



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des science exactes et science de la nature et de vie
Département des science de la nature et de vie

Référence / 2023

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : science de la nature et de vie

Filière : science biologique

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté et soutenu par :
Chaouch khouane fatima zohra
Chaouch khouane khaoula
Guedjoudj khadija
Le :Dimanche25juin2023

Traitement de la salinité des eaux souterraine par la technique de coagulation- floculation par l'utilisation d'un bio-floculant (*Opuntia ficus indica*)

Jury :

Mme	Benameur Nassima	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Mme	Boukharouba Khedidja	Pr	Université de Biskra	Président
Mme	Dendouga Wassila	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2022-2023

Remerciements

Nous remercions Allah tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur madame Benameur Nassima d'avoir accepté de diriger ce travail et pour leurs encouragements.

Nous remercions aussi les membres de jury qui ont bien voulu examiner notre travail et l'ont apprécié à sa juste valeur

Nous adressons nos remerciements aux responsables des services de laboratoire de notre faculté et aussi faculté de l'hydraulique, et de CRSTRA pour leur précieuse aide.

Nos vifs remerciements vont à tous les enseignants du département des sciences de la nature et de la vie, qui se sont consacrés à notre formation tout au long de notre parcours universitaire

Enfin, nous exprimons notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

*Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, nous dédions ce modeste travail:
à nos chers parents , ma mère **Nassira** et mon père **Abd Allah** pour leur patience leur
amour et leur encouragement avec toute nos gratitude.*

A nos chères sœurs et frères pour la soutenir et sont intérêts.

*A nos trinôme **Khadidja** qui a partagé avec nos les bons et les durs moments.*

*A nos amis en particulier : **Yasmin, Radia, Aya, Samah, Rayane Hanane,, Imane,
Dounia et Ikram.***

A tous nos amis de la spécialité des sciences de la nature et de la vie.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Khaoula et Fatima Zohra...

Nulle dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affections et mes immenses gratitude, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère:

*A celle qui m'a encouragé durant toute ma vie et elle m'a donné l'espoir de poursuivre ce chemin jusqu'au bout , ma chère maman **Malika**.*

*A ma bougie de vie qui se brule pour éclaircir mon chemin, qui ne m'a rien refusé pour que je réussisse, mon cher père **Abdelhamid**.*

Mon profond respect, ma gratitude, et mes sincères remerciements sont infinis pour vous. Que Dieu tout puissant vous garde pour moi et vous procure santé, bonheur et longue vie.

*A mes frères **Mourad et Seif Eddin**, qui étaient toujours là pour moi. Pour leurs appuis et leurs encouragements.*

*A mes adorables sœurs : **Souhila, Nawal, Hanane, Sabah et Imane**, Qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant mes années d'études.*

Je vous souhaite un avenir plein de joie, de réussite et de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

*A toute la famille **Guedjoudj***

*À mes meilleure amies et mes trinômes **Khaoula et Fatima Zouhra**, qui depuis des années me comprend et a toujours été à mes côtés, et qui ont partagée avec moi tous les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail, que dieu lui donne du bonheur, santé et réussite.*

*A mes chères amies :**Yassmin, Radia, Chaima, Samah, Hanan et Souhila**.*

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

Khadija

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Table des matières	
Liste des tableaux.....	I
Liste des figures	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction générale	1
Première partie Partie bibliographique	
Chapitre 1 Généralités sur l'eau d'irrigation	
1.1. Qualité de l'eau d'irrigation	2
1.1.1. Salinité	2
1.1.2. Sodium : proportion relative des cations sodium par rapport aux autres	3
1.1.3. Alcalinité et dureté	3
1.1.4. Autres éléments	3
1.1.5. pH de l'eau d'irrigation	4
1.2. Normes de qualité des eaux destinés à l'irrigation	4
Chapitre 2 Coagulation-floculation	
2.1. Coagulation-floculation	5
2.1.1 Coagulation.....	5
2.1.1.1. Type de coagulant	5
2.1.2. Floculation	5
2.1.2.1. Type de flocculant.....	6
2.1.3. Paramètres influençant à la coagulation-floculation	6
2.1.4. Technologie de la coagulation-floculation	6
2.1.4.1. Stratégie	6

2.2. <i>Opuntia ficus indica</i> en coagulation-floculation.....	7
2.2.1. Origine et distribution du figuier de barbarie.....	7
2.2.2. Systématique du Figuier de barbarie.....	8
2.2.2.1. Nomenclature	8
2.2.2.2. Taxonomie	8
2.2.3. Description de la plante et des organes.....	8
2.2.4. Composition chimique de cladode.....	9

Deuxième partie Partie expérimentale

Chapitre 3 Matériel et méthodes

3.1. Échantillonnages	11
3.1.1. De l'eau.....	11
3.1.2. De la plante.....	11
3.2. Préparation de la bio floculant	12
3.2.1. Forme du poudre	12
3.2.2. Forme du jus.....	12
3.3. Traitement physico-chimique (coagulation-floculation) en jar test.....	13
3.3.1. Détermination de la dose optimale de coagulant	13
3.3.1.1. Pour le sulfate d'aluminium	13
3.3.1.2. Pour la chaux	13
3.3.2. Détermination de la dose optimale de bio-floculant.....	13
3.4. Analyse des paramètres physico-chimiques.....	14
3.4.1. Température.....	14
3.4.2. Conductivité	14
3.4.3. Potentiel d'hydrogène (pH)	14
3.4.4. Dosage de la dureté totale (TH)	14
3.4.5. Alcalinité	15
3.4.6. Dosage des chlorures (Cl ⁻).....	16

3.4.7. Dosage du sodium et du potassium.....	17
3.5. Aptitude des eaux destinées à l'irrigation	17
3.5.1. Pourcentage en sodium (Na ⁺ %)	18
3.5.2. Indice de Kelly's Ratio (Kr)	18
3.5.3. Diagramme de Wilcox log.....	18
3.5.4. Diagramme de Riverside	19

Chapitre 4 Résultats et discussions

4.1. Traitement physico-chimique (coagulation-floculation).....	22
4.1.1. Détermination de la dose optimale de bio-floculant sous forme de jus.....	22
4.1.2. Détermination de la dose optimale de bio-floculant sous forme poudre	22
4.1.3. Détermination de la dose optimale de coagulant	23
4.1.3.1. Détermination de la dose optimale de sulfate d'aluminium.....	23
4.1.3.2. Détermination de la dose optimale de la chaux.....	23
4.2. Analyses physico-chimiques.....	24
4.2.1. Pour Le bio-floculant	24
4.2.2. Pour les échantillons analysés	25
4.2.2.1. pH :.....	25
4.2.2.2. Conductivité électrique et la salinité :.....	26
4.2.2.3. Calcium (Ca ²⁺)	26
4.2.2.4. Magnésium (Mg ²⁺).....	27
4.2.2.5. Chlorure (Cl ⁻)	27
4.2.2.6. Sodium (Na ⁺).....	28
4.2.2.7. Potassium (K ⁺)	28
4.2.2.8. Alcalinité	29
4.3. Aptitude des eaux destinées à l'irrigation	30
4.3.1. Pourcentage en sodium (Na ⁺ %)	30
4.3.2. Indice de Kelly's Ratio (Kr)	31

4.3.3. Ration d'adsorption de Sodium (SAR)	31
4.3.4. Diagramme de Wilcox log.....	32
4.3.5. Diagramme de RIVERSIDE	33
Conclusion générale.....	35
Références	37
Annexes	
Résumer	

Liste des tableaux

Tableau 1. Principaux composante de cladode du figuire de barbarie	9
Tableau 2. Classification des eaux selon le pourcentage en sodium.	18
Tableau 3. Classification de Wilcox.	19
Tableau 4. Classification des eaux selon Richards.	20
Tableau 5. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec diffirent doses de bio-floculant (jus).	22
Tableau 6. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec diffirent doses de bio-floculant (poudre).	23
Tableau 7. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec différente doses de sulfate d'aluminium.	23
Tableau 8. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec différentes doses du la chaux.	24
Tableau 9. Paramètre physico-chimique de bio-floculant.	25
Tableau 10. Paramètres physico-chimiques des septs échantillons.	26

Liste des figures

Figure 1. Banc de jar-test.....	7
Figure 2. <i>Opuntia ficus indica</i> (Figuier de barbarie).	12
Figure 3. Concentration des éléments minéraux des deux formes de la bio-floculant(jus et poudre).	Error! Bookmark not defined.
Figure 4. Concentration de calcium pour les sept échantillons d'eaux.	26
Figure 5. Concentration de magnésium pour les sept échantillons d'eaux.	27
Figure 6. Concentration de chlorure pour les sept échantillons d'eaux.....	27
Figure 7. Concentration de sodium pour les sept échantillons d'eaux.	28
Figure 8. Concentration de potassium pour les sept échantillons d'eaux.....	29
Figure 9. Histogramme de la titre alcalimétrique complet pour les sept échantillons d'eaux.	29
Figure 10. Histogramme du titre alcalimétrique pour les sept échantillons d'eaux.....	30
Figure 11. Pourcentage de sodium pour les sept échantillons d'eaux.....	30
Figure 12. Histogramme représente l'indice de Kelly's ration pour les sept échantillons d'eaux.	31
Figure 13. Histogramme représente le SAR pour les sept échantillons d'eaux.	32
Figure 14. Classification des sept échantillons de l'eau selon Wilcox log.	33
Figure 15. Classification des sept échantillons d'eau selon Richards.	34

Liste des abréviations

Al_3^+ : ion d'aluminium.

Ca^{2+} : ion de calcium.

CaCO_3 : carbonate de calcium.

CE : conductivité électrique.

Cl^- : ion de chlorure.

CO_3^{2-} : anions Carbonate.

CRSTRA : Centre de recherche Scientifique et technique des région aride.

EDTA : Ethylene Diamine Tetraacetic Acid.

Fe^{3+} : fer ferrique.

H^+ : ions hydrogen..

H_2SO_4 : acide sulfurique .

HCO_3^- : bicarbonate.

K^+ : ion de potassium.

Kr : Indice de Kelly's Ratio

Mg^{2+} : ion de magnésium.

Na^+ : ion de sodium.

$\text{Na}^+\%$: Le pourcentage en sodium.

NaCl : chlorure de sodium.

NaOH : hydroxyde de Sodium.

NET : noir Ériochrome T.

OH^- : ion de hydroxide.

pH : potentiel hydrogène.

SAR : sodium adsorption ratio

SO_4^{2-} : sulfate

T° : température.

TA : titre alcalimétrique.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TH Ca²⁺ : dureté totale calcique.

TH Mg²⁺ : dureté magnésienne.

TH : dureté totale.

tr/min : Toure par minute.

Introduction générale

L'Algérie, en tant que pays a connu la sécheresse pendant des décennies, fait face à de nombreux défis en termes de ressources en eau, tant en termes de quantité que de qualité (Zegait et Kateb, 2016). D'après Bouaroudj (2012), l'agriculture en particulier nécessite des grandes quantités d'eau, ce qui est souvent un problème dans les régions arides et semi-arides où l'eau est rare. Les eaux souterraines sont devenues une ressource importante pour les besoins d'irrigation du Sahara, mais le principal problème est la salinité de ces eaux (Masmoudi, 2012).

En effet, irriguer avec de l'eau riche en sel peut entraîner une accumulation de sodium dans le sol, ce qui conduit au processus de salinisation. Ce phénomène peut avoir des effets néfastes sur les propriétés du sol, telles que la dispersion d'argile, la dégradation structurelle, la perte de perméabilité et même l'étouffement des plantes c'est dans ce contexte que notre étude a été menée (Gouaidia et *al.*, 2013).

Dans le cadre d'une véritable stratégie de durabilité environnementale et de gestion des ressources naturelles, nous avons envisagé une solution pour faire face à l'exploitation des eaux souterraines salées cela traduit notre objectif de réduire les risques liés à l'irrigation avec de l'eau salée.

Par conséquent, nous avons développé une technique de traitement physico-chimique appelée "coagulation-floculation" qui était déjà utilisée pour réduire la turbidité de l'eau selon Bouaouine (2018). Dont, nous avons étudié sa faisabilité de cette dernière a minimisé la salinité de l'eau souterraine destinée à l'irrigation. Nous avons également étudié la possibilité d'utiliser un produit actif d'une plante naturelle (*Opuntia ficus-indica*), en tant que flocculant naturel dans cette technique de traitement.

Pour atteindre ces objectifs, notre travail se divise en deux grandes parties :

La première partie figure une étude bibliographique divisée en deux chapitres. Concernons le premier chapitre qui aborde des notions générales sur l'eau d'irrigation, tandis que le deuxième chapitre comprend la technique de coagulation-floculation et des informations sur la plante (*Opuntia ficus-indica*) qui est utilisée comme un agent flocculant.

Ainsi que la deuxième partie de notre travail est consacrée à l'étude expérimentale, ensuite, nous terminerons par une conclusion générale.

