



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE 20 AOÛT 1955 - SKIKDA

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

Master

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'environnement

Elaboration de membrane à base de bio polymère pour le dessalement de l'eau de mer

Réalisé par :

-ACHOUR Marwa

-NETTOUR Aya

-FAR Sara

Soutenu le 04/07/2026, devant le jury suivant :

N°	Nom et Prénom	Grade	Établissement d'affiliation	Qualité
1	Zouied Daoiya	MCA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Encadreur
2	Ibtissam Boussouf	MCA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Co-Encadreur
3	Malika Khelfaoui	MCA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Co-Encadreur
2	Remache Malika	MCB	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Examinatrice
3	Ahmed Chekkat Fatiha	MCA	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Présidente
4	Lounnas Amel	MCB	Université de 20 Août 1955 - Skikda	Examinatrice

Année Universitaire 2025- 2026.



Remerciements

*Avant tous nous tenons tout d'abord à remercier Dieu et le tout puissant
Pour la santé, la patience, la volonté et le courage afin d'accomplir ce
modeste travail.*

*Nous adressons le grand remerciement à notre Encadrante madame
Zouied Daoiya qui nous à proposer le thème de ce mémoire, pour sa
Gentillesse , ses encouragements et sa précieux conseils.*

*Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur
qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance*

*Nous remercions nos enseignants du département génie des procédés
Nos sincères remerciement à tous ce qui nos aidé à labo de recherche,
Labo de département de Génie des procèdes et la halle technologie.*

*Nous profitons aussi de cette occasion solennelle pour adresser nos
remerciements à toute nos familles qui nous ont toujours encouragés et
soutenu tout au long des années de notre étude.*

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé
À notre encadrement et tous ceux qui, de près ou de loin nous
Ont soutenu pour réaliser ce projet dans les meilleures
Conditions.*

Sara ,Marwa,Aya

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, qui ont toujours été une source d'amour, de soutien et d'inspiration. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde gratitude pour leurs sacrifices, leur patience, leurs encouragements et leur confiance en moi tout au long de mon parcours. Ce succès est avant tout le leur.

À ma famille, pour son affection, son soutien moral et sa présence constante dans les moments les plus importants de ma vie.

À mes amis(es), pour leur amitié sincère, leurs encouragements et les agréables moments partagés.

À Mme Zouied , pour son encadrement de qualité, sa disponibilité, ses conseils avisés et les efforts qu'elle a déployés pour la réalisation de ce mémoire.

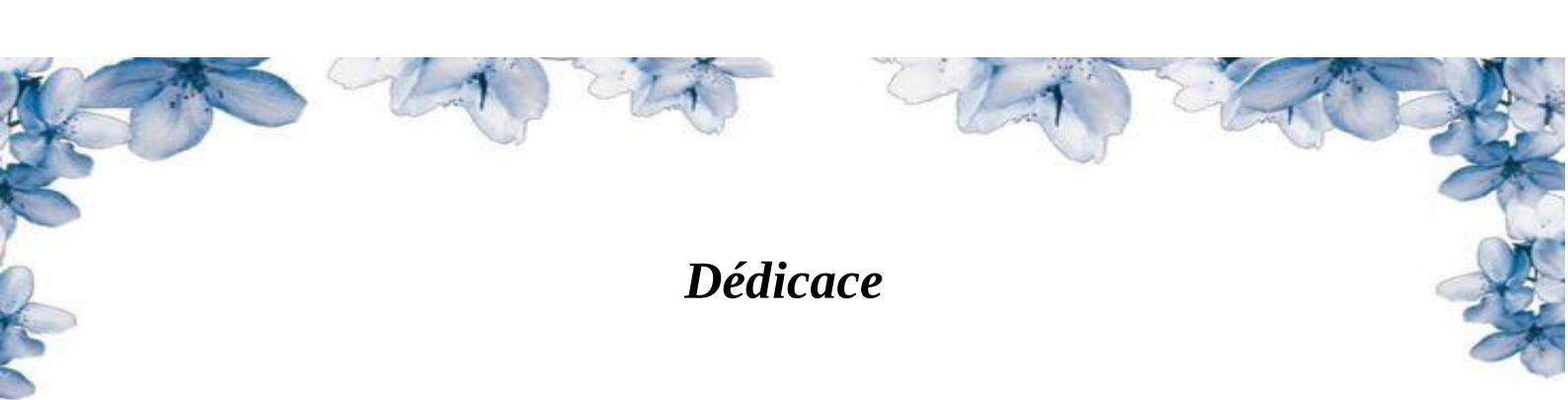
Aux laboratoires de l'Université, pour les moyens techniques et scientifiques mis à notre disposition, ayant contribué à la réussite de ce travail.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Avec mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance.

Sara





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ma chère famille, pour son amour, son soutien et ses encouragements tout au long de mon parcours.

À mes amis, pour leur présence et leur soutien.

Au personnel de la station de dessalement de l'eau de mer de Skikda, pour son accueil, sa disponibilité, son accompagnement et les précieux conseils qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont participé à l'aboutissement de ce mémoire.

Avec toute ma gratitude, mon respect et ma profonde reconnaissance.

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

Avec toute ma gratitude et mon profond respect.

Marwa



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de ma très chère mère, que Dieu l'accueille dans Son vaste paradis. Son amour, ses valeurs et ses prières continuent d'éclairer mon chemin et demeureront à jamais une source de force et d'inspiration.

À ma famille, pour son affection, son soutien indéfectible et ses encouragements tout au long de mon parcours universitaire.

À mes amis, pour leur présence, leur confiance et leur soutien.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au personnel de la Raffinerie de Skikda (RA1K) pour son accueil, sa disponibilité et les informations qu'il m'a aimablement fournies

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Avec tout mon respect, ma reconnaissance et ma profonde gratitude.



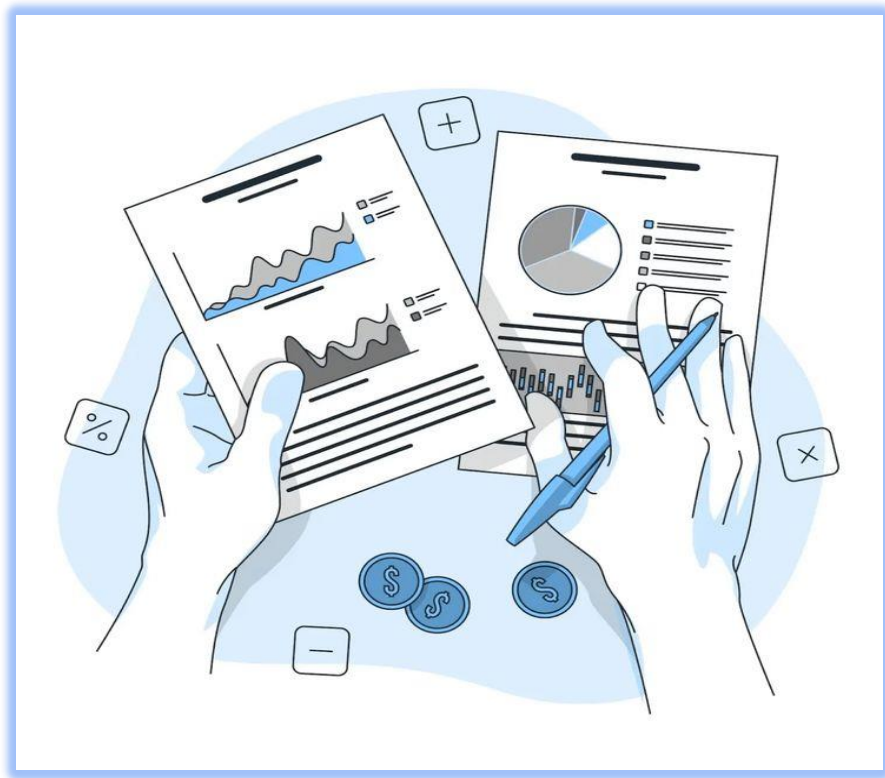
Liste des figures

Figures	Titre	Page
I.1	Schéma simplifié des principales techniques de dessalement	8
I.2	Le procédé de dessalement par électrolyse	9
I.3	Schéma simplifié d'une membrane	10
I.4	Schéma simplifié d'un module tubulaire	11
I.5	Schéma de principe d'un module à fibres creuses	12
I.6	Schéma de principe d'un module plan	12
I.7	Schéma d'un module spiralé	13
I.8	Différentes configurations des procédés de dessalement par évaporation à effet multiple	14
I.9	Schéma de l'évaporation à compression de vapeur	15
I.10	Salinité de l'eau à traiter (mg/L)	16
II.1	Touffe de <i>Stipa tenacissima</i> L.	27
II.2	Représentation des différentes parties de <i>Stipa tenacissima</i> L.	30
II.3	Structure de l'épillet des Poacées : (a) vue d'ensemble, (b) coupe longitudinale et (c) détail d'une fleur	30
II.4	Localisation de la région des hautes plaines steppiques de l'Algérie	32
II.5	Schéma montrant la structure ligno-cellulosique et cristalline d'une fibre cellulosique	34
II.6	Structures chimiques des unités de base de l'hémicellulose	36
II.7	Illustrations de la pâte d'Alfa commercialisée par la SNCPA	37

Figures	Titre	Page
II.8	Illustration schématique de la microstructure d'une fibre cellulosique	38
II.9	Structure de la cellulose	40
II.10	Classification de la cellulose	40
II.11	Schéma de la structure du bois, de l'arbre à la molécule de cellulose, et principales applications biomédicales	42
II.12	Particules cellulosiques sous différentes formes : fibre, filament, micro/nanofibrille et nanocristal	42
III.1	Localisation géographique de la plage d'Arbi Ben M'hidi (Filfila, Skikda)	49
III.2	Localisation de la station de dessalement d'eau de mer de Filfila (Skikda)	49
III.3	Localisation de la wilaya de Djelfa en Algérie	50
III.4	Localisation de la forêt de Senalba dans la wilaya de Djelfa	50
III.5	Osmose inverse de Toray et éléments de nanofiltration	52
III.6	Membrane usagée utilisée	52
III.7	Extraction des extractibles (méthode Soxhlet éthanol/toluène)	53
III.8	Traitement alcalin	54
III.9	Blanchiment	55
III.10	Préparation de la membrane cellulosique	56
III.11	Structure de la membrane Toray	57
III.12	Montage expérimental utilisé lors des essais de traitement	58

Figures	Titre	Page
III.13	Appareils utilisés pour les mesures physico-chimiques de l'eau	58
III.14	Signal de sortie de l'onde d'interférence en FTIR	59
III.15	Spectre électromagnétique avec la section de lumière visible étendue	60
IV.1	Principales étapes de l'élaboration de la membrane	62
IV.2	Observations microscopiques des principaux matériaux étudiés	64
IV.3	Caractérisation des différents matériaux par FTIR	66
IV.4	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer turbide après le prétraitement avec 0,7 g de cellulose	68
IV.5	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer turbide après le prétraitement avec 0,9 g de cellulose	69
IV.6	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer turbide après le prétraitement avec 1 g de cellulose	70
IV.7	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer turbide après filtration à travers la membrane en cellulose au cours des trois cycles de dessalement	73
IV.8	Variation des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer après filtration à travers la membrane en cellulose au cours des trois cycles de dessalement	74

Introduction générale



Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle essentielle au développement des sociétés, des activités économiques et des écosystèmes. Cependant, la croissance démographique, l'urbanisation, l'industrialisation et les effets du changement climatique exercent une pression croissante sur les ressources en eau douce, entraînant une aggravation du stress hydrique dans de nombreuses régions du monde [1]. Les régions arides et semi-arides, dont l'Algérie, sont particulièrement concernées par cette problématique en raison de la diminution des ressources conventionnelles et de l'augmentation continue de la demande en eau.

Face à cette situation, le dessalement de l'eau de mer s'est imposé comme une solution stratégique permettant de sécuriser l'approvisionnement en eau potable dans de nombreux pays. Parmi les différentes technologies disponibles, l'osmose inverse est aujourd'hui le procédé le plus utilisé grâce à son efficacité, à son rendement élevé et à la qualité de l'eau produite [2]. Toutefois, les performances de ce procédé restent limitées par le colmatage des membranes, qui entraîne une diminution du flux de perméat, une augmentation de la consommation énergétique et des coûts d'exploitation, tout en réduisant la durée de vie des membranes [3].

Dans ce contexte, le développement de membranes plus performantes et plus durables constitue un enjeu majeur de la recherche scientifique. Les matériaux biosourcés, notamment la cellulose issue de ressources végétales renouvelables, apparaissent comme une alternative prometteuse grâce à leurs propriétés physicochimiques, leur biodégradabilité et leur faible impact environnemental [4].

Face aux limites des membranes polymériques conventionnelles, notamment leur coût de fabrication, leur sensibilité au colmatage et leur impact environnemental en fin de vie, les recherches actuelles s'orientent vers le développement de matériaux alternatifs issus de ressources renouvelables. Les biomatériaux lignocellulosiques, en particulier la cellulose, attirent un intérêt croissant en raison de leur abondance, de leur biodégradabilité, de leurs propriétés mécaniques remarquables ainsi que de leur facilité de modification chimique. Ces caractéristiques en font des matériaux prometteurs pour la conception de membranes destinées au traitement et au dessalement de l'eau [5].

Parmi les ressources végétales disponibles dans la région méditerranéenne, la plante d'alpâtre (*Stipa tenacissima* L.) occupe une place particulière. Espèce endémique des zones semi-arides d'Afrique du Nord, elle est largement répandue en Algérie où elle constitue une ressource naturelle abondante et renouvelable. Traditionnellement exploitée dans les industries papetière et artisanale, cette plante présente une forte teneur en cellulose, ce qui lui confère un

potentiel important pour la production de biomatériaux à haute valeur ajoutée. Ces dernières années, plusieurs travaux ont démontré que la cellulose extraite de fibres végétales pouvait être utilisée pour élaborer des membranes présentant de bonnes performances de filtration, une porosité contrôlée et une stabilité satisfaisante, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine du traitement des eaux [6].

Dans cette perspective, le présent travail s'inscrit dans une démarche de valorisation d'une ressource végétale locale à travers l'extraction de la cellulose de la plante d'alpha et son utilisation dans l'élaboration d'une membrane destinée au dessalement de l'eau de mer. L'objectif est de proposer un matériau biosourcé susceptible de contribuer à l'amélioration des performances des procédés membranaires tout en favorisant une approche plus durable et plus respectueuse de l'environnement.

Pour atteindre cet objectif, une démarche expérimentale a été adoptée comprenant l'extraction de la cellulose, la préparation de la membrane, sa caractérisation par différentes techniques physicochimiques et microscopiques, ainsi que l'évaluation de ses performances vis-à-vis du prétraitement de l'eau de mer. Une étude de la régénération de la membrane et une simulation théorique de son application à l'échelle industrielle ont également été réalisées afin d'apprécier son potentiel d'utilisation dans les procédés de dessalement.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les ressources en eau, le dessalement de l'eau de mer et les procédés membranaires. Le deuxième chapitre est consacré à l'étude bibliographique de la plante d'alpha (*Stipa tenacissima* L.) et de la cellulose, en mettant en évidence leurs propriétés et leurs applications dans le domaine des membranes. Le troisième chapitre décrit les matériels, les méthodes expérimentales ainsi que les techniques de caractérisation mises en œuvre. Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus, leur interprétation et leur discussion, notamment les performances de la membrane élaborée, son aptitude à la régénération ainsi que sa simulation à l'échelle industrielle. Enfin, une conclusion générale synthétise les principaux résultats de cette étude, met en évidence les limites du travail réalisé et propose des perspectives pour des recherches futures.

CHAPITRE I :

DESSALMENT DE L'EAU DE MER



I.1 Introduction

Pour dessaler l'eau il existe diverses techniques, adaptables selon la nature de l'eau à dessaler, l'environnement et les besoins à pouvoir. Plusieurs procédés de dessalement ont été mis au point sur le marché mondial ; le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement. Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels[1].

Dans ce chapitre, nous présenterons tout d'abord la qualité de l'eau de mer et ensuite le dessalement et les différentes technologies membranaires et procédés à changement de phase et leurs impacts environnementaux.

1.2 Qualité de l'eau de mer

L'eau de mer est la matière première de l'usine de dessalement. Chacun peut observer ses changements de température, de limpidité d'un lieu ou d'un jour à l'autre ; les écarts de salinité sont moins connus or salinité, température et matières en suspension sont les paramètres majeurs du fonctionnement d'une unité de dessalement [2].

I.3 Composition chimique des eaux de mer

La composition chimique de l'eau de mer est tellement complexe, vue qu'elle contient, au moins à l'état de traces, tous les éléments chimiques connus à présent. Les éléments dissouts dans l'eau de mer sont principalement les ions halogénures et les ions alcalins, dont les éléments majoritaires sont : les ions de chlorures (Cl^-), de sodium (Na^+), de magnésium (Mg^{2+}), de sulfate (SO_4^{2-}), de calcium (Ca^{2+}), et de potassium (K^+).

Ces éléments représentent plus de 99% de la totalité des éléments dissouts dans l'eau de mer, L'eau de mer de surface de l'Atlantique est considérée comme l'eau de mer standard, le tableau A-1 représente la composition chimique moyenne de l'eau de mer standard. Cette composition est exprimée en g/kg d'eau de mer, elle donnée aussi sous forme du ratio 'r', qui exprime le ratio entre la fraction massique de l'élément chimique (en g/kg d'eau de mer) et la chlorinité (en g/kg d'eau de mer). Ainsi, la fraction 'r' a comme unité '(g/kg)/(g/kg)' ou tout simplement elle est sans unité[3].

Table I.1 Composition chimique des eaux de mer

<i>Eléments</i>	<i>r ((g/kg) / (g/kg))</i>	<i>Composition (g/kg)</i>
Na^{2+}	0.5564924	10.78145
Ca^{2+}	0.0212700	0.41208
Mg^{2+}	0.0662600	1.28372
K^{+}	0.0206000	0.39910
Sr^{2+}	0.0004100	0.00795
HCO^{3-}	0.0054100	0.10481
Br^{-}	0.0034730	0.06728
Cl^{-}	0.9989041	19.35271
CO_3^{2-}	0.0007400	0.01434
SO_4^{2-}	0.1400000	2.71235
$B(OH)^{4-}$	0.0004100	0.00795
F^{-}	0.0000670	0.00130
OH^{-}	0.0000070	0.00014
$B(OH)_3$	0.0010030	0.01944
CO_2	0.0000220	0.00042
<i>Total éléments</i>	1.8150685	35.16504
H_2O	49.800646	964.83
<i>Total</i>	51.615714	1000

I.3.1 Salinité

La salinité mesure la concentration en sels dissous ; elle s'exprime le plus souvent en mg ou encore en ppm chez les Anglo-Saxons. On notera que cette dernière unité n'est pas strictement équivalente puisqu'elle exprime des mg/kg.

Les salinités les plus basses se rencontrent au voisinage des pôles ou dans les zones de fort apport d'eau douce (cf. estuaires).

La quantité de sels dissous augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche des tropiques. Elle peut dépasser 45 g/L dans certaines zones, telles que la côte est de l'Arabie Saoudite où la chaleur et les hauts-fonds favorisent l'évaporation.

Quelques valeurs moyennes de la salinité de l'eau de mer :

- océan Atlantique : 35 g/L.
- mer Méditerranée : 38 g/L.
- mer Rouge : 40 g/L.
- golfe Persique : jusqu'à 46 g/L.

Le lecteur pourra se reporter à l'article [K 170] Propriétés physiques de l'eau de mer.

Le laboratoire hydrographique de Copenhague a défini la composition « moyenne » d'une eau de type océan Atlantique.

En dehors du chlorure de sodium qui représente 85 % de la salinité totale, on note la présence des ions bicarbonates, calcium et sulfates. Ces ions sont des sources potentielles d'entartrage selon les conditions de température, de concentration et de pH. Or, tout procédé de dessalement implique une concentration de l'eau. Il restera donc à l'opérateur le choix de la température et du pH pour éviter sinon limiter l'entartrage des appareils[2].

I.3.2 Température

La température de l'eau de mer peut varier sur les côtes de quelques degrés centigrades sous l'influence des courants polaires jusqu'à 35°C autour de la péninsule arabique.

Cette température influence assez peu la distillation [si ce n'est par la limitation du nombre d'effets utilisables en distillation à détentes successives (cf. § 2.4)], au contraire, elle est très importante pour les systèmes d'osmose inverse : la production des membranes d'osmose augmente d'environ 3 % par degré Celsius (cf. viscosité de l'eau). En contrepartie, la qualité de l'eau produite diminue et le vieillissement de la membrane s'accélère. L'expérience montre que l'optimum se situe autour de 25°C.

On retiendra aussi que la capacité d'une unité d'osmose inverse n'a de sens que si l'on précise la température d'eau pour laquelle cette capacité est atteinte [2].

I.3.3 Teneur en matières en suspension

L'eau de mer véhicule d'une part des matières minérales (sédiments, morceaux de coquillage...) et, d'autre part, des organismes vivants souvent microscopiques. En pleine mer, le plancton prédomine. Près des côtes, la teneur en sédiment augmente et surtout elle varie avec l'agitation de l'eau (houle, vagues...) et selon les courants et la profondeur des fonds et leur nature (sable, rochers...) ; en outre, la pollution par des rejets urbains ou industriels peut aussi devenir importante. Le site de la prise d'eau et sa conception seront choisis pour minimiser toute pollution et éviter au mieux les zones à forte teneur en matières en suspension.

Les membranes d'osmose arrêtent parfaitement toutes les matières en suspension quelles que soient leurs tailles, par contre, il en résulte un colmatage de la membrane, la rendant impropre à son usage. Pour conserver son efficacité, il est donc indispensable de rendre l'eau de mer aussi limpide que possible[2]. C'est l'objectif du prétraitement dont les phases successives sont décrites au paragraphe 3.3.

La distillation, procédé beaucoup moins sensible aux matières en suspension, ne requiert qu'un tamisage (0,5 à 2 mm) : filtration grossière pour la protection des pompes et des échangeurs.

I.4 Qualité de l'eau produite

I.4.1 Critères de potabilité

Dans la grande majorité des cas, tout ou partie de l'eau produite est destinée à la consommation humaine et doit donc être conforme à la réglementation locale des eaux potables. Cependant, une partie de la production peut aussi être directement livrée à une usine à proximité. L'exemple le plus fréquent est celui de la centrale thermique, qui requiert une eau d'appoint complètement déminéralisée. Un traitement complémentaire (échange d'ions, électrodéionisation) sera nécessaire mais plus ou moins important suivant la salinité résiduelle, sachant que la distillation peut produire une eau contenant moins de 5 mg/L de sels dissous, alors que l'osmose inverse sera limitée à 100-250 mg/L.

TDS. Il arrive que certains pays n'aient pas de réglementation concernant la qualité des eaux potables. On se conforme alors aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), lesquelles font référence au sein de la Communauté internationale. Celle-ci classe les critères de potabilité d'une eau en cinq groupes.

Ceux qui intéressent le producteur d'eau dessalée concernent :

- **l'aspect physique** : température, limpidité, odeur, teneur en matières en suspension (MES).
- **les caractéristiques chimiques** : salinité, chlorures, pH, etc.

Pour chaque critère, l'OMS précise une valeur guide, Par exemple :

- salinité inférieure ou égale à 1 000 mg/L.
- chlorures inférieurs ou égaux à 250 mg/L.

Ce deuxième critère étant le plus contraignant.

Le facteur clé du dessalement est évidemment la salinité finale recherchée. Toutefois, des critères plus pointus sont parfois requis tels que les teneurs en B, Br., métaux lourds (cf. corrosion des unités § 2.6.1) nécessitant des aménagements, voire un posttraitement.

I.4.2 Contraintes du réseau de distribution de l'eau

Les critères de potabilité ne suffisent pas complètement à la détermination de la qualité d l'eau potable. Il faut aussi vérifier qu'elle ne soit ni agressive, ni corrosive vis-à-vis des matériaux rencontrés sur le réseau de distribution aux usagers. Or, quel que soit le procédé de dessalement retenu, l'eau produite est pratiquement dépourvue de bicarbonate de calcium et montre donc un caractère agressif marqué. Cette agressivité doit être neutralisée par un posttraitement à déterminer en fonction de la nature des matériaux du réseau. Il peut prendre des formes plus ou moins complexes depuis une simple correction de pH jusqu'à une reminéralisation partielle par introduction simultanée de chaux et de dioxyde de carbone, ou de dioxyde de carbone suivie d'une filtration sur calcaire.

I.5 Le dessalement

Le dessalement de l'eau est un processus qui permet de supprimer les sels de l'eau salée ou saumâtre.

Plusieurs procédés de dessalement ont été mis au point sur le marché mondial ; le choix d'utilisation de chacun d'eux est relatif à la disponibilité de la source d'énergie qui fait fonctionner l'appareillage de dessalement, les principales techniques de dessalement mondialement connues sont :

- **les procédés thermiques** : qui se basent sur le principe de l'évaporation de la successive condensation.
- **les techniques membranaires** : qui utilisent les capacités de certaines membranes à retenir les particules dissoutes dans l'eau. Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes.
 - a. une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière.
 - b. un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte.
 - c. .Le procédé de dessalement lui-même.
 - d. le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

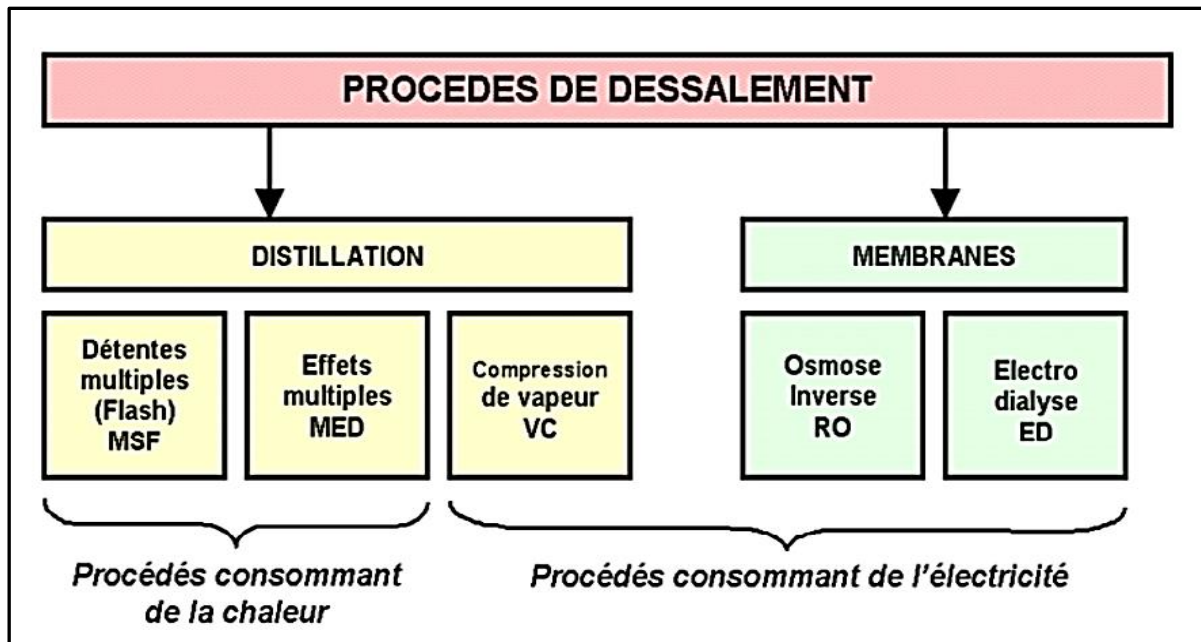


Figure I.1. Schéma simplifié des principales techniques de dessalement.

I.5.1 Les procédés membranaires

Une membrane est une barrière de très faible épaisseur à travers laquelle on fait passer de manière sélective, des fluides ou des solutions, sous l'effet d'une force d'entraînement. Elle diffère selon le procédé de séparation : par gravité, par pression, par gradient de concentration ou par champ électrique [3].

I.5.1.1 L'électrodialyse

Le procédé de dessalement par électrolyse est une technique liée au transfert des anions et cations à travers une membrane sélective qui leur est perméable, sous l'effet d'un champ électrique imposé. À un niveau de ce procédé, les ions du sel dissous dans l'eau sont principalement des cations de sodium Na^+ et anions de chlorure Cl^- qui peuvent se déplacer sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes submergées dans la solution à dessaler. Les cations (ions de charge positive) sont attirés par la cathode tandis que les anions (ions négatives) sont attirés par l'anode. La cellule d'électrolyse est aussi contenir des membranes filtrantes intercalées alternativement qui sont soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration ou eau douce [L'électrolyse n'est pas adaptée pour le traitement des eaux de salinité supérieure à 3 g/kg. Au cours des trois dernières décennies, l'électrolyse a été utilisée

commerciallement pour le dessalement de l'eau saumâtre, en particulier pour les procédés à petite et moyenne échelle] [3].

Afin d'éviter l'encrassement, l'électrolyse utilise des inverseurs qui inversent la polarité du champ électrique environ toutes les 20 min. Ce processus est appelé inversion d'électrolyse [3].

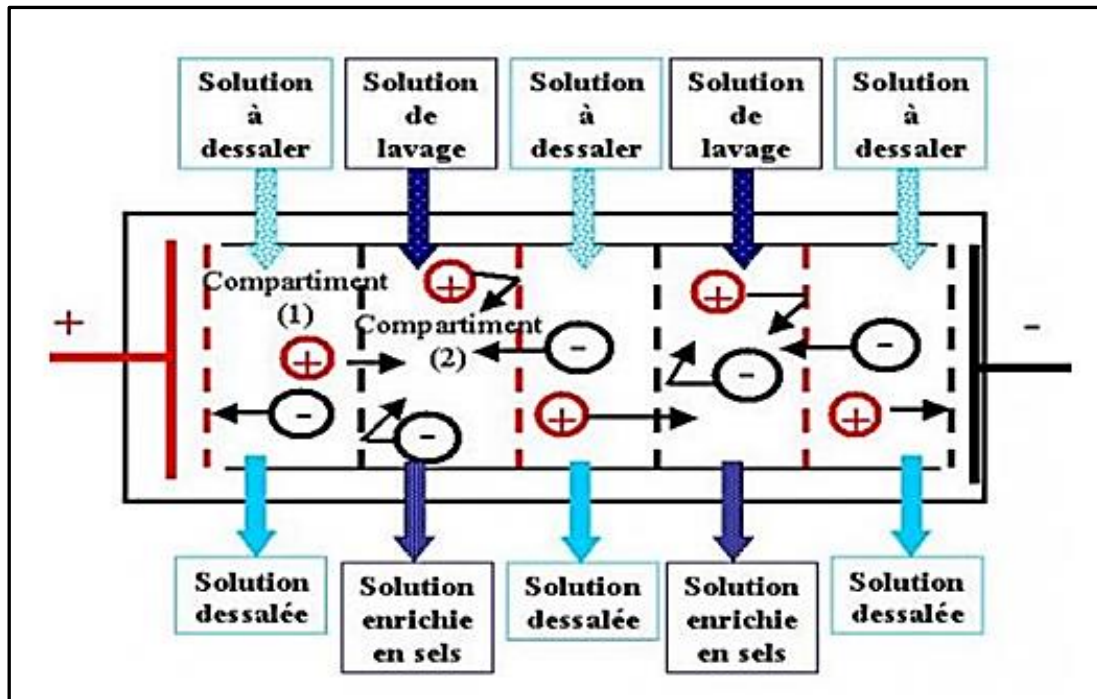


Figure I.2. Le procédé de dessalement par électrolyse.

Les principaux avantages et inconvénients du procédé de dessalement par électrolyse sont les suivants [4]:

Principaux avantages

- Taux d'extraction d'eau douce élevé.
- Faible consommation d'énergie et faible coût d'investissement par rapport aux procédés Thermiques.
- Effet de la turbidité et substances solubles est moindre en comparaison avec l'osmose Inverse.
- Durée de vie des membranes est supérieure à celle de l'osmose inverse.
- Mise en fonctionnement permanent et arrêt rapide.

Principaux inconvénients

- Non adaptée aux eaux d'alimentation avec une salinité élevée
- Le rejet de sel est plus faible que dans le cas d'osmose inverse

I.5.1.2 L'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation, sous l'effet d'un gradient de pression, d'un solvant liquide et un soluté par perméation à travers une membrane semi-sélective. L'osmose est le transfert naturel d'un solvant à travers une membrane semi-sélective sous l'effet d'un gradient de concentration d'un soluté [3,5].

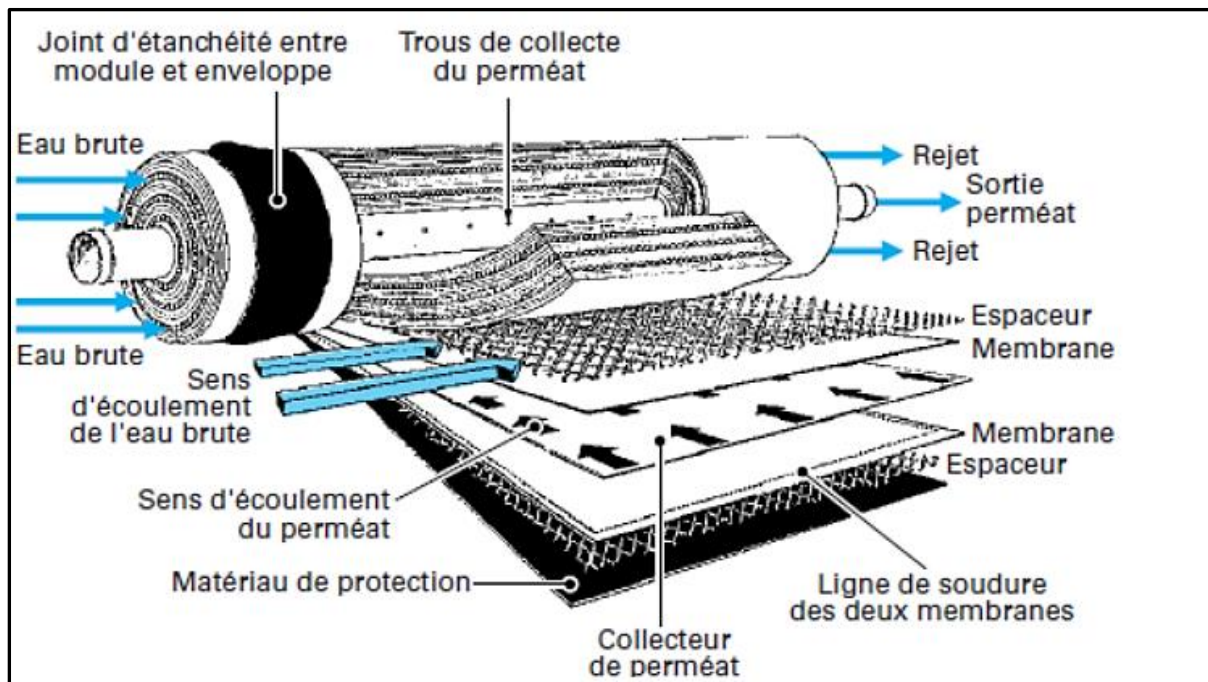


Figure I.3. Schéma simplifié d'une membrane.

Si on considère deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et chaque compartiment contiennent une solution de concentration donnée, l'osmose est définie comme étant le flux d'eau circulant à travers la membrane de la solution diluée vers la solution concentrée. Si la solution diluée est l'eau pure et si on applique une pression sur la solution concentrée, le flux transférée va diminuer. Avec une pression suffisamment élevée, le flux va même s'annuler: cette pression est appelée la pression osmotique π .

Si la valeur de la pression appliquée dépasse la pression osmotique, le flux d'eau sera dirigé en sens inverse du flux osmotique, d'où la nomination Osmose Inverse (Reverse Osmoses).

La pression osmotique dépend de la température de la solution et la somme des concentrations des différents éléments dissouts dans la solution, ainsi, elle exprimée par la relation suivante :

$$\tau = RT \sum \text{soluté } C_i \quad (\text{I.1})$$

R (en J/mol/K) est la constante des gaz parfaits, T (en Kelvin) est la température de la solution et C_i (mol/m³) est la concentration de l'élément 'i' dissout dans la solution. Dans l'équation (I.1), la pression π est exprimée en (Pa).

Le transfert de solvant et de soluté à travers la membrane se fait par solubilisation et diffusion, en effet, toutes les espèces moléculaires contenues dans la solution se dissolvent et diffusent à l'intérieur et à travers la membrane comme dans les liquides sous l'effet du gradient de concentration et de pression [4]. Ainsi, le transfert de matière à travers les membranes d'osmose inverse ne dépend donc plus de la dimension des particules mais de leur solubilité dans le milieu membranaire. De ce fait, la séparation par osmose inverse dépend du pouvoir solvant de la membrane.

Dans les applications industrielles, les polymères avec une grande variété sont utilisés pour la fabrication des membranes qui sont généralement constitués de dérivées de cellulose.

La stabilité chimique des membranes cellulosiques est réduite. Ainsi, les pH opératoires doivent rester dans une gamme allant de 4 à 6.5 et la température doit rester inférieure à 40°C pour éviter l'hydrolyse du matériau [3].

Il y a quatre types de modules, utilisés dans les applications industrielles, qui supportent les membranes semi-perméables d'osmose inverse [3]:

- ✓ **Les modules tubulaires** : Ce type de module contient plusieurs tubes montés en série ou en parallèle. L'eau salée s'écoule à l'intérieur des tubes et le perméat est récupéré à l'extérieur des tubes, ainsi, ces tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel

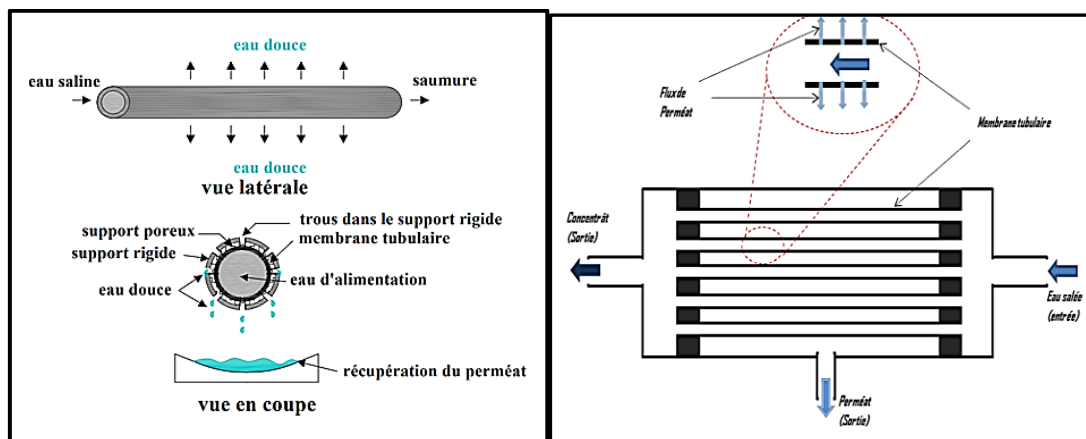


Figure I.4. Schéma simplifié d'un module tubulaire.

- ✓ **Modules à fibres creuses** : ces fibres sont assemblées en parallèle suivant deux configurations :
 - l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres, cette configuration est similaire au fonctionnement des modules tubulaire.
 - l'eau à traiter circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres.

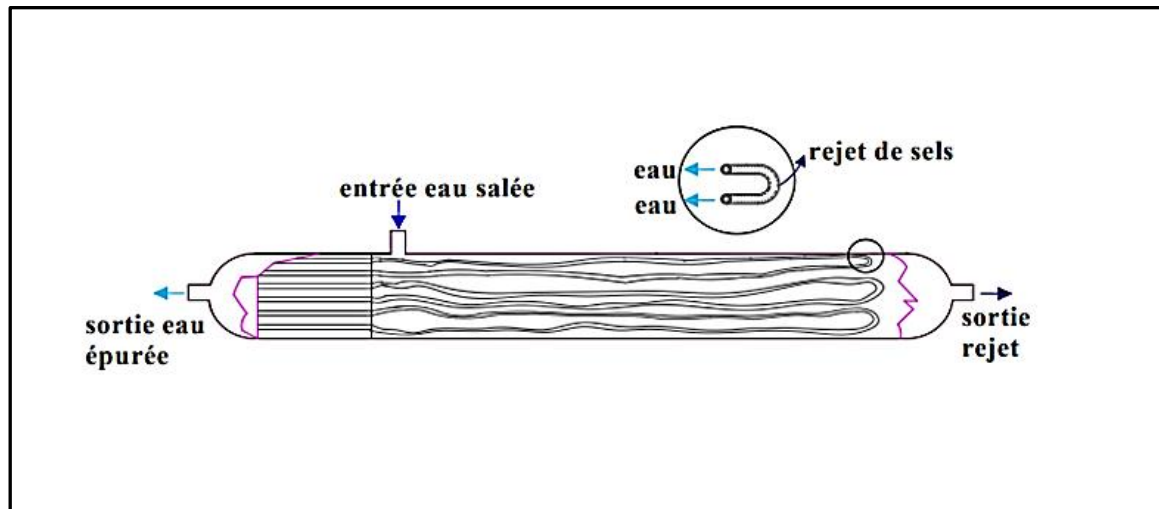


Figure I.5. Schéma de principe d'un module à fibres creuses.

- ✓ **Les modules plans** : Ce type de membranes sont empilées sous forme de feuilles multiples séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides

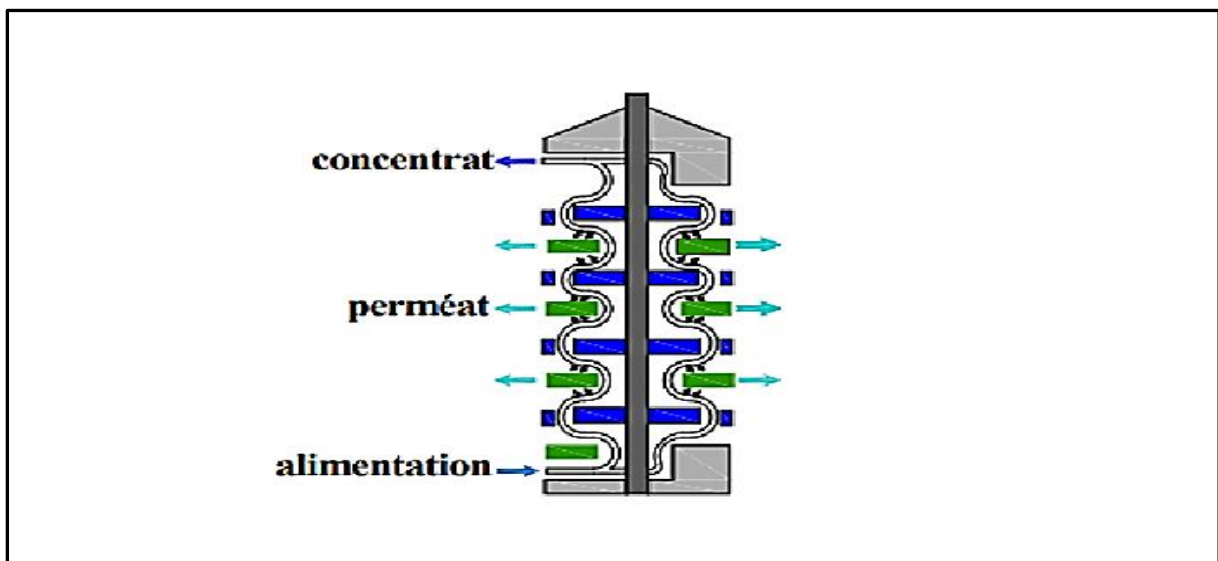


Figure I.6. Schéma de principe d'un module plan.

- ✓ **Modules spirales** : Ce type de modules est constitué d'une membrane plane enroulée sur elle-même autour d'un tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre à couches multiples où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux[3].

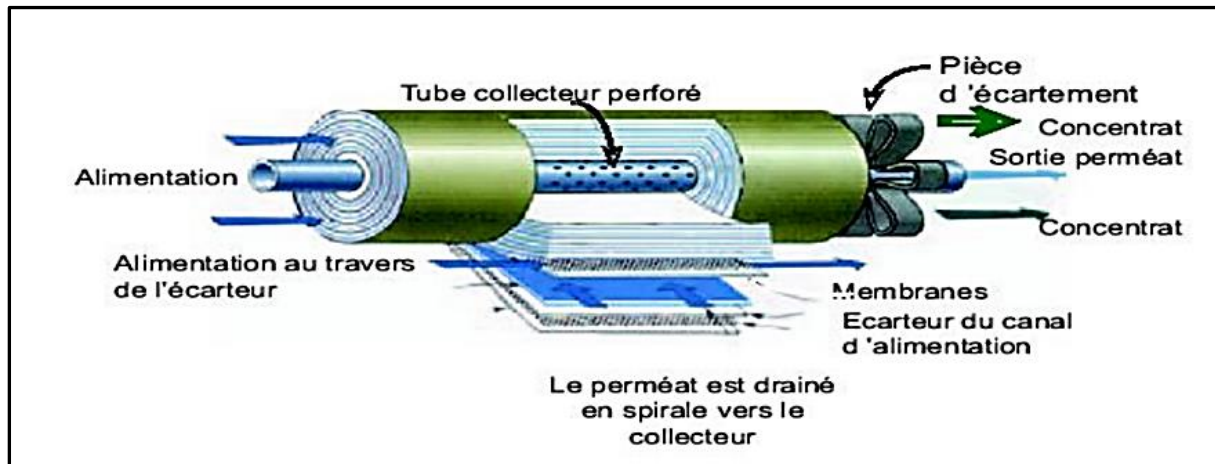


Figure I.7. Schéma d'un module spirale.

Principaux avantages

- Faible consommation d'énergie et faible coût d'investissement par rapport aux procédés thermiques.
- Taux de récupération d'eau douce élevé.
- Mise en fonctionnement permanent et arrêt rapides.
- Possibilité de récupération d'énergie.

Principaux Inconvénients

- Nécessité d'utiliser un prétraitement avancé de l'eau saline d'alimentation.
- Non convenable aux eaux salines avec des taux de salinité élevée.
- Encrassement et contamination des membranes.
- Durée de vie réduite des membranes

I.5.2 Les procédés utilisant le changement de phase

1) L'évaporation à effets multiples

(Multi Effet Evaporation (MEE)) est un procédé qui se base sur l'utilisation multiple du phénomène d'évaporation-condensation pour extraire l'eau douce à partir de l'eau salée. En effet, l'unité d'évaporation à effet multiple se compose d'une série d'évaporateurs, l'énergie thermique est fournie seulement au niveau du premier évaporateur, puis la vapeur formée est utilisée comme fluide caloporteur dans le second évaporateur où elle se condense et libère sa

chaleur latente de condensation. Cette chaleur sert alors à faire bouillir l'eausalée alimentée dans le second évaporateur où règne une pression plus basse que dans le premier[3].

Ainsi, une nouvelle vapeur est formée dans le deuxième évaporateur puis la même opération est répétée pour le troisième, quatrième jusqu'au dernier évaporateur [16]. Chaque évaporateur est nommé effet. La vapeur produite au niveau du dernier effet est condensée dans un condenseur final qui sert, en même temps, à préchauffer l'eau de mer d'alimentation. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réutiliser presque la même quantité d'énergie thermique plusieurs fois ce qui conduit à une réduction énorme de la quantité d'énergie externe à fournir mais aussi conduit à une augmentation de la taille de l'unité et de son coût d'investissement [3]. Le montage des effets peut se faire principalement selon trois types de configuration : configuration d'alimentation en parallèle, configuration en série et configuration en contre-courant comme présenté dans la figure.

Dans le procédé d'évaporation à effet multiple, l'évaporation de l'eau de mer est effectuée à des basses températures pour réduire les problèmes d'entartrage au niveau des surfaces d'échange thermique. Généralement, la température du premier effet (la plus haute température) est comprise entre 70 et 80°C [19].

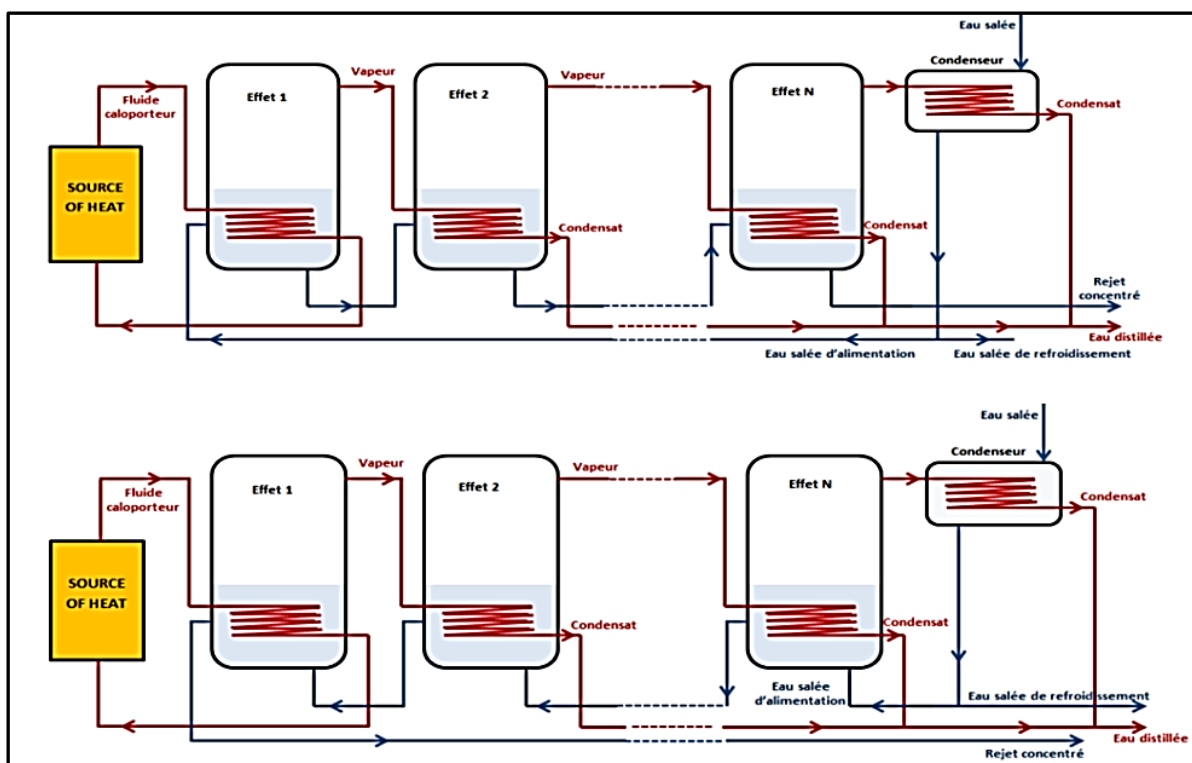


Figure I.8. Différentes configuration procédés de dessalement par évaporation à effet multiple.

Principaux avantages

- Technologie mature et maîtrisée.
- Possibilité d'utiliser des faibles écarts de température grâce au développement de la Technologie d'évaporation. Ce qui permet d'augmenter le nombre d'effet et réduire la Consommation d'énergie.

- Fonctionnement à faible température ($\approx 70^\circ\text{C}$).
- Faible prétraitement par rapport aux procédés d'osmose inverse.
- Bonne qualité de l'eau produite.

Principaux Inconvénients

- Consommation d'énergie thermique élevée.
- Faible taux d'extraction d'eau à partir de l'eau salée.
- Cout de production d'eau douce élevé pour les petites installations.
- Nécessité de reminéralisation d'eau produite.

2) L'évaporation à compression de vapeur

Le procédé de dessalement par évaporation à compression de vapeur se base sur le principe de la surchauffe et l'augmentation de la température de saturation lorsqu'on comprime la vapeur [20]. Ainsi, ce procédé a pour principe de récupérer la chaleur de condensation avec un apport d'énergie sous forme de compression mécanique ou thermique. Dans le cas de la compression mécanique avec un seul évaporateur, un compresseur aspire la vapeur produite dans l'évaporateur, puis cette vapeur est utilisée comme fluide caloporteur dans l'évaporateur lui-même[3]. Ce procédé est souvent combiné avec le procédé d'évaporation à effet multiple, dans ce cas la vapeur du dernier effet est comprimée pour être utilisée comme fluide caloporteur dans le premier effet comme illustré dans la figure I.9.

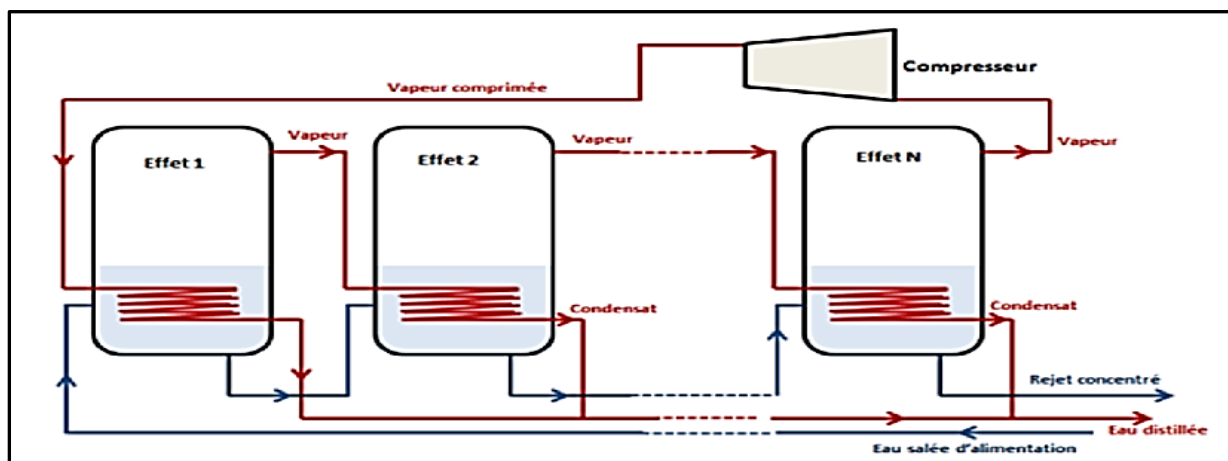


Figure I.9. Schéma L'évaporation à compression de vapeur.

Principaux avantages

- Technologie mature et maîtrisée.
- Possibilité d'être combinée avec le procédé à effet multiple.
- Taux d'extraction d'eau douce élevée par rapport aux procédés d'évaporation à effets multiple et Détente à étages multiple.
- Faible traitement chimique.
- Bonne qualité d'eau produite.

Principaux Inconvénients

- Consommation d'énergie électrique élevée par rapport à l'osmose inverse.
- Cout élevé par rapport à l'osmose inverse.
- Risque d'encrassement élevé.
- Nécessite une maintenance fréquente du compresseur.

I.6. Choix d'un procédé de dessalement

Pour le choix d'un tel procédé de dessalement, plusieurs critères techniques et économiques rentrent en jeu. Pour les eaux saumâtres, l'osmose inverse est le procédé généralement retenu, alors que pour les eaux de mer, ce sont d'abord la nature et le coût qui orientent le choix vers une technologie plutôt que pour une autre et en tenant compte la minéralisation de l'eau.

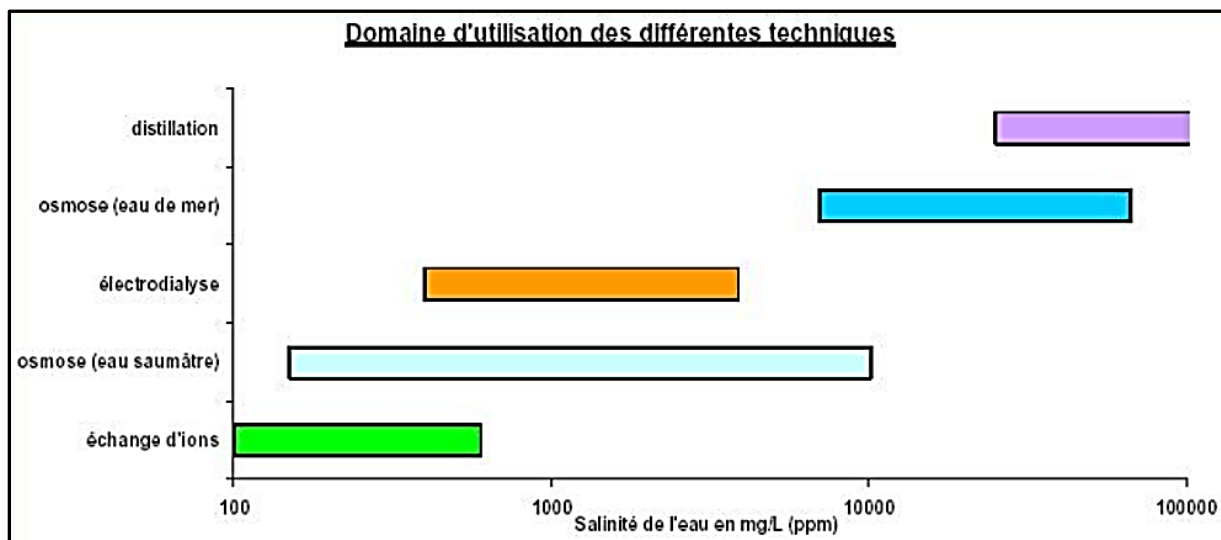


Figure I.10. Salinité de l'eau à traiter en mg/L.

La distillation utilise principalement de l'énergie thermique et de ce fait n'est pas économique que lorsqu'elle est couplée à une centrale électrique (cogénération), alors que les membranes nécessitent de l'énergie électrique. Cela permet de comprendre pourquoi les pays du Moyen Orient producteurs du pétrole, sont principalement équipés en procédés par distillation dont les principaux avantages :

- Des performances et des coûts indépendants de la salinité : cela est intéressant dans les pays du golfe arabe où la salinité peut dépasser 45 g/L.
- Un prétraitement simple : dégrillage et chloration sont généralement suffisant.
- Une très faible salinité de l'eau produite (5 à 30 mg/L) voire moins.

Pour l'osmose inverse, les avantages sont :

- Une faible consommation énergétique environ 3 à 4 kW/m³ pour une eau de mer à 38g/L.
- Un coût d'investissement plus faible d'environ 20%.
- Une gamme étendue de capacités de quelques litres par jour pour des équipements de Survie à des installations de plus de 100.000 m³/j.
- Une salinité d'eau produite de 300 à 500 mg/L qui convient bien aux usages domestiques.
- On constate que l'osmose inverse est en concurrence avec les procédés de distillation sur le plan de capacités globales installées. Sur une production journalière voisine de 32 millions de mètres cubes, près de la moitié l'est par osmose inverse dont 3 millions de m³ est à partir de l'eau de mer.

I.6. 1 Les membranes d'osmose inverse

L'abbé Nollet à la fin du 17^{ème} siècle avait déjà observé le comportement d'une membrane constituée d'une vessie de porc : cette membrane laissait passer un flux d'eau douce pour diluer une solution saline séparée de la précédente par cette paroi : il avait observé le phénomène d'osmose. Au 19^{ème} siècle cette « Curiosité de laboratoire » avait été étudiée par Van't Hoff qui donna sa loi au phénomène d'osmose, les parois utilisées étaient réalisées ainsi : On peut réaliser artificiellement une paroi semi perméable par le procédé de Traube .il consiste à plonger un vase poreux contenant une solution de sulfate de cuivre, dans une solution de ferrocyanure de potassium : les deux liquides, se rencontrant dans les pores du vase, donnent un précipité gélatineux de ferrocyanure de cuivre, qui forme une paroi semi perméable »

Les technologies membranaires sont devenues des procédés de séparation physique sélective, par différence de pression, obtention d'un perméat de qualité constante, récupération de matières premières sont des atouts que peu de techniques offrent. Les membranes ont connu un essor sans précédent durant les vingt dernières années, l'essor des matériaux de synthèse a permis de réaliser des parois semi perméables éminemment plus pratiques, de ce fait les membranes peuvent être classées suivant le critère adopté en plusieurs catégories.

La structure de matériaux permet de distinguer trois types de membranes :

- Isotropes, où les propriétés structurelles sont constantes sur toute l'épaisseur de la cartouche.
- Anisotropes, où les propriétés structurelles varient sur l'épaisseur de la cartouche, de la surface vers l'intérieur de la membrane.
- Liquides. En fonction de la nature des matériaux constitutifs des couches de membranes, on parle de :

I.6.2 Membranes organiques

Fabriquées à partir de polymères organiques tels que l'acétate de cellulose, de polyamides, poly sulfones...

I.6.2 .1 Membranes en acétate de cellulose

Constituées principalement de cellulose en remplaçant les groupements hydroxyyles par des groupements acétyle dont il permet d'obtenir soit le diacétate soit le triacétate de cellulose, on note que le degré de substitution d'un polymère d'acétate de cellulose est supérieur à 2,75 ce qui équivaut à un pourcentage d'acétyle de 42,3 %.

C'est le plus ancien des polymères mais il est toujours utilisé parce qu'il présente certains avantages.

I.6.2 .2 Membrane en polyamides

Les formules chimiques des membranes ont évolué avec le temps : à l'origine en acétate de cellulose, elles sont aujourd'hui en majorité en polyamide vu les inconvénients de l'acétate de cellulose.

I.6.2 .3 Membrane en poly sulfone

Caractérisées par un groupement $-SO_2-$ relativement stable relié à deux noyaux benzéniques.

I.6.2.4 Membrane en matériaux acryliques

- poly (acideacrylique),
- poly acrylonitrile (pan).

I.6.2.5 Membranes en matériaux fluorés

- poly (fluorure de vénylidène) ou PVDF,
- poly (tétrafluoroéthylène) ou PTFE.

Table II. 2 Avantages et inconvénients des membranes organiques

Membraneorganique	Avantages	Inconvénients
En acétatede cellulose	- Perméabilité très élevée, - Mise en œuvre aisée, - Le matériau de base (cellulose) est répandu, - Colmatage moins élevé	- Sensibilité à la température, - Sensibilité au PH, - Sensibilité au chlore, - Sensibilité auxmicroorganismes, - Sensibilité au colmatage.
Enpolyamides	- Bonne stabilité chimique et thermique, - Meilleure résistance mécanique.	- Très grande sensibilité auxoxydants, - Faible perméabilité, - Problèmes d'adsorption
En polysulfone	- Bonne stabilité thermique jusqu'à 75° C, -Bonne tenue au PH variant de 1 à 13, - Bonne résistance au chlore	- Sensibilité au colmatage, - Aucune membrane de ce type ne supporte des pressions à 15 à 20bar, - Problèmes d'adsorption
Enmatériauxacryliques	- Bonne stabilité thermique, - Bonne stabilité chimique, - Possibilité de stockage à sec.	- Résistance mécanique limitée, - Difficulté d'obtenir de faiblesdiamètres
Enmatériauxfluorés	- Très bonne résistance thermique, - Très bonne résistance chimique.	- Faible perméabilité due au caractère hydrophobe de lamembrane, - Utilisable seulement enmicrofiltration

I.6.3 Membranes minérales

- Membranes à support carbone ;
- Membranes dynamiques ;
- Membranes en alumine.

Table II. 3 Avantages et inconvénients des membranes minérales

Membrane minérale	Avantages	Inconvénients
A support carbone	- PH compris entre 0 à 14, - Températures pouvant atteindre 300°C, - Pressions allant jusqu'à 2 MPA.	- Prix élevé, - Volume mort important, dû à la configuration tubulaire : 1,5 L/m².
Dynamiques	- Investissement faible pour la fabrication, - Bonne tenue en température, au PH et en milieu oxydant.	- Performances (perméabilité et sélectivité) médiocres en osmose inverse. - Mise en œuvre nécessitant un savoir-faire important
En alumine	- Bonne tenue en température élevée jusqu'à 300°C, - Bonne tenue en milieu acide jusqu'à PH=1, - Bonne tenue en pression.	- Sensibilité au milieu basique, ce qui pose des problèmes lors du nettoyage à la soude, - Prix élevé.

I.6.4 Membranes composites

Apparues il y a dix ans, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo- minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels le zircon, l'alumine et le titane).

I.6.5 Choix d'un module d'osmose inverse

Toute technologie membranaire requiert une membrane et un module qui lui tient lieu de support.

Les modules supportent les membranes, quatre grands types de modules sont commercialisés:

- Modules tubulaires.
- Modules à fibres creuses.
- Modules plans.
- Modules spiraux.

Pour le choix d'un tel type de module, plusieurs critères sont à envisager :

- Régime d'écoulement permettant de minimiser les phénomènes de polarisation (écoulement laminaire ou turbulent).
- Compacité qui est exprimée par le rapport de la surface filtrante au volume de l'appareil ;
- Facilité de démontage et de remplacement des membranes défectueuses ;
- Volume mort de l'appareil (exprimé en l/m²) ;
- Adaptation au produit à traiter (nécessité ou non de pré filtration).
- Performances des membranes d'osmose inverse.

I.6.5 .1 Sélectivité

La sélectivité des membranes d'osmose inverse pour les différentes espèces chimiques dépend de leur possibilité de solvatation par l'eau, elle est définie par le taux de rejet (taux de rétention) de l'espèce : la proportion de la matière retenue par la membrane, par rapport à la concentration dans le flux d'alimentation [6].

Les espèces les plus fortement solvatées ont un taux de rejet toujours plus important.

$$T_R = (1 - (C_P/C_0)) * 100 \quad (I.2)$$

C_P : concentration de l'espèce dans la solution (eau de mer).

C_0 : concentration de l'espèce dans le perméat.

I.6.5 .2 Perméabilité

Elle représente le flux volumique ou massique traversant la membrane par unité de surface membranaire [6].

I.6.5 .3 Conversion

Conversion Elle représente le rapport entre le flux de solvant traversant la membrane et celui d'alimentation [6].

I.6.5 .4 Résistance

Nous notons que la sélectivité et la perméabilité dépendent directement de la pression et de la température. Une membrane, est utilisée toujours dans les limites bien définies de P, T et pH[6].

I.6.5 .5 Durée de vie

Chaque membrane a une durée de vie, au-delà de laquelle, la membrane ne sera pas Performante (chute de rendement et de performances, dégradation de l'état, usures...)[6]

I.6.4 .6 Colmatage des membranes

Nous définissons sous le terme de colmatage l'ensemble des mécanismes qui limitent le flux à travers une membrane. Dans le cas de l'osmose inverse [6], le phénomène de colmatage peut-être classifié en quatre catégories comme suit:

1) Colmatage par entartrage

L'entartrage sur une membrane est principalement causé par : le dépassement de la limite de solubilité des composants inorganiques, c'est-à-dire qu'il y a une sursaturation [7] et l'augmentation rapide de la vitesse de déposition. Des sels sursaturés vont précipiter sur la surface de la membrane et construire une couche fine qui bloque le transfert de matière à travers la membrane. L'entartrage a toujours lieu à la surface de la membrane car la concentration des sels est élevée près de la membrane par la polarisation de concentration. Les dépôts de tartre rencontrés le plus fréquemment dans le dessalement comportent du carbonate de calcium (CaCO_3), du sulfate de calcium ($\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$), de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et des dépôts de silice (SiO_2 , CaSiO_3 , MgSiO_3 , etc....)[6].

2) Colmatage par dépôt

Le colmatage par dépôt peut être de deux natures différentes qui peuvent coexister :

- Le colmatage particulaire ou colloïdal : des colloïdes peuvent être agglomérés et adhérer à la membrane. Les colloïdes les plus courants sont des argiles de silicate d'aluminium (0,3-1 μm) et des colloïdes de fer. Les microorganismes déposés font aussi partie de ce colmatage [7].
- Le colmatage par la matière organique : la dégradation de la matière organique produit une matrice de macromolécules appelée acide humique. Les matières organiques dans

les eaux salées sont principalement des substances humiques à des concentrations entre 0,5 à 20 mg .l⁻¹ pour l'eau saumâtre et jusqu'à 100 mg.l⁻¹ de COT pour l'eau de mer en surface [6]

3) Le bio colmatage

Toutes les eaux de mer contiennent des microorganismes tels que des bactéries, des algues, des virus, etc. Ces microorganismes excrètent des substances polymériques extracellulaires qui adhèrent à la surface de la membrane et provoquent la formation d'un biofilm. La première étape de la formation du biofilm est probablement l'adsorption des molécules organiques sur la surface de la membrane. Cette couche organique conditionne la surface de la membrane et améliore l'adhésion des microorganismes. L'étape suivante est donc l'adhésion des microorganismes sur la surface de la membrane conditionnée ; cette étape est suivie par l'adhésion microbienne, la croissance des cellules adhérentes et par la suite la production de polymère extracellulaire. Nous avons vu qu'une eau de mer contient tous les éléments nécessaires pour le développement de micro-organismes. En osmose inverse, le colmatage par biofilm est un phénomène majeur [6,7].

I.7 L'impact du dessalement sur l'environnement marin

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont liés à la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur. Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit, les entraves à l'accès du public et aux loisirs. Les plus importants de ces impacts concernent la qualité de l'air et la qualité de l'eau qui retentissent ensuite sur la flore, la faune et les écosystèmes marins [8].

I.8 L'impact du dessalement de l'eau de mer sur l'environnement

Cet impact provient principalement du rejet (saumure) produit à la cour du dessalement mais aussi des rejets de produits chimiques utilisés dans le nettoyage des modules d'osmose inverse. En effet, ces rejets provoquent des dommages potentiels pour le milieu récepteur

(milieu marin). Bien que les travaux de recherches consacrés à la question soient restreints, le rejet de concentré dans la mer appelle une vigilance particulière et une évaluation scientifiques des impacts sur la faune et la flore [8].

✓ **Impact énergétique**

Les besoins énergétiques liés à l'eau - pompage, Aujourd'hui 1500 unités de dessalement réparties dans 120 pays produisent 40 millions de m³/j à partir d'eau de mer et d'eau saumâtre. transferts, traitements, auxquels le dessalement vient s'ajouter pourraient doubler en 10 ans, pour atteindre 15% de la demande globale d'énergie en 2025, Il faut valoriser les technologies les plus économes (osmose inverse, énergie renouvelables....)[8].

✓ **Impact positif**

- conservation des ressources d'eau souterraines.
- fourniture de l'eau de bonne qualité.
- source fiable à long terme de l'eau.

✓ **Impact négatif**

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La pluparts des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge des saumures. Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentaux : eaux de mer et eaux souterraine. Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directs ou non directs sur l'environnement [8].

- impact indirect sur l'environnement dû à la nécessité d'augmenter la production d'électricité pour l'unité de dessalement.

- impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer
La saumure est un sous-produit du dessalement inviable qui est déchargé généralement dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentré (TDS) est autour 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon contre-vairs pendant beaucoup d'année. Cependant c'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hypersaline au fond de la mer due à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affecte fortement la faune et la flore marines

- impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés dans le nettoyage en prétraitement : En plus de la concentration élevée des sels, la saumure

déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post- traitement de l'unité de dessalement, y compris les agents antitartre.

- Effet des dus aux produits de la corrosion (les métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et le zinc) .
- Effet dus aux additifs antitartres (les phosphate polymère).
- Effet des additifs antis salissures (le chlore).
- Effet des additifs antimousse (les détergents).
- Impact de bruit : le bruit est produit par des pompes à haute pression et par les turbines utilisées par la récupération d'énergie[8].
- Effet nuisible sur l'utilisation de la terre : il Ya un effet nuisible de vue importante sur la conception de la typologie architecturale des bâtiments utilisé à ce genre de construction.
- Impact sur la couche aquifère : les canalisations d'eau de mer et de saumure étendus au dessus de la couche aquifère lui présente un danger.
- Impact socio-économique ; y compris les impacts sur le citoyens Changement de mode de consommation, voir l'utilisation abusive de l'eau sous qu'il est facile de s'en procurer.
 - Concentration accrue de développement et de l'activité dans la zone côtière, migration de population des régions rurales, de l'arrière-pays vers les zones côtières/ suburbaines [8].

✓ **impact de la caléfaction**

La chaleur perdue déchargée des usines thermiques de dessalement (généralement entre 8 et 15 °c au-dessus de la température ambiante d'eau de mer) est finalement marin ; elle a une influence importante sur les propriétés qualité et entraine automatiquement des réponses physiologiques et de des organismes [8].

✓ **Problèmes économiques**

L'un des inconvénients majeurs de la technologie membranaire est à rendre cette technologie coûteuse.

- Le premier est la quantité d'énergie consommée par les systèmes de pompes, en particulier pour L'osmose inverse à haute pression
- Le second est la détérioration des membranes, recherches.

Les membranes utilisées pour l'osmose inverse sont nettoyées chimiquement après plusieurs mois de service. Sur le long terme, les membranes sont remplacées lorsqu'elles deviennent trop souillées et que leur performance se détériore significativement. Cela arrive généralement tous les 3 à 5 ans [8].

I.9 Conclusion

L'étude des différentes technologies de dessalement montre que le choix du procédé dépend de plusieurs critères techniques, économiques et environnementaux. Parmi les solutions disponibles, les procédés membranaires, notamment l'osmose inverse, occupent une place prépondérante grâce à leurs performances et à la qualité de l'eau produite.

Ces éléments constituent une base essentielle pour la conception et l'optimisation des systèmes de dessalement.

CHAPITRE II

Étude botanique de l'alfa



IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous explorons les différents matériaux et produits chimiques employés, en fournissant des précisions sur les méthodes et procédures expérimentales mises en œuvre tout au long de cette recherche.

L'objectif recherché à travers ce travail est la synthèse des nanoparticules métalliques (Ag NPs, ZnNPs, Ag+Zn NPs...) À partir d'un extrait des pelures de *pumpkin*. cette méthode de synthèse permet d'obtenir directement des nanoparticules métalliques bien cristallisées, avec une dimension plutôt précise.

Nous allons expliquer le processus de biosynthèse en milieu aqueux, également connu sous le nom de « réaction verte ». Dans cette section expérimentale, nous avons présenté notre étude:

- La récolte de plante de *pumpkin*. Extraction de extrait de plante et suivit par une évaluation de leur Caractéristiques physico-chimiques.
- La biosynthèse des NPs (AgO, ZnO, Ag/ZnO) en utilisant l'extrait de plante comme agent réducteur.
- Application des NPs dans le domaine de dégradation des polluants organiques et élimination de matière en suspension.

IV.2 Lieu et période de travail

Ce travail a été entièrement réalisé au niveau de l'université 20 aout 1955 Skikda, précisément dans le laboratoire de génie des procédés de la faculté des sciences et technologie et les laboratoires de recherche du laboratoire LGCES, Cette étude a été effectuée durant la période du 10 avril 2025 au 10 juin 2025. Ce travail a pour objectif de biosynthétiser des nanoparticules d'argent (AgNPs) et de zinc (ZnNPs) et le mélange (Ag+Zn NPs) pour des applications dans la photocatalyse.

IV. 3 Matériels et méthodes

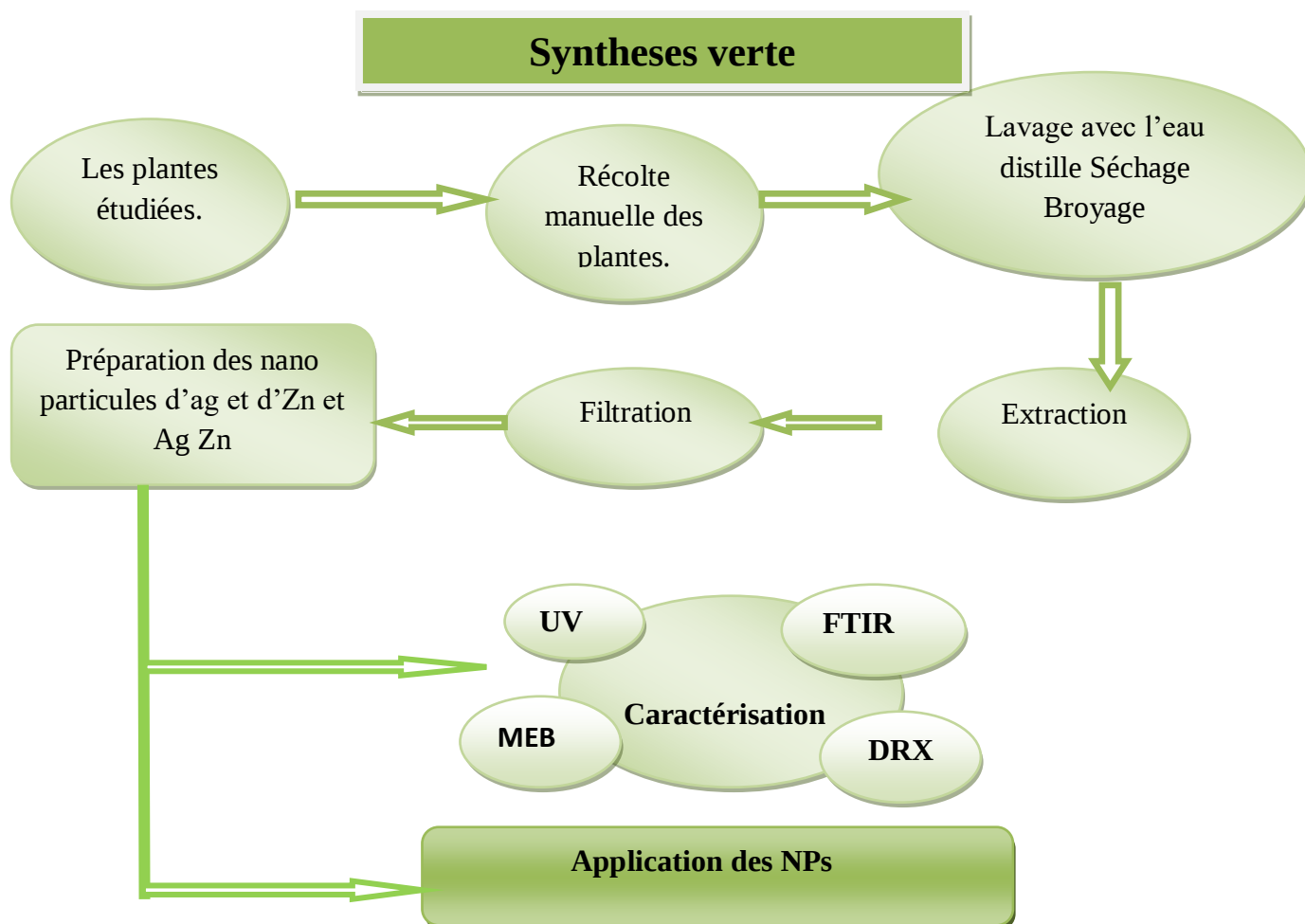
IV.2.1. Matériels végétaux :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude c'est les pelures de *pumpkin*.

Tableau IV.1 Matériels et méthodes utilisées pour l'extraction de la plante.

Produits chimiques	Les appareils utilisés	Matériel de laboratoire
➤ Eau distillée ➤ Ethanol ➤ Cristal violet ➤ toluene ➤ AgNO₃ ➤ ZnSO₄ ➤ NaOH	➤ Balance électrique ➤ Agitateur magnétique ➤ Appareil soxhlet ➤ L'étuve statique ➤ Appareil centrifugeuse ➤ Appareil spectroscopie Ultra-violet UV ➤ Appareil diffraction des rayons X (Drx) ➤ Un Rotavapeur ➤ FT_IR	➤ Béchers ➤ Verre de montre ➤ Spatule ➤ Entonnoir. ➤ Erlenmeyer. ➤ Barreau magnétique. ➤ Papier filtre ➤ Fioles jaugée et Pipetes ➤ Éprouvettes

IV.4 Les différentes étapes de ce chapitre

**Figure. IV. 1** Les étapes de ce chapitre

IV. 5 Synthèse des nanoparticules par chimie verte (synthèse verte)

Nous avons synthétisé les NPs d'oxyde de zinc et oxyde d'argent et le mélange des deux constituants (Ag+Zn) à l'aide de l'extrait des pelures de *pumpkin*. Il est extrait par un solvant organique.

IV.5.1 Préparation de l'extrait de la plante

Lavage : Après la récolte du plantes, D'abord ont été bien lavées à l'eau de robinet pour éliminer les grosses particules (la poussière) présentent dans la plante récoltée puis à l'eau distillée pour éviter la présence des impuretés.

Séchage : Après avoir nettoyé la plante, la matière végétale a été séchée à l'ombre (éviter au soleil pour ne pas perdre ses propriétés) pendant 20 jours à température ambiante.

Broyage : Après le séchage le matériel végétal a été broyé jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

Extraction : Dans l'appareil de soxhlet nous mettons 70g de la plante avec 500 ml d'éthanol pendant 2h. Ensuite, l'extrait est complètement séparé du solvant par un appareil rotavapeur, en fin en met l'extrait à sécher dans l'étuve.

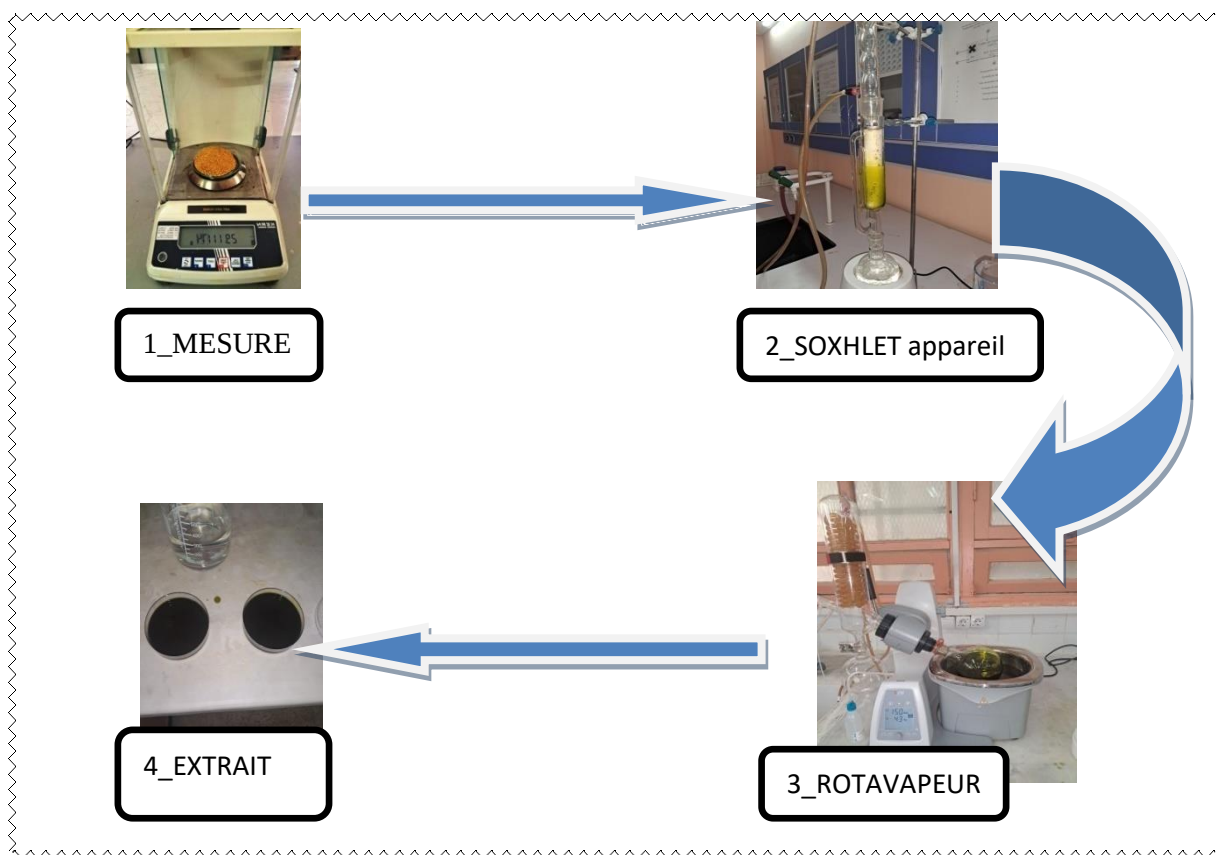


Figure. IV. 2 Extraction des pelures de *pumpkin*.

IV.5.2 Préparation des NPs d'AgO , d'ZnO et Ag/ZnO

Partie 1 : Synthèse des nanoparticules d'argent (AgO)

✓ Préparation de l'extrait végétal

1. Dans un bécher de 1 L, introduire **5 g de l'extrait végétal sec**.
2. Ajouter **500 mL d'eau distillée**.
3. Mélanger à l'aide d'un agitateur magnétique pendant **15 minutes à température ambiante**.
4. Filtrer si nécessaire pour éliminer les particules solides.

Étape 2 : Préparation de la solution de nitrate d'argent (AgNO₃)

1. Dans un autre bécher de 1 L, dissoudre **17 g de nitrate d'argent (AgNO₃)** dans une quantité suffisante d'eau distillée (environ 500 mL).
2. Mélanger jusqu'à dissolution complète pendant **15 minutes**.

Étape 3 : Réaction de réduction (synthèse des NPs)

1. Préparer un bécher de 2000 mL (2 L).
2. Y introduire les deux solutions préparées précédemment (extrait végétal et solution d'AgNO₃).
3. Chauffer le mélange à une température modérée (environ **60–80 °C**) tout en agitant pendant **15 minutes**.
4. Observer un **changement de couleur** (ex. : passage du jaune-brun vers une teinte foncée), indiquant la formation des nanoparticules d'argent.

Étape 4 : Ajustement du pH et précipitation

1. Dans un bécher de 1 L, dissoudre **80 g de NaOH** dans de l'eau distillée (compléter jusqu'à 1 L).
2. Ajouter la solution de NaOH **goutte à goutte** au mélange réactionnel (étape 3), **sous agitation continue**, jusqu'à atteindre un **pH basique** ($\approx 10-11$), et observer un **changement de couleur vers le noir**.
3. Laisser le mélange **reposer (décantation)** pour permettre la sédimentation des nanoparticules.
4. Séparer le précipité (AgNPs) par **centrifugation** ou **filtration**.

Étape 5 : Séchage et stockage

1. Transférer les nanoparticules obtenues dans des boîtes de Pétri ou des capsules en porcelaine.
2. **Sécher dans une étuve à 80 °C pendant 24 heures.**
3. **Conserver les nanoparticules d'argent** sèches dans un récipient hermétique à l'abri de la lumière.

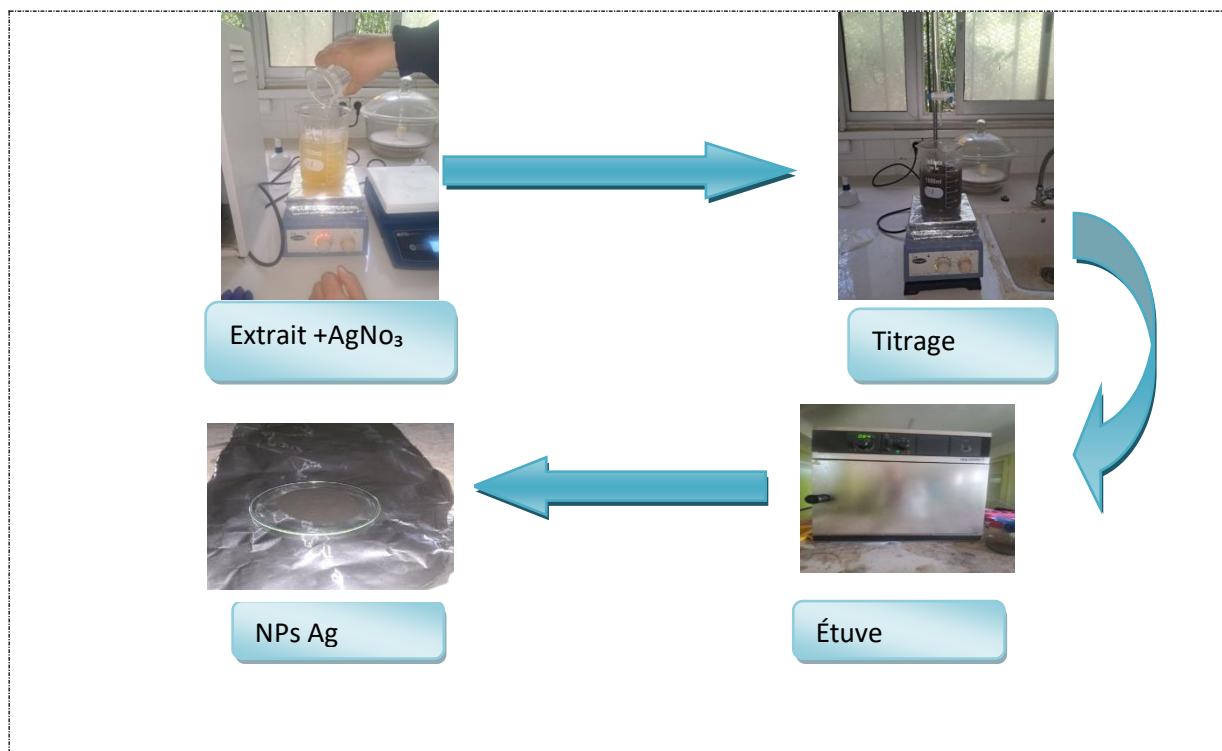


Figure IV. 3 Les étapes de préparation NPs d'Ag

Partie 2 : Synthèse des nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO NPs)**Étape 1 : Préparation de l'extrait végétal**

1. Dans un bécher de 1 L, introduire **5 g d'extrait végétal sec**.
2. Ajouter **500 mL d'eau distillée**.
3. Mélanger à l'aide d'un agitateur magnétique pendant **15 minutes à température ambiante**.
4. Filtrer si nécessaire pour éliminer les impuretés solides.

Étape 2 : Préparation de la solution de ZnSO_4

1. Dans un autre bécher de 1 L, dissoudre **28,7 g de ZnSO_4 (sulfate de zinc)** dans environ **500 mL d'eau distillée**.
2. Mélanger jusqu'à dissolution complète pendant **15 minutes**.

Étape 3 : Réaction de précipitation

1. Dans un grand bécher en verre de 2 L, combiner les deux solutions précédentes (extrait végétal + ZnSO_4).
2. Chauffer le mélange à une température modérée (**60–80 °C**) sous agitation constante pendant **15 minutes**.
3. Observer un **changement de couleur** indiquant la formation des nanoparticules.

Étape 4 : Précipitation par ajustement du pH

1. Dans un bécher de 1 L, dissoudre **80 g de NaOH** dans de l'eau distillée pour atteindre un volume total de **1 L**.
2. Ajouter la solution de NaOH **goutte à goutte** au mélange réactionnel (étape 3), tout en agitant.
3. Continuer l'ajout jusqu'à ce que le pH atteigne une valeur basique ($\approx$ **10–11**) et que la couleur vire vers une teinte sombre (apparition du précipité).
4. Laisser reposer pour permettre la **décantation des nanoparticules**.

Étape 5 : Séchage et stockage

1. Récupérer les ZnO NPs formées par **filtration** ou **centrifugation**.
2. Laver plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer les résidus de sels.
3. Transférer le précipité dans des capsules ou boîtes de Pétri.
4. **Sécher dans une étuve à 80 °C pendant 24 heures**.
5. **Stocker les nanoparticules d'oxyde de zinc** dans un récipient hermétique, à l'abri de l'humidité et de la lumière.

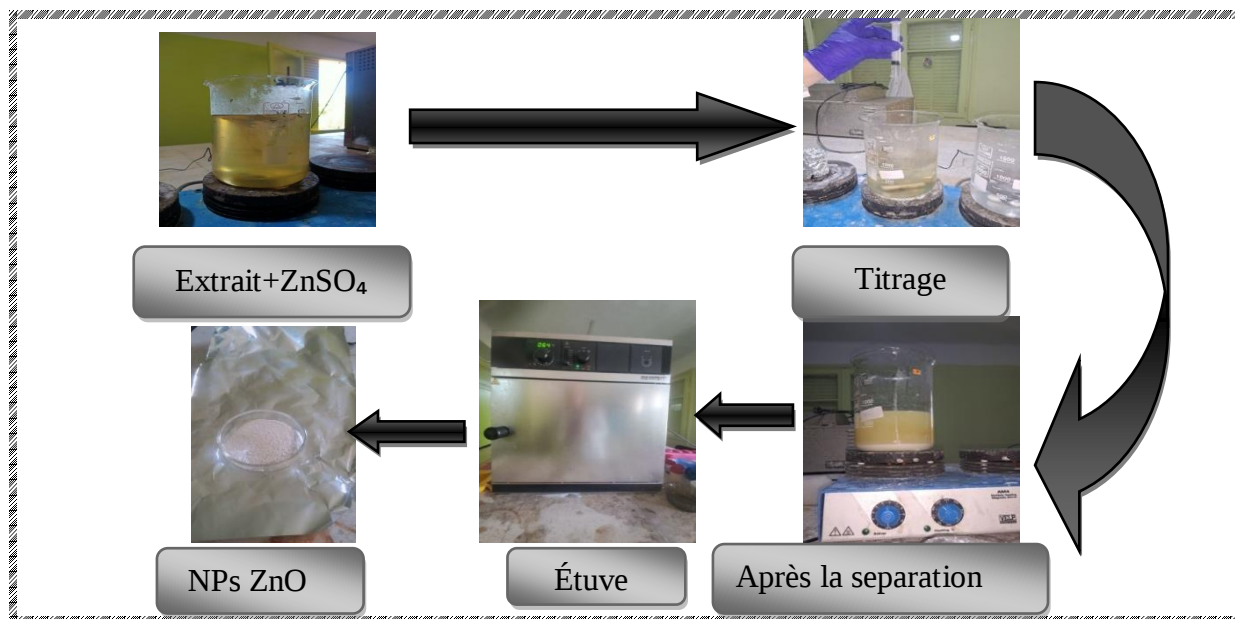


Figure IV. 4 Les étapes de préparation NPs d'ZnO

Partie C : NPs de (Zn+Ag) : les mêmes étapes des synthèses précédemment sauf pour les masses nous mettons 22,96g de ZnSO₄ et 3,4g de AgNO₃.

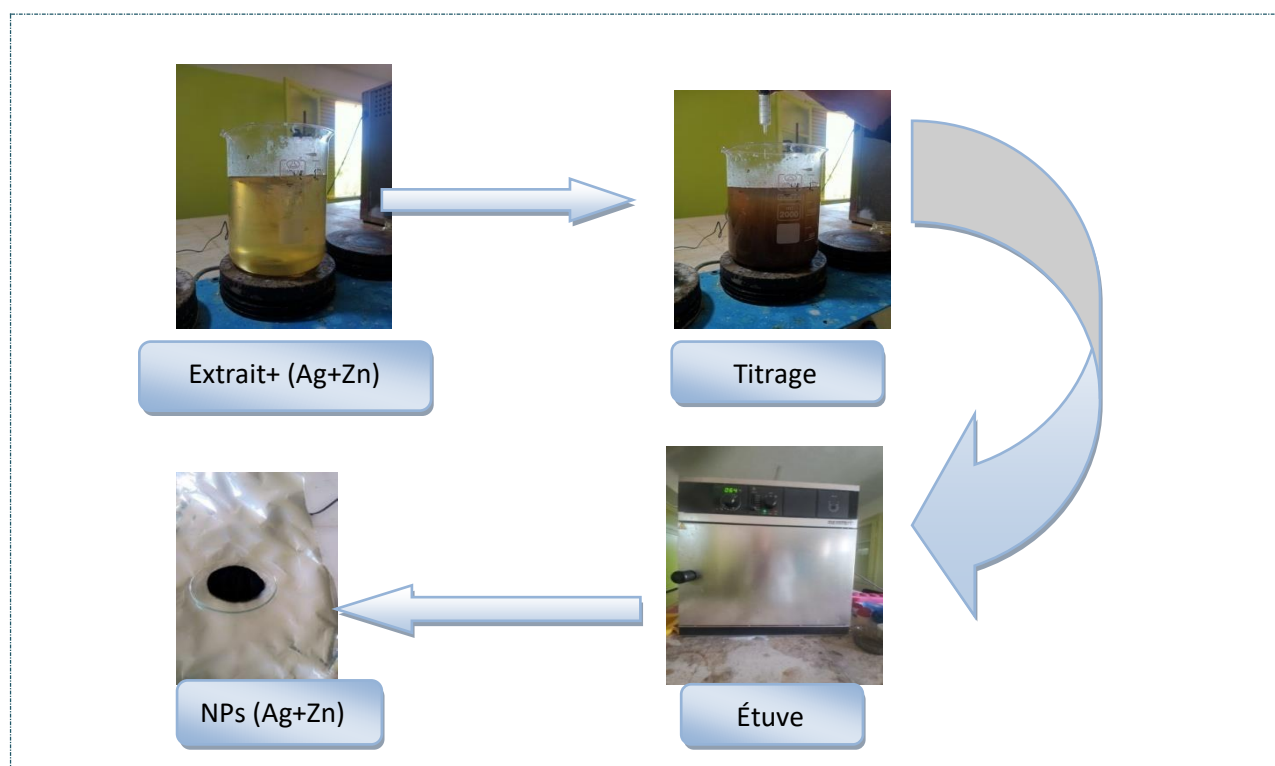
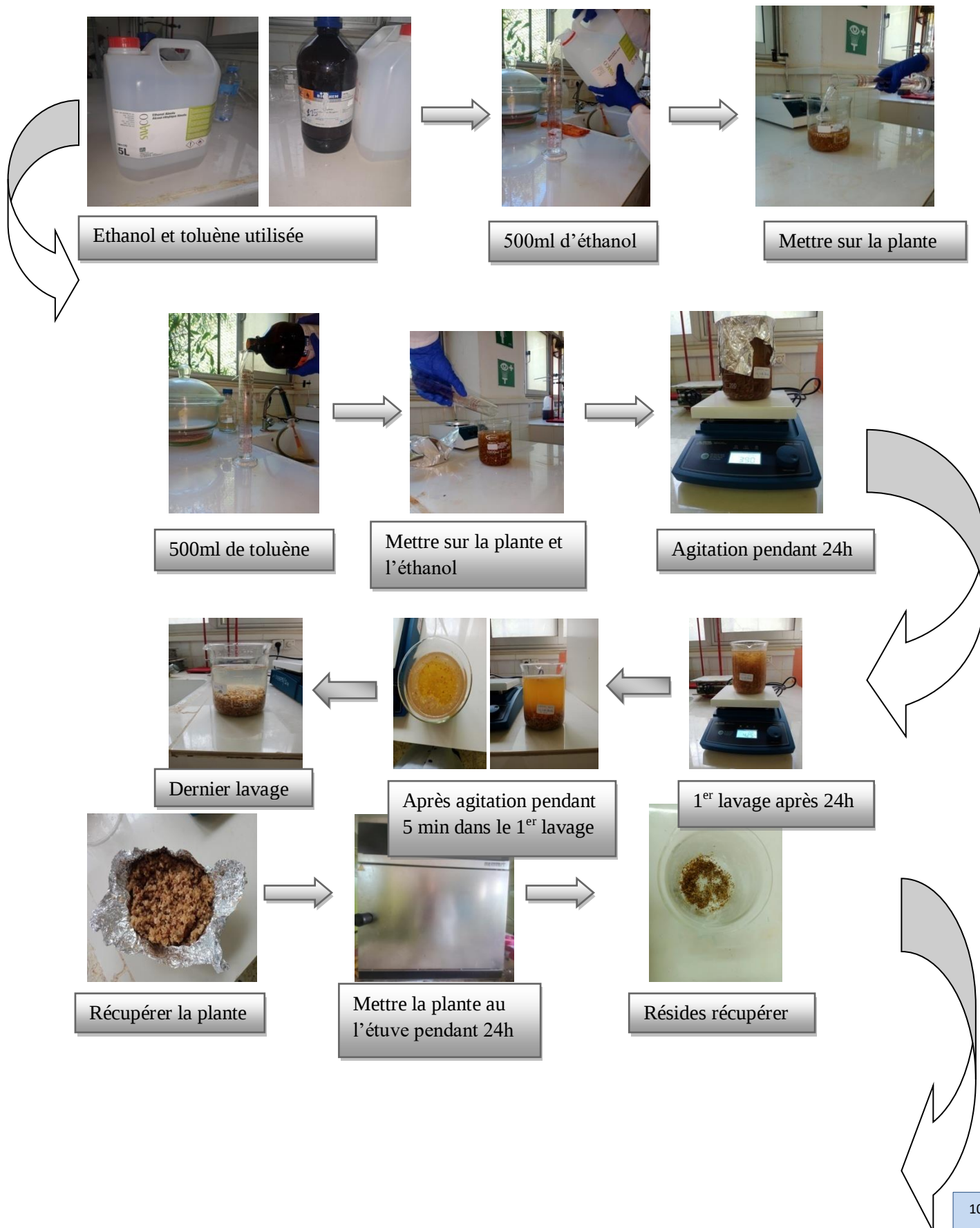


Figure IV. 5 Les étapes de préparation NPs de mélange (Ag+Zn)

IV.5.Procédures d'extraction de la cellulose à partir de pelures de cucurbita

- ❖ **La première étape :** après avoir pesé 40 g d'écorces de citrouille séchées et broyées, elles ont été traitées avec 800 ml d'éthanol et 800 ml de toluène sous agitation pendant 24 heures.
- ❖ **Ensuite :** après 24 heures, égoutter les pelures du mélange toluène-éthanol, laver ce dernier avec de l'eau distillée sous agitation pendant 5 minutes, égoutter les pelures de l'eau et répéter les mêmes étapes pour chaque lavage jusqu'à ce que obtenir une eau distillée parfaitement propre, égoutter les pelures de l'eau et les placer dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 60°C.
- ❖ **Dans la deuxième étape :** après le séchage, le résidu séché est macéré dans une solution aqueuse d'NaOH (préparer une solution de 20% d'NaOH et de 80% d'eau distillée, soit $m=120$ g NaOH et $V= 600$ ml d'eau distillée) sous agitation pendant 4 heures à 60 °C. Après 4h, éteindre le feu et laisser le mélange sous agitation pendant 24h. Les pelures sont soumises à une filtration, cette étape est suivie par un lavage répété à plusieurs reprises avec l'eau distillée, jusqu'à ce que le pH atteigne un état neutre et que les impuretés soient complètement éliminées. Une fois ce stade atteint, le produit est alors séché pour terminer le processus de traitement.
- ❖ **A la fin :** les résidus sont blanchis à l'aide d'un agent blanchissant. Après avoir ajouté 500 ml de javel aux écorces séchées, le mélange est chauffé à 50°C pendant 4h. Au bout de ces 4h, le mélange est laissé à remue pendant 24h. Enfin, on obtient des particules de cellulose blanche après filtration et élimination de la javel, lavage plusieurs fois à l'eau distillée jusqu'à ce que le pH atteigne un état neutre et séchage au l'étuve pendant 24h à 50°C (on obtient 2g de cellulose à partir de la quantité d'écorces utilisée).



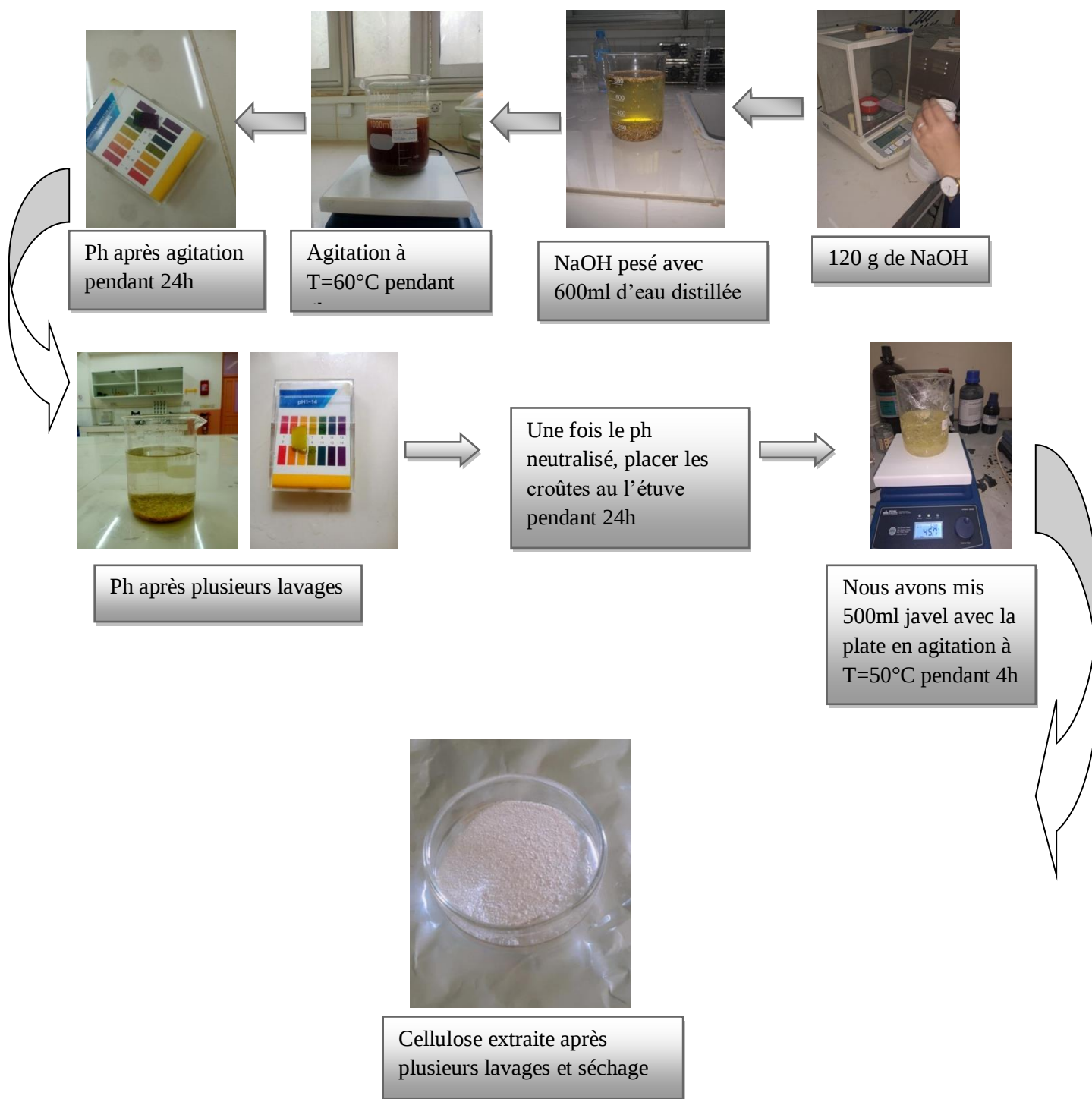


Figure IV.6 les étapes d'extraction de cellulose à partir des pelures de *pumpkin*.

IV.6 Application des nanoparticules

IV.6.1 Dégradation des polluants organiques

a) Les colorants organiques

Les colorants, en particulier, jouent un rôle crucial dans ce processus de transformation. Ces résidus sont communément détectés dans une multitude de secteurs industriels, notamment les textiles, les encres, les plastiques, les cosmétiques et la tannerie, ce qui en fait des polluants industriels récurrents. Il a été démontré que la toxicité de ces substances conduit à leur rejet par les organismes. Il convient de noter que le traitement des systèmes aquatiques peut engendrer des préjudices environnementaux. La photocatalyse hétérogène constitue une approche novatrice pour remédier au problème de la pollution environnementale, en ce sens qu'elle est à même de désagréger la matière organique en composés moins nocifs.

Crystal violet :

Le violet de gentiane, également désigné sous le nom de « cristal violet », appartient à la famille des « violets de méthyle ». Il est principalement employé en diagnostic médical, notamment lors de l'examen bactériologique désigné sous le terme de « coloration de Gram ». Si les bactéries présentes se révèlent capables de fixer efficacement le violet de gentiane, il s'agit de bactéries Gram positives, ce qui constitue une indication essentielle pour le diagnostic et le traitement de la maladie. Par ailleurs, le violet de gentiane possède également des propriétés antiseptiques, qui lui confèrent une utilité dans le traitement du muguet buccal, une affection parasitaire causée par le champignon *Candida*, chez les nourrissons. En outre, le violet de gentiane est employé comme colorant textile et en peinture, en raison de sa capacité à cristalliser sous l'effet de la chaleur et de la pression, un phénomène physico-chimique qui donne à la teinte une nuance de violet.

Tableau 1: La propriété physico-chimique de Cristal violet.

Formule brut	C ₂₅ H ₃₀ CIN
Synonyme	Basic violet 3 ; chlorure de méthyle rosaniline
Masse moléculaire	407,97
Etat physique	Poudre
Couleur	Vert foncé
Solubilité dans l'eau (g/L à 25°C)	4
Odeur	Inodor
point de fusion (°C)	205
Ph	2,0

Inflammabilité explosibilité	Peut s'enflammer ou exploser si ses poudres ou poussière sont mélangées à l'air
------------------------------	---

✚ Evaluation de l'activité photocatalytique :

Afin d'évaluer l'activité photosensible des nanoparticules (d'Ag, de Zn et d'Ag/Zn) obtenues, une approche méthodologique a été développée. Cette approche consistait à suivre la décomposition du cristal violet (CV) selon les étapes suivantes :

Etape 1 :

- Nous élaborons une solution mère (SM) à concentration de 300 ppm, par l'ajout de 0,3 g de CV dans un litre d'eau distillée.
- La concentration initiale de 20 ml de SM ET a été réduite à 15 ppm, ce qui correspond à l'ajout d'eau distillée jusqu'à la complète dissolution de George. (Solution 1)

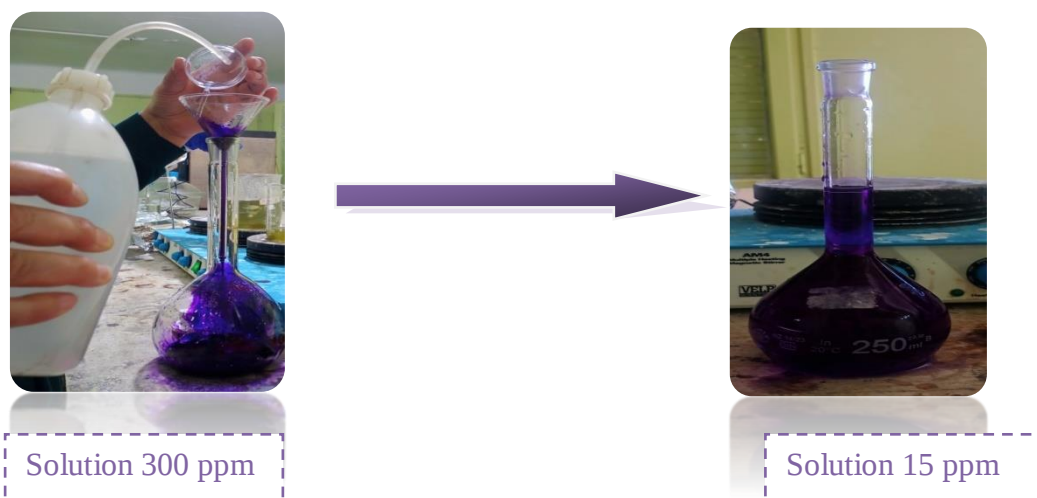


Figure IV.7 préparation de la solution mère

Etape 2 :

✓ Dégradation par NPs d'Ag :

- Verser 250 ml de la solution 1 dans un bécher.
- On ajoute 0,2g des NPs d'Ag avec la solution 1 dans un agitateur.
- On agit pendant une durée de 30 minutes dans une chambre sombre en prenant un échantillon chaque 10minute.

- Ensuite, un processus de rayonnement (sous les rayons du soleil) est effectué et les échantillons restants sont prélevés toutes les dix minutes pendant une heure. Nous avons suivi le processus de décomposition pendant cette période.
- Les échantillons ont été directement introduits dans la centrifugeuse afin de procéder à la séparation des particules du liquide.
- Le taux de dégradation du colorant a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (modèle 1800 de la marque Shimadzu) à une longueur d'onde de 590 nm.

On a répété les mêmes étapes avec une masse de (0,1g des NPs d'Ag)

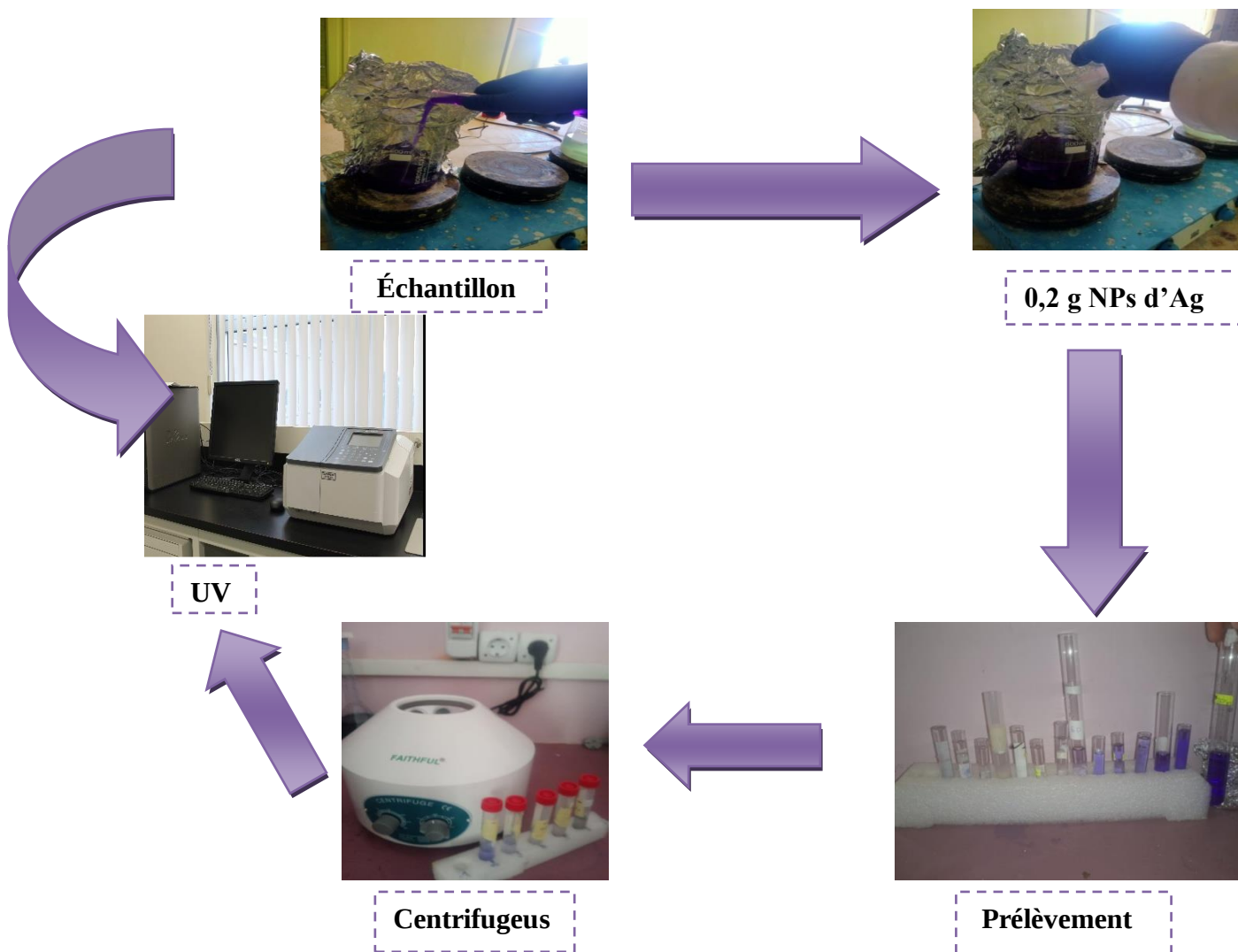


Figure IV.8 les étapes de dégradation de cristal violet en présence de 0.2 g de AgO

✓ **Dégradation par NPs de Zn :**

- Verser 250 ml de la solution 1 dans un bécher.
- On ajoute 0,3g des NPs de Zn avec la solution 1 dans un agitateur.
- L'expérience se déroule dans une chambre sombre, où l'action se poursuit pendant une durée de 30 minutes. La procédure consiste à prélever un échantillon à intervalles de 10 minutes.
- Ensuite, un processus de rayonnement (sous les rayons du soleil) est effectué et les échantillons restants sont prélevés toutes les dix minutes pendant deux heures. Nous avons suivi le processus de décomposition pendant cette période.
- Les échantillons ont été directement introduits dans la centrifugeuse afin de procéder à la séparation des particules du liquide.
- Le taux de dégradation du colorant a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (1800 de Shimadzu) à une longueur d'onde de 590 nm.

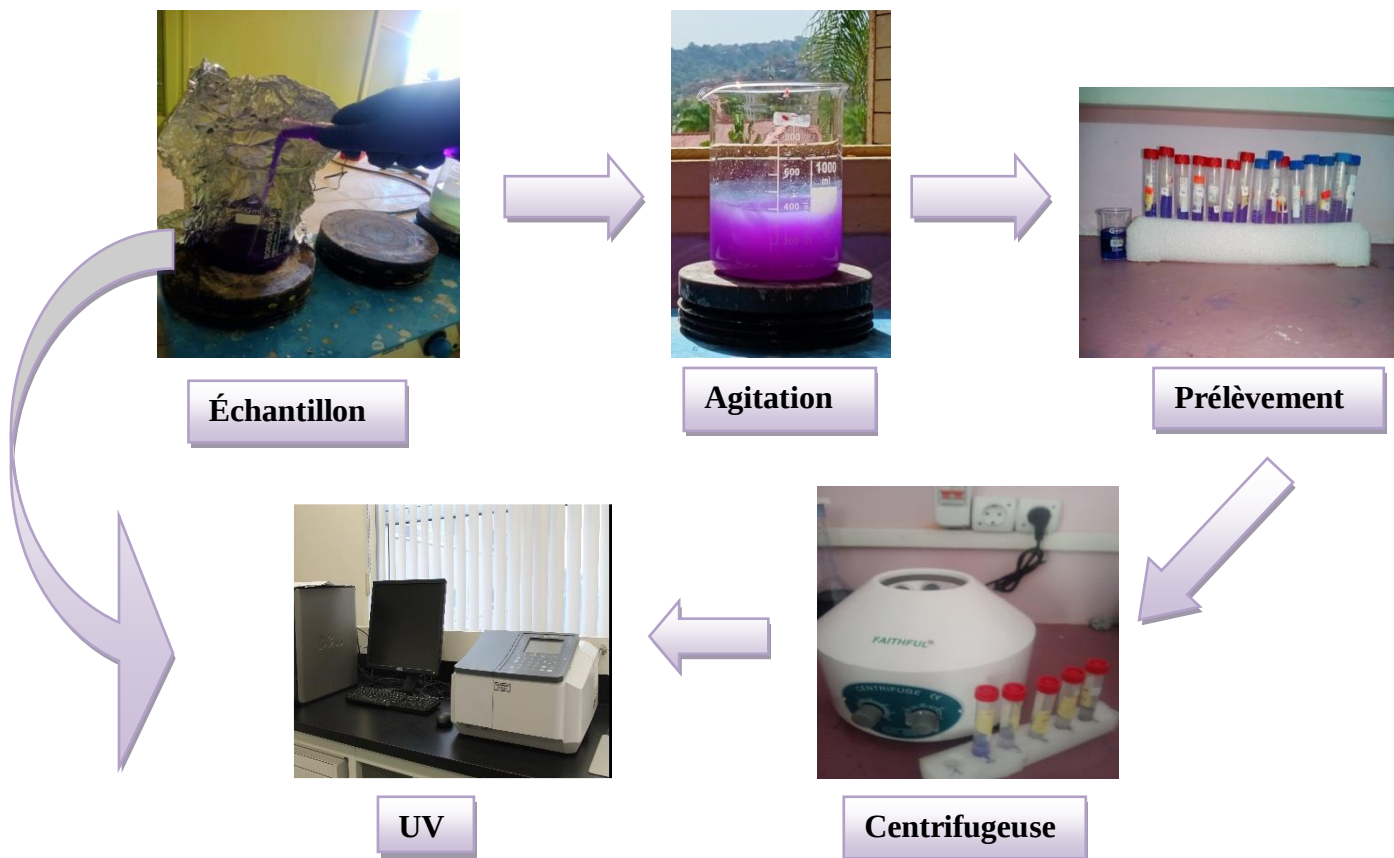


Figure IV.9 les étapes de dégradation de cristal violet en présence de de 0.3 g de ZnO

✓ **Dégradation par NPs de (Ag/ Zn) (20/80) :**

- Verser 250 ml de la solution 1 dans un bécher.
- On ajoute 0,3g des NPs de mélange avec la solution 1 dans un agitateur.
- On agit pendant une durée de 30 minutes dans une chambre sombre en prélèvent un échantillon chaque 10 minutes.
- Ensuite, un processus de rayonnement (sous les rayons du soleil) est effectué et les échantillons restants sont prélevés toutes les dix minutes pendant une heure. Nous avons suivi le processus de décomposition pendant cette période.
- Les échantillons ont été directement introduits dans la centrifugeuse afin de procéder à la séparation des particules du liquide.
- Le taux de dégradation du colorant a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (1800 de Shimadzu) à une longueur d'onde de 590 nm.

On a répété les mêmes étapes avec les masses des (0,1g et 0,2g et 0,3g de Ag/ZnO)

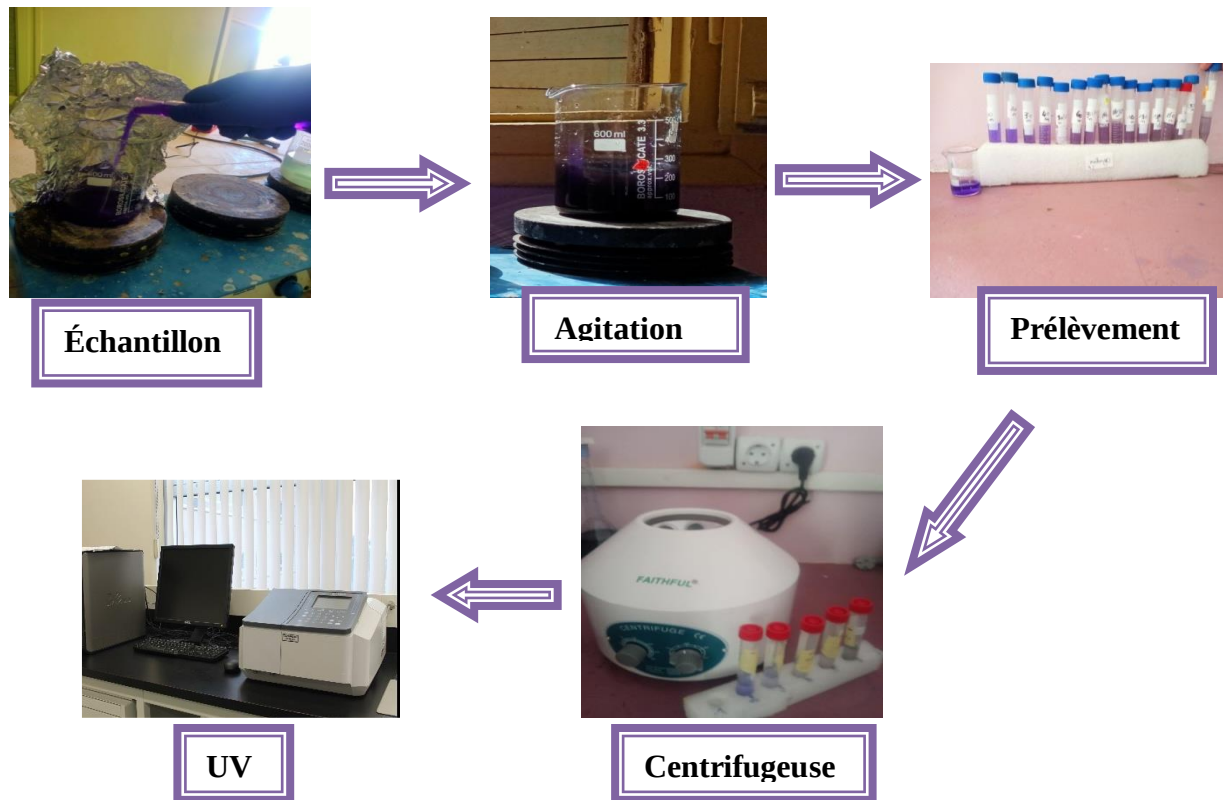


Figure IV.10 les étapes de dégradation de cristal violet en présence de de 0.3 g d'Ag /ZnO

✓ **Dégradation par cellulose :**

- Verser 250 ml de la solution 1 dans un bécher.
- On ajoute 0,3g de cellulose avec la solution 1 dans un agitateur.
- On agit pendant une durée de 30 minutes dans une chambre sombre en prélevant un échantillon chaque 10 minutes.
- Ensuite, un processus de rayonnement (sous les rayons du soleil) est effectué et les échantillons restants sont prélevés toutes les dix minutes pendant une heure. Nous avons suivi le processus de décomposition pendant cette période.
- Les échantillons ont été directement introduits dans la centrifugeuse afin de procéder à la séparation des particules du liquide.
- Le taux de dégradation du colorant a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (1800 de Shimadzu) à une longueur d'onde de 590 nm.

On a répété les mêmes étapes avec les masses des (0,05 g, 0,1g et 0,2g de cellulose)

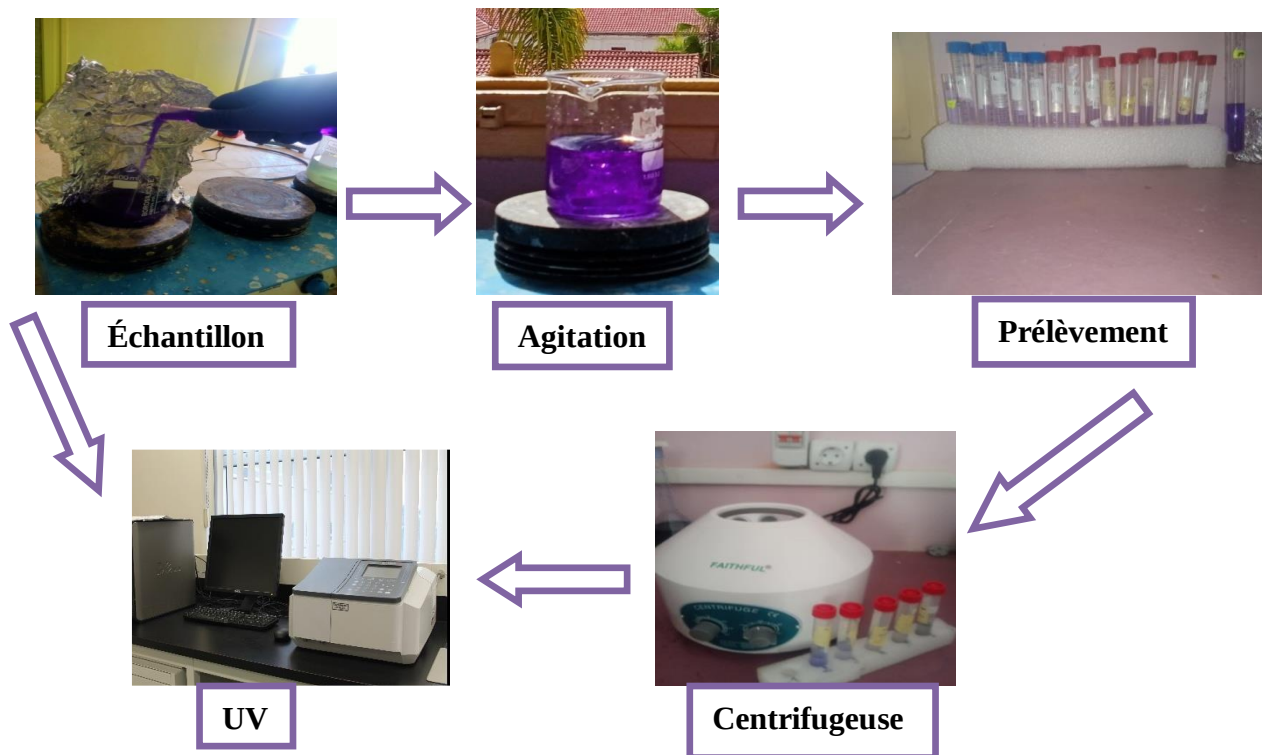


Figure IV.11 les étapes de dégradation de cristal violet en présence de de 0.3 g de cellulose

✓ **Dégradation par plante brute :**

- Laver soigneusement la plante plusieurs fois avec de l'eau distillée et la sécher pendant 24h à l'étuve.
- Verser 250 ml de la solution 1 dans un bécher.
- On ajoute 0,4g de plante brute avec la solution 1 dans un agitateur.
- On agit pendant une durée de 30 minutes dans une chambre sombre en prélèvent un échantillon chaque 10 minutes.
- Ensuite, un processus de rayonnement (sous les rayons du soleil) est effectué et les échantillons restants sont prélevés toutes les dix minutes pendant une heure. Nous avons suivi le processus de décomposition pendant cette période.
- Les échantillons ont été directement introduits dans la centrifugeuse afin de procéder à la séparation des particules du liquide.
- Le taux de dégradation du colorant a été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre UV-vis (1800 de Shimadzu) à une longueur d'onde de 590 nm.

On a répété les mêmes étapes avec les masses des (0,1g, 0,2g et 0,3g de plante brute)

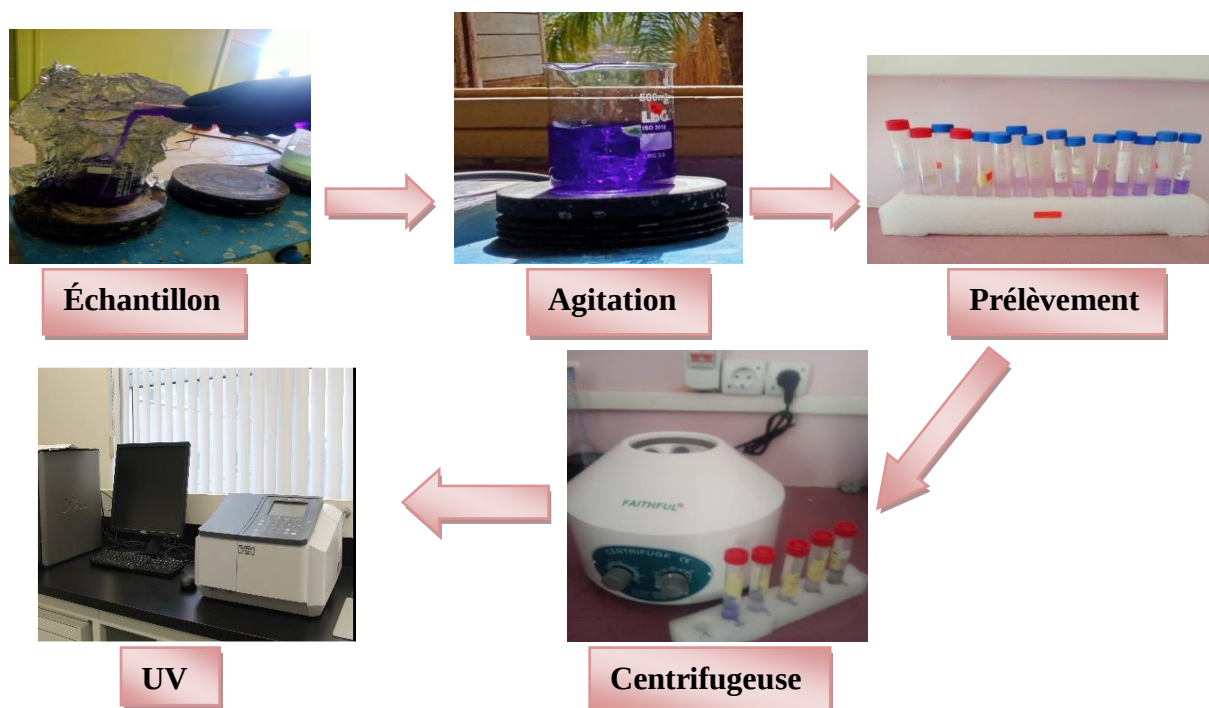


Figure IV.12 les étapes de dégradation de cristal violet en présence de 0.4 g de plante pure

IV.6.2. Elimination des matières en suspension d'eau de rejeté (RA2K) :

A travers notre expérience à laboratoire d'analyse de RA2K, nous avons utilisé l'eau de rejeté d'unité 501 avant le traitement physico-chimique (dans cette étude on utilise les NPs de "Ag", " Zn ", "Ag+Zn", cellulose et plante brute).

Etape 1 :

- On prendre 0,3 et 0,4 g de plante brute
- 0,3 de NPs de mélange (Ag+Zn)
- 0,3 de cellulose
- On ajout 400 ml d'eau de rejete dans un bécher de verre de 800 ml pour chaque masse
- On fait l'agitation pendant une 24h dans jar test avec une vitesse de 165 RPM

IV.7 Conclusion :

Nous avons présentées dans ce chapitre la méthode d'extraction de plante étudiée et la méthode d'extraction cellulose et leur application ainsi que la méthode de synthèses de différentes nanoparticules, ensuite les différents méthodes de caractérisations et d'application.

CHAPITRE III

Matériels Et Méthodes



V.1 Introduction

Ce travail a été consacré sur l'étude de la méthode de synthèse des trois nanoparticules qui sont AgO, ZnO et Ag/ ZnO(20/80) à base *de pelures de pumpkin* par l'application des ces nanoparticules dans la photodégradation d'une solution aqueuse du Cristal Violet(300ppm) et dans le traitement des eaux usées industriel(**RA2K**), on va présenter dans lequel, tous les résultats trouvés lors de la synthèse des ces nanoparticules et leurs application. Nous avons utilisées la méthode spectrophotométrique pour faire l'étude cinétique de l'élimination de ce polluant et la mesure des différents paramètres physicochimiques pour la dépollution de l'eau usée.

V.2. La synthèse vert des nanoparticules de AgO , Ag/ZnO et ZnO

Les extraits végétaux agissent comme agents réducteurs et stabilisants pour la biosynthèse. La bioréduction consiste à réduire les ions métalliques ou les oxydes métalliques en NPs métalliques à valence nulle à l'aide de composés phytochimiques comme les tanins, les polysaccharides, les composés polyphénoliques, les vitamines et les acides aminés. Il a été rapporté que l'extrait *de pelures de pumpkin* contiennent des alcaloïdes, des flavonoïdes, des saponines, des stéroïdes, des terpénoïdes, etc. [1,2]

Les flavonoïdes, l'acétanine et le kaempférol sont des composants actifs dans ces extraits des deux plantes et possèdent un grand nombre de groupes hydroxyle et carbonyle. Les groupes fonctionnels peuvent être responsables de la réduction d'oxyde métallique en nanoparticules d'oxyde métallique par l'intermédiaire de liaisons coordonnées. Les ions métalliques formeront une structure de réseau tridimensionnelle avec des flavanoïdes et les réseaux résultants subiront une lente décomposition à haute température conduisant à la formation de divers autres flavanoïdes et alcaloïd [3,4] Peut être représenté sur la figure V.1. L'agglomération et la polymérisation lient plus fortement les métaux et aboutissent à la formation d'une structure complexe.

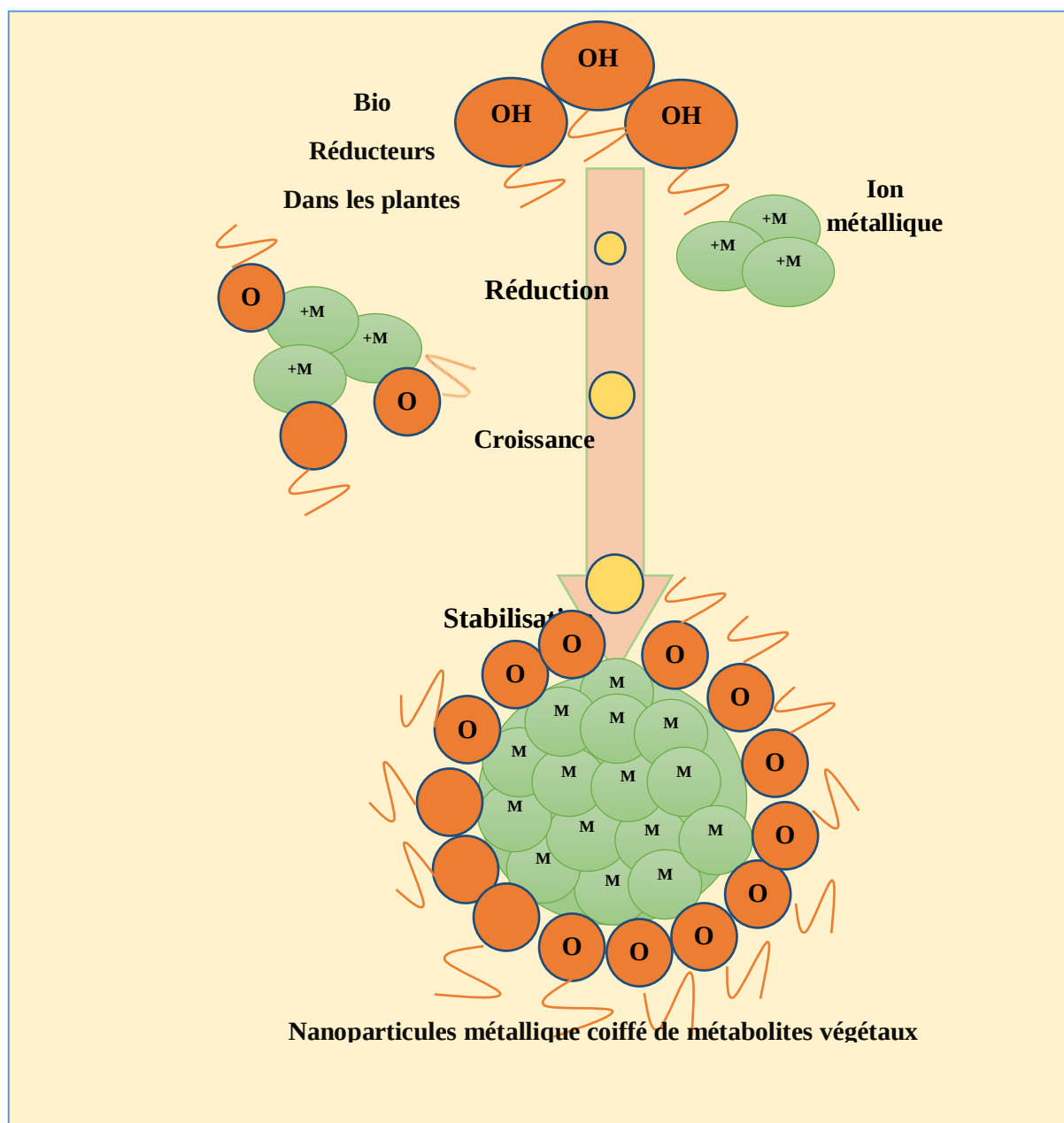


Figure V.1 Un mécanisme possible pour la synthèse verte des NPs

Dans notre étude, nous avons réalisées la synthèse des trois nanoparticules qui sont : ZnO, AgO et Ag/ZnO. La figure V.2 présente le mécanisme propose pour la synthèse de ZnO en présence de pelures de pumpkin.

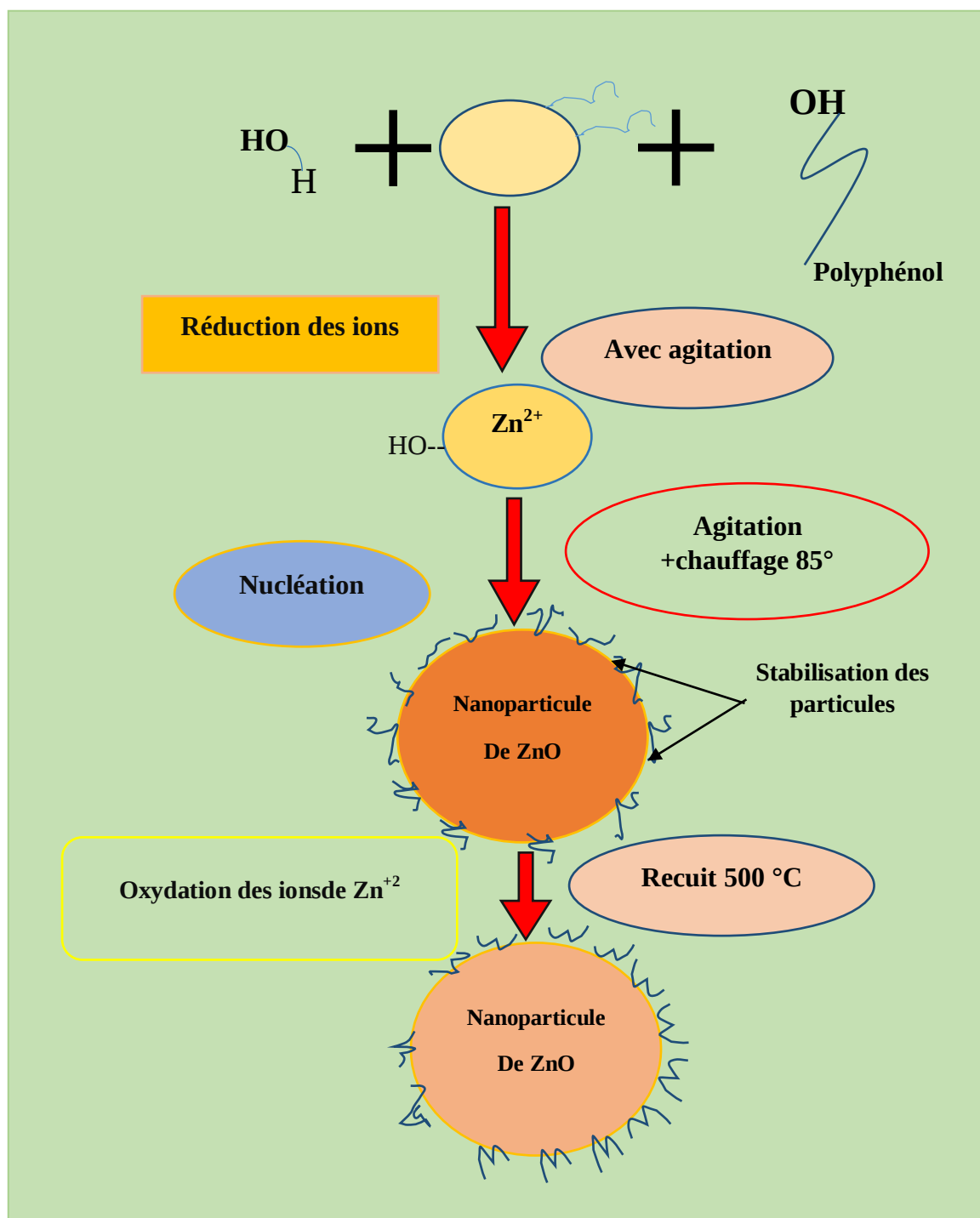


Figure V.2 Un mécanisme possible pour la synthèse verte de ZnO.

Le mécanisme de formation des nanoparticules d'Ag est tiré de la littérature en tenant compte du fait que l'extrait de la plante est très riche en polyphénols. La présence de Ag^+ provoque l'oxydation des groupement hydroxyles pour former un complexe d'argent intermédiaire puis une quinone et des ions Ag^+ , ces derniers sont réduits en Ag métallique en présence d'électrons libres (figure V.3).

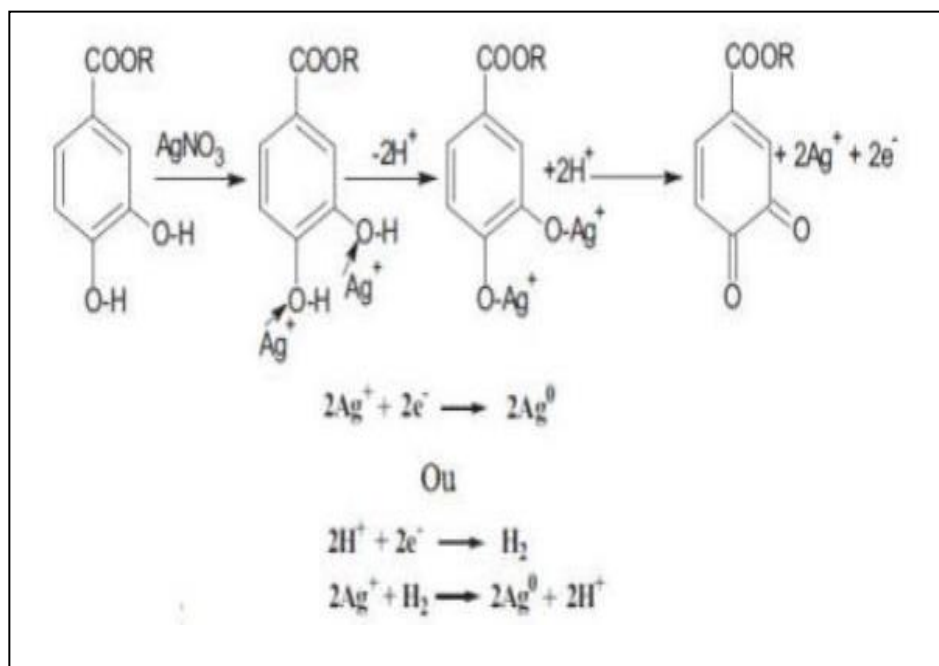


Figure V.3 Mécanisme de la réaction des d'Ag NPs.

La stabilité colloïdale des nanoparticules est assurée par l'interaction entre les hydrogènes du groupement phénolique de l'extrait aqueux et les nanoparticules d'argent chargées négativement.[5]

V.3. Caractérisation de Ag O. Zn O et Ag/ZnO

V.3.1 Analyse FTIR *pelures de pumpkin*.

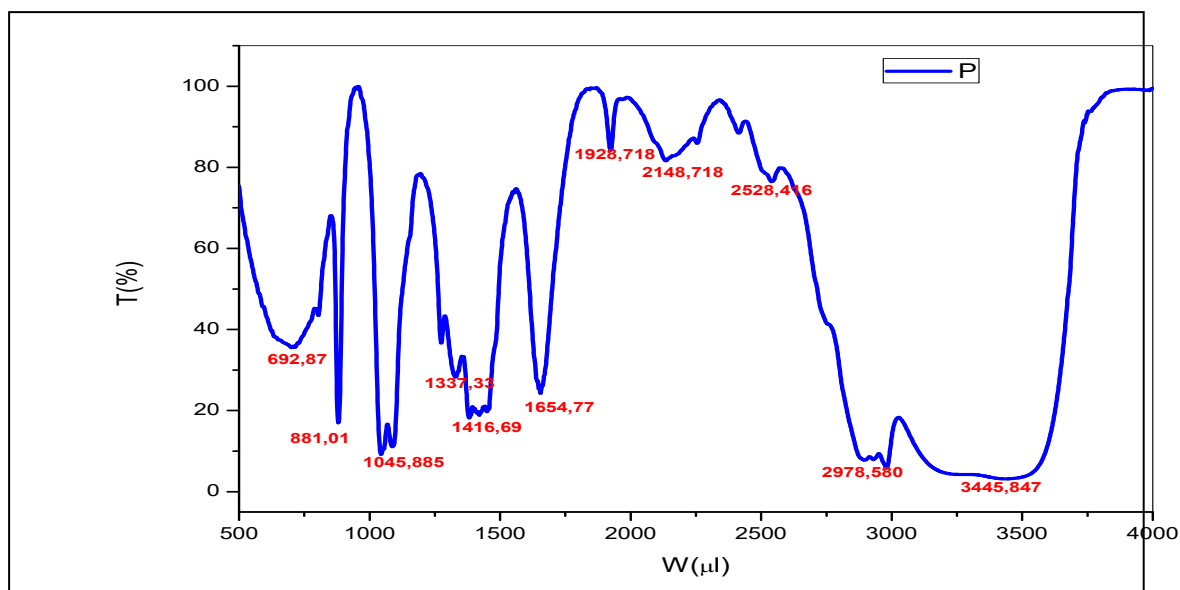


Figure V.4 Spectres FTIR de l'extrait de pelures de pumpkin

Le spectre FTIR de l'extrait d'écorce de courge *Cucurbita moschata* a montré des pics principaux à 3156 - 3302, 2931, 1560, 1393 et 1036 cm^{-1} . La présence de groupes fonctionnels au pic de 3446 cm^{-1} indiquait la présence de groupes fonctionnels O-H, tandis que la plage de 3200 cm^{-1} à 3310 cm^{-1} indiquait la présence de groupes O-H sur des polyphénols, des protéines/enzymes ou des polysaccharides/glucides. Un pic à 2978 cm^{-1} indiquait la présence de CH_2 . Un pic à 2528 indiquait une bande faible, souvent associée à des groupes thiol ($-\text{SH}$) ou parfois à des impuretés, peu courante mais peut indiquer des composés soufrés. Un pic à 2149 indiquait la présence de Vibration d'élongation $\text{C}\equiv\text{C}$ ou $\text{C}\equiv\text{N}$: alcynes ou nitriles, groupements rares mais possibles dans certains métabolites secondaires.

Le pic dans l'intervalle 1922 – 1929 indique une Bande inhabituelle pour des composés organiques simples, parfois observée dans les composés conjugués, ou bandes combinées (overtones). Un pic à 1655 cm^{-1} indiquait la présence d'un Vibration $\text{C}=\text{O}$ (cétones, amides) ou $\text{C}=\text{C}$ (alcènes) conjuguée : indique la présence de protéines (liaison peptidique) ou de composés phénoliques conjugués. Le pic de 1 393 cm^{-1} indique la présence de C-H et le pic de 1 046 cm^{-1} indique la présence de phosphate (PO_4^{3-}). [6] L'existence de ces groupes fonctionnels joue un rôle essentiel dans le processus de synthèse des nanoparticules [7,8,9]

Des groupes fonctionnels tels que l'hydroxy (OH) agissent comme agents stabilisants dans la biosynthèse des nanoparticules de ZnO. Selon Chang et Waclawik (2012), ce groupe fonctionnel agit comme un ligand qui donne une paire d'électrons à l'orbitale Zn^{2+} . Zn^{2+} et le groupe polaire forment ensuite des composés complexes dans des matrices nanométriques. Les composés complexes se forment par des liaisons covalentes de coordination entre ligands et métaux. Le ligand donne une paire d'électrons à l'ion métallique, fournissant ainsi l'orbitale vacante. Les ions métalliques agissent comme des acides de Lewis, tandis que les ligands agissent comme des alcalins de Lewis. Le composé complexe formé présente un effet chélateur plus stable. Les nanoparticules de ZnO se sont formées après le processus de calcination.

V.3. 2 Analyse UV des nanoparticules d'Ag, ZnO et Ag/ZnO(20/80)

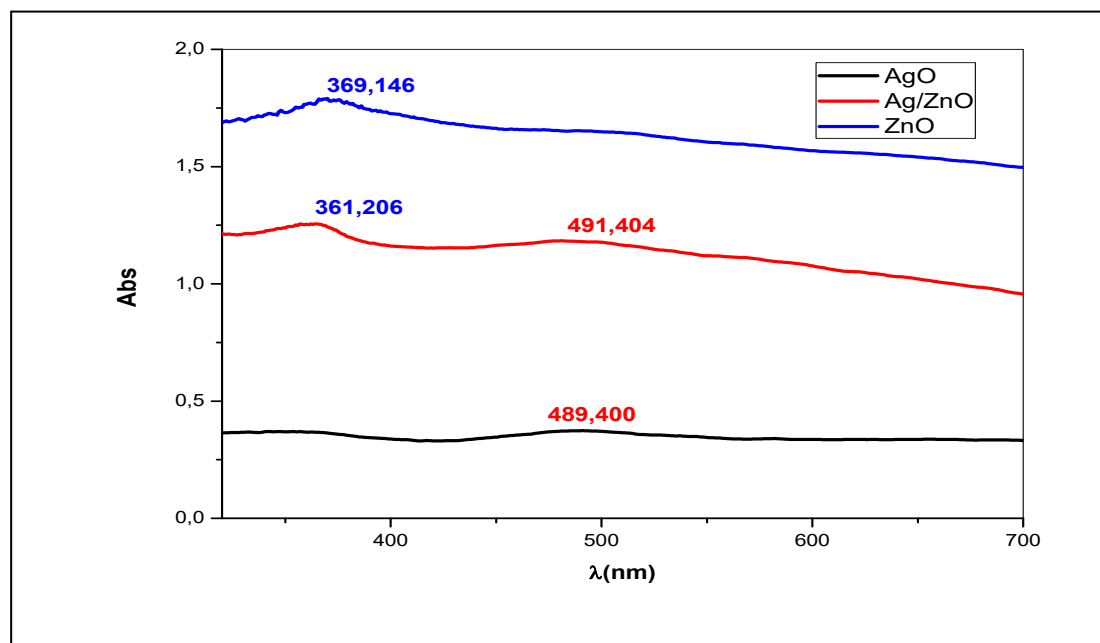


Figure V.5 Analyse UV des nanoparticules d'Ag, ZnO et Ag/ZnO(20/80)

La figure montre le spectre d'absorption UV-Vis des nanoparticules d'oxyde de zinc (NP de ZnO) pour de pelures de pumpkin (Fig V.5), où le pic d'absorption apparaît à une longueur d'onde de 373 nm. Les nanoparticules d'oxyde de zinc présentent un pic d'absorption compris entre 200 et 400 nm [10]. nous observons une différence de longueur d'onde, où le pic d'absorption de l'extrait atteint 369.15 nm.[11]

Dans le cas d'Ag/ZnO, l'intensité de la bande d'absorption dans l'ultraviolet diminue, mais la bande est légèrement décalée et élargie dans le visible par rapport au ZnO [12]. Ce décalage vers le rouge de l'absorbance UV est attribué aux nanoparticules de ZnO de type n. La forte interaction entre l'élément d des ions Ag^+ et les électrons s et p du ZnO hôte entraîne un décalage vers le rouge notable du spectre d'absorption. Ce décalage est dû à un effet de renormalisation, dû à l'interaction d'échange entre les électrons d localisés d' Ag^+ et les électrons des bandes s et p du ZnO. Cette interaction, en particulier l'échange s-d et p-d dans le nanomatériau, entraîne des corrections des bords de la bande de valence et de la bande de conduction, réduisant ainsi la bande interdite [13].

V.3.3 Analyse DRX

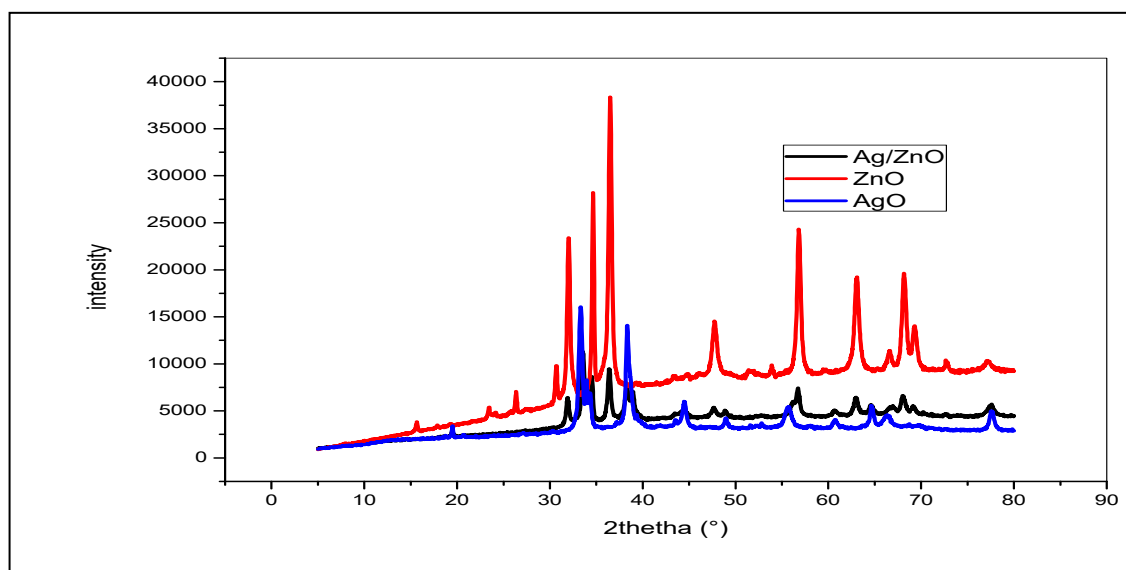


Figure V.6 Analyse DRX des nanoparticules d'AgO, ZnO et Ag/ZnO

Les diagrammes de diffraction des rayons X des nanoparticules de ZnO et de ZnO dopées à l'argent sont présentés dans la Figure V.6. Les nanoparticules de ZnO pur ont présenté des pics de diffraction distincts aux valeurs 2θ de $31,76^\circ$, $34,63^\circ$, $36,33^\circ$, $47,67^\circ$, $56,61^\circ$, $62,97^\circ$, $66,55^\circ$, $67,15^\circ$, $68,14^\circ$, $72,72^\circ$ et $77,08^\circ$, qui correspondent à la structure cristalline hexagonale de wurtzite de ZnO, conformément à la carte JCPDS n° 36-1451. En ce qui concerne le ZnO dopé à l'Ag, des pics supplémentaires sont apparus aux valeurs 2θ de $33,37^\circ$, $44,3^\circ$ et $64,49^\circ$, indiquant la présence d'argent métallique dans la phase cubique à faces centrées (FCC), comme référencé par la carte ICSD n° 52362[14,15]. La taille moyenne des cristallites des nanoparticules a été calculée via l'équation de Scherrer .

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Où D est la taille des particules en nm, λ est la longueur d'onde du rayonnement ($1,54056 \text{ \AA}$ pour le rayonnement Cu $K\alpha$), k est une constante égale à 0,9, β est la largeur du pic à mi-intensité maximale (FWHM) et θ est la position du pic. La taille cristalline moyenne des nanoparticules de ZnO, d'Ag/ZnO et d'Ag est respectivement de 26,096 ; 30,714 et 56,516nm [16].

V.4. Etude de photodégradation

V.4. 1. Etablissement de la courbe d'étalonnage du cristal violet

La Figure IV.7 représente la courbe d'étalonnage du colorant Cristal Violet. La courbe d'étalonnage est linéaire sur l'intervalle de concentrations choisies. Grace à l'application de la loi de Beer-Lambert, la valeur 8 ppm en Cristal Violet expérimentalement choisie pour notre étude réactionnelle est vérifiée dans ce domaine de concentrations.

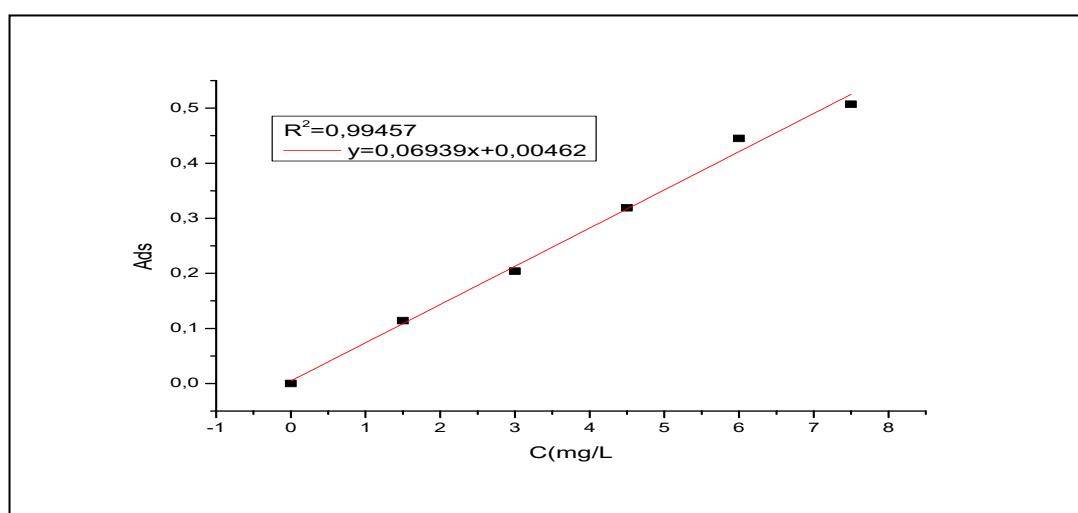


Figure V.7 Courbe d'étalonnage Cristal Violet au maximum d'absorbance

V.4. 2 Rendement de l'activité

Dans ce partie, nous avons étudiés l'activité photocatalytique des nanoparticules de AgO, ZnO et Ag/ZnO synthétisées a partir des *pelures de pumpkin*. Ces nanoparticules sont utilisées pour la dégradation du Cristal Violet. Le premier pas de notre essai est consacré à l'adsorption de colorant en solution à la surface du catalyseur, Le phénomène d'adsorption provoque une baisse plus ou moins importante de la concentration du colorant en solution, en termes de couple catalyseur/colorant en solution. Il y a un transfert de matière de la solution vers la surface du catalyseur. Pour étudier précisément les cinétiques de dégradation photo catalytique, il faut démarrer l'irradiation une fois l'équilibre d'adsorption est atteint. L'étape d'adsorption se déroule à l'obscurité jusqu'à ce que l'état d'équilibre de concentration soit atteint. En pratique, au bout d'un temps égal à 30 minutes. Le pourcentage de dégradation photocatalytique a été déterminé à l'aide de l'équation (1). [17]

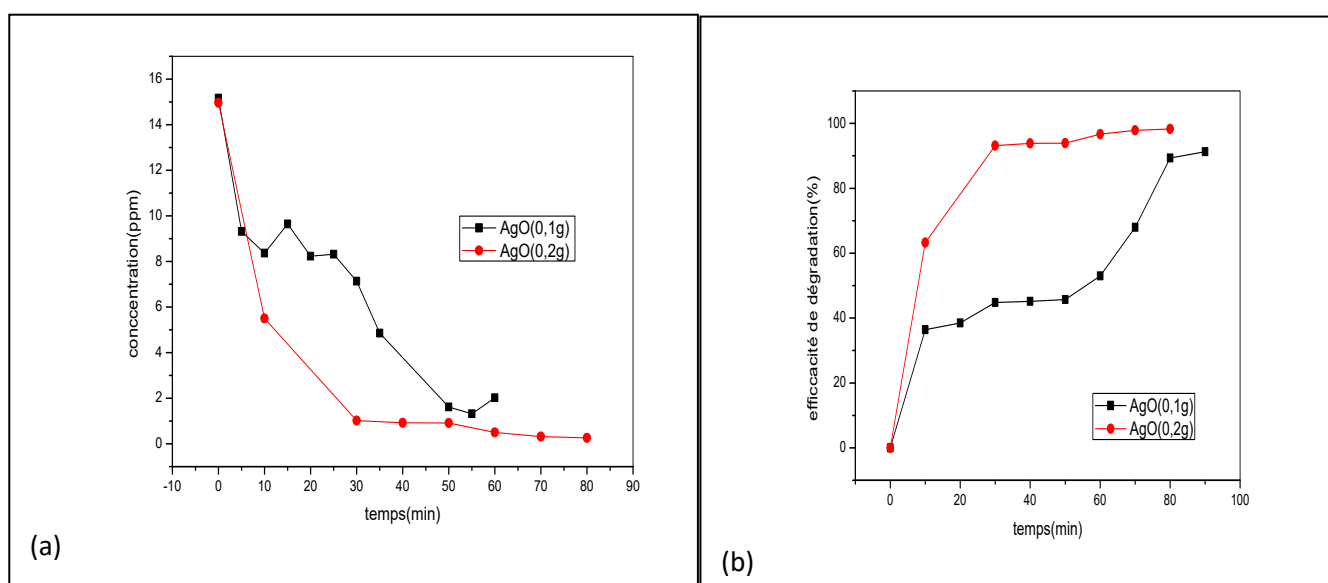
$$\text{Dégradation photocatalytique (\%)} = \frac{(C_0 - C_F)}{C_0} \times 100$$

Où : C_0 est la concentration initial de colorant, C_F est la concentration de colorant après dégradation

V.4. 3. l'Efficacité de dégradation de cristal violet en présence d'AgO, ZnO et Ag/ZnO(20/80) en différents masses

L'absorption UV pour l'activité catalytique du ZnO ; AgO et Ag/ZnO sur la photodégradation du cristal violet est respectivement à 590nm. La figure V.8 montre la variation de la concentration des colorants en fonction du temps pour une quantité donnée de catalyseur (0.1et 0.2g AgO ; 0.3g de ZnO ; alors que pour le mélange Ag/ZnO(20/80) vous avez testés les masses 0.1, 0.2 et 0.3g. Nous avons remarqués que la couleur de solution passe du mauve foncé à l'incolore, on peut en déduire que les chromosphères conjuguées de colorant subissent un clivage complet conduisant ainsi à une photodégradation. La concentration de radicaux $OH^\cdot$ dans le système augmente en fonction de temps et conduit à une décomposition rapide du colorant jusqu'à atteindre une dégradation total de cristal violet après une 70 min du temps dans la solution contenant 0.3 g de mélange (Ag+Zn) synthétisées. Une fois la dégradation terminée, la surface du catalyseur fournit des sites pour une dégradation ultérieure. Il est largement admis que les nanoparticules d'Ag sur la surface de ZnO en piégeant les porteurs de charge photo-induits, augmentent la durée de vie de (e^-/h^+) , ce qui entraîne une amélