10].

➤ **Magnésium (Mg)**

C'est le deuxième élément de la dureté totale, qui présente une origine semblable à celle du calcium. Il provient généralement des formations dolomitiques par l'attaque des eaux en présence du gaz carbonique, et de la dissolution de magnésium MgSO_4 dans les terrains gypsifères [10].

➤ **Le sodium**

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommée [12].

➤ Le calcium

Est le plus abondant dans les eaux, cet élément traduisant la dureté totale des eaux naturelles. Il provient essentiellement de la dissolution des formations carbonatées (calcite et dolomite), qui caractérisent les faciès de plusieurs niveaux stratigraphiques au niveau de la région d'étude (ex : calcaires lacustres) [10].

➤ Fer

Le fer est un élément chimique de numéro atomique 26, de symbole Fe. le corps simple est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, le plus souvent sous forme d'alliages divers [9].

2.6.3. Les paramètres microbiologiques

Ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire des épidémies [9].

2.6.4. Les paramètres liés aux substances indésirables

Ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides [9].

2.6.5. Les paramètres liés aux substances toxiques

Les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme [9].

1.4. Les Normes

Les normes sont des critères établis selon des règlements pour définir des niveaux minimums, moyens ou supérieurs. Elles permettent d'évaluer une situation par rapport à une valeur seuil et de déterminer ce qui est acceptable ou non. Dans le domaine de l'eau potable, les normes fixent les limites maximales de substances nocives ou toxiques ainsi que les éléments qui ne doivent pas être présents pour que l'eau soit considérée potable. Ces normes sont basées sur les connaissances scientifiques et évaluent les risques pour la santé humaine, étant régulièrement actualisées pour incorporer les avancées technologiques et scientifiques les plus récentes. Elles sont essentielles pour assurer la sécurité de l'eau destinée à la consommation humaine et pour protéger la santé publique [16].

1.5. Réglementations concernant la qualité de l'eau potable

1.7.1. Réglementation de l'organisation mondiale de la santé (OMS)

L'OMS a établi des lignes directrices internationales en 1993 à Genève pour garantir la qualité de l'eau potable, assurant ainsi sa sécurité sanitaire[16]. .

I.7.2. Réglementation de l'Union Européenne

Le Conseil de l'Union européenne a adopté la directive 98/83/CE le 3 novembre 1998, établissant les normes de qualité de l'eau potable pour la consommation humaine. Cette directive révisée intègre les dernières avancées scientifiques concernant les effets des substances sur la santé humaine, en se basant sur les lignes directrices de l'OMS et du Comité Scientifique Mondial sur la toxicologie et l'éco toxicologie. Elle sert de référence essentielle tant pour les consommateurs de l'UE que pour les producteurs d'eau potable. [16].

I.7.3. Réglementation algérienne

Ces textes sont tirés du journal officiel de la république Algérienne (N°3517-Aoul Safar 1419/27 Mai 1998) [16].

➤ Norme de potabilité des eaux de consommation

La présente norme Algérienne NA 6360-1992 est inspirée des normes de (OMS) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la communauté Économique Européenne (CEE) [9].

- **Objet et domaine d'application :** La présente norme a pour objet de fixer les spécifications organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques des eaux destinées à la consommation [16].

Tableau I.3 : Normes d'eau potable selon l'Algérie et selon l'OMS [16].

Paramètre	Unité	Nnorme algérienne	Norme de l'OMS
PH	/	6.5-8.5	6.5-9.2

Température	C°	25	/
Conductivité	µs/cm	2800	/
Résidu sec à 180°C	mg/l	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté total (TH)	mg/l	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnésium	mg/l	150	150
Sodium	mg/l	200	/
Potassium	mg/l	20	/
Sulfate	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Matières organique	mg/l	3	/
Métaux lourds	mg/l	0.3	/
Fer	mg/l	0.3	0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.1

1.6. Les ressources en eau dans le Sahara

L'eau au Sahara est un facteur primordial de tout développement des activités humaines. Dans un environnement socio-économique en pleine mutation, caractérisé par des conditions climatiques particulièrement difficiles, plusieurs contraintes d'ordre hydrogéologique et pédologique sont apparues, pouvant créer des situations irréversibles avec des conséquences graves sur l'environnement. En effet, l'irrigation au Sahara est mal conduite et a engendré de sérieux problèmes de mise en valeur, notamment par la création ou la remontée de nappes phréatiques gênantes pour les cultures (hydromorphie) et par l'accroissement de la salinité des sols et des eaux (halomorphie).

La protection et l'utilisation rationnelle de ressource en eau au Sahara sont une obligation et une nécessité vitale. L'agriculture saharienne est liée à la mobilisation de l'eau et à la maîtrise de son utilisation, elle vise à éviter le gaspillage, à rentabiliser au maximum et à envisager l'exploitation et

la gestion de superficies importante. Les ressources en eau sahariennes disponibles ne dépassent guère les 5,4 milliards de mètres cubes.

Les eaux superficielles restent faibles et très aléatoires. Toutefois, les nappes fossiles, non renouvelables, constituées principalement par les eaux du complexe terminal (CT) et du continental intercalaire (CI), constituent indéniablement la ressource la plus importante et la mieux étudiée [10].

La demande en eau dans les régions sahariennes est estimée à environ 60 m³/s en année moyenne, dont près de 65 % sont garantis par les aquifères profonds du continental intercalaire et du complexe terminal (CI et CT), et le reste par les autres ressources en eau (autres nappes et ressources superficielles). Ces ressources n'ont cependant à l'évidence qu'un potentiel très limité pour le futur, et l'alimentation de ces régions doit être considérée comme un souci majeur. On peut retenir que les ressources en eau sont très variables d'une région à une autre, concernant les grands aquifères, avec de fortes contraintes de salinité, température et profondeur. Par contre, elles sont faibles dans les autres nappes, avec des perspectives d'exploitation supérieure limitées. Elles sont très aléatoires pour les ressources superficielles, qui ne sont guère valorisables que dans une économie extensive [17].

1.7. Effet des ions de l'eau potable sur la santé

En général, la présence de certains ions dans l'eau potable peut avoir des effets positifs et négatifs sur la santé, selon leur concentration et leur type. Par exemple, des concentrations élevées de certains ions, tels que le chlorure, le magnésium et le calcium et le sulfate ect, peuvent avoir un effet laxatif, tandis que de faibles concentrations de ces ions sont essentielles pour maintenir l'équilibre électrolytique du corps [18].

- **Sulfate** : Le sulfate, présent naturellement dans de nombreuses eaux, peut être nocif pour la santé à des concentrations élevées. Des doses importantes de sulfate dans l'eau potable peuvent entraîner des troubles digestifs, des nausées, des diarrhées et une déshydratation [18].

- **Nitrates** : Les nitrates, provenant notamment d'engrais agricoles, peuvent être présents dans l'eau potable et poser des risques pour la santé humaine. Une exposition à des niveaux élevés de nitrates peut interférer avec la capacité de l'organisme à transporter l'oxygène, entraînant le "syndrome du bébé bleu" [19].

- **Dureté de l'eau** : La dureté de l'eau, liée à la concentration en ions calcium et magnésium, peut avoir des conséquences sur la santé et l'utilisation des appareils ménagers. Une eau dure peut contribuer à une plus grande quantité de sels minéraux dans l'organisme, ce qui peut être protecteur contre certaines maladies cardiovasculaires, mais peut poser des problèmes pour les personnes souffrant d'hypertension [18].

Il est crucial de surveiller et maintenir un équilibre dans la concentration de ces ions dans l'eau potable pour garantir une bonne qualité et limiter les effets indésirables sur la santé.

1.8. Les polluants présents dans l'eau potable

Le terme pollution fait référence à tout changement ou ajout négatif de la substance. Et la pollution de l'eau est l'entrée d'un produit chimique, par exemple, causé par des usines ou autres, puis un changement négatif dans la consommation de produits chimiques, physiques ou aquatiques [9].

1) Les polluants physiques

Toutes les substances qui ont un impact majeur sur l'apparence et les caractéristiques physiques de l'eau, telles que la matière organique en suspension dans les rivières et les ruisseaux, ou les sédiments provenant des processus d'érosion du sol [9].

2) Les polluants chimiques

Des substances et des composés provenant de la nature ou fabriqués par l'homme. Par exemple, l'azote, les agents de blanchiment, les sels, les pesticides, les minéraux et les toxines résultant de la production de bactéries ou de médicaments chez les humains et les animaux [9].

Les polluants biologiques : C'est les microorganismes ou les polluants biologiques, tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les parasites.

Les polluants radioactifs : englobent des substances chimiques susceptibles d'émission de rayonnements ionisants, en raison de leur atome instable en raison de leur teneur déséquilibrée en protons et neutrons, tels que le calcium, l'uranium et le plutonium [9].

1.9. Conclusion

La conclusion de ce chapitre sur l'eau potable met en lumière son importance cruciale pour la santé humaine et l'environnement. L'eau potable, bien que rarement trouvée à l'état pur, est essentielle à la vie sur Terre. Pour qu'elle soit considérée comme potable, elle doit répondre à des normes strictes réglementées par des critères organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques et liés à la présence de substances indésirables ou toxiques.

La qualité de l'eau potable dépend non seulement de son origine, qu'il s'agisse d'eaux de source, d'eaux minérales, ou d'eaux brutes, mais également des traitements qu'elle subit pour éliminer les polluants et les agents pathogènes.

***GENERALITES
SUR LA MORINGA
OLEIFERA***

Chapitre II : Généralités sur la *moringa Oleifera*

II.1. Introduction

Moringa oleifera est l'un des arbres les plus pratiques au monde, avec de nombreuses propriétés fascinantes qui lui confèrent un intérêt scientifique considérable [1]. La plante est principalement cultivée pour ses feuilles, consommées fraîches, séchées et en poudre. Finalement, la graine de *Moringa oleifera* est employée pour flocculer l'eau et pour fabriquer de l'huile, dont les applications sont à la fois alimentaires, cosmétiques et agricoles [2].

Une plante médicinale est une plante qui est employée en raison de ses vertus médicales. Cela implique que l'une ou l'autre de ses parties (feuille, tige, racine, etc...) peut être utilisée pour traiter. Elles sont employées par les hommes depuis au moins 7000 ans avant notre ère et constituent le fondement de la phytothérapie [3]. On envisage des alternatives naturelles aux coagulants actuels, y compris les plantes cultivées. Les graines d'un arbre tropical, *Moringa oleifera*, ont été particulièrement intéressantes car elles sont à la fois un coagulant et un antimicrobien de l'eau. L'intérêt international pour le *Moringa oleifera* est grandissant en raison de ses nombreuses utilisations économiques et de sa facilité de propagation dans les pays tropicaux [4].

II.2. Histoire de la plante

L'histoire de *Moringa Oleifera* remonte à 150 avant Jésus-Christ. Des sources historiques suggèrent que les rois et les reines antiques ont incorporé les feuilles et les fruits de *Moringa Oleifera* dans leur régime alimentaire afin de préserver la vigilance mentale et une peau saine [5].

II.3. *Moringa Oleifera*

Moringa Oleifera, une espèce de petit arbre pouvant atteindre 10 mètres de haut, appartient à la famille des *moringaceae*s et est facilement identifiable [6]. Sa couronne est ouverte et tombante, ses branches sont fragiles et arborent un feuillage plumeux de feuilles trépanées caduques ou persistantes, son écorce est épaisse et blanchâtre, et ses fruits sont de section triangulaire [7].

On qualifie la plante *Moringa Oleifera* d'un des arbres les plus bénéfiques au monde en raison de ses nombreuses propriétés intéressantes qui lui confèrent un intérêt scientifique considérable. On la décrit comme un arbre miracle, un arbre de vie et un don divin à l'humanité [8].

II.4. Distribution géographique de *Moringa Oleifera*

On trouve des arbres sauvages dans les régions sub-Himalayanes de Chenab à Oudh. On observe sa croissance à des altitudes allant du niveau de la mer jusqu'à 1400 mètres. On la cultive fréquemment près de maisons en Assam, en Bengal et dans la péninsule indienne. Il est un coppicer prolifique. On peut également la cultiver dans le nord-est de Pakistan, le nord-est de Bangladesh, Sri

Lanka, l'Asie du Sud, la péninsule Arabique, l'Afrique de l'Est et de l'Ouest, ainsi que dans les régions de l'Ouest et de l'Est de la Floride. De plus, on la cultive dans les régions centrales et sud-américaines, allant de Mexico à Peru, ainsi qu'en Brésil et Paraguay [10].

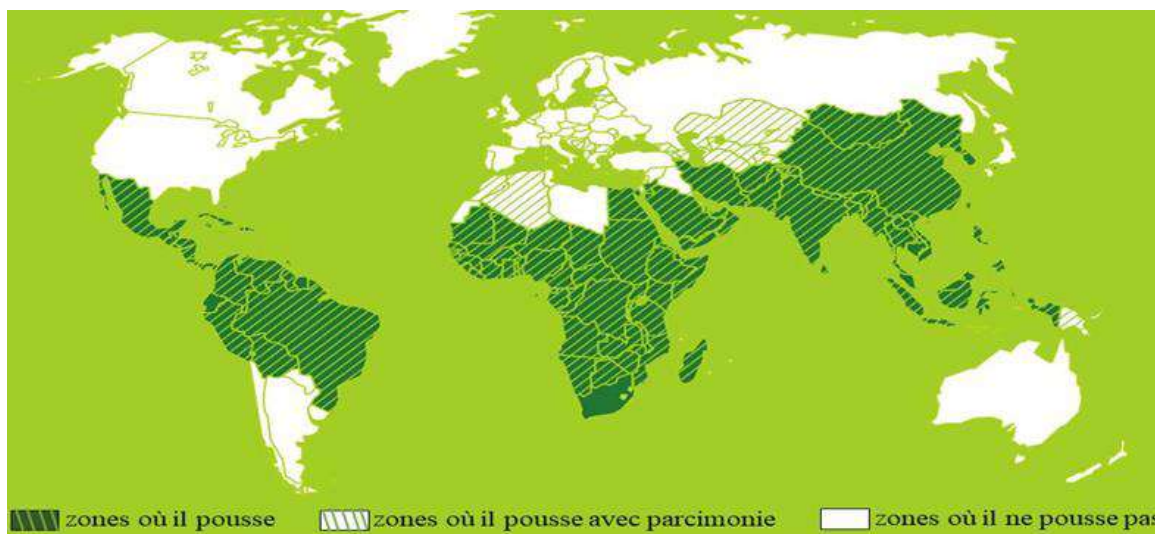


Figure II.1: Distribution géographique de *Moringa Oleifera* dans le monde [11].

II.5. Nomenclature et Classification

II.5.1. Nomenclature

Moringa Oleifera est porte différents noms selon les régions :

Tableau II.1 : Quelques noms vernaculaires du *Moringa Oleifera* [10].

Language	Nom vernaculaire
Arabe	Shajart El Hayat
Anglais	Drumstick tree
Française	Moringe à graine ailée
Chinois	La ken
Espagnol	Ángela, Ben

II.5.2. Classification

Tableau II.2 : La classification systématique de Moringa Oleifera [10].

Classification	Nom spécifiques
Règne	Plantae
Famille	Moringacées
Genre	Moringa
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Espèces	Oleifera
Order	Capparales

II.6. Description botanique de la plante Moringa Oleifera

Moringa est un arbre qui pousse rapidement, pouvant atteindre 7 à 12 mètres de haut et dont le tronc a un diamètre de 20 à 40 cm. Sa forme est largement ouverte, habituellement parapluie couronne et généralement à tige unique. Il possède un bois doux et une écorce lumineuse. Il a tendance à s'enraciner profondément. Feuilles imparipennées de 3 rachis de 6 cm de long, présentant 2 à 6 paires de pinnules. Chaque pinnule possède entre 3 et 5 folioles de 1 et 2 cm de long. La foliole finale est généralement un peu plus grande. Quand il est jeune, ses tracts sont très pâles, mais ils deviennent plus colorés avec l'âge. Les fleurs de couleur crème apparaissent en panicules parfumées pendant la période [12].



Figure II.2: L'arbre de Moringa Oleifera[13].

II.7. Différentes parties de *moringa oleifera*

II.7.1. La racines

La racine a tendance à être long de nature, mais il peut parfois être mal formé. Le tronc de l'arbre est court, droit et atteint une taille allant de 1,8 à 3 mètres [13].



Figure II.3: Les racines de *Moringa Oleifera* [11].

II.7.2. Les branches

La couche se forme en forme d'umbrella à cause de la disorganisation des branches [13].



Figure II.4: Les branches de *Moringa Oleifera* [11].

II.7.3. Feuilles

Les feuilles de ce complexe de tripinnates sont plumeuses, avec des folioles courbes vertes de 1-4 cm de longueur. On confond souvent le tronc avec une légumineuse en raison de ses feuilles. Généralement, les feuilles pennées alternées deux ou trois fois apparaissent aux points de branche. Quand ils sont jeunes, ils sont de 20 à 70 cm de long, avec une teinte grisâtre. Leur pétiole est long, avec 8-10 paires de pinnae avec deux ensembles d'elliptiques inverses, ainsi qu'un à l'apex, d'environ 1-2 cm de long [13].



Figure II.5: Les feuilles de *Moringa Oleifera* [11].

II.7.4. Les fleurs

Les jupes de 15 à 25 cm de long portent de belles fleurs au parfum doux, généralement blanches à claires, et mesurant 2,5 cm de diamètre. Certaines variétés peuvent être teintées de rose. Les fleurs, qui ont une belle fraîcheur et une taille de 2,5 cm, sont réparties en abondance dans des dalles de 10 à 25 cm de long. Elles s'étendent en blanc à la base. Les joints à cinq reflets sont directement lancéolés. Il se compose de cinq lions et de cinq staminodes, tous dotés d'une pensée réfléchie, à l'exception du plus bas [13].



Figure II.6: Les fleurs de *Moringa Oleifera* [11].

II.7.5. Fruits

Les fruits sont des structures en forme de trilobe, et sont souvent appelés pousses. Les jeunes graines sont de couleur verte et dans certaines variétés, elles ont une certaine brillance. Nous pouvons observer que les gousses sont triangulaires, brunes, qui se divisent longitudinalement en trois parties après avoir été séchées. Ils ont une longueur de 35 à 130 cm, une largeur de 12,8 cm et un temps d'insertion d'environ 20 secondes dans la moelle. Il est nécessaire de taper et de marquer les extrémités des gousses neuf fois.

Les fruits sont en forme de gousses allongées à trois valves, déhiscents et mesurant 20 à 60 cm de long. Les gousses se trouvent au sommet des branches et contiennent environ 12 à 35 graines chacune [13].



Figure II.7: Les gousses de *Moringa Oleifera* [11].

II.7.6. Les graines

Les graines sont de forme ovale et semi-perméable, avec trois ailes en papier Les arrangements de graines sont principalement de couleur brune à brune, Cependant, il peut être vide si les pièces ne sont pas viables. Il y a trois ailes blanches dans le corps qui s'étendent du début à la fin à des intervalles de 130 [13].



Figure II.8: Les graines de *Moringa Oleifera* [11].

II.8. Valeurs nutritionnelles des graines de *Moringa oleifera*

Les graines de *Moringa* contiennent également des minéraux (calcium, magnésium, zinc, etc.), des acides aminés essentiels, des acides gras et d'autres composés bioactifs, y compris des protéines, des fibres, des glucides et des huiles [14]. L'huile végétale contenue dans les graines de *Moringa* représente 38 à 40% du poids de la graine et est connue sous le nom de "Behen" ou "Ben" [14]. Cette huile est utilisée dans les produits cosmétiques et pour l'alimentation en raison de sa haute teneur en acides gras et en antioxydants [15].

Les graines de *Moringa* possèdent des propriétés antimicrobiennes contre les bactéries à Gram négatif et à Gram positif, y compris *Staphylococcus* [14]. Elles peuvent détruire environ 95 % des bactéries contenues dans l'eau, ce qui en fait un candidat prometteur pour la purification de l'eau dans les régions où l'accès à l'eau potable est difficile [15].

II.9. La composition chimique des graines de *moringa Oleifera*

La composition chimique des graines de *moringa Oleifera* est montrée dans le tableau de ci-dessous.

Tableau II.3 : Composition chimique des graines de *Moringa Oleifera* [16].

Composés	g/100g	%
Protéines	29,4 _ 33,3	34,51 _ 36,5
Fibres	6,8 _ 8,0	10,92 _ 12,16
Carbohydrates	16,5 _ 19,8	19,00 _ 20,29
Huiles	34,7 _ 40,4	38,62 _ 40,06

II.10. Les propriétés Physiques de *Moringa Oleifera*

Les différentes propriétés physiques représentées dans le tableau suivant.

Tableau II.4 : Les propriétés physiques de *Moringa Oleifera* [17].

Détermination	Inde	Afrique centrale	Amérique du Sud
Poids moyen des gousses (g)	7.60	_	7.95
Poids moyen des graines par gousse (g)	3.59	5.03	4.83
Nombre moyen de graines par gousse	12.00	17.00	16.00
Poids moyen de 100 graines (g)	29.90	29.60	30.20
Poids moyen de 100 amandes (g)	21.20		22.50
Poids de l'amande par rapport au poids de la graine %	72.50	_	74.50
Poids de la coque par rapport au poids de la graine %	27.50	_	25.50
Teneur en eau de l'amande (%)	4.50	_	6.50
Teneur en eau de la coque (%)	9.20	_	12.90
Teneur en eau de la graine (%)	5.80	_	7.50

II.11. Les exigences environnementales du *Moringa*

Les exigences environnementales du *Moringa* sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau II.5 : Les Exigences environnementales de *Moringa Oleifera* [18].

Paramètre	Valeur/fourchette
Climat	Tropical ou sub-tropical
Altitude	0-2000 mètres
Température	25-35°C
Pluviométrie	Irrigation nécessaire pour la production de feuilles si pluviométrie < 800 mm
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux
pH du sol	Légèrement acide à légèrement alcalin (pH : 5 à 9)

II.12. Les avantages de *moringa oleifera* dans le traitement de l'eau

- ✓ Il s'agit d'un produit tropical, privilégié par les pays du Sud, car il n'est pas soumis à des taxes d'importation et ne requiert pas de paiement en devises.
- ✓ Le *Moringa Oleifera* possède une excellente aptitude à s'adapter aux diverses conditions environnementales, ce qui lui confère une large répartition géographique à travers le globe.
- ✓ Dans certains pays, le prix de la graine de *Moringa* peut être concurrentiel par rapport aux flocculants industriels. Toutefois, il y a un manque de perspective et d'études économiques sur ce sujet [25].
- ✓ Les graines de *M. Oleifera* qui sont correctement stockées conservent leurs propriétés (jusqu'à 5 ans), mais aucune étude approfondie sur le stockage n'a jamais été menée [25].
- ✓ Les graines de *Moringa* sont entièrement biodégradables, ce qui peut être bénéfique pour la préservation de la biodiversité, contrairement au sulfate d'aluminium [25].
- ✓ Les plantes utilisées doivent également pouvoir être cultivées dans divers pays et ne pas demander un espace excessif. -La culture intensive du *M. Oleifera* est particulièrement aisée et elle convient à la plupart des régions tropicales [25].
- ✓ Il est difficile et incomplet de décanter à des températures basses en raison de la faible densité des particules de *Moringa*, ce qui rend les flocs d'alumine plus solides [25].
- ✓ La quantité de turbidité obtenue est trop élevée pour effectuer une désinfection [26].

II.13. Utilisation de *Moringa Oleifera*

II.13.1. Consommation humaine

Il est possible de consommer des feuilles, des fruits, des petites tiges, des racines et des fleurs. Les feuilles fraîches et écrasées peuvent être consommées même lorsqu'elles sont combinées avec un assaisonnement ou lorsqu'elles sont préparées sous forme de soupe ou de salade. La poudre de graines

séchées peut être utilisée pour épicer les sauces et consommer des fleurs telles que des légumes crus. L'huile de Moringa Oliveira est utilisée comme huile pour manger et comme huile de cuisson [27].

II.13.2. Utilisations industrielles de l'huile de Moringa

Environ 42% des graines décortiquées, c'est-à-dire des amandes, contiennent de l'huile. L'huile a une teinte jaune éclatante. On l'emploie en tant que lubrifiant dans les machines fines, telles que l'horlogerie, en raison de sa faible propension à se détériorer et à devenir rance et collante. On peut aussi l'utiliser comme huile de cuisine. En raison de sa faculté d'absorption et de rétention des substances volatiles [28].

II.14. Traitement de l'eau

On a traditionnellement utilisé l'extrait aqueux de graines pour purifier l'eau en Afrique et, dans les pays sud-asiatiques, comme un coagulant naturel en raison de sa forte teneur en protéines cationiques actives de masse moléculaire comprise entre 6 et 16 kDa et de points isoélectriques très alcalins. Par ailleurs, on sait que les graines ont la capacité de diminuer 99,9% des bactéries présentes dans l'eau après un traitement de 1 à 2 heures [29].

II.14.1. Le procédé de coagulation-floculation

La coagulation-floculation est une méthode physico-chimique qui a pour objectif de déstabiliser et de rassembler les particules colloïdales présentes dans l'eau [19]. L'élimination des Matières En Suspension (MES) et des colloïdes est facilitée par la coagulation-floculation, qui consiste à les regrouper sous forme de floes dont la séparation se fait par décantation, flottation et/ou filtration. Il s'agit donc d'un procédé physique qui permet de supprimer tous ou une partie des polluants présents dans les effluents, tels que les particules (la fraction liée aux particules ayant une taille supérieure à 0,45 μm), les fractions floclées des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants liés aux MES et les macromolécules colloïdales [20].

II.14.2. Phénomènes de la coagulation

Le processus de coagulation implique la déstabilisation des particules en suspension en neutralisant leurs charges négatives. Pour cela, des réactifs chimiques appelés coagulants sont utilisés [21].

Quatre mécanismes de base pour la déstabilisation des particules colloïdales sont identifiés par les revues bibliographiques [22].

- a) la compression de la double couche
- b) l'adsorption et la neutralisation des charges
- c) la formation d'un précipité

d) l'adsorption et le pontage.

II.14.3. Phénomènes de la Flocculation

L'objectif de la flocculation est de permettre, par un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. On peut facilement éliminer ces particules en formant un floc grâce aux techniques de décantation et de filtration [23]. Ainsi, l'agrégation des particules déjà perturbées se produit lorsque celles-ci se rencontrent les unes contre les autres, ce qui entraîne une augmentation de la taille des floccs et une diminution du nombre de particules en solution [24].

II.14.4. La médecine traditionnelle

Chaque partie des feuilles, des fruits, des graines, des racines, de l'écorce et des fleurs possède des vertus médicinales spécifiques. La Science n'a pas encore confirmé toutes ces utilisations, mais le Moringa est largement reconnu comme un remède contre l'anémie, la perte d'appétit et il favorise la lactation des femmes. Il est également utilisé comme laxatif, purgatif et diurétique pour les douleurs gastriques, l'ulcère à l'estomac, la diarrhée, la dysenterie, la colite. Il peut également être utilisé comme laxatif, purgatif et diurétique pour les rhumes, les bronchites, la fièvre et les maux de tête. Il peut également être utilisé comme laxatif, purgatif et diurétique pour les infections cutanées, la gale, les micro-organismes et les piqûres d'insectes. Dans certaines situations de diabète, le Moringa peut également être employé afin de maintenir le niveau de sucre dans le sang et de réguler la tension artérielle. Par contre, il est strictement interdit d'utiliser les racines ou l'écorce des racines chez les femmes enceintes [31].

II.14.5. Autres utilisations du Moringa

Parmi les utilisations de cet arbre, on peut citer, fourrage du bétail (vaches, moutons, chèvres, porc, lapins) et aliment pour les poissons (ex : les carpes), production de biogaz, teinture (de couleur bleue) et tannin pour les peaux de bêtes, fertilisation et prévention de certaines maladies des plantes (ex : *Pythium debaryanum*), substance nutritive pour l'appareil foliaire (augmentation du rendement des récoltes de plus de 30%), engrais vert, fabrication de papier, de cordes, etc... [31].

II.15. Impact socio-économique

Le Moringa oleifera est l'un des arbres les plus bénéfiques des régions tropicales. Il se répand relativement facilement, à la fois de façon végétative et sexuée, et il n'est pas très exigeant en eau et en minéraux. De cette façon, sa fabrication et son entretien sont aisés. Pour l'exploitant et l'écosystème environnant, l'introduction de cette plante dans un environnement riche en biodiversité peut être avantageuse. Presque toutes les parties de la plante présentent des intérêts nutritionnels, ce qui en fait une importance socioéconomique dans la région agro-économique. [28][32].

MATÉRIELS
ET
MÉTHODES



Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Cette étude a été réalisée au niveau de laboratoire de Génie des procédés / Faculté de science appliquée / Université Kasdi Merbah Ouargla. L'objectif de notre travail réside dans la détermination de conditions optimales pour le processus de traitement de l'eau potable utilisant des graines de *Moringa Oleifera*, afin de minimiser la concentration de chlore, de calcium et de magnésium, en appliquant la méthodologie de surface de réponse (RSM) basée sur un plan Box-Behnken (BBD).

III.2. Echantillonnage

III.2.1. L'eau de source

L'eau de source utilisée dans cette étude a été prise à la source d'Ain Smara à l'est de la ville de Ouargla. (2km).

III.2.2. Graines de *Moringa Oleifera*

La matière végétale utilisée dans cette étude est constituée des graines de *Moringa Oleifera*. Les graines ont été récoltées en Avril 2019 de l'Institut technique de développement de l'agronomie saharienne (ITDAS) à Hassi Ben Abdallah à l'Est de la ville d'Ouargla. (30 km).

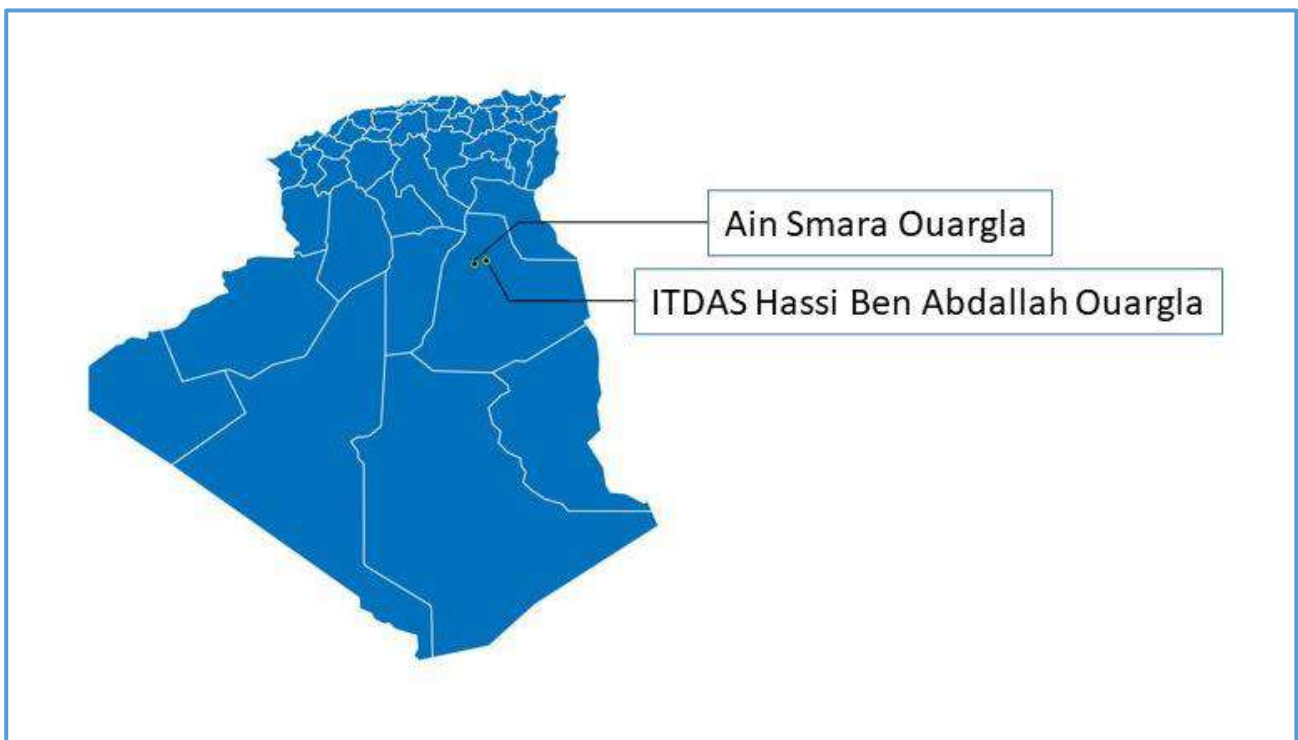


Figure III.1: Carte géographique montrant les zones d'échantillonnage.

III.3. Préparation graines de Moringa Oleifera

La préparation de cette matière comprend les étapes suivantes : lavage, séchage, broyage.

III.3. 1. Lavage : Les graines de Moringa Oleifera sont lavées 3 fois avec de l'eau distillée pour éliminer la poussière et les impuretés.

III.3. 2. Séchage : A la fin du lavage, les échantillons sont égouttés puis séchés dans une étuve à une température de 120 °C pendant 24 heures.

III.3. 3. Broyage : Le broyage a été réalisé au moyen d'un Broyeur à couteaux, [RETSCH, modèle SM 100] Pour fragmenter graines de Moringa Oleifera à des petites particules, on utilise un tamis à maille 2 mm.



Figure III.2: L'arbre et les graines utilisées dans ce travail.

III.4. Matériels et produits

Le tableau III.1 présente tous les matériaux et outils utilisés dans ce travail :

Tableau III.1: Matériels et produits d'expérience.

Matériels	Produits
Floculateur JAR-TEST	Eau distillée
Multi paramètres (HI98194)	L'eaux de source
Burettes etriers	Solution de K ₂ CrO ₄ (0.1M)
Micro Pipette	Solution Tompon (ph=10)
Papier filtre	NaOH
Les flacons Erlenmeyer de 250ml	EDTA (0.01M)
Bouteilles en plastique ou des contenants transparents.	Les graines de Moringa
Balance électrique	Muroxide
	NET (indicateur noire)

Ce travail basé sur le plan expérimental suivant :

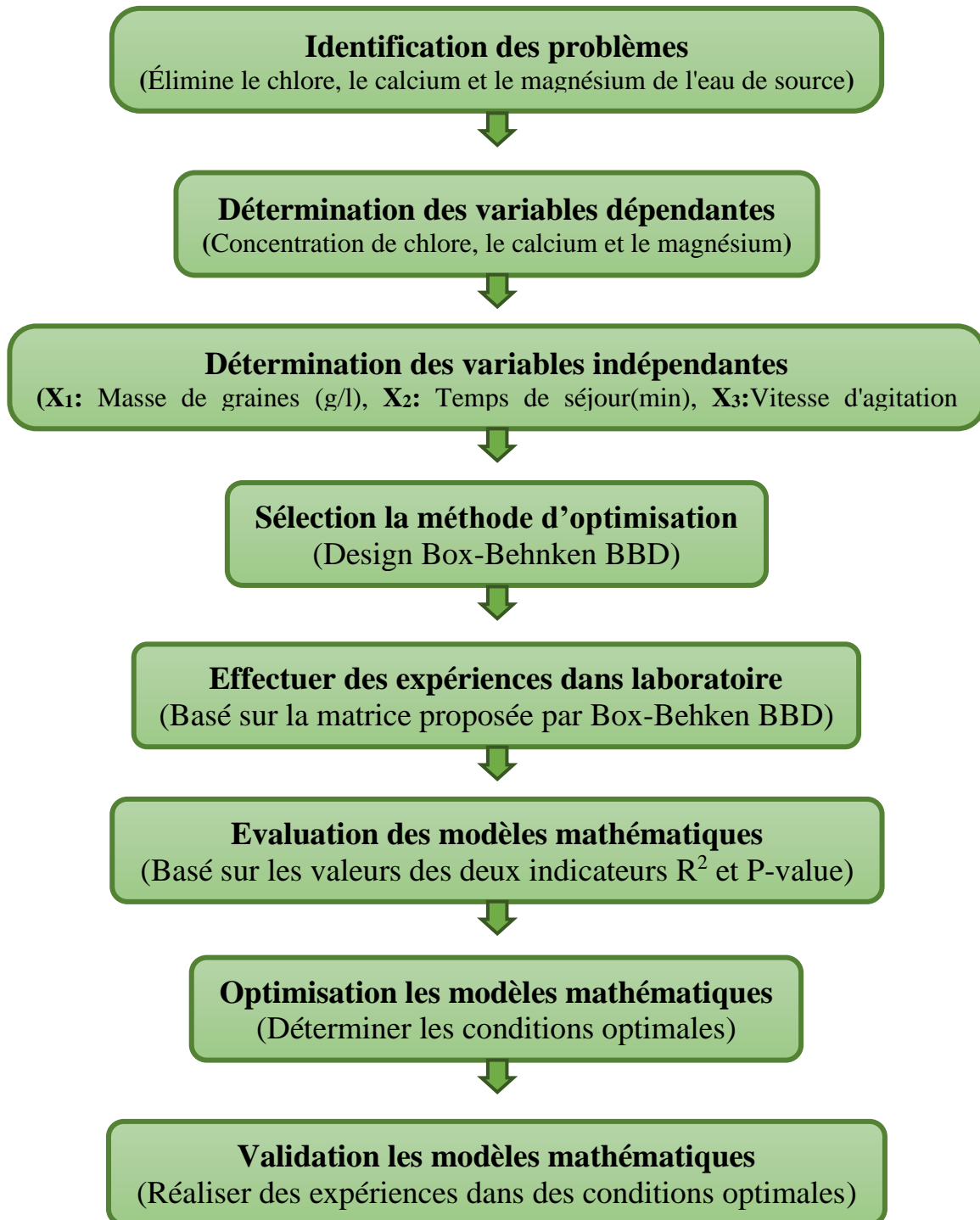


Figure III. 3: Diagramme général de la procédure expérimentale.

III.5. Identification des problèmes

Le problème de cette étude réside dans la concentration de trois éléments : le chlore, le calcium et le magnésium présents dans l'eau de source d'Ain Smara ; où ces éléments ils ont des valeurs très élevées par rapport aux normes de l'organisation de la santé mondial.

III.6. Détermination des variables dépendantes :

Trois variables dépendantes ont été identifiées comme suit : concentration de chlore, concentration de calcium, concentration de magnésium et les paramètres physiques de l'eau de source.

III.7. Détermination la concentration de chlore

Les dosages argent métriques sont des dosages par formation d'un précipité insoluble, basée sur la propriété que possèdent les sels d'argent de donner en solution, mélangés à une substance antagoniste un composé insoluble qui précipite. Deux méthodes sont employées Méthode de Mohr

III.7. 1.Méthode de Mohr

Cette méthode consiste à introduire un indicateur de fin de réaction, il s'agit du chromate de potassium (K_2CrO_4). Le chromate d'argent étant plus soluble que le chlorure d'argent, il ne se précipite qu'une fois toute la quantité de chlorure d'argent est précipitée. La réaction termine par l'addition de la goutte qui fait apparaître un précipité rouge de chromate d'argent (Ag_2CrO_4).

III.8. Détermination la concentration de calcium et magnésium

Pour déterminer la concentration en ions calcium et en ions magnésium dans une eau on utilise une réaction de complexation avec l'ion éthylènediaminetétraacétate EDTA un tétracide que l'on note Y^{4-} sa formule :

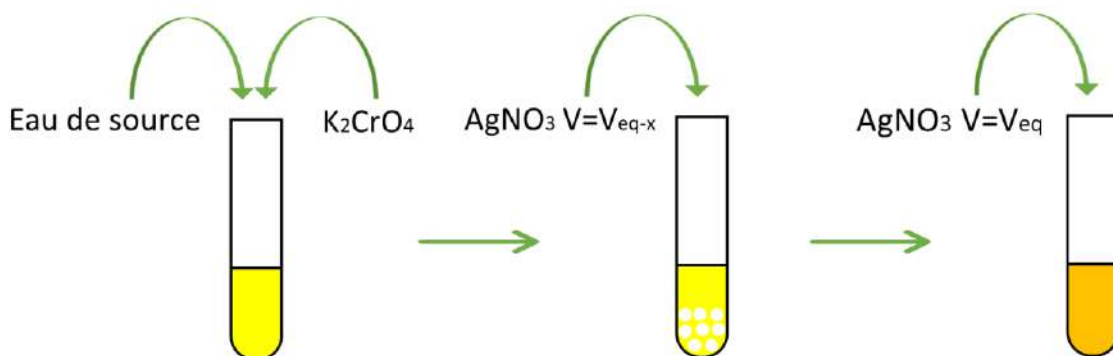
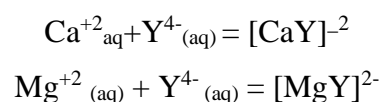


Figure III.4: Protocol expérimentale détermination la concentration de chlore.

III.8.1. Dureté totale

On dose la dureté totale avec l'EDTA en présence de noir ériochrome T (NET). Lorsque Ca^{2+} et M^{2+} sont en présence de cet indicateur (I), ils forment avec lui un complexe. La solution a donc la couleur du complexe, rouge-violet sombre. Toutefois ce complexe est moins stable que le complexe formé avec l'EDTA. Lorsqu'on introduit l'EDTA, celui-ci se combine avec les ions calcium ou magnésium libres, puis, lorsqu'il n'en reste plus, il y a destruction totale du complexe. La couleur prise par la solution est alors celle de l'indicateur (I) non complexé, c'est à dire bleu. Cette coloration sert d'indicateur de fin de réaction.

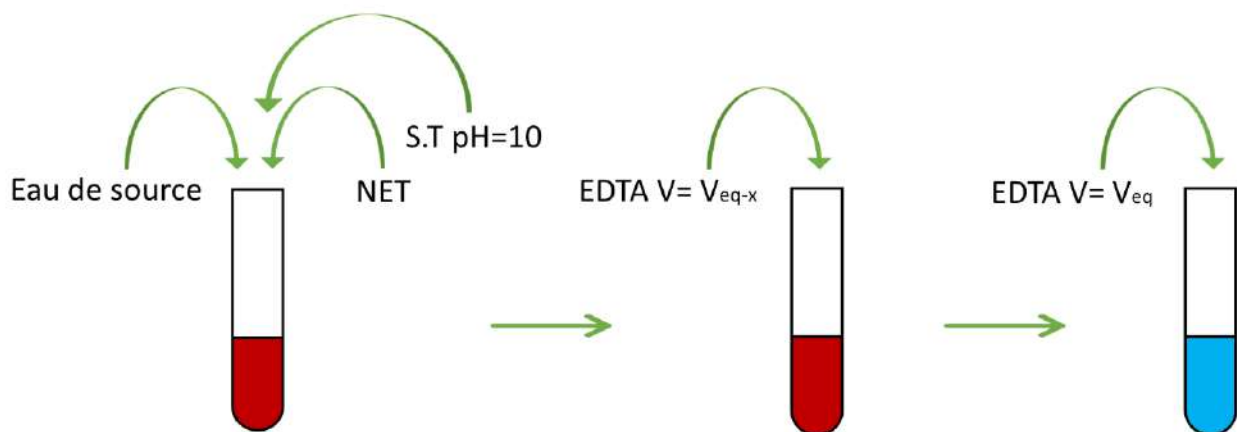


Figure III.5: Protocol expérimentale de détermination la dureté totale

III.8.2. Dureté calcique

On dose Ca^{2+} avec l'EDTA en présence de murexide à pH compris entre 12 et 13. A ce pH très alcalin, le magnésium, comme la plupart des métaux, est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas.

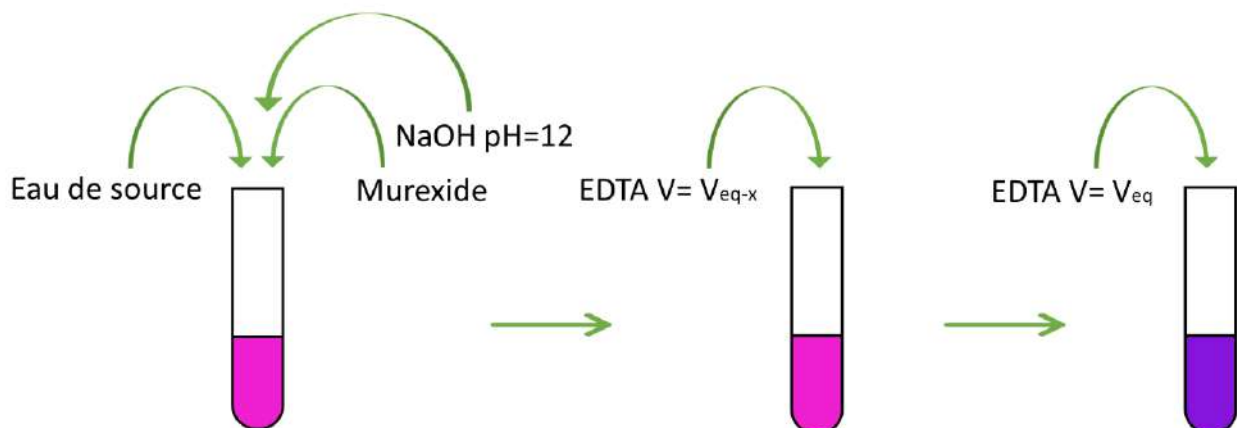


Figure III.6: Protocol expérimentale de détermination la dureté calcique.

III.9. Détermination les paramètres physiques de l'eau de source.

Pour déterminer les paramètres physiques de l'eau de source, nous utilisons un appareil HANNA HI 9289 (Annex)

III.9. 1.Mode opératoire

Mise en route de l'instrument appuyez et maintenez l'appui sur le bouton on/off pendant 2 secondes. Tous les segments utilisés de l'afficheur seront visibles pendant quelques secondes, suivis de l'affichage en % de la charge de la pile. Sélectionnez le mode : pH, conductivité (us/cm), Tds (ppm), salinité (psu)etc, à l'aide de la touche Set/Hold. Immergez la sonde dans l'échantillon à mesurer, après avoir ôté le capuchon de protection puis remuez délicatement. Lorsque l'indicateur de stabilité s'éteint, la mesure peut être lue. L'afficheur indiquera la valeur de la pH, conductivité (us/cm), Tds (ppm), salinité (psu)etc. sur l'afficheur primaire ainsi que la température et la pression atmosphérique.

III.10. Détermination des variables indépendantes

Dans cette étape, nous avons identifié trois facteurs qui sont expliqués comme suit :

X_1 : La concentration massique (g/l)

X_2 : Tempe de séjour (min)

X_3 : Vitesse d'agitation (tr/min)

Le tableau III.2 : montre les niveaux de conception expérimentale pour divers paramètres.

Tableau III.2: Niveaux de conception expérimentale pour divers paramètres.

Symboles	Variable indépendante	Niveaux		
		-1	0	+1
X_1	La concentration massique (g/l)	3	5	7
X_2	Tempe de séjour (min)	30	75	120
X_3	Vitesse d'agitation (tr/min)	75	150	225

III.11. Sélection la méthode d'optimisation

III.11. 1.METHODE D'OPTIMISATION

III.11. 2.PLAN D'EXPERIENCES

Plan d'expériences (en anglais, design of experiments ou DOE) est une méthode structurée et planifiée, qui est utilisée pour trouver la relation entre différents facteurs qui affectent un sujet testé et les différentes sorties [15]. Cela se fait avec plusieurs facteurs à différents niveaux combinés dans

une seule expérience. Il est utilisé pour analyser des problèmes complexes avec de nombreux facteurs d'influence à la fois. Au lieu de tester chaque facteur individuellement, dans un plan d'expériences, plusieurs facteurs sont modifiés à la fois pour réduire la quantité de test avec la possibilité d'analyser les interactions entre les facteurs [64]. Cela se fait en utilisant des tableaux de test. Ces tableaux sont des tableaux factoriels complets (toutes les combinaisons sont testées) ou des tableaux fractionnaires (une partie d'une configuration de test factorielle complète pour réduire le nombre de tests) [65].

III.11. 2. 1. Choix de la méthode d'expérimentation

La méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats. Elle doit également minimiser le nombre des essais sans toutefois sacrifier la qualité. La théorie des plans d'expériences assure les conditions pour lesquelles on obtient la meilleure précision possible avec le minimum d'essais. On a donc le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent le coût minimum [22].

III.11. 2.2. Types de plan d'expériences

Le choix d'un plan d'expériences, crucial pour obtenir le maximum d'informations avec le minimum d'expériences, dépend de plusieurs facteurs tels que l'objectif, les méthodes d'analyse, les contraintes expérimentales, les ressources disponibles, le comportement étudié, et l'expertise. Il existe deux grandes catégories de plans : les plans "usuels" pour les systèmes réels, souvent coûteux et complexes, et les plans pour applications numériques visant à générer une distribution optimale d'expériences. Parmi les types courants de plans d'expériences, on trouve les plans factoriels complets et fractionnaires à deux niveaux, les autres plans à deux niveaux, les plans à plusieurs niveaux, les plans pour surfaces de réponse, et les plans de mélanges.

III.11. 2.3. La méthodologie de surface de réponse (RSM)

La méthodologie de surface de réponse est une configuration de test statistique avec plus de facteurs à différents niveaux combinés dans une expérience [66]. Il est utilisé lors de l'analyse de problèmes complexes avec plusieurs facteurs d'influence dans des interactions uniques. Cela se fait en utilisant des tableaux de test. Un RSM est un DOE avec des tableaux spécialement conçus pour le calcul des interactions et des réponses quadratiques [67].

III.11.2.4. DESIGN BOX-BEHNKEN (BBD) :

Basé sur les sources fournies, le Box-Behnken Design (BBD) est un type de plan expérimental couramment utilisé dans le Design of Experiments (DOE). Il consiste à diviser les points de calcul en paramètres ou facteurs d'entrée à trois niveaux : -1, 0 et 1. Les niveaux -1 et 1 représentent les valeurs minimales et maximales de chaque paramètre d'entrée, tandis que le niveau 0 est la valeur moyenne. La méthode BBD permet une expérimentation efficace en ajoutant systématiquement des niveaux

intermédiaires entre des niveaux faibles et élevés de facteurs, créant un plan factoriel à trois niveaux. Cette approche de conception permet l'ajustement d'un modèle quadratique complet (de deuxième ordre) pour la surface de réponse, améliorant la précision prédictive et nécessitant moins d'essais expérimentaux par rapport à d'autres méthodes comme la conception composite centrale (CCD). Le BBD est particulièrement utile pour l'ajustement de modèles de second ordre et est connu pour sa praticité et son efficacité dans l'estimation des coefficients du modèle.

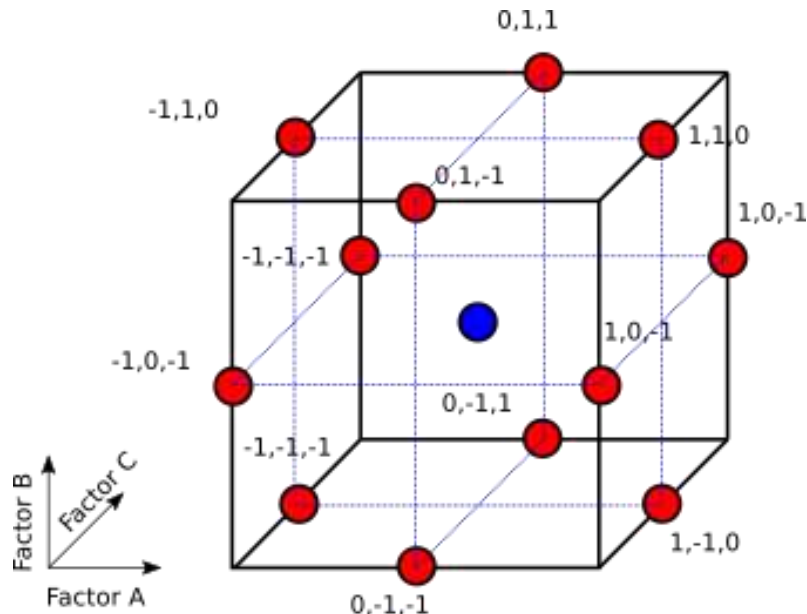


Figure III.7: image graphique du Design Box-Behnken [71].

III.12. Modèle mathématique postulé

Le modèle mathématique utilisé par le plan de Box-Behnken pour trois facteurs, est un modèle du second degré qui relie la réponse aux facteurs [72]:

$$Y = \gamma_0 + \sum_{i=1}^3 \alpha_i X_i + \sum_{i=1}^3 \alpha_{ii} X_i^2 + \sum_{i \neq j=1}^3 \alpha_{ij} X_i X_j \quad \text{Équation (III.2)}$$

Où :

Y : est la réponse ou la grandeur d'intérêt. Elle est mesurée au cours de l'expérimentation et elle est obtenue avec une précision donnée.

X_i, X_j : représentent respectivement les niveaux des variables indépendantes.

α_i, α_{ii}, α_{ij} : sont les coefficients du modèle mathématique adopté a priori. Ils ne sont pas connus et doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

III.13. Effectuer des expériences dans laboratoire

Après avoir défini les trois paramètres et choisi le design Box-Behnken, nous obtenons la matrice suivante (Tableau III.3) :

Tableau III.3: La matrice de design Box – Behnken.

Tests	Factures		
	La concentration massique (X_1)	Le tamps (X_2)	La vitesse d'agitation (X_3)
1	5	120	75
2	5	75	150
3	7	75	225
4	3	75	75
5	3	75	225
6	5	120	150
7	5	75	150
8	5	30	75
9	3	30	150
10	5	30	225
11	7	30	150
12	5	75	150
13	3	120	150
14	7	75	75
15	5	120	225

III.14. Evaluation des modèles mathématiques

Le processus d'évaluation des modèles mathématiques et des résultats obtenus est effectué en utilisant les valeurs des deux indicateurs statistiques indicateurs R^2 et P-value.

III.14. 1. Indicateur de R^2

Le R^2 , également connu sous le nom de coefficient de détermination, est une mesure statistique cruciale utilisée pour évaluer l'efficacité d'un modèle de régression linéaire dans la description de la relation entre les variables. Il quantifie la proportion de la variance de la variable dépendante qui est prévisible à partir des variables indépendantes. Autrement dit, le R^2 mesure dans quelle mesure les fluctuations d'une variable peuvent être expliquées par les variations d'une ou plusieurs autres variables, dans le cadre d'un modèle de régression. Ce coefficient est exprimé sur une échelle de 0 à 1, où un R^2 de 1 indique que le modèle de régression explique entièrement la variance de la variable dépendante, signifiant une adéquation parfaite.

III.14. 2. Indicateur de Valeur-p

Une valeur-p, qui signifie valeur de probabilité, est une mesure statistique comprise entre 0 et 1. elle est utilisée pour donner une indication qui détermine si un résultat observé dans un essai peut être dû à un hasard ou non. S'il génère une valeur p inférieure ou égale au niveau de signification (5 % ou 0,05), le résultat est considéré comme statistiquement significatif (et permet de rejeter l'hypothèse nulle). Cela est généralement écrit sous la forme suivante : $p \leq 0,05$.

III.15. Optimisation les modèles mathématiques

Afin d'optimiser les modèles mathématiques, on s'appuie sur des logiciel statistique "Design Expert V 13" pour déterminer les conditions qui donnent des valeurs optimales.

III.16. Validation les modèles mathématiques

Pour vérifier la validité des modèles mathématiques, il faut mener des expériences dans les conditions données par logiciel statistique "Design Expert V 13" et comparer les résultats expérimentaux avec les résultats prédite.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

L'importance d'une eau de qualité ne peut être sous-estimée. Dans certaines régions du monde sans accès à une eau potable salubre et propre, l'humanité souffre de malnutrition, de déshydratation et de décès dus à des maladies évitables. Au cours du siècle dernier, de nombreux progrès ont été réalisés dans l'accès à l'eau potable à des milliards de personnes et à des milliers de communautés à travers le monde. Cependant, des milliards de personnes (principalement dans les pays en développement et leurs zones rurales) n'ont toujours pas accès à l'eau potable, absolument nécessaire à la fois à la nutrition et à l'assainissement.

IV.2. Les analyses de l'eau de source.

Avant de commencer le processus de traitement de l'eau de source avec les graines de Moringa Oleifera et d'améliorer les résultats et les modèles obtenus, nous devons analyser l'échantillon d'eau de source (témoin) avant le processus de traitement.

Tableau IV. 1 : les concentrations de chlore, calcium, magnésium et les paramètres physiques de l'eau de source.

Parameter	Chlore (mg/l)	Calcium (mg/l)	Magnésium (mg/l)	pH	Conductivité (us/cm)	TDS (ppm)	Salinité (psu)
Eau de Source	1127.1	160.31	94.78	8.36	7724	3850	4.14

IV.3. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour élimine le chlore, le calcium et le magnésium de l'eau de source

IV.3.1. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour élimine le chlore

IV.3.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le chlore

Il est sécuritaire de boire de l'eau contenant de petites quantités de chlore. Les responsables de la santé publique utilisent le chlore depuis le XXe siècle pour éliminer les virus et les bactéries. Mais boire des niveaux élevés de chlore peut provoquer des nausées, des vomissements et une irritation de la gorge et de l'estomac. Le vomi peut contenir une odeur de chlore. Il est important de noter que cela se produit avec des niveaux de chlore qui dépassent de loin les niveaux de l'eau potable publique ou même ceux des piscines. Les figures (IV.1, IV.2 et IV.3) montrent l'effet de la masse de graines, le temps de séjour et la vitesse d'agitation sur l'élimination le chlore.

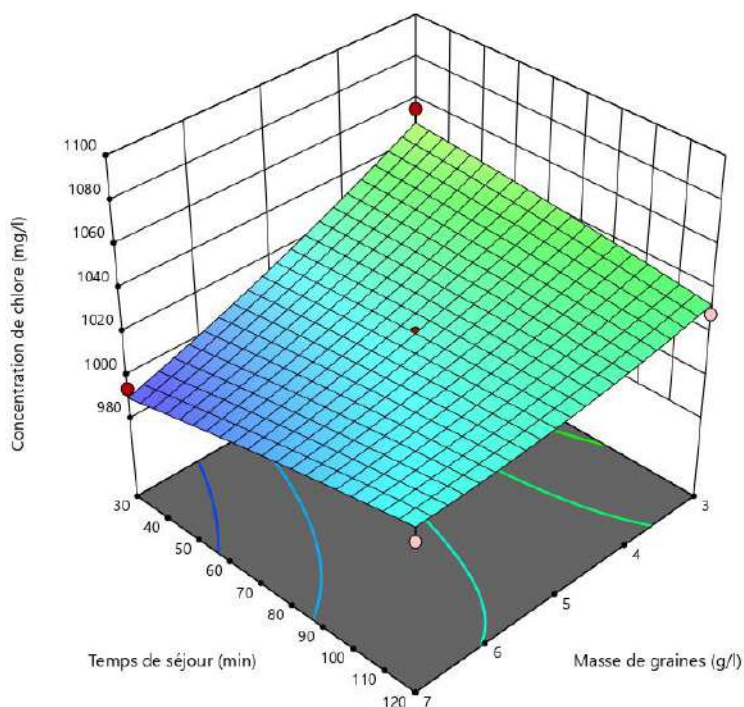


Figure IV. 1 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le chlore.

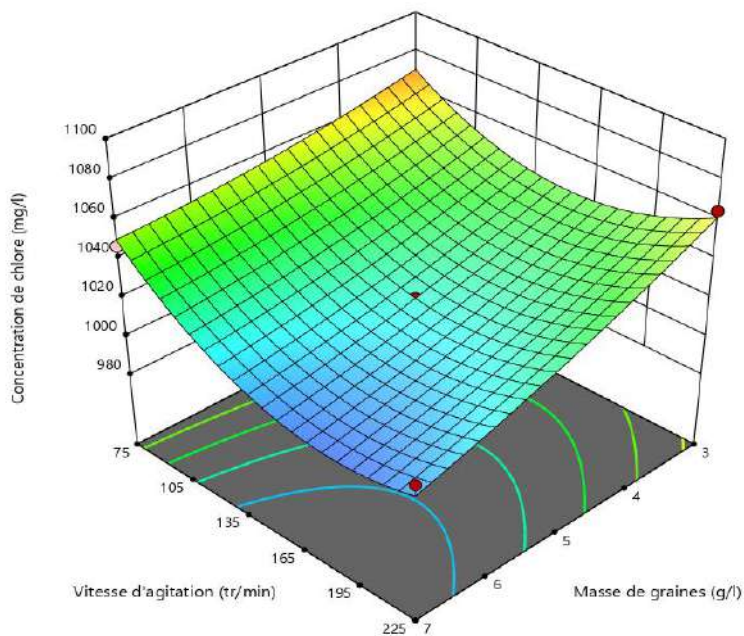


Figure IV. 2 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le chlore.

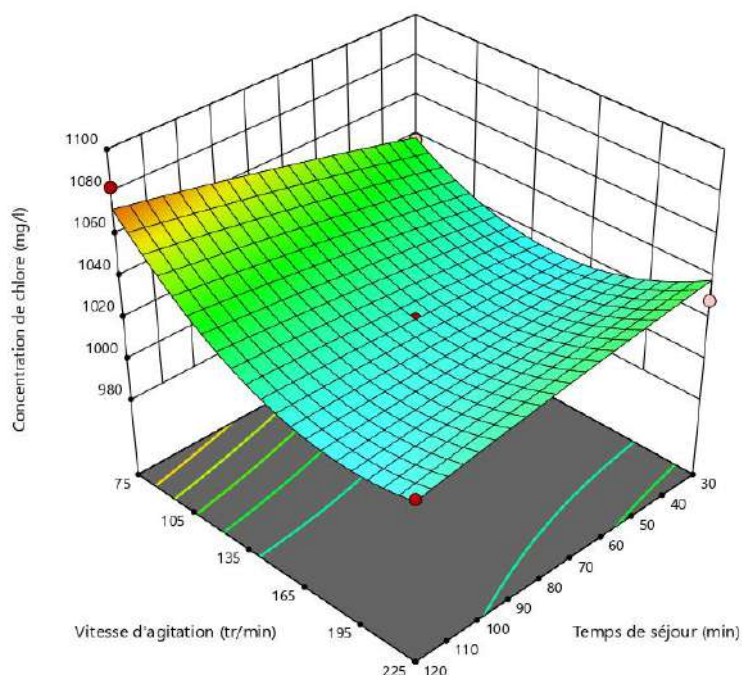


Figure IV. 3 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le chlore.

Après analyse de l'échantillon d'eau de source, il a été constaté qu'elle contient des concentrations élevées de chlore, estimées à 1160 mg/L, ce qui est incompatible avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé et également incompatible avec les normes des autorités algériennes en matière d'eau potable. Ces figures montrent les effets de deux facteurs sur la réponse de concentration de chlore à la fois. Dans toutes les figures présentées, le troisième facteur a été maintenu au niveau zéro. Selon les résultats d'analyse de la variance du modèle quadratique de surface de réponse pour les concentrations de chlore, les facteurs étudiés peuvent être classés en fonction de leurs influences et de leurs importances comme suit : la concentration massique de graines ($p = 0.0001$), le temps de séjour ($p = 0,5599$) et la vitesse d'agitation ($p = 0,6649$).

IV.3. 2. Montage du modèle du l'élimination le chlore :

Les données obtenues à partir de Design Box-Behnken sont générées dans un modèle de fonction de réponse polynomiale du second ordre, qui prédit les concentrations de chlore élimine de l'eau de source, exprimé par les variables codées (X_1 , X_2 et X_3) dans l'équation 1 :

$$Y [CL]= +1157.42153 - 18.16875X_1 + 0.131204X_2 - 0.829722X_3 + 0.123333X_1X_2 + -0.059167X_1X_3 - 0.003948X_2X_3 + 0.837500X_1^2 - 0.000543X_2^2 + 0.004147X_3^2$$

$$R^2= 95.04$$

$$P\text{-value} = 0.009$$

Équation 1

Où

Y : est la concentration éliminée de chlore.

X₁, X₂ et X₃ : sont les variables codées.

Tableau IV. 2 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de chlore.

Les conditions optimales			Concentration de chlore	
Masse de graines (g/l)	Temps de séjour (min)	Vitesse d'agitation (tr/min)	Expérimental	Prédite
6.956	37.367	149.650	1024.58	992.796

Cela indique que le modèle est bien adapté pour les concentrations de chlore élimine de l'eau de source dans des conditions optimales et que le modèle est bien conçu pour prédire l'état traitement optimal.

IV.4.1. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour éliminer le calcium

IV.4.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le calcium :

Au fil du temps, le calcium présent dans l'eau dure peut s'accumuler sur les tuyaux et provoquer des obstructions dans la plomberie. Les dépôts minéraux provoquent également une accumulation sur les luminaires et les appareils électroménagers, provoquant leur défaillance prématurée et laissant des résidus sur la vaisselle, les vêtements et la peau. C'est cette accumulation de résidus qui peut potentiellement causer le plus de problèmes de santé. Il n'existe aucune preuve solide indiquant que la consommation régulière d'eau contenant des niveaux élevés de calcium est mauvaise pour la santé ou a des effets néfastes durables sur votre bien-être. Certaines études suggèrent que boire de l'eau dure peut augmenter le risque de développer des calculs rénaux. D'autres recherches indiquent que boire de l'eau contenant des dépôts minéraux peut entraîner des problèmes digestifs ou des problèmes du système nerveux. Il peut être difficile de digérer de grandes quantités de calcium et de magnésium, donc boire une grande quantité d'eau dure au fil du temps peut provoquer toute une série d'inconforts gastro-intestinaux. Les figures (IV.4, IV.5 et IV.6) montrent l'effet de la masse de graines, le temps de séjour et la vitesse d'agitation sur l'élimination le chlore.

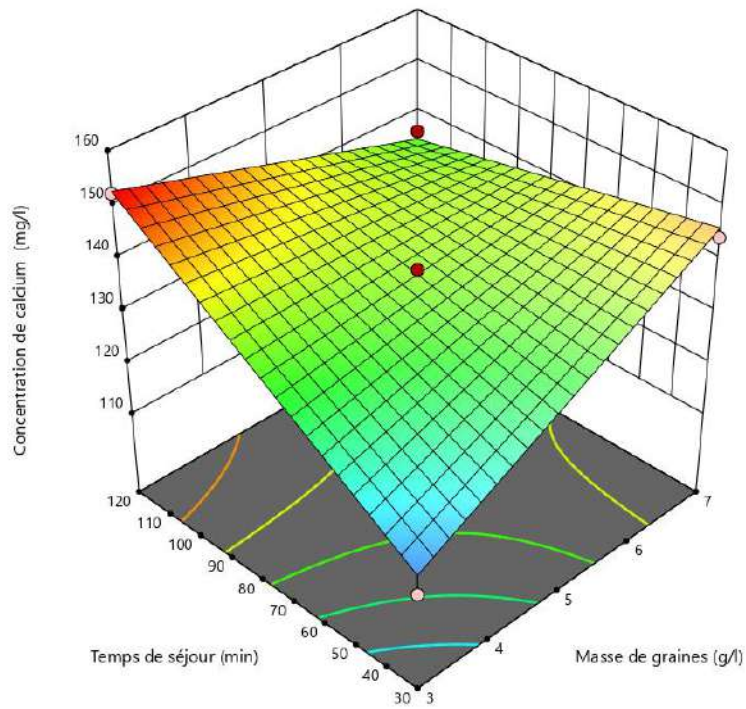


Figure IV. 4 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le calcium.

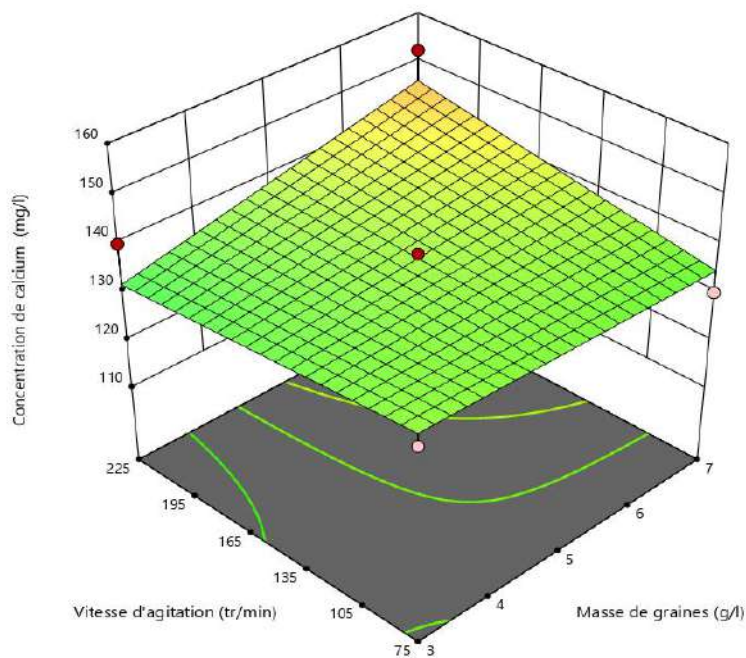


Figure IV. 5 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le calcium.

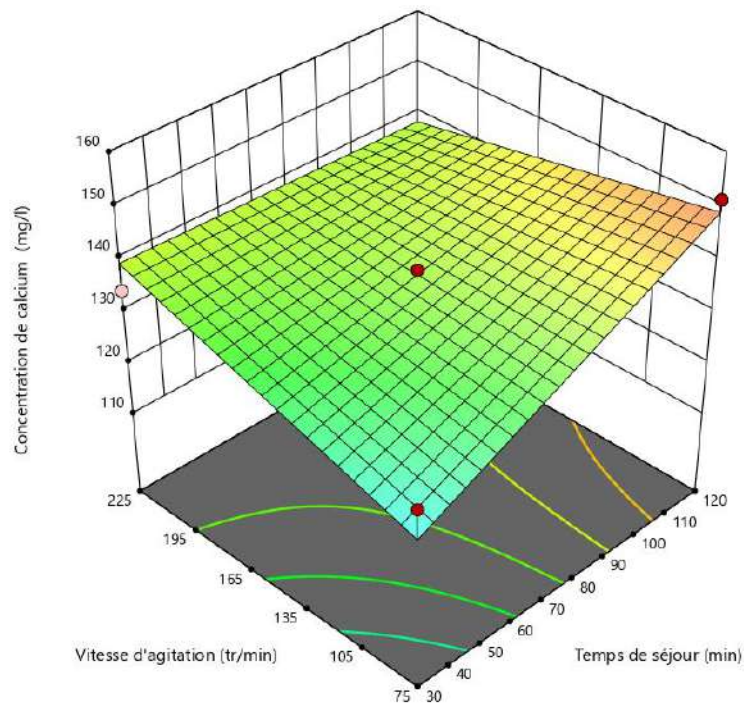


Figure IV.6 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le calcium.

Après analyse de l'échantillon d'eau de source, il a été constaté qu'elle contient des concentrations élevées de calcium, estimées à 160.312 mg/L, ce qui est compatible avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé et également compatible avec les normes des autorités algériennes en matière d'eau potable. Mais il faut la réduire pour rendre l'eau plus douce. Ces figures montrent les effets de deux facteurs sur la réponse de concentration de chlore à la fois. Dans toutes les figures présentées, le troisième facteur a été maintenu au niveau zéro. Selon les résultats d'analyse de la variance du modèle quadratique de surface de réponse pour les concentrations de chlore, les facteurs étudiés peuvent être classés en fonction de leurs influences et de leurs importances comme suit : la concentration massique de graines ($p = 0.2983$), le temps de séjour ($p = 0,0485$) et la vitesse d'agitation ($p = 0,5722$).

IV.4. 2. Montage du modèle du l'élimination le calcium :

Les données obtenues à partir de Design Box-Behnken sont générées dans un modèle de fonction de réponse polynomiale du second ordre, qui prédit les concentrations de calcium éliminé de l'eau de source, exprimé par les variables codées (X_1 , X_2 et X_3) dans l'équation 2 :

$$\begin{aligned}
 Y[\text{Ca}] = & +62.14420 + 5.79000X_1 + 1.31407X_2 + & R^2 = 82.6 \\
 & 0.023711X_3 - 0.133583X_1X_2 + 0.026733 X_1X_3 - \\
 & 0.002041X_2X_3 + 0.172188X_1^2 - 0.001329X_2^2 + 0.000055X_3^2 & P\text{-value} = 0.039
 \end{aligned}$$

Équation 2

Où

Y : est la concentration éliminée de calcium

X₁, X₂ et X₃ : sont les variables codées

Tableau IV. 4 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de calcium

Les conditions optimales			Concentration de calcium	
Masse de graines (g/l)	Temps de séjour (min)	Vitesse d'agitation (tr/min)	Expérimental	Prédite
3.109	30.08	75.063	128.42	112.216

Cela indique que le modèle est bien adapté pour les concentrations de calcium élimine de l'eau de source dans des conditions optimales et que le modèle est bien conçu pour prédire l'état traitement optimal.

IV.5.1. Optimisation l'efficacité des graines de moringa Oleifera pour éliminer le magnésium.

IV.5.1.1. Analyse de la surface de réponse d'élimine le magnésium :

L'eau potable universelle et les boissons contenant des niveaux modérés à élevés de magnésium (10 à 100 ppm) pourraient potentiellement prévenir 4,5 millions de décès par an par maladie cardiaque et accident vasculaire cérébral dans le monde. Ce potentiel est calculé à partir des chiffres de mortalité mondiale de 2010 combinés à une quantification récente de l'association inverse de l'eau et du magnésium avec la mortalité par maladie cardiaque et accident vasculaire cérébral. Les figures (IV.7, IV.8 et IV.9) montrent l'effet de la masse de graines, le temps de séjour et la vitesse d'agitation sur l'élimination le chlore.

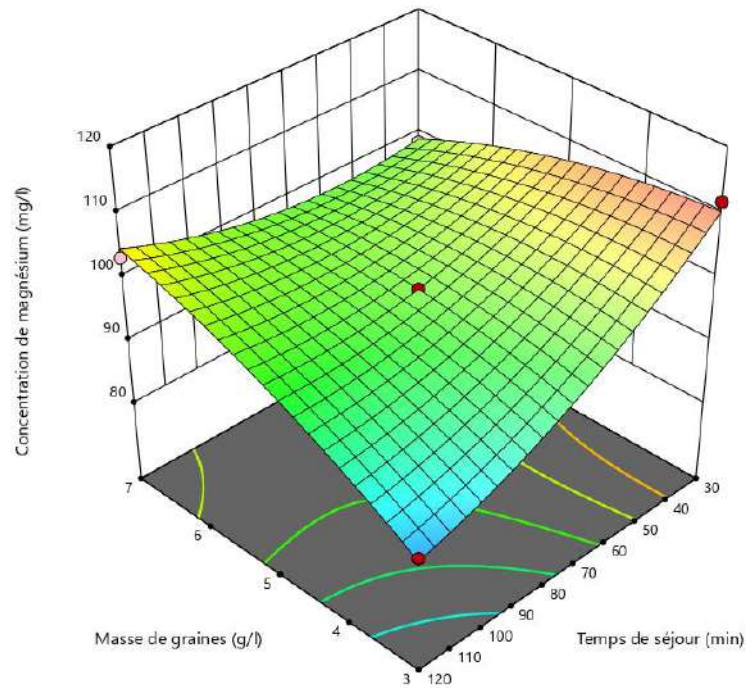


Figure IV. 7 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et le temps de séjour sur l'élimination le magnésium

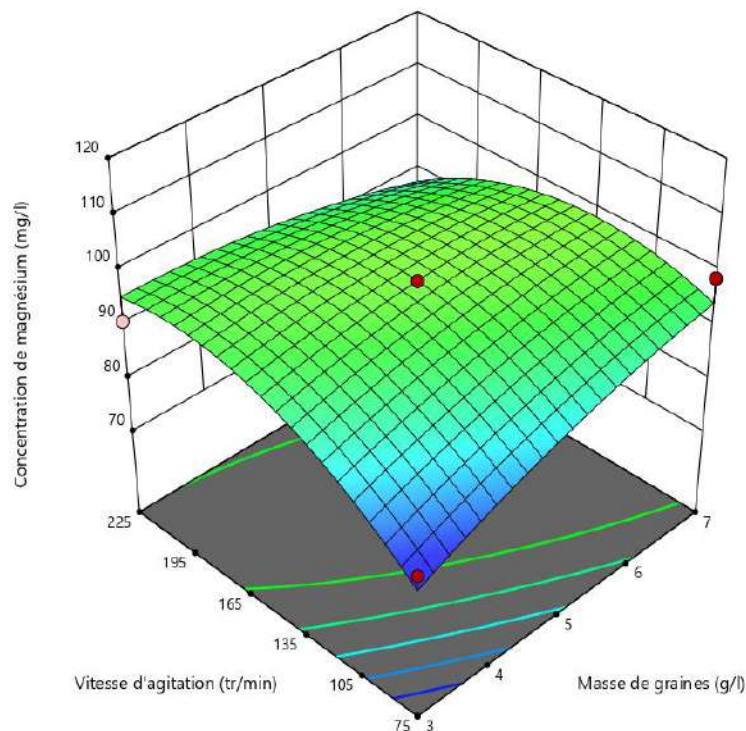


Figure IV. 8 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la masse de graines et la vitesse d'agitation sur l'élimination le magnésium.

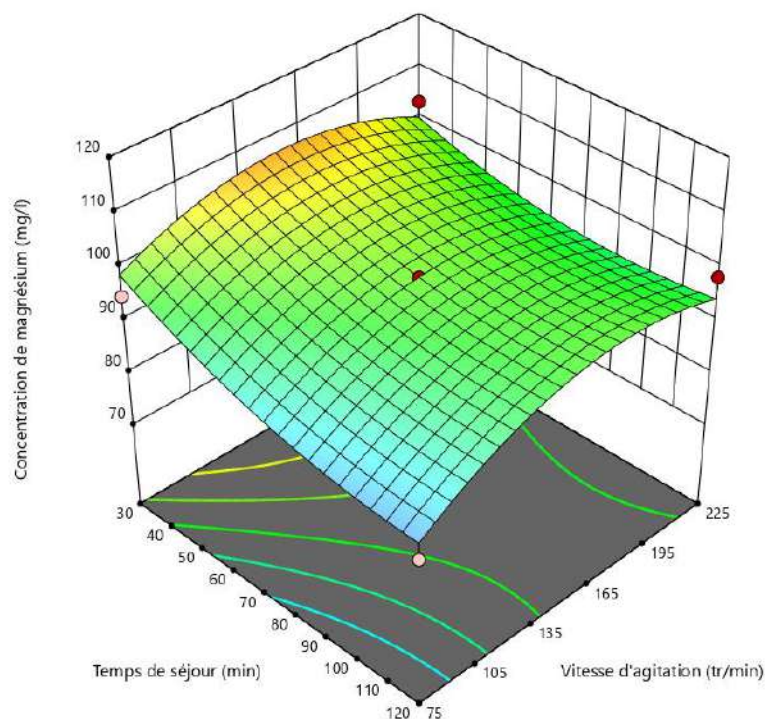


Figure IV. 9 : Diagramme de surface de réponse montrant l'effet de l'interaction de la vitesse d'agitation et du temps de séjour sur l'élimination le magnésium.

Après analyse de l'échantillon d'eau de source, il a été constaté qu'elle contient des concentrations élevées de magnésium, estimées à 94.78 mg/L, ce qui est compatible avec les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé et également compatible avec les normes des autorités algériennes en matière d'eau potable. Mais il faut la réduire pour rendre l'eau plus douce. Ces figures montrent les effets de deux facteurs sur la réponse de concentration de chlore à la fois. Dans toutes les figures présentées, le troisième facteur a été maintenu au niveau zéro. Selon les résultats d'analyse de la variance du modèle quadratique de surface de réponse pour les concentrations de chlore, les facteurs étudiés peuvent être classés en fonction de leurs influences et de leurs importances comme suit : la concentration massique de graines ($p = 0.0459$), le temps de séjour ($p = 0.02295$) et la vitesse d'agitation ($p = 0.1538$).

IV.5. 2. Montage du modèle du l'élimination le magnésium :

Les données obtenues à partir de Design Box-Behnken sont générées dans un modèle de fonction de réponse polynomiale du second ordre, qui prédit les concentrations de magnésium éliminé de l'eau de source, exprimé par les variables codées (X_1 , X_2 et X_3) dans l'équation 3 :

$$Y_{[Mg]} = +70.78872 + 6.27173X_1 - 0.901129X_2 + 0.591453X_3 + 0.087169X_1X_2 + -0.040873 X_1X_3 + 0.000630X_2X_3 - 0.556062X_1^2 + 0.001725X_2^2 - 0.001323X_3^2$$

$R^2 = 89.97$
P-value = 0.0459

Équation 3

Où

Y : est la concentration éliminée de magnésium (mg/l)

X₁, X₂ et X₃ : sont les variables codées.

Tableau IV. 3 : Conditions optimales, valeur prédite et expérimentale de Concentration de Magnésium

Les conditions optimales			Concentration de Magnésium (mg/l)	
Masse de graines (g/l)	Temps de séjour (min)	Vitesse d'agitation (tr/min)	Expérimental	Prédite
3.779	99.22	75.38	83.36	76.946

Cela indique que le modèle est bien adapté pour les concentrations de magnésium éliminé de l'eau de source dans des conditions optimales et que le modèle est bien conçu pour prédire l'état traitement optimal.

IV.6. Effet des graines de *Moringa Oleifera* sur les paramètres physiques de l'eau de source.

L'eau utilisée comme source d'eau potable a ses propriétés physiques. Cela peut provenir d'une source environnementale, telle que le sol ou la géologie, ou d'une contamination telle que le ruissellement des champs. L'eau doit être correctement comprise et traitée avant d'être utilisée à des fins domestiques. De plus, l'acidité de l'eau influence la réabsorption du calcium et du magnésium dans le tubule rénal. Non seulement le calcium et le magnésium, mais d'autres constituants affectent également différents aspects de la santé.

Tableau IV.5 : Paramètres physiques de la source d'eau étudiée.

Parametre	Masse de graines (g/l)	Temps de séjour (min)	Vitesse d'agitation (tr/min)	pH	Conductivité (us/cm)	TDS (ppm)	Salinité (psu)
Eau de Source	/	/	/	8.36	7724	3850	4.14
1	5	120	75	6.6	4015	2120	2.27
2	5	75	150	6.48	6155	3340	3.89
3	7	75	225	6.35	7692	4100	4.5
4	3	75	75	6.43	6565	4093	3.28
5	3	75	75	6.62	6343	3221	3.84
6	5	120	150	6.12	6819	4201	3.36
7	5	75	150	6.48	6155	3340	3.89
8	5	30	75	6.22	7982	3999	4.35
9	3	30	150	5.9	7848	3701	3.84
10	5	30	225	6.16	6505	3595	3.96
11	7	30	150	6.19	7303	3525	4.34
12	5	75	150	6.48	6155	3340	3.89
13	3	120	150	7.25	6839	3295	3.41
14	7	75	75	6.03	7302	3423	3.42
15	5	120	225	6.3	7909	3659	4.9

Après avoir mené des expériences en laboratoire, nous avons constaté une différence dans les paramètres physiques de l'eau de source étudiée entre l'échantillon témoin et les échantillons traités à l'aide de graines de *Moringa Oleifera*. La plupart des valeurs obtenues relevaient des domaines de l'Organisation mondiale de la santé.

CONCLUSION GÉNÉRAL

Conclusion générale

Le présent travail consiste à déterminer les conditions optimales pour le processus de traitement de l'eau potable utilisant des graines de *Moringa Oleifera*, afin de minimiser la concentration de chlore, de calcium et de magnésium, en appliquant la méthodologie de surface de réponse (RSM) basée sur un plan Box-Behnken (BBD).

À partir des expériences effectuées, les résultats des conditions optimales et des Concentrations maximaux dans cette étude sont présentés comme suit :

- Masse de graines 6.956 (g/l) ; Temps de séjour 37.367 (min) ; Vitesse d'agitation 149.650 (tr/min) pour obtenir un Concentration maximal d'élimination du chlore de 1024.58 mg/l.
- Masse de graines 3.779 (g/l) ; Temps de séjour 99.22 (min) ; Vitesse d'agitation 75.38 (tr/min) pour obtenir un Concentration maximal d'élimination du chlore de 128.42 mg/l.
- Masse de graines 3.109 (g/l) ; Temps de séjour 30.08 (min) ; Vitesse d'agitation 75.063 (tr/min) pour obtenir un Concentration maximal d'élimination du chlore de 83.36 mg/l.

Les valeurs de R^2 indiquent que les valeurs obtenues expérimentalement très proche aux valeurs prédites, a également suggéré que les modèles étaient très efficaces pour prédire des résultats optimaux.

En outre, ces résultats indiquent que traitement de l'eau potable utilisant des graines de *Moringa Oleifera*, afin de minimiser la concentration de chlore, de calcium et de magnésium, en appliquant la méthodologie de surface de réponse (RSM) basée sur un plan Box-Behnken (BBD). Ces dernières peuvent être considérées comme une méthode efficace, écologique et peu coûteuse.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIS



Références bibliographiques

- [1] **Boudjadja, A., Messahel, M., & Pauc, H.** (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau*, 16(3), 285-304.
- [2] **BENARIMA, A. E. H., & KOUADRI, M. R.** (2017). *Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'œufs* (Doctoral dissertation).
- [3] **Benarima, A., Laouini, S. E., Seghir, B. B., & Belaiche, Y.** (2020). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* leaves using response surface methodology.
- [4] **Benarima, A., Laouini, S. E., Raache, M. N., & Kouadri, M. R.** (2021). Influence of Extraction temperature on the Phenolic compounds and Antioxidant Capacity from *Moringa oleifera* Leaves.
- [5] **Dahlbäck, B.** (2000). Blood coagulation. *The Lancet*, 355(9215), 1627-1632.
- [6] **Carpentier, A., Nauges, C., Reynaud, A., & Thomas, A.** (2006). Effets de la délégation sur le prix de l'eau potable en France. *Economie prevision*, 174(3), 1-19.
- [7] **Jaglin, S.** (2001). L'eau potable dans les villes en développement : les modèles marchands face à la pauvreté. *Revue Tiers Monde*, 275-303.
- [8] **Dupuit, J., & Dupuit, J.** (1854). *Traité théorique et pratique de la conduite et de la distribution des eaux* (Vol. 1). Cariliàn-Goeury et V. Dalmont.
- [9] **HAMITI, S., & LAHRECH, B.** (2021). *Dimensionnement d'une station de déminéralisation à la Daira de Sidi Khouiled (W. Ouargla)* (Doctoral dissertation).
- [10] **Aziez, S.** (2019) *Risque de déminéralisation des eaux potables du Sénonien par les techniques membranaires à Ouargla* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).
- [11] **Djellil, F., Safi, M., & Senouci, F.** (2020). *Influence de l'emballage et les conditions de stockage sur les paramètres physicochimiques de l'eau minérale commerciale* (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret).
- [12] **Hamida, D.** (2020). *Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région Ain Defla*.
- [13] « Le cycle de l'eau (leçon) | Khan Academy ». Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.khanacademy.org/_render
- [14] **Hebbaz, M. Touil Youcef** (2017) *,Stockage Domestique des eaux Potables cas (La région de Ouargla et de Touggourt)* (Doctoral dissertation).
- [15] **ALIAT, S., & BETTEKA, I.**(2019) *Traitement de l'eau au niveau de la station Sarl Ben Amor frères-Ouargla* (Doctoral dissertation).

- [16] **El Bir Achwak, Medar Hanane, et Fertikh Nadia**,(2019) « ELIMINATION DU SULFURE D’HYDROGENE DANS LES EAUX SOUTERRAINES: CAS DE L’EAU DE FORAGE «LOUGMANE» (REGION DE M’SILA) », Université Badji Mokhtar Annaba,
- [17] **Ghrissi aloui chaima et Bousbai Ibrahim Aida**,(2022) « Qualité des eaux D’alimentation de l’eau potable la ville Djamilia cas d’eau Déminéralisée et eaux de citerne sidi khaled », Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED,
- [18] **Guerci, P.** (2013). *Oxygénation cérébrale par spectrométrie en proche infrarouge (NIRS) au cours de la prééclampsie. Etude préliminaire de l’impact du sulfate de magnésium* (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- [19] **Banas, D., & Lata, J. C.** (2006). Nitrates. *The White Paper Pollutants Habitat*.
- [20] **Haldar, R., & Kosankar, S.** (2017). Moringa oleifera: The miracle tree. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(6), 966-970.
- [21] **Walser, M.** (2015). Étude d’opportunité du développement de la filière Moringa oleifera dans la région de Toliara. *Rapprt de stage, Montpellier/SupAgro*.
- [22] **Vongsak, B., Sithisarn, P., Mangmool, S., Thongpraditchote, S., Wongkrajang, Y., & Gritsanapan, W.** (2013). Maximizing Total Phenolics, Total Flavonoids Contents And Antioxidant Activity Of Moringa Oleifera Leaf Extract By The Appropriate Extraction Method. *Industrial Crops and Products*, 44, 566-571
- [23] **Ndabigengesere, A., Narasiah, K., & Talbot, B.** (1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. *Water Research*, 29, 703-710.
- [24] **Fahey, J. W.** (2015). Moringa Oleifera: A Review of the Medicinal Potential. In I International Symposium on Moringa 1158 (Pp. 209-224).
- [25] **Eilert U., W. B:** 1981 the antibiotic principle of seeds of Moringa oleifera and moringastenopetala..*Planta medica* 42: 55–61.
- [26] **Roloff A., Weisgerber H., Lang U., Stimm B;** (1785) *Moringa oleifera Lam.:* Enzyklopädie der Holzgewächse .WILEY-VCH Verlag GmbH &Co. KGaA, Weinheim;2009. ISBN: 978-3-527-32141-4
- [27] **Vengal Rao, P., Krishnamurthy, P. T., Dahapal, S. P., & Chinthamaneni, P. K.** (2018). An Updated Review on “Miracle Tree”: Moringa Oleifera. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(1), 101-108
- [28] **Mishra, G., Singh, P., & Verma, R. K.** (2011). Moringa olifera-An important medicinal plant: A Review of Its Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacological Properties.

- [29] **Benarima Abdelhakim**, (2021) (Optimisation des conditions ultrasoniques d'extraction des composés phénoliques de *Moringa Oleifera* et leur activité antioxydante). Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued
- [30] **Dalla R K.R** : (1993).program director for the pacific, nfta, agro-forestry species high lights a publication of the agro-forestry information service 1010 holomua road, paia ,hawaii 96779-6744.
- [31] **Chaudhary, K., & Chaurasia, S.** (2017). Neutraceutical properties of *Moringa oleifera*: a review. *Eur. J. Pharm. Med. Res*, 4, 646-655.
- [32] **Ayat, A., & Arris, S.** (2022). Biomatériaux et leur applications comme coagulants/floculants dans le traitement des eaux usées (Doctoral dissertation, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté de génie des procédés pharmaceutiques).
- [33] **BEKOUCHE, H., BOULAHYA, K., & KALLOUM, S.** (2016). Traitement microbiologique des eaux usées de la ville d'Adrar par les grains de *Moringa Oléifera* (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draïa-Adrar).
- [34] **Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker, K.** (2001). Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. *Actes du séminaire sur Moringa oleifera du*, 29.
- [35] **Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S.** (2016). *Moringa oleifera* seeds and oil: Characteristics and uses for human health. *International journal of molecular sciences*, 17(12), 2141.
- [36] **Mohamed, A., Samira, B., Nefissa, B. N., & Abl, B.** (2020). *République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique* (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem).
- [37] **Zongo, I.** (2009). Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation: application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie. *Institut National Polytechnique de Lorraine, Spécialité: Génie des procédés et des produits*, 226.
- [38] **LAKHDARI, B.** (2011). Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz.
- [39] **Tzoupanos, N. D., & Zouboulis, I.** (2008, August). Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. In *6th IASME/WSEAS international conference on heat transfer, thermal engineering and environment (HTE'08), August 20th–22nd, Rhodes, Greece* (pp. 309-317).
- [40] **Desjardins, C.** (1999). *Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo®) a l'aide d'une procédure modifiée de jar test*. École Polytechnique de Montréal.
- [41] **Noureddine, N.** (2017) *Contribution à la réduction du Cr (VI) par voie biologique. Effet de l'azote et du carbone* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran).

- [42] **EZZIANE, S.** (2007). *TRAITEMENT DES EAUX DE REJETS DE L'UNITE CERAMIT" TENES"* (Doctoral dissertation, OUAGUED. A).
- [43] **Kabore, A., Savadogo, B., Rosillon, F., Traore, A. S., & Dianou, D.** (2013). Effectiveness of Moringa oleifera defatted cake versus seed in the treatment of unsafe drinking water: case study of surface and well waters in Burkina Faso. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(11). of drinking water in sub-Saharan Africa, Case study of the waters of Burkina Faso, sciences de l'eau
- [44] **Ghebremichael, K.** (2006). Natural resources for appropriate water treatment.
- [45] **Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Kumar, D. S.** (2016). Moringa Oleifera: A Review on Nutritive Importance and Its Medicinal Application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 49-56.
- [46] **Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V.** (2011). Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African journal of biotechnology*, 10(60), 12925-12933.
- [49] **Rajanandh, M. G., & Kavitha, J.** (2010). Quantitative estimation of β -sitosterol, total phenolic and flavonoid compounds in the leaves of Moringa oleifera. *International Journal of PharmTech Research*, 2(2), 1409-1414.
- [50] **Beth, D.** (2005). Moringa Water Treatment. An ECHO Technical Note. Internet: www.echotech.org/mambo/images/DocMan/MorWaterTreat.pdf (accessed on 1st March 2010).
- [51] **Lebovici, S., Golse, B., & Moro, M. R.** (2009). L'arbre de vie. In *L'arbre de vie* (pp. 113-138). Érès.
- [52] **Patel, S., Thakur, A. S., Chandy, A., & Manigauha, A.** (2010). Moringa Oleifera: A Review of There Medicinal and Economical Importance to the Health and Nation. *Drug Invention Today*, 2(7), 339–342

ANNEXES



Annexes

ANNEXE 01: (Étuves bactériologiques à convection naturelle)



Technical information

Plage de température +5 °C au-dessus de la température ambiante jusqu'à 100 °C

Variation de la température dans l'espace à 100°C : 1,0 ± K

Variation de la température dans l'espace à 37°C : 0,3 ± K

Variation de la température dans le temps à 100°C : 0,3 ± K

Variation de la température dans le temps à 37°C : 0,1 ± K

Temps de chauffage à 100°C : 90 min

Temps de chauffage à 37°C : 55 min

Temps de recouvrement après ouverture des portes pendant 30 s à 37°C

ANNEXE 02: broyeur



Informations techniques

- Puissance (W): 1 000
- * Volume de l'entonnoir: 300 ml
- * Décharge du produit: Pour les tubes de collecte avec rectification norm NS29
- * Tamis: maillage de 0,2 à 6 mm
- * Accessoires de meulage (convertibles):
Accessoire de meulage de lame
- Plage de vitesse: 50-6 000 tr / min
- * Niveau sonore: 70 dB (A) pour 6000 tr / min
- * Humidité relative (max.): 80% en stockage / 80% en fonctionnement
- * Température de fonctionnement: 0-40 °C
- Dimensions (longueur x largeur x Hauteur): 325 x 251 x 480 mm
- * Poids: 12 kg

ANNEXE 03:(HANNA HI 9829) Multi Paramètres



Technical information

- Temperature Range: 23 to 131°F (-5 to 55°C)
- pH/mV Range: 0 to 14 pH; ±600.0 mV
- pH/mV Accuracy: ±0.02 pH/ ±0.5 mV
- ORP Range: ±2000.0 mV
- Turbidity Range: 0.0 to 99.9 FNU 100 to 1000 FNU
- EC Range: 0 to 200 mS/cm (absolute EC up to 400 mS/cm)
- TDS Range: 0 to 400000 ppm (mg/L); (the maximum value depends on the TDS factor)
- Salinity Range 0 to 70 PSU
- Dissolved Oxygen Range 0 to 500%, 0 to 50 ppm

ANNEXE 01: Balance analytique



Informations techniques

- * Description: Balance analytique de la série Pioneer, 65 g x 0,1 Mg (230 V)
- * Capacité (g): 65
- * Lisibilité (g): 0,0001
- * Répétabilité (g): 0,0001
- * Linéarité (g): 0,0002
- Unités de pesage: mg, g, ct, oz, dwt, tical, tola, mamans, baht, gr, Mesghal, N, ozt, sarcelles
- * Type d'étalonnage: Externe
- * Sortie: RS-232
- * Temps de stabilisation (Sec): 3
- * Hauteur (po)11 19/64
- * Largeur (po)7 45/64
- Profondeur (po)12 19/32

ANNEXE 01: micropipette



Informations techniques

- * Force douce / chargement et éjection de la pointe sans fuite
 - Tous les composants internes du collecteur sont constitués d'alliages de haute qualité produits par un outillage fin pour fournir un volume précis sur tous les canaux
- * Collecteur amovible facile pour un entretien pratique
- * Flexibilité pour faire fonctionner la pipette sans tordre le poignet à l'aide d'un collecteur rotatif à 360°
- * Éjection de la pointe à une main
 - * Codage couleur attrayant
- * Compatible avec une large gamme d'embouts
 - Disponible en 8 et 12 canaux

ANNEXE 01:(Design–Expert)



Description

Design–Expert est un progiciel statistique de Stat-Ease Inc. qui est spécifiquement dédié à la réalisation de plans d'expériences (DOE). Design-Expert propose des tests comparatifs, des criblages, des caractérisations, des optimisations, des conceptions de paramètres robustes, des conceptions de mélanges et des conceptions combinées.

Design-Expert fournit des matrices de test pour cribler jusqu'à 50 facteurs. La signification statistique de ces facteurs est établie à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA). Des outils graphiques aident à identifier l'impact de chaque facteur sur les résultats souhaités et révèlent des anomalies dans les données.