Première partie
Partie bibliographique

Chapitre 1

Généralités sur

l'eau d'irrigation

Introduction

D'après Lachache et Boudjenah-Haroun (2018), le maintien de la productivité des sols, la protection de l'environnement et la garantie du rendement des cultures dépendent fortement de la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation.

L'eau utilisée pour l'irrigation dans la région saharienne provient d'aquifères souterrains, affirme Masmoudi (2012). Cette eau contient une variété de sels dissous et la concentration de ces sels peut avoir un impact significatif sur les cultures et le sol. Il est donc crucial pour les agriculteurs d'adopter des pratiques agricoles adaptées aux propriétés spécifiques de l'eau à laquelle ils ont accès. Ceci est particulièrement important car les effets des différents types de sels sur les cultures et le sol peuvent varier considérablement.

Pour évaluer ses effets sur le sol et les plantes, il convient d'analyser la composition chimique de l'eau d'irrigation (Landreau et Monition, 1977).

1.1. Qualité de l'eau d'irrigation

Selon Couture (2004 ; 2006), l'évaluation de qualité d'eau utilisée en irrigation est basée sur cinq principaux critères :

- Salinité : Contenu total en sel soluble.
- Sodium : Proportion relative des cations sodium par rapport aux autres.
- Alcalinité et la dureté : Concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium et en magnésium.
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques.
- pH de l'eau d'irrigation.

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

1.1.1. Salinité

Landreau et Monition (1977), ont montré que la salinité signifie la concentration totale de sels dissous dans l'eau, comme des sels de calcium, de magnésium, de sodium, des chlorures....

Elle peut mesurer par deux façons, soit par les matières dissoutes totales exprimé en mg/L ou plus couramment par la conductivité électrique exprimée en mS/cm.

1.1.2. Sodium : proportion relative des cations sodium par rapport aux autres

D'après Couture (2006), Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer....

La grande quantité de sodium survient un problème dans la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol.

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises....

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ration d'absorption du sodium (SAR), qui décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Le SAR est donné par l'équation (1.1) (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/L) :

$$\text{SAR} = (\text{Na}^+) / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2} \quad (1.1)$$

1.1.3. Alcalinité et dureté

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération des roches mères. L'alcalinité d'autre part, est une mesure de la capacité de l'eau à neutraliser les acides, un peu comme " le pouvoir tampon de l'eau ".

L'alcalinité comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO₃). Cependant, l'eau a parfois une dureté élevée mais pas une alcalinité élevée. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures.

1.1.4. Autres éléments

Couture (2004 ; 2006) montre que certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques pour les cultures. La détermination des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliquée par les réactions qui peuvent se produire lorsque l'eau atteint le sol.

Les éléments potentiellement nocifs dans l'eau peuvent être chimiquement inactivés ou s'accumuler dans le sol jusqu'à ce qu'ils atteignent des niveaux toxiques pour les plantes. Le bore, le sodium et le chlore seront surveillés.

1.1.5. pH de l'eau d'irrigation

Le pH est une mesure de la concentration d'ions hydrogène (H^+) dans une solution. Le pH affecte la disponibilité des nutriments dans l'eau d'irrigation (Couture, 2004 ; 2006). A ces valeurs elle doit être comprise entre 6,5 et 8,4 la solubilité de la plupart des oligo-éléments est optimale (Ayers et Westcot, 1985)

1.2. Normes de qualité des eaux destinés à l'irrigation

Selon Bouaroudj (2012), l'agriculture est le plus gros consommateur de ressources en eau. Par conséquent, la qualité de l'eau d'irrigation est un paramètre important pour la productivité des sols et la protection de l'environnement. C'est ainsi que sont élaborées les normes de qualité de l'eau d'irrigation. Ces normes varient d'un pays à l'autre, mais à quelques exceptions près, la plupart des pays font référence à plus des cinq normes de qualité susmentionnées. La norme vise à :

- Protéger le public et les travailleurs agricoles.
- Protection des consommateurs de produits agricoles.
- Protéger les ressources en eaux de surface et souterraines et le sol.
- Protéger le matériel d'irrigation.
- Maintenir des rendements acceptables.

Conclusion

Afin d'améliorer la qualité de l'agriculture dans les régions arides et semi-arides, la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation joue un rôle crucial. Les eaux présentant une concentration élevée en sel sont inadaptées à une utilisation agricole en raison de leur impact sur le sol et la plante. Par conséquent, plusieurs méthodes sont utilisées pour résoudre ce problème.

Chapitre 2

Coagulation-floculation

Introduction

L'irrigation avec des eaux salines ou riches en sels dissous peut entraîner la salinisation du sol, ce qui pose des problèmes pour le développement des plantes (Gouaidia *et al.*, 2013 ; Landreau et Monition, 1977).

A l'heure actuelle, il existe plusieurs techniques visant à éliminer partiellement les sels des eaux. Parmi les différents procédés de traitement des eaux disponibles on trouve le traitement par coagulation-floculation (Bouchahm *et al.*, 2016).

Dans ce contexte, Bouaouine (2018) montre que nombreux végétaux ont été utilisés pour traiter les eaux par cette technique, notamment le cactus de figuier de barbarie qui se distingue par ses propriétés coagulantes et floculantes.

Ainsi, nous présenterons d'abord le principe de la coagulation et de la floculation avant de nous intéresser aux bio-floculants.

2.1. Coagulation-floculation

2.1.1 Coagulation

La coagulation est un phénomène qui vise à déstabiliser une solution stable contenant des particules en suspension. Cela se réalise en réduisant les forces qui maintiennent les particules éloignées les unes des autres, grâce à l'ajout de produits chimiques appelés coagulants. La durée de la coagulation est généralement assez courte, car elle nécessite une agitation vigoureuse pour assurer un contact efficace entre les réactifs et les particules. La coagulation résulte d'interactions de différentes forces électrostatiques et/ou électriques entre les particules voisines (Mujawa, 2012).

2.1.1.1. Type de coagulant

- Coagulant artificielle : sels minéraux comme sulfate d'aluminium,
- Coagulant naturelle : chaux

2.1.2. Floculation

La floculation est une phase complémentaire à la coagulation. C'est un processus qui permet la formation des particules suffisamment denses pour décantation. Une fois que la solution contenant des particules en suspension a été déstabilisée, ces particules s'agglomèrent pour former des flocons qui peuvent être décantés. La floculation est le résultat de liaisons chimiques appelées pontages chimiques (Mujawa, 2012).

2.1.2.1. Type de flocculant

D'après Cardot (2010), le flocculant ou adjuvant de floculation utilisé est généralement des polymères à haut poids moléculaire. Ils sont ajoutés après la coagulation afin d'augmenter la taille et la cohésion des floccs. Le flocculant peuvent être de deux natures différentes :

- Les flocculant naturels :

- De nature organique : comme alginate et l'amidon G60 issu de la pomme de terre.
- De nature minérale : la silice activée ; l'alumine et la bentonite.

- Les flocculant synthétiques

2.1.3. Paramètres influençant à la coagulation-floculation

Plusieurs paramètres influencent le processus de coagulation-floculation :

- Le pH.

- La dose de coagulant.

- La vitesse d'agitation.

- Le durée d'agitation.

2.1.4. Technologie de la coagulation-floculation

2.1.4.1. Stratégie

Cardot (2010) montre qu'il est nécessaire d'associer deux phases distinctes et incompatibles dans un laps de temps assez court. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la floculation. les deux phases suivantes sont distinguées (voir figure 1) :

- Première phase : mélange rapide et vigoureux.

- Deuxième phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est essentiel pour disperser les additifs dans tout le volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de flocc sans les endommager. Le mélange doit être suffisamment énergétique pour induire des variations de vitesse dans le bassin favorisant ainsi la rencontre des particules.

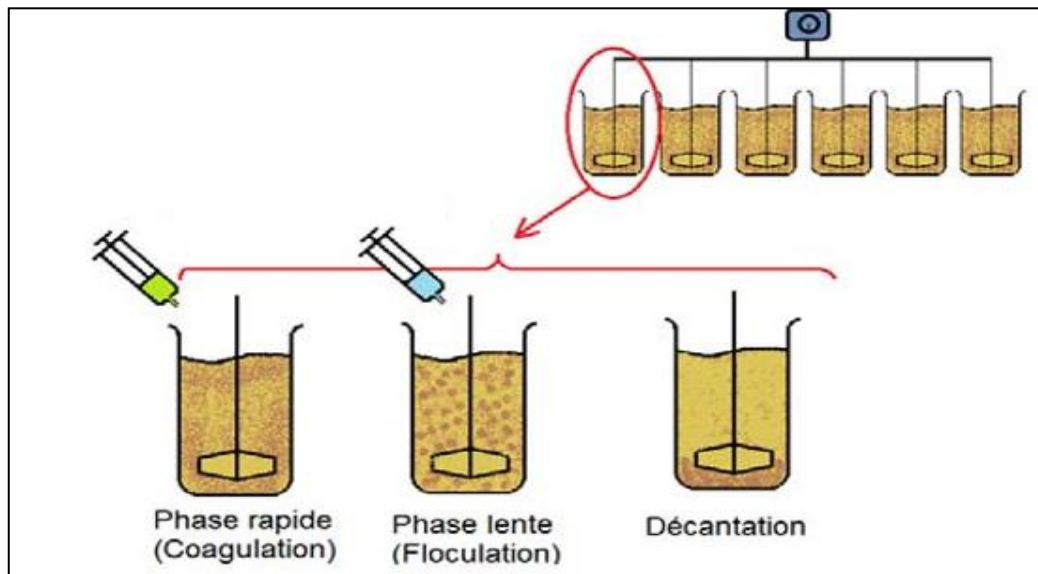


Figure 1. Banc de jar-test (Mujawa, 2012).

2.2. *Opuntia ficus indica* en coagulation-floculation

Abid et Zouhri (2017) et Abid et *al.* (2009) indique que, dans le cadre d'une véritable stratégie de développement durable de l'environnement, nous nous sommes intéressés à la valorisation d'un nouveau produit naturel biodégradable, qui présente des avantages en tant que floculant dans le processus de traitement physico-chimique de coagulation-floculation.

Le bio-floculant utilisé est extrait d'une espèce communément appelée « figuier de barbarie ». En Algérie, l'espèce la plus largement répandue est l'*Opuntia ficus indica*, tandis que les autres espèces telles que : *Opuntia dilleni*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compressa* sont moins représentées.

2.2.1. Origine et distribution du figuier de barbarie

Le figuier de barbarie est originaire des régions arides et semi arides du Mexique. Il a été introduit en Afrique du Nord (Algérie, Tunisie, Maroc) au 16^{ème} siècle. Sa culture s'est rapidement répandue dans le bassin méditerranée et dans l'hémisphère sud, notamment en Afrique du Sud, à Madagascar, à la Réunion, à l'île Maurice, en Inde, à Ceylan et en Australie (Inglese et *al.*, 2018).

En Algérie, les plantations de figuiers de barbarie sont principalement situées dans les hauts plateaux à Batna, Biskra et surtout en Kabylie. Au cours des deux dernières décennies, sa superficie a connu une croissance remarquable en raison de la sécheresse, passant de

50 000 hectares en 1998 à plus de 120 000 hectares en 2009, avec une progression annuelle de 2500 hectares (Ait Ammar et *al.*, 2022).

2.2.2. Systématique du Figuier de barbarie

2.2.2.1. Nomenclature

D'après Ait Ammar et *al.* (2022), le figuier de barbarie est connu sous plusieurs noms vernaculaires dans le monde:

En Mexique : Nopal, vient du mot nochtli en nahuatl, langue classique des Aztèques.

En anglais: prickly pear, indian-fig, barbary-fig, tuna-cactus.

En français : nopal, figuier d'inde, figuier de barbarie.

En arabe : التين الشوكي, الهندي, الكرموس

2.2.2.2. Taxonomie

Boutakiout (2015) montre que, de nombreux auteurs ont élaboré des classifications du Genre *Opuntia*. La classification considérée comme la plus valable :

- Règne : Plantes.
- Ordre : Caryophyllales.
- Sous-classe : Caryophyllidae.
- Famille : Cactaceae.
- Groupe : Opuntiaeeae.
- Genre : *Opuntia*.
- Sous-genre : *Platyopuntia*.
- Espèces : *Opuntia ficus-indica*.

2.2.3. Description de la plante et des organes

Opuntia ficus indica est une plante xérophyte succulente qui se caractérise par plusieurs traits distinctifs. Elle possède un épiderme épais, un revêtement cireux et n'a pas de feuilles. Sa tige appelée cladode ou raquettes est aplatie et ovales. Les cladodes renferment des tissus aquifères qui permettant de stocker l'eau de pluie absorbée et de la préserver pendant les périodes de déficit hydrique et de chaleur. Les fruits se trouvent à la périphérie des cladodes terminales, ils sont pulpeux et de couleur orange jaune. Les fruits contiennent de

nombreuses graines qui peuvent représenter jusqu'à 15% du poids du fruit (Hadj Sadok, 2010).

D'après Bouaouine (2018), plusieurs composés des cladodes du cactus sont considérés comme des bio-floculant. Le cactus est riche en sucres, notamment en monomères glucidiques tels que le D-glucose, le D-galactose, le L-arabinose et le L-rhamnose, qui agissent en synergie avec les protéines pour favoriser la floculation. On trouve également la présence de polyphénols en particulier les tanins.

2.2.4. Composition chimique de cladode

La composition chimique des cladodes peut varier en fonction de différents facteurs tels que les conditions édaphiques, le lieu de culture, la saison et l'âge de la plante. En conséquence, les niveaux de nutriments peuvent varier à la fois entre les espèces et les variétés et ils ne pas être considérés comme des valeurs absolues. Les principaux composants de cladode du figuier de Barbarie présente dans le tableau 1 (Boutakiout, 2015).

Tableau 1. Principaux composante de cladode du figuier de barbarie

Composant	(Boutakiout, 2015)		(El kharrassi, 2015)	
	Matière sèche (g/100g)	Poids frais (g/100g)	Matière sèche en % pour 100g	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95	-	91,7
Glucides	64-71	3-7	Augmenté considérablement pendant la croissance des cladodes	
Cendres	19-23	1-2	15,7	1,3
Fibres	18	1-2	-	-
Protéines	4-10	0,5-1	13,3	1,1
Lipides	1-4	0,2	2.4	0,2

Selon Hadj Sadok (2010), le jus extrait des cladodes du l'*Opuntia ficus indica* présentent une teneur significative en minéraux, fibres, vitamine C et les polyphénols. Plus

précisément, on retrouve respectivement: 12.77 % en 100g de matière sèche, 0.28 g, 12.32 mg et 23.01 à 38.72mg dans 100ml de jus.

Conclusion

Le bio-floculant dérivés du figuier de barbarie est autorisé à être utilisé dans le processus de coagulation-floculation pour améliorer la qualité de l'eau. Ils sont choisis en raison de leurs propriétés floculant et de leur composition chimique.

Deuxième partie

Partie expérimentale

Chapitre 3

Matériel

et

méthodes

Introduction

Le travail expérimental de ce mémoire était basé sur des essais visant à traiter la salinité des eaux souterraines. Après les études préliminaires réalisées pendant notre pratique, nous avons utilisé l'eau de source de Sidi Ghazel comme un échantillon pour terminer notre étude par le biais d'un procédé physico-chimique, à savoir la coagulation-floculation. Nous avons utilisé des agent coagulants (sulfate d'aluminium et la chaux) ainsi qu'un flocculant naturel (figuier de barbarie).L'efficacité du traitement a été évaluée à l'aide d'analyses physico-chimiques, notamment la T° , CE, pH , salinité, dureté totale ,dureté calcique, TAC , TA , Cl⁻, K⁺, Na⁺ et Mg²⁺ .

3.1. Échantillonnages

3.1.1. De l'eau

Les échantillons d'eaux saline conçues pour l'analyse ont été étudiés à savoir eau saline (source Sidi Ghazel Biskra).Les prélèvements ont été effectués dans des bouteilles en plastique de 5l. Au moment de l'échantillonnage les bouteilles sont rincées trois fois avec l'eau à échantillonner, puis remplis complètement les bouteilles .Puis, collecté directement au laboratoire pour analyser immédiate et leur conservation se fait à 4°C.

3.1.2. De la plante

Opuntia ficus indica ou bien le figuier de Barbarie, c'est l'une des espèces du genre de l'*Opuntia*. Qui est largement cultivée en Algérie, principalement dans les hauts plateaux. Elle est une plante succulente avec un épiderme épais et un revêtement cireux. Sa tige, appelée cladode ou raquette, de forme aplatie et ovale et son fruits se développent à la périphérie des cladodes terminales (voir figure 2) (Hadj Sadok, 2010).

Alors, dans notre travail les cladodes de cactus ont été collectées au cours du mois de février dans la région d'Ain Zaatout, qui est également connue sous le nom de Beni Farah avec des coordonnées géographiques : 35° 8' 49,360°N / 5° 50' 15,318° E . Elle est située dans le nord de la wilaya de Biskra, et au pied sud des montagnes des Aurès. Elle est bordée au Nord par Maâfa et Bouzina, au Sud par Djemorah, à l'Est par Amntan et Menaâ, tandis que du côté Ouest se trouve El kantara (Google Erth).



Figure 2. *Opuntia ficus indica* (Figuier de barbarie).

3.2. Préparation de la bio flocculant

Selon Bouaouine (2018) et Abid et *al.* (2009), la préparation de bio-flocculant est effectuée sous forme du poudre par l'utilisation le mucilage de cladode et sous forme de jus par l'utilisation complète de cladode, avec quelques modifications :

3.2.1. Forme du poudre

- Retirer les épines du cactus.
- Rincer les cladodes par l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée.
- Couper la couche externe et utiliser seulement la couche interne (mucilage), puis couper les en petits morceaux.
- Placer les cladodes dans une étuve à 80°C pendant 24 heures.
- Broyer le produit obtenu à l'aide d'un broyeur.
- Tamiser la poudre obtenue à l'aide d'un tamis de 0.5-1.0 mm de diamètre et stocker à 4°C.

3.2.2. Forme du jus

Les premières étapes de préparation de la poudre sont les mêmes que celles pour préparer le jus, mais après l'étape de couper complètement les cladodes en petits tranches, on passe à l'étape de broyage à l'aide d'un mixeur. Ensuite, on procède la filtration et la conservation du jus obtenu dans un flacon en verre stérilisé à 4°C.

3.3. Traitement physico-chimique (coagulation-floculation) en jar test

L'étude du procédé de coagulation-floculation est réalisée à l'aide de « Jar-test » on utilisant un flocculateur VELP SCIENTIFCA FC6S.

Avant de commencer la manipulation de coagulation-floculation nous avons mesuré la température, la conductivité et le pH de l'eau avant le traitement. A l'aide de cette technique, nous allons déterminer la dose optimale du coagulant et du flocculant selon la valeur de conductivité.

3.3.1. Détermination de la dose optimale de coagulant

Pour identifier la concentration optimale de sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) et de la chaux hydratée ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), les étapes suivantes ont été adoptées :

3.3.1.1. Pour le sulfate d'aluminium

Dans une série des béchers :

- Introduire 500 ml de l'échantillon d'eau.
- Ajoute de coagulant à des doses croissantes entre 300 à 500 ml. (1g de sulfate d'aluminium a été préparée dans 1l de l'eau distillé).
- Agitation rapide (150 tr/min) pendant 3 min.
- Réduire l'agitation à 30 tr/min sous agitation lente pendant 15 min.
- Laisser décanté pendant 30 min.
- Prélever d'un volume d'eau pour mesurer les paramètres physico-chimiques après d'un filtration par papier filtre (Bouchahm et *al.*, 2016).

3.3.1.2. Pour la chaux

Les mêmes étapes précédentes sont suivies, mais avec un changement des doses de la chaux entre 20 et 200 ml (10g de chaux préparée dans 1l de l'eau distillé) (Bouchahm et *al.*, 2016).

3.3.2. Détermination de la dose optimale de bio-flocculant

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé deux types de bio-flocculant ; sous forme de poudre et de jus. Pour déterminer la dose optimale de chaque bio-flocculant, nous avons suivi les même étapes précédentes mais avec une variation des doses de bio-flocculant, allant de 1 à 15 ml pour le jus et de 60 à 140 mg pour la poudre.

3.4. Analyse des paramètres physico-chimiques

Une fois la dose optimale déterminée, nous avons procédé des analyses physico-chimique au sein du laboratoire de département d'hydraulique et du CRSTRA, conformément aux méthodes standard d'évaluation de la qualité décrites par Rodier et al. (2009). D'un côté, nous avons effectué les analyses pour les deux formes de bio-fluctuants (pour la poudre, nous avons ajouté 1g dans 1l d'eau distillée et pour le jus, nous avons ajouté 100 ml dans 1l de l'eau distillée, puis nous avons prélevé un volume pour effectuer les analyses). De l'autre côté on a fait les analyses sur l'eau après l'ajout de la dose optimale.

le pH et la conductivité électrique sont des paramètres très sensibles s'ils ne sont pas mesurés in situ. Cependant, dans notre cas, les mesures ont été effectuées au niveau de laboratoire pas in situ après 24 h de prélèvement de l'échantillon d'eau.

Pour le dosage du sodium et du potassium, nous avons utilisé un photomètre de flamme, tandis que pour les autres analyses, nous avons suivi la méthode volumétrique en utilisant le matériel couramment utilisé en laboratoire (burette graduée, éprouvette graduée, fioles jaugées, pipettes graduées, bécher, flacon, pissette, entonnoir, agitateur magnétique et barreaux magnétiques...).

3.4.1. Température

La température c'est un paramètre mesuré à l'aide d'un thermomètre. Il est important de noter que la température peut influencer les valeurs des autres paramètres mesurés, notamment la conductivité (Rejsek, 2002).

3.4.2. Conductivité

C'est un paramètre permettant l'évaluation rapide et approximative de la minéralisation globale de l'eau et à l'aide de ses résultats en déterminant la salinité de l'eau. Nous avons utilisé un conductimètre (modèle WTW LF 90) pour mesurer la conductivité électrique.

3.4.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Potentiel d'hydrogène en relation avec la concentration en H^+ présents dans l'eau. Nous avons mesuré le pH à l'aide d'un pH-mètre (modèle Adwa AD1030) (Rejsek, 2002).

3.4.4. Dosage de la dureté totale (TH)

La dureté totale ou titre hydrotimétrique est la somme des cations alcalino-terreux présents dans une eau, comprenant la dureté calcique et la dureté magnésienne (Rodier et al., 2009 ; Hecini, 2014).

Pour doser rapidement les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} , nous utilisons la méthode complexométrique par titrage à l'EDTA en présence de Noir Ériochrome T (NET) comme indicateur. L'indicateur NET réagit avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} pour donner une couleur rouge foncé ou violette. A l'équivalence, l'EDTA réagit avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} combinés avec l'indicateur, ce qui entraîne le changement de couleur violet en bleu .

Mode opératoire

- Dans un erlenmeyer de 250ml, verser 50ml d'échantillon (dilué 10/50), ajouter 2ml de solution tampon pH 10 et une pince d'indicateur NET.
- Ajouter l'EDTA (0,02 N) goutte à goutte sous agitation jusqu'à la variation de couleur.

*** Dureté Calcique (TH_{Ca})**

La concentration globale en calcium est généralement déterminée par la méthode complexométrique par titrage à l'EDTA en présence d'un indicateur coloré le Murexide , qui forme un complexe rose foncé avec le calcium selon Hecini (2014).

Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions du calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose foncé à la couleur violet.

Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250ml, on a versé 50ml d'échantillon (dilué 10/50), 2ml de solution NaOH (2N) et l'indicateur (murexide + NaCl).

- Ajouter l'EDTA (0,02N) goutte à goutte sous l'agitation jusqu'à la variation de couleur.

*** Dureté magnésienne(TH_{Mg})**

Concentration globale en magnésium peut être calculée par la déférence entre la dureté totale de la dureté calcique (voire l'équation (3.1)) :

$$\text{TH}_{\text{Mg}^{+2}} = \text{TH} - \text{TH}_{\text{Ca}^{+2}} \quad (3.1)$$

3.4.5. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Il existe deux types d'alcalinités (Rejsek, 2002) :

*** titre alcalimétrique complet (TAC) :**

C'est l'alcalinité au point de virage de l'orange de méthyle, correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5 ce qui revient à déterminer les ions : HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- (Rejsek, 2002).

*** titre alcalimétrique (TA) :**

C'est une l'alcalinité au point de virage de la phénolphtaléine. Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et la moitié des ions CO_3^{2-} . Il est nul pour un eau dont le pH est inférieur ou égal à 8,3(Rejsek, 2002).

Mode opératoire de TAC

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, versé 50 ml d'échantillon (sans dilution) et quelques gouttes d'indicateur de méthylorange 0,5%.
- Titrer par H_2SO_4 (0,02 N) jusqu'au changement de couleur du jaune au jaune orangé.

Mode opératoire de TA

- Dans un erlenmeyer de 250 ml, on a versé 50 ml d'échantillon (sans dilution) et ajouter 1 à 2 gouttes de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors apparaître; dans le contraire le TA est nul, ce qui se produit généralement pour les eaux naturelles dont le PH<8,3.
- Verser ensuite l'acide chlorhydrique 0,02 N à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution. (PH< 8.3, le titre alcalimétrique TA est nul).

3.4.6. Dosage des chlorures (Cl⁻)

Les eaux contenaient presque toujours des chlorures, mais en proportions très variables. Leur teneur augmentait généralement avec le degré de minéralisation de l'eau (Aouissi, Houhamdi, 2014). On les à déterminé selon la méthode de Mohr.

Le chlorure présent dans l'échantillon sous forme d'acide hypochloreux et /ou d'ion hypochlorite réagi immédiatement avec le chromate de potassium, en même temps que le chlore présent dans l'échantillon, pour former une coloration jaune. Le chlorure a réagi avec les nitrates d'argent pour donner une couleur rouge proportionnelle à sa concentration selon Rodier et *al.* (2009).

Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser (non diluée) avec 2 à 3 gouttes de chromate de potassium (10%) dans un erlenmeyer.
- Ajouter la solution de nitrate d'argent dans la burette, goutte à goutte jusqu'à l'apparition d'une couleur rougeâtre.

3.4.7. Dosage du sodium et du potassium

Mode opératoire

Préparer 100 ml d'une solution mère renfermant 0,5 g/l de sodium et 1,5 g/l de potassium.

- Gamme de solutions filles étalons en sodium : Préparer cinq solutions filles (20, 40, 60, 80, 100 mg/l).
- Gamme de solutions filles étalons en potassium : Préparer cinq solutions filles (10, 20, 40, 60, 80, 100 mg/l).

Après l'étape de l'étalonnage du photomètre à flamme, que ce soit pour le Na^{+2} ou le K^{+} (model PFP7), placer les échantillons à mesurer et marquer la lecture (entre un échantillon et d'un autre, en remplaçant toujours l'échantillon par l'eau distillée jusqu'à obtenir la lecture 0).

3.5. Aptitude des eaux destinées à l'irrigation

La salinisation est sans doute le principal risque encouru par les terrains irrigués, principalement en climat aride. Elle pourrait être appréciée par la conductivité électrique des eaux d'irrigation. L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation pourrait être évaluée par un certain nombre d'indices et des diagrammes (ce dernier était réalisé par un logiciel appelé « Diagrammes ») parmi lesquels :

- Le pourcentage en sodium ($\text{Na}^{+}\%$).
- Indice de Kelly's Ratio (Kr).
- Ration d'adsorption du sodium (SAR)
- Diagramme de Wilcox log.
- Diagramme de Riverside.

3.5.1. Pourcentage en sodium (Na⁺%)

L'usage agricole d'une eau exige un pourcentage en sodium inférieure à 60% (seuil maximal admissible) et la classification des eaux par cette indice est dans le tableau 2. Le pourcentage en sodium est calculé selon l'équation (3.2):

$$\text{Na\%} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100 \quad (3.2)$$

Tableau 2. Classification des eaux selon le pourcentage en sodium.

Classe	Eau très bonne	Eau bonne	Eau admissible	Eau médiocre	Eau mauvaise
Na %	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

3.5.2. Indice de Kelly's Ratio (Kr)

Cet indice était représenté par le rapport des concentrations de Na⁺ et la somme de Ca²⁺ et Mg²⁺ en meq/l. Il faisait partie des indices utilisés pour déterminer l'aptitude des eaux à l'irrigation. Une concentration élevée en Na⁺ dans l'eau d'irrigation était considérée comme inappropriée pour son utilisation. Cet indice était calculé selon l'équation (3.3):

$$\text{Kr} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) \quad (3.3)$$

Si : Kr < 1 : Eau bonne pour l'irrigation.

Si : Kr > 1 : Eau mauvaise pour l'irrigation.

3.5.3. Ration d'adsorption du sodium (SAR)

Le SAR est un indice qui mesure le danger de la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le SAR est donné par l'équation (1.1) (Bouterra, 2018):

- SAR. < 10 : eau excellente, à faible danger d'alcalinisation des sols.
- 10 < SAR < 18 : eau de bonne qualité, danger d'alcalinisation assez appréciable.
- 18 < SAR < 26 : eau convenable, danger d'alcalinisation important.
- SAR. > 26 : eau de qualité médiocre, danger de forte alcalinisation.

3.5.3. Diagramme de Wilcox log

Le diagramme de Wilcox log basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau (voir le tableau 3).

Tableau 3. Classification de Wilcox.

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions .Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

3.5.4. Diagramme de Riverside

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour évaluer ce risque, Riverside a créé une classification qui prend en compte le rapport du sodium absorbé par le sol et la conductivité (voire le tableau 4).

Tableau 4. Classification des eaux selon Richards.

Qualité	Classe	L'état d'utilisation
Excellente	C1-S1	Eaux utilisables sans danger pour l'irrigation pour la plus part des cultures, sur la plus part des sols
Bonne	C2-S1 C1-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol
Admissible	C3-S1 C2-S3 C3-S2	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée
Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels sur sol et bien drainées
Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé plantes tolérantes aux sels

Conclusion

D'après les paramètres physicochimiques que nous avons atteints dans ce chapitre, nous avons déterminé les indices et les diagrammes qui nous permettent d'évaluer la qualité de l'eau traitée et sa classification.

Chapitre 4

Résultats

et

discussions

Introduction

Après avoir préparé notre bio-floculant, nous allons observer son effet sur le paramètre de la salinité de l'eau, à la fois seul et en combinaison avec le sulfate d'aluminium et de la chaux. L'efficacité du traitement sera évaluée à l'aide d'analyses physico-chimique pour déterminer la qualité de l'eau, en choisissant la dose optimale en fonction de la valeur minimale de la conductivité électrique. De plus, la température a été convertie à 25°C (voir l'annexe 1), car la mesure de la conductivité électrique sera moins précise que celle obtenu à cette température (Rejsek, 2002).

4.1. Traitement physico-chimique (coagulation-floculation)

La résultat de la dose optimale pour la bio-floculant (jus et poudre), le Sulfate d'aluminium et la chaux ajoutés à l'eau par l'utilisation de la technique coagulation-floculation sont présentés respectivement dans les tableaux 5,6, 7 et 8.

4.1.1. Détermination de la dose optimale de bio-floculant sous forme de jus

À partir des résultats présentés dans le tableau 5, nous observons que la conductivité de l'eau augmente et le pH diminue avec l'augmentation de la dose du bio-floculant. Ainsi, il y a un effet négatif sur la conductivité électrique et un effet positif sur le pH d'eau.

Alors, nous avons choisi 1 ml du bio-floculant comme un dose optimale car la valeur de conductivité de l'eau après traitement c'est le minimum par rapport les autre valeurs.

Tableau 5. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec diffèrent doses de bio-floculant (jus).

bio-floculant (ml)	0	1	3	6	9	12	15
CE (mS/cm)	8.35	8.70	8.75	8.80	8.91	9.00	9.07
pH	7,4	7,2	7,2	6,9	6,7	6,5	6,4

4.1.2. Détermination de la dose optimale de bio-floculant sous forme poudre

Les résultats obtenus dans le tableau 6 indiquent que la conductivité de l'eau diminue dans les doses comprises entre 40 et 100 mg, puis augmente après la dose de 100 mg, tandis que le pH de l'eau reste presque stable, pour cela nous avons choisi la dose 100 mg comme un dose optimale parce que leur valeur de conductivité de l'eau après traitement c'est le moindre par rapport les autre valeurs.

Tableau 6. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec différentes doses de bio-floculant (poudre).

bio-floculant (mg)	0	40	60	80	100	120	140
CE (mS/cm)	8,35	8,30	8,26	8,20	8,15	8,17	8,19
pH	7,4	6,9	7	7	7	7	7

4.1.3. Détermination de la dose optimale de coagulant

A partir des résultats obtenus, nous avons déterminés la dose optimale pour les deux coagulants utilisés (sulfate d'aluminium et la chaux).

4.1.3.1. Détermination de la dose optimale de sulfate d'aluminium

A partir des résultats figurés au tableau 7, nous constatant une diminution notable de la conductivité de l'eau, en particulier avec la dose de 500 mg/l de sulfate d'aluminium. Quant la valeur du pH de l'eau varie entre 4 et 6. Selon Bouchahm et *al.*, (2016), l'ajout de l'ion Al_3^+ dans l'eau, cela favorise la formation d'un précipité d'hydroxyde d'aluminium, accompagné d'une certaine acidité qui réagit notamment avec les ions bicarbonates.

Alors, la dose optimale pour le sulfate d'aluminium c'est 500 mg/l.

Par conséquent, le sulfate d'aluminium a un effet remarquable tant sur la conductivité électrique que sur le pH de l'eau par rapport au bio-floculant.

Tableau 7. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec différentes doses de sulfate d'aluminium.

Sulfate d'aluminium (mg/l)	0	300	350	400	450	500
CE (mS/cm)	8,35	5,83	5,24	5,29	5,11	4,86
pH	7,4	6,7	4,7	6,2	4,5	4,9

4.1.3.2. Détermination de la dose optimale de la chaux

Comme indiqué dans le tableau ci-dessous, la conductivité de l'eau diminue jusqu'à 7 mS/cm pour les doses de 200 à 600 mg/l et jusqu'à 6 mS/cm pour les doses de 800 et 1000

mg/l. Ensuite, elle augmente jusqu'à 8 mS/cm avec l'ajout de la dose de 2000 mg/l, dont nous observons une augmentation de la valeur du pH d'eau.

Notamment, la chaux donne des résultats négatifs sur le pH et des résultats positifs sur la conductivité électrique de l'eau. Le procédé est basé sur la précipitation du calcium lié aux Cl^- et SO_4^{2-} confirme Bouchahm *et al.* (2016).

Donc, la dose 1000 mg/l c'est la dose optimale pour la chaux.

Tableau 8. Variation de la conductivité électrique et pH de l'eau avec différentes doses de la chaux.

chaux (mg/l)	0	200	400	600	800	1000	2000
CE (mS/cm)	8,35	7,57	7,34	7,06	6,87	6,73	8,94
pH	7,4	9,9	10,5	10,5	10,6	11,3	12,4

4.2. Analyses physico-chimiques

Dans cette partie, nous présentons les résultats des analyses physico-chimique pour les deux forme bio-floculant dans l'eau distillée ainsi que pour les 7 essais suivant:

Echantillon 1 : Eau avant traitement.

Echantillon 2 : 500 ml eau + 1 ml bio-floculant en forme jus.

Echantillon 3 : 500ml eau + 100mg bio-floculant poudre.

Echantillon 4 : 500 ml eau + 500 mg/l sulfate d'aluminium.

Echantillon 5 : 500 ml eau + 1000 mg/l chaux.

Echantillon 6 : 500 ml eau + 500 mg/l sulfate d'aluminium + 1000 mg/l chaux.

Echantillon 7 : 500 ml eau + 500 mg/l sulfate d'aluminium + 1000 mg/l chaux + 100 mg bio-floculant en forme poudre.

4.2.1. Pour Le bio-floculant

Selon les résultats du tableau 9, on remarque que la valeurs de pH, CE et la salinité pour le bio-floculant sous forme jus (100 ml jus dans 1l d'eau distillé) sont plus élevées que celles du bio-floculant sous forme poudre (1 g poudre dans 1l d'eau distillé).

Tableau 9. Paramètre physico-chimique de bio-floculant.

bio-floculant	pH	CE (mS/cm)	Salinité (g/l)
jus	6,2	0,390	0,24
Poudre	5,5	0,286	0,18

A partir de histogramme ci-dessous, il est clair que le bio-floculant sous forme de jus est plus riche en éléments minéraux par rapport celle de la poudre, tels que le potassium. Cependant, les deux formes sont pauvres en Na^+ (voire figure 3).

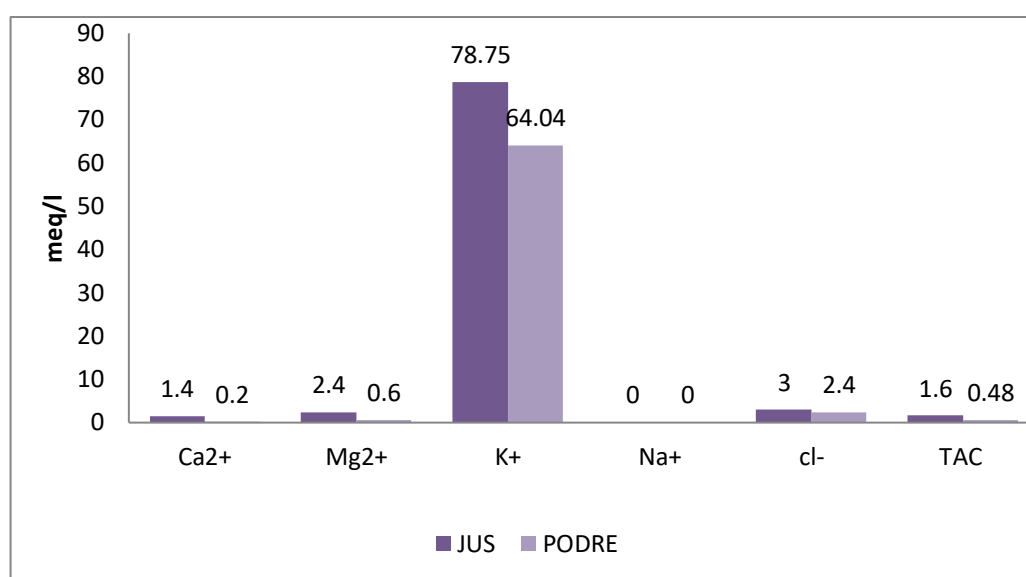


Figure 3. Concentration des éléments minéraux des deux formes de la bio-floculant (jus et poudre).

4.2.2. Pour les échantillons analysés

4.2.2.1. pH :

D'après les résultats illustrés au tableau 10, on observe que , le pH des échantillons 5, 6 et 7 ont une valeur élevée que la valeur du pH de l'eau avant le traitement. Selon Bouchahm (2016), le pH augmente avec l'augmentation de la masse de la chaux. Ceci est dû à la nature des fonctions chimiques qui existent dans la structure de la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Tandis que les échantillons 2, 3 et 4 ont des valeurs inférieures à celle de l'échantillon d'eau avant le traitement.

Selon Ayers et Watscot (1985), les échantillons 1, 2 et 3 peuvent être utilisés pour l'irrigation car leur pH est conforme aux normes (compris entre 6,5 et 8,4). En revanche, les

autres échantillons ne conviennent pas à une utilisation pour l'irrigation car leur pH est supérieur à 8,4.

4.2.2.2. Conductivité électrique et la salinité :

D'après les résultats illustrés au tableau 10, les échantillons 3, 4, 5, 6 et 7 ont des valeurs inférieures à celle de l'eau avant le traitement, tandis que l'échantillon 2 a une valeur plus élevée que l'échantillon 1.

Selon, Ayers et Watscot (1985), tous les échantillons présentent une salinité supérieur à la norme recommandée de 3 mS/cm.

Tableau 10. Paramètres physico-chimiques des sept échantillons.

les échantillons	1	2	3	4	5	6	7
pH	7,4	7,23	7	4,9	11,3	10,9	11,6
CE (mS/cm)	8,35	8,70	8,15	4,86	6,73	4,31	5,44
Salinité (g/l)	5,34	5,56	5,21	3,11	4,30	2,75	3,48

4.2.2.3. Calcium (Ca²⁺)

La teneur en Ca²⁺ des échantillons 1 et 2 est presque la même. En revanche, les échantillons 3, 4, 6 ont une teneur inférieure en Ca²⁺ par rapport à l'échantillon 1, tandis que les échantillons 5 et 7 présentent une teneur supérieure (voir figure 4).

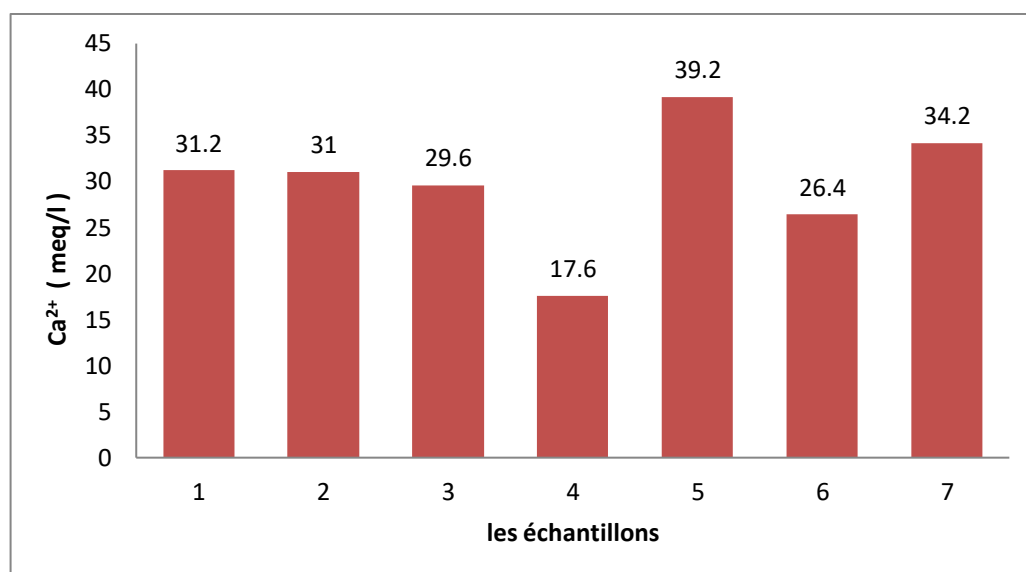


Figure 4. Concentration de calcium pour les sept échantillons d'eaux.

4.2.2.4. Magnésium (Mg^{2+})

La figure ci-dessous montre que la teneur en Mg^{2+} de l'échantillon 3 est élevée par rapport à l'échantillon 1, tandis que pour les autres échantillons c'est l'inverse.

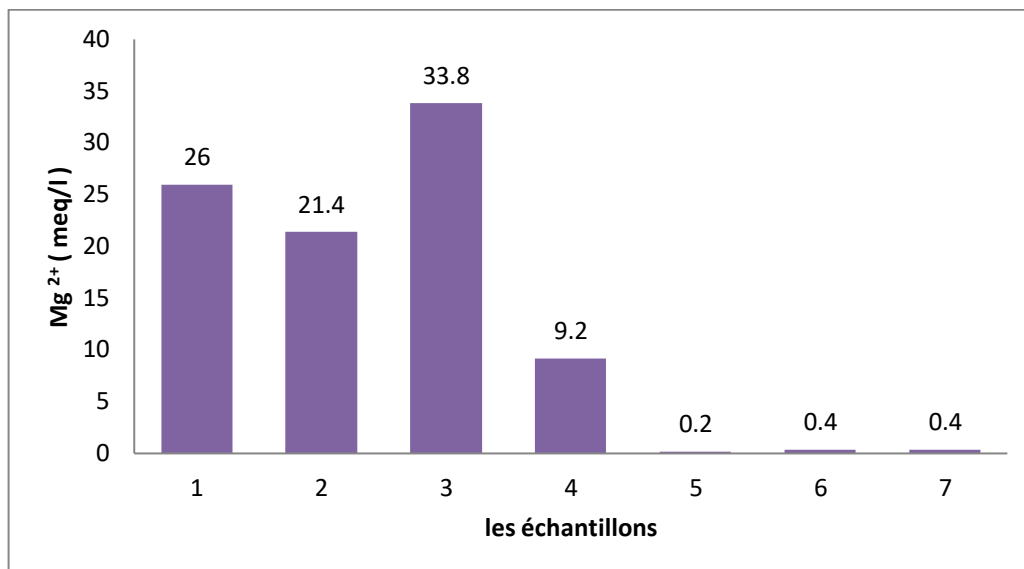


Figure 5. Concentration de magnésium pour les sept échantillons d'eaux.

4.2.2.5. Chlorure (Cl^-)

Selon la figure 6 la concentration de Cl^- dans les échantillons 3, 4, 5, 6, 7 est inférieure à celle de l'échantillon 1. De plus, la concentration de chlorure est presque la même pour les échantillons 1 et 2. D'après, le guide d'interprétation de la qualité de l'eau, d'Ayers et Watscot (1985), tous les échantillons dépassent la valeur maximale recommandée de 10 mg/l qui est égale 0,282 meq/l.

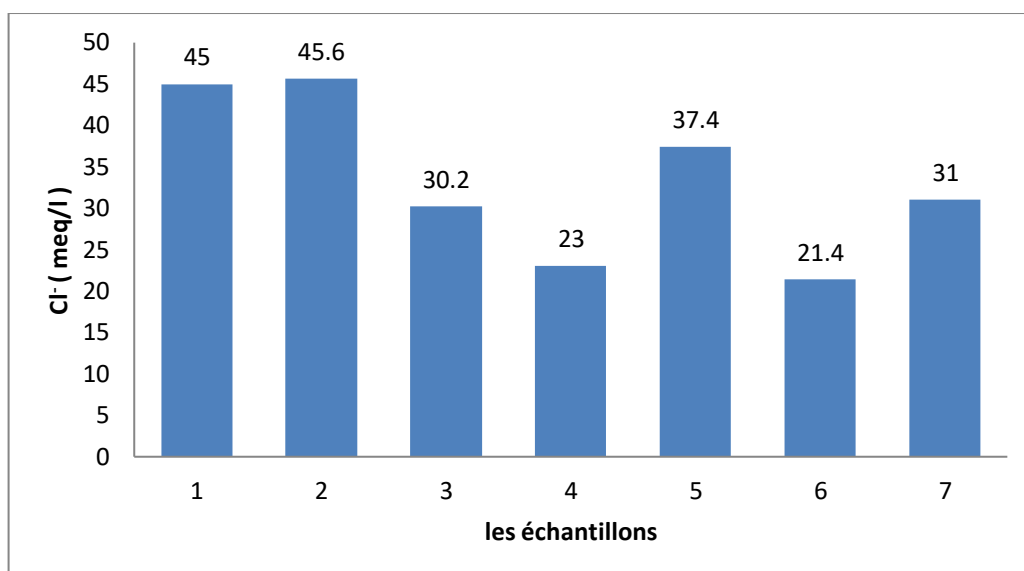


Figure 6. Concentration de chlorure pour les sept échantillons d'eaux.

4.2.2.6. Sodium (Na^+)

A l'aide de la courbe d'étalonnage du Na^+ illustrée dans l'annexe 2, nous avons calculé leur concentration, qui convertie de mg/l en meq/l à l'aide du tableau présenté dans l'annexe 3.

Alors, selon la figure 6 la teneur en sodium des échantillons 2, 3, 4, 5, 6 et 7 est inférieure à celle de l'échantillon 1. Cependant, tous ces échantillons dépassent également la valeur maximale recommandée de 9 mg/l qui est égale 0,391meq/l, selon Ayers et Watscot (1985).

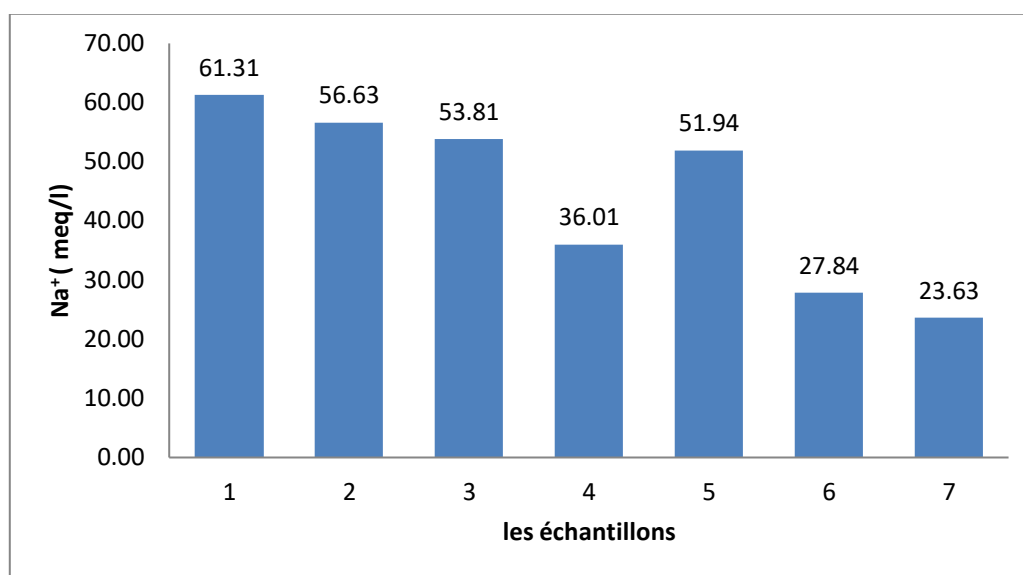


Figure 7. Concentration de sodium pour les sept échantillons d'eaux.

4.2.2.7. Potassium (K^+)

Egalement c'est la même chose pour le courbe d'étalonnage de potassium qui illustré dans l'annexe 2, nous avons calculé leur concentration qui est converti de mg/l en meq/l, par l'utilisation du tableau figuré dans l'annexe 3.

D'après, la figure 8 les échantillons 2 et 3 leur teneur en potassium est supérieur à celle de l'eau avant traitement, tandis que pour les autres échantillons c'est le contraire.

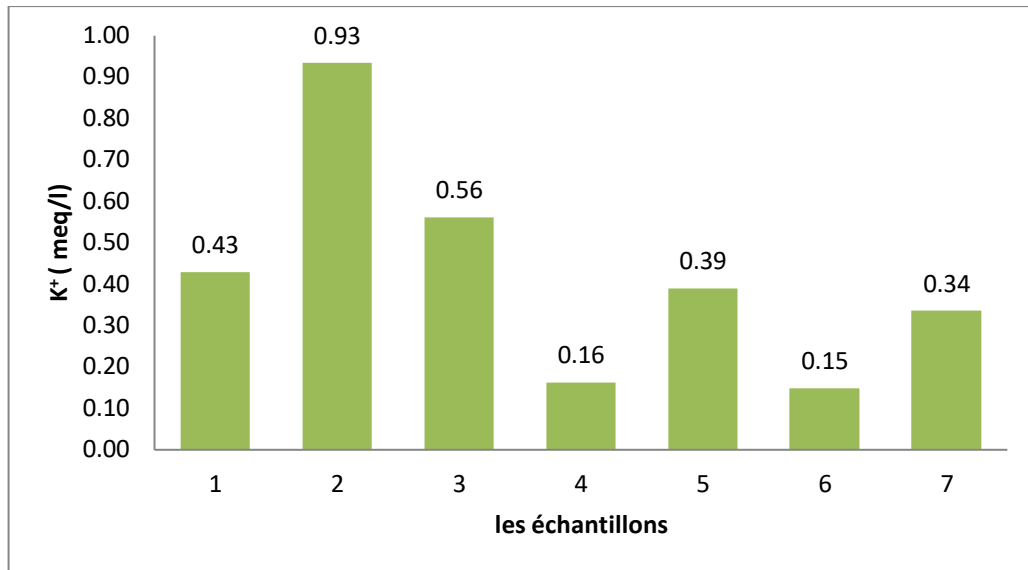


Figure 8. Concentration de potassium pour les sept échantillons d'eaux.

4.2.2.8. Alcalinité

Les résultats obtenus pour le TAC et TA sont illustrés ci-après :

* Titre alcalimétrique complet TAC

Comme indiqué dans la figure ci-dessous, les valeurs de TAC pour les échantillons 2, 4, 5 et 6 sont inférieures à celle de l'eau avant traitement. En revanche, on observe une augmentation significative pour l'échantillon 7 par rapport à l'échantillon 1. Pour l'échantillon 3 sa valeur est nulle.

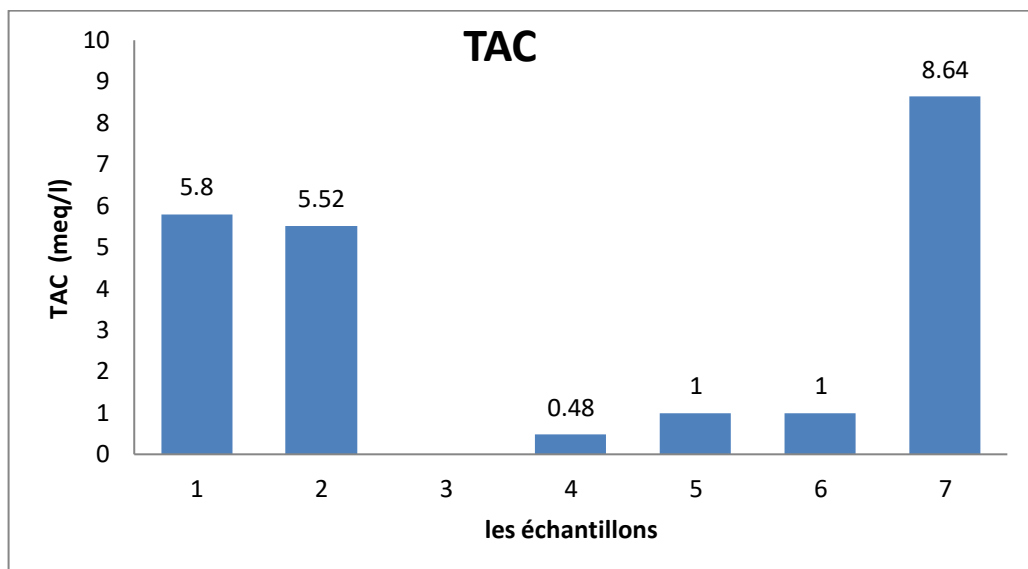


Figure 9. Histogramme de la titre alcalimétrique complet pour les sept échantillons d'eaux.

* Titre alcalimétrique TA

A partir des résultats figurés à l'histogramme 10 nous constatons que la valeur de TA est 0 pour les échantillons 1, 2, 3, 4 et 6, tandis que pour les échantillons 5 et 7 mesure 0,32 et 1,24 respectivement.

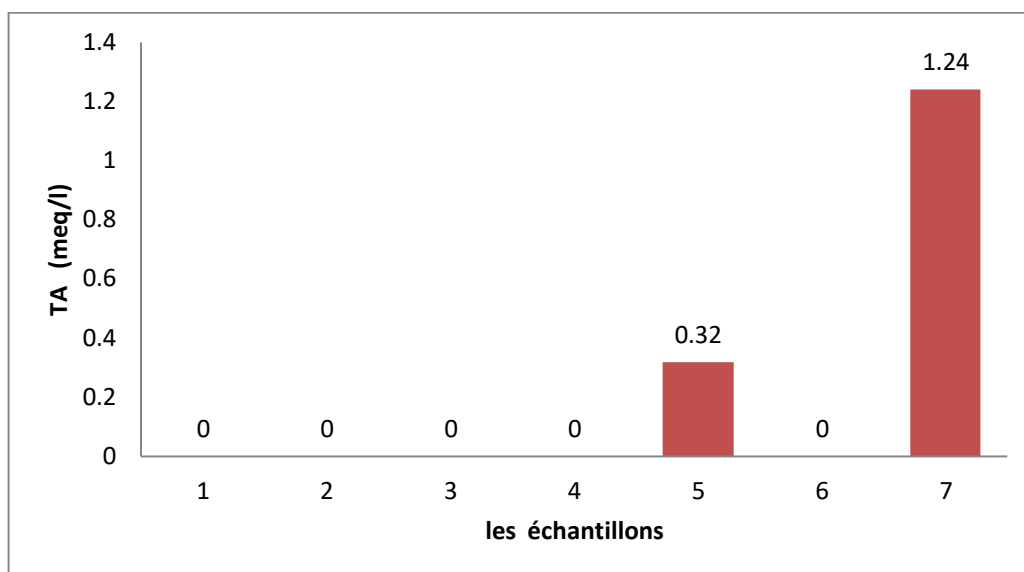


Figure 10. Histogramme du titre alcalimétrique pour les sept échantillons d'eaux.

4.3. Aptitude des eaux destinées à l'irrigation

Elle est évaluée en fonction des paramètres suivants :

4.3.1. Pourcentage en sodium (Na^+ %)

Selon le tableau 3 les résultats obtenus dans la figure ci-dessous peuvent être classés dans la catégorie des eaux admissibles. Cela est dû au pourcentage Na obtenu, qui varie entre 40 et 57,44% .Par conséquent, ces eaux sont adaptées à une utilisation en irrigation.

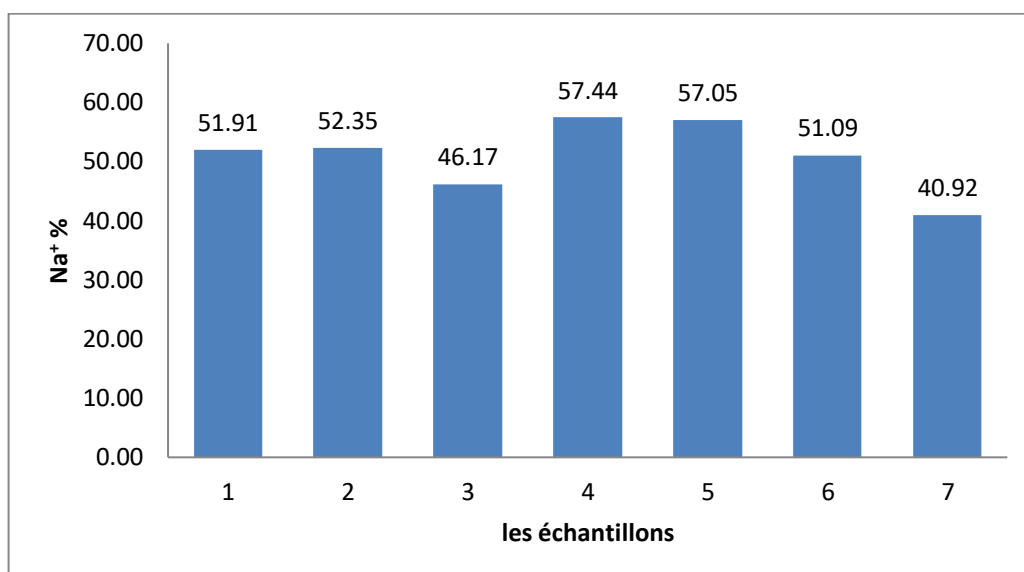


Figure 11. Pourcentage de sodium pour les sept échantillons d'eaux.

4.3.2. Indice de Kelly's Ratio (Kr)

La figure ci-dessous montre que les échantillons 3 et 7 peuvent être utilisés pour l'irrigation car leur valeur est inférieure à 1. En revanche, c'est le contraire pour les autres échantillons car leur valeur est supérieure à 1.

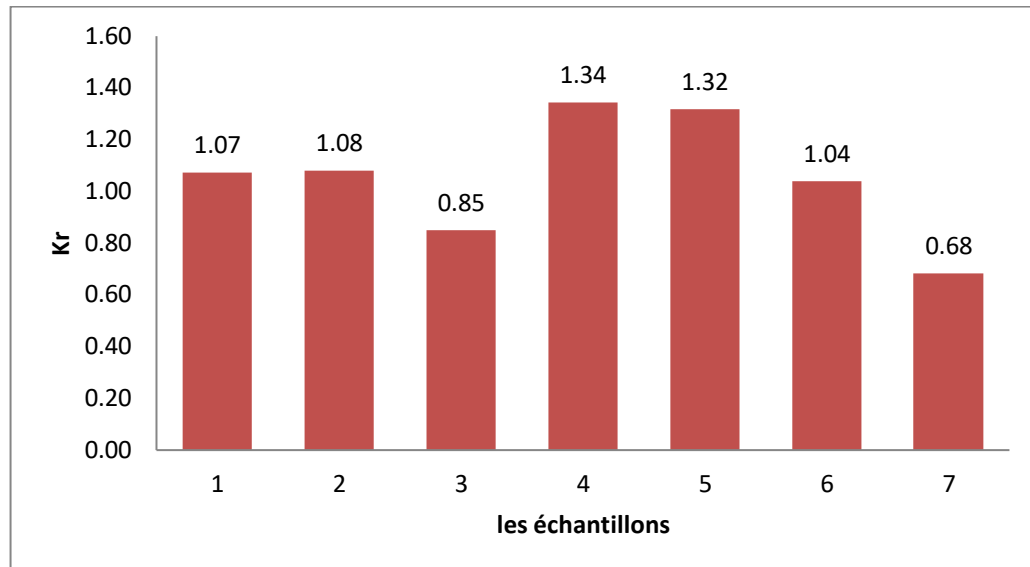


Figure 12. Histogramme représentant l'indice de Kelly's Ratio pour les sept échantillons d'eau.

4.3.3. Ration d'adsorption de Sodium (SAR)

A l'aide du tableau 4, on peut classer les résultats obtenus dans la figure ci-dessous comme suit :

les échantillons 1, 2 et 5 sont classés dans la catégorie de l'eau de bonne qualité, avec un risque d'alcalinisation assez appréciable car la valeur de SAR est comprise entre 10 et 18. Pour les autres échantillons, ils sont classés dans la catégorie de l'eau excellente, avec un faible risque d'alcalinisation des sols car leurs valeurs sont inférieures à 10.

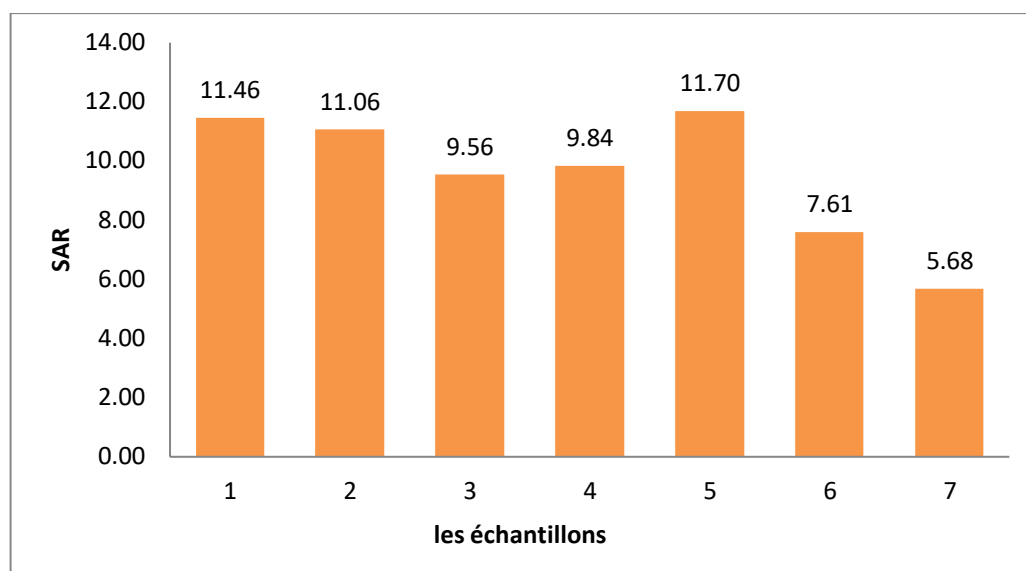


Figure 13. Histogramme représente le SAR pour les sept échantillons d’eaux.

4.3.4. Diagramme de Wilcox log

Selon le diagramme de Wilcox log représenté dans la figure 14 et le tableau 4, nous allons classer nos échantillons comme suit :

Les échantillons 6 et 7 sont classés dans la classe C4-S2, ce qui indique une qualité médiocre. Il s’agit généralement d’eau fortement minéralisées qui peuvent convenir à l’irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel, sur des sols bien drainés et lessivés.

L’échantillon 4 est classé dans la classe C4-S3, ce qui correspond à une qualité mauvaise. Cette eau ne convient généralement pas à l’irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions, telles qu’un sol très perméable, un bon lessivage et des plantes qui tolèrent très bien le sel.

Les échantillons 1, 2, 3 et 5 n’entrent dans aucune classe spécifique ce qui indique une qualité mauvaise.

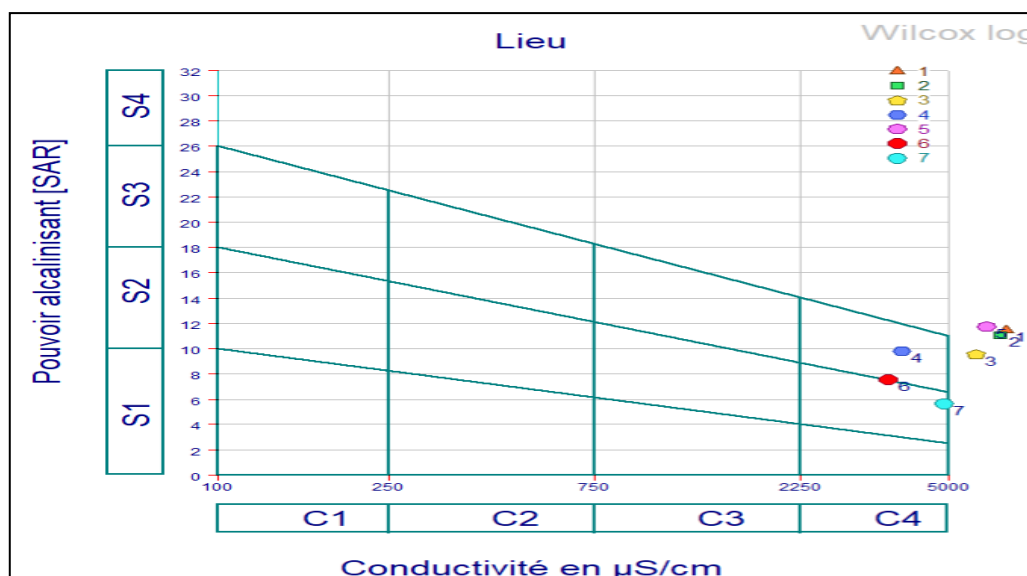


Figure 14. Classification des sept échantillons de l'eau selon Wilcox log.

4.3.5. Diagramme de RIVERSIDE

Selon le diagramme de Riverside représenté dans la figure 15 et à l'aide du tableau 4, nous allons classer nos échantillons comme suit :

L'échantillon 7 est classé dans la classe C4-S2, ce qui signifie que sa qualité est médiocre. Il s'agit d'une eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels, à condition que le sol soit bien drainé.

Les échantillons 4 et 6 sont classés dans la classe C4-S3, ce qui indique une mauvaise qualité. Ces eaux ne conviennent généralement pas à l'irrigation, mais peuvent être utilisées sous certaines conditions notamment un sol très perméable et bien lessivé, ainsi que des plantes tolérantes aux sels.

Les échantillons 1, 2, 3 et 5 sont également classés dans la classe C5-S3, ce qui correspond à une qualité très mauvaise selon la classification.

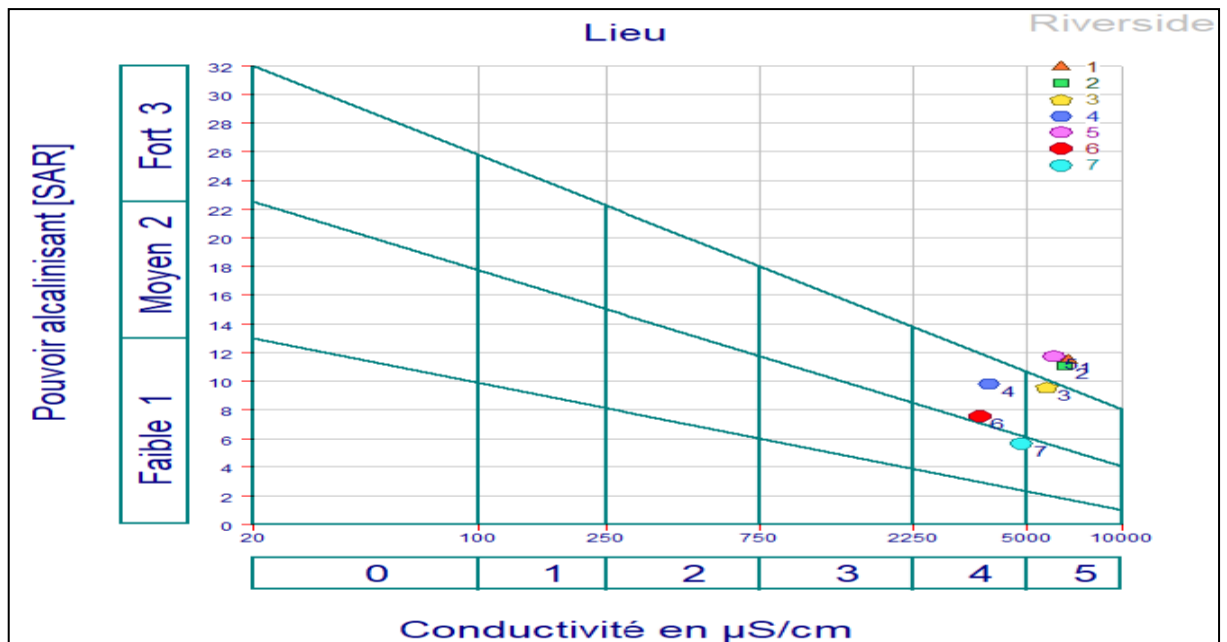


Figure 15. Classification des sept échantillons d'eau selon Richards.

Discutions générale :

Les analyses physico-chimiques indiquent clairement que l'eau non traitée est inappropriée pour l'irrigation en raison de sa forte salinité, comme le démontrent l'indice de Kr, Na⁺%, SAR et les diagrammes de Wilcox log et Riverside. En ce qui concerne les deux types de bio-floculant, la poudre a donné des résultats mieux que le jus. Cependant, même avec l'utilisation de ces bio-floculant, l'eau traitée reste inutilisable pour l'irrigation. Toutefois, lorsque du sulfate d'aluminium et de la chaux sont ajoutés à l'eau en combinaison avec le bio-floculant, des résultats acceptables sont obtenus.

Après traitement, l'eau qui était auparavant classée hors les catégories Wilcox log et Riverside se situe maintenant à l'intérieur des classes appropriées. En se basant sur ces paramètres, il est possible d'utiliser l'échantillon 7 qui contient 500 ml d'eau analysée, 500 mg/l de sulfate d'aluminium, 1000 mg/l de la chaux et 100 mg du bio-floculant poudre pour l'irrigation, mais sous certaines conditions.

Conclusion générale

A l'heure actuelle, en raison de la diminution des eaux de surface, en particulier dans les régions arides et semi-arides voir saharienne, les eaux souterraines sont la source utilisée pour l'irrigation. Cependant, la salinité de ces eaux constitue un obstacle à leur utilisation. Suite à nos expériences visant à évaluer le pouvoir épuratoire de la plante de *Oponia ficus indica* sur le traitement de ce problème en utilisant la technique de coagulation-floculation, ainsi qu'en examinant les résultats obtenus, nous avons tiré plusieurs conclusions.

Nous avons constaté qu'en utilisant de l'*Oponia ficus indica* dans son intégralité, qu'un bio-floculant, nous avons obtenu des résultats assez satisfaisante, en particulier lors de l'utilisation de la poudre obtenu à partir du mucilage des cladodes, qui a réduit la salinité par rapport au jus. L'ajout de sulfate, de chaux et de bio-floculant à l'eau a donné des résultats significatifs (avec un rendement de 34,85%), notamment pour l'échantillon numéro 7 contenant 500 ml eau, 500 mg/l sulfate d'aluminium, 1000 mg/l chaux et 100 mg bio-floculant en forme poudre, où la salinité diminué par rapport à l'eau non traitée de 5,34 à 3,48 g/l.

D'autre part, en fonction de pourcentage en sodium on peut classer les échantillons étudiés dans la catégorie des eaux admissibles, car ils se situent dans l'intervalle de pourcentage en sodium de l'ordre de 40 à 60, ce qui convient à un usage d'irrigation. Selon l'indice de Kr, les échantillons 3 (500 ml eau et 100 mg bio-floculant poudre) et 7 peuvent être utilisés pour l'irrigation car leur valeur est inférieur à 1, respectivement 0.85 et 0.68, tandis que c'est l'inverse pour les autres échantillons. Selon le SAR, les valeurs des échantillons 3, 4(500 ml eau et 500 mg/l sulfate d'aluminium), 6 (500 ml eau, 500 mg/l sulfate d'aluminium et 1000 mg/l chaux), et 7, mesurant respectivement 9.56 , 9.84 , 7.61 et 5.86 sont inférieures à 10, ce qui les rends dans la catégorie des eaux excellentes avec un faible risque d'alcalinisation .

Selon le diagramme de Wilcox log, l'eau des échantillons 6 et 7 est de qualité médiocre, ce qui les rend utilisable pour l'irrigation sous certaines conditions (irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés). Selon le diagramme de Riverside, il est possible d'utiliser l'eau, en particulier pour l'échantillon 7 qui est de qualité médiocre, mais également sous certaines conditions, notamment en cultivant des variétés résistantes à la salinité.

Bien que les résultats souhaités n'aient pas été obtenu, mais nous avons réussi à améliorer la qualité de l'eau, qui était précédemment non classifiée et inappropriée pour l'irrigation, en la classent parmi les eaux de qualité médiocre conçu pour l'irrigation.

Dans notre cas, nous nous sommes principalement concentrés sur l'effet de la technique de coagulation-floculation pour traiter la salinité. Par conséquent, nous recommandons finalement à tout chercheur ou individu souhaitant résoudre ce problème de commencer par extraire les molécules actives du bio-floculant présent dans les cladodes de l'*Opuntia ficus indica* qui sont les polysaccharides, les tanins et des protéines, ce qui pourrait donner de meilleurs résultats que l'utilisation de cladode dans son intégralité.

De plus, il est recommandé d'utiliser du charbon actif et de filtre à sable après la phase de coagulation-floculation, ce qui pourrait donner de meilleurs résultats que l'utilisation de la technique de coagulation-floculation seule pour résoudre ce problème.

Références

Abid A. et Zouhri A., 2017, Substitution des flocculants chimiques par le cactus dans le procédé de traitement par coagulation-floculation des rejets industriels de textile, *Revue des Energies renouvelables*, 20 (1), pp.61 – 67.

Abid A., Zouhri A., Ider A. et Kholtei S., 2009, Valorisation d'un nouveau bio flocculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension, *Revue des Energies Renouvelables*, 12 (5), pp.321 – 330.

Abid A. , Zouhri A. et Ider A., 2009, Utilisation d'un nouveau bio-flocculant extrait de cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation, *Afrique SCIENCE* 05(3), pp.25 – 35.

Ait Ammar S., Amrani D. et Ouannoughi K., 2022, Optimisation d'une méthode d'extraction des composés phénoliques dans les différents organes de figuier de barbarie: *Opuntia ficus indica* (L), Mémoire de Docteur en Pharmacie, Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou, p.3.

Aouissi A. et Houhamdi M., 2014, Contribution a l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma,Nord-Est Algérien), 1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques, Université of Souk Ahras -Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras, p.9.

Ayers R.S. et Westcot D.W., 1985, Water quality for agriculture, FAO irrigation and drainage paper 29, Rev.1, p.8.

Bouaouine O., 2018, Caractérisation et valorisation de bio-ressources végétales pour le prétraitement d'effluents par coagulation-floculation, Thèse de doctorat en science et génie de l'environnement, Université de Limoges et Université Sidi Mohamed ben Abdellah (Fès, Maroc), pp.41-52.

Bouaroudj S., 2012, Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation, mémoire de Magistère en Écologie, Université Mentouri Constantine, pp.1-12.

Bouchahm N., Hecini L. et Kherifi W., 2016, Adoucissement des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien: cas de la région de Biskra, *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(1), pp.37-48.

Bouselsal B., 2017, Groundwater quality in arid regions: the case of Hassi Messaoud region (se Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), p.528.

Boutakiout A., 2015, Etude physico-chimique, biochimique et stabilité d'un nouveau produit : jus de cladode du figuier de Barbarie marocain (*Opuntia ficus-indica* et *Opuntia megacantha*), Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Angers (France) sous le label de L'Université Nantes Angers Le Mans et l'Université de Sultan Moulay Slimane (Maroc), pp.29-43.

Boutera O., Mebarki A., Nouaceur Z. et Laignel B., 2018, Hydrogéochimie, et variations spatio-temporelles de la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de Boumerzoug -Nord Est Algerie-, *Sciences & Technologie D – N°47*, pp.31-41.

Cardot C., 2010

, Génie de l'environnement - Les traitements de l'eau procédés physicochimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, pp.25-27.

Couture I., 2004, Analyse d'eau pour fin d'irrigation, MAPAQ Montérégie-Est, AGRIVISION, 8p.

Couture I., 2006, Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation, colloque sur l'irrigation : l'eau, source de qualité et de rendement, Hôtel Mortagne, Boucherville, 12p.

El Kharrassi Y., 2015, Mise en évidence de la diversité des populations de cactus (*Opuntia spp.*) au Maroc et de la modulation du métabolisme lipidique par des extraits naturels et de phytostérols issues de cactus ou d'huile d'Argan dans les cellules microgliales BV2, THESE Biochimie, Biologie Moléculaire et Cellulaire, Université HASSAN I-Settat-Maroc, Université DE BOURGOGNE-Dijon-France, pp.42-43.

Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukha A. et Hemila M.L., 2013, Evaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : Exemple de la plaine de Meskiana, Nord-Est Algérien, *Géo-Eco-Trop*, 37(1), pp.81-92.

Hadj Sadok T., 2010, Composition chimique des jeunes cladodes *d'Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire, thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, pp.6-9.

Hecini L., 2014, Glossaire de l'eau, édition CRSTRA, pp.65-66.

Inglese P., Mondragon C., Nefzaoui A., et Sáenz C., 2018, Ecologie, culture et utilisations du figuier de barbarie, Publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et le Centre International pour la Recherche Agricole dans les Zones Arides Rome, p.7.

Lachache A., Boudjenah-Haroun S., 2018, Etude de la qualité chimique des eaux d'irrigation : cas de la région de Ouargla, Ressources et potentialités agrobiologiques des sols sahariens, 9 p.

Lallemand-Barrés A., 1980, Aménagement des sols sales irrigation avec des eaux salées, Bureau de recherche géologique et minière, Service Géologique National, Etude documentaire, p.19.

Landreau A. et Monition L., 1977, Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation, Bureau de recherche géologique et minière, Service Géologique National, pp.3-14.

Masmoudi A., 2012, Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban, thèse de Doctorat en sciences hydraulique, Université Mohamed Khider-Biskra, pp.1.

Mujawa M., 2012, Optimisation de la décantation primaire par ajout de produits chimiques- Jar-Tests, Master en Sciences de l'Ingénieur Industriel en Chimie, Haute Ecole Paul-Henri Spaak Catégorie Technique, pp.15-21.

Rejsek F., 2002, Analyse des eaux: aspect réglementaire et techniques, Série sciences et technique de l'environnement, CRPD d'aquitaine, pp. 53-84.

Rodier J., Bazin C., Broutin J.P., Chambon P., Champsaur H. et Rodi L., 1996, L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition. DUNOD. PARIS, p.474.

Rodier J., Legube B., N. Merlet N. et coll., 2009, L'analyse de l'eau, DUNOD Paris, 9^{ème} édition, pp.141-360.

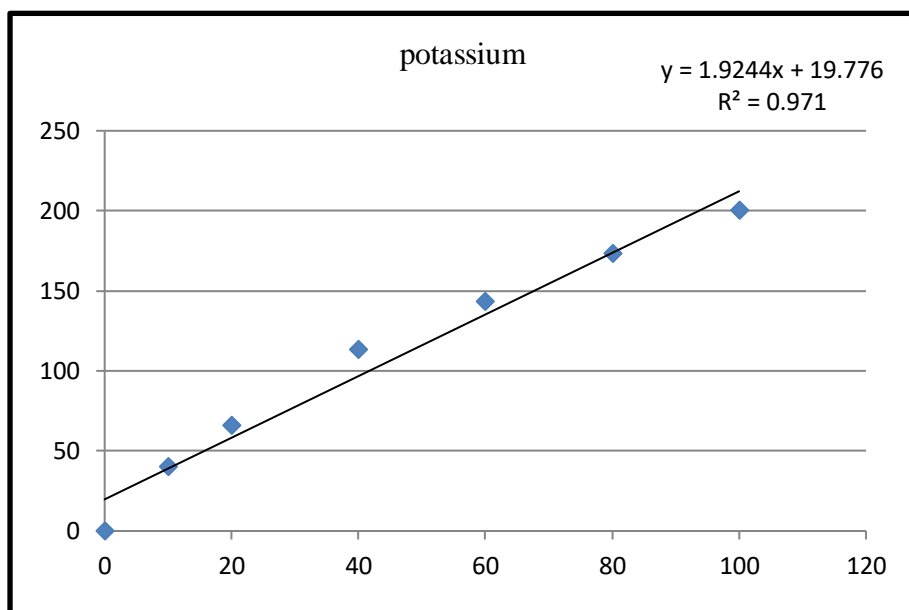
Zegait R. et Kateb S., 2016, Qualité des eaux souterraines dans le Sahara algérien (cas de Tidikelt Est), *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 3(1), pp.307-308.

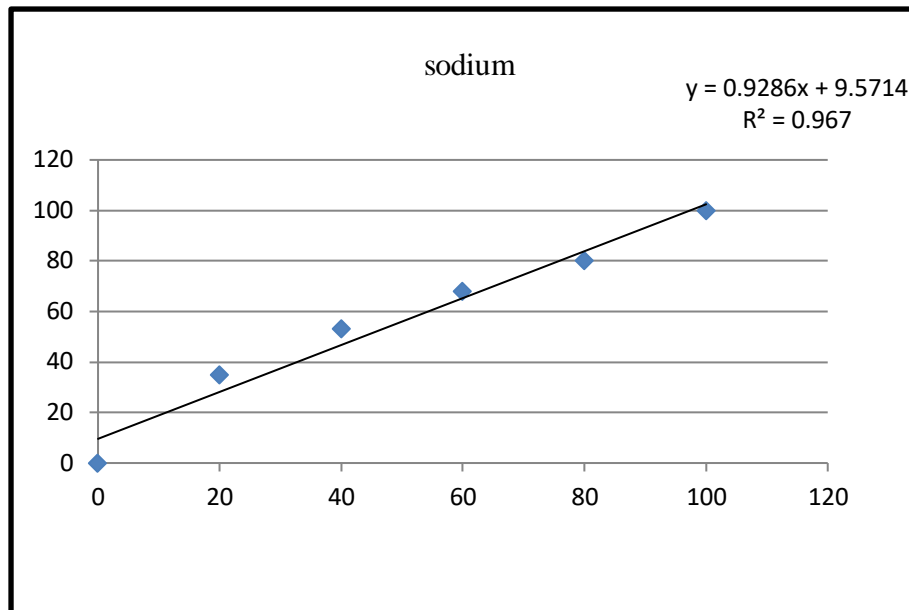
Annexes

Annexe1. facteur de correction de temperature pour la conversion de valeur de conductivité d'eaux mesurées à une temperature différente de 25°C (Rejsek, 2002).

θ °C	F ₂₅									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,095	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	0,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,997	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808

Annexe 2. Courbe d'étalonnage de potassium et sodium.





Annexe 3. Facteur de conversion des milligrammes en milléquivalents et inversement (Rodier et al, 1996).

Cations	Facteur de conversion des mg/l en mEq	Facteur de conversion des mEq en mg/l	Anions	Facteur de conversion des mg/l en mEq	Facteur de conversion des mEq en mg/l
AL ⁺⁺⁺	0,1112	8,993	BO ₂ ⁻	0,02335	42,82
Ba ⁺⁺	0,01456	68,68	Br ⁻	0,01251	79,92
Ca ⁺⁺	0,04990	20,04	Cl ⁻	0,02820	35,46
Cr ⁺⁺⁺	0,05768	17,34	CO ₃ ⁻⁻	0,03333	30,01
Cu ⁺⁺	0,03148	31,77	CrO ₄ ⁻⁻	0,01724	58,01
Fe ⁺⁺	0,03581	27,93	F ⁻	0,05263	19,00
Fe ⁺⁺⁺	0,05371	18,62	HCO ₃ ⁻	0,01639	61,02
H ⁺	0,9921	1,008	HPO ₄ ⁻	0,02084	47,99
K ⁺	0,02558	39,10	H ₂ PO ₄ ⁻	0,01031	96,99
Li ⁺	0,1441	6,940	HS ⁻	0,03024	33,07
Mg ⁺⁺	0,08224	12,16	HSO ₃ ⁻	0,01233	81,07
Mn ⁺⁺	0,03641	27,47	HSO ₄ ⁻	0,01030	97,07
Mn ⁺⁺⁺⁺	0,07282	13,73	I ⁻	0,00788	126,9
Na ⁺	0,04348	23,00	NO ₂ ⁻	0,02174	46,01
NH ₄ ⁺	0,05543	18,04	NO ₃ ⁻	0,01613	62,01
Pb ⁺⁺	0,009652	103,6	OH ⁻	0,05880	17,01
Sr ⁺⁺	0,02282	43,82	PO ₄ ⁻⁻	0,03159	31,66
Zn ⁺⁺	0,03059	32,69	S ⁻	0,06237	16,03
			SiO ₃ ⁻⁻	0,02629	38,05
			SO ₃ ⁻	0,02498	40,03
			SO ₄ ⁻	0,02082	48,03

Résumer

ملخص:

تعتبر ملوحة المياه الجوفية إحدى المشاكل الكبيرة التي تؤثر على نوعية المياه والتربة، والتي لا تسمح لنا باستغلالها بكفاءة خاصة في المجال الزراعي. الهدف من الدراسة التي قمنا بها هو معالجة ملوحة هاته المياه بالاعتماد على تقنية التلبد والتخثر وذلك باستعمال عامل تلبد طبيعي من نوع (*Opontia ficus indica*)، بإضافة كل من الجير وكبريتات الألومينيوم كعوامل تخثر لمعالجة هذه الملوحة، من بين النتائج المتوصل إليها أن نسبة الأملاح انخفضت بشكل ملحوظ في العينة المتكونة من 500 مل ماء مالحة، 1000 مغ/ل جير، 500 مغ/ل من كبريتات الألومينيوم و 100 مغ من عامل التلبد الطبيعي وبناء على حساب المؤشرات % Na⁺, SAR, و Kr والمخططات Wilcox log et Riverside فإن هذا الماء يصنف ضمن فئة المياه ذات الجودة المتوسطة، والتي يمكن استعمالها في سقي النباتات التي تتحمل الملوحة مع إتباع بعض الشروط المحددة.

الكلمات المفتاحية: الملوحة، المياه الجوفية، السقي، تقنية التلبد والتخثر، عامل تلبد طبيعي.

Résumé

La salinité des eaux souterraines est l'un des problèmes majeurs alternant la qualité des eaux et la sole, nous empêchant de les exploiter efficacement, en particulier dans l'agriculture. L'objectif de notre étude est de traiter cette salinité à l'aide de la technique de coagulation-floculation par l'utilisant d'un bio-floculant (*Opontia ficus indica*), à l'addition de la chaux et du sulfate d'aluminium comme des coagulant pour traiter cette salinité, Parmi les résultats obtenus de cette étude, l'échantillon qui contient 500 ml d'eau analysé, 1000mg/l de la chaux, 500mg/l de sulfate d'aluminium et 100 mg de bio-floculant montré qu'il ya une diminution significative dans la salinité de l'eau, à partir du calcul de l'indice du SAR, %Na et Kr, cette eau est apte à l'irrigation. Selon le diagramme de Wilcox log et Riverside, cette eau est classée dans la catégorie de qualité médiocre, mais elle peut être utilisée en respectant certaines conditions, notamment pour l'irrigation des plantes tolérantes à la salinité.

Mots clés : salinité, eau souterrain, irrigation, coagulation-floculation, bio-floculant

Abstract

The salinity of groundwater is one of the major problems affecting water quality and soil, which hinders its efficient utilization, especially in agriculture. The objective of our study was to treat this salinity using the coagulation-flocculation technique with the use of a bio-flocculant (*Opuntia ficus indica*), along with the addition of lime and aluminum sulfate as coagulants to treat this salinity. Among the results obtained from this study, the sample containing 500 ml of analyzed water + 100 mg of bio-flocculant + 1000 mg/l of lime + 500 mg/l of aluminum sulfate showed a significant decrease in water salinity. Based on the calculation of the SAR (Sodium Adsorption Ratio), %Na, and Kr, this water is suitable for irrigation. According to the Wilcox and Riverside diagrams, this water is classified in the category of poor quality, but it can be used under certain conditions, especially for irrigating salt-tolerant plants

Keywords: salinity, groundwater, irrigation, coagulation-flocculation, bio-flocculant.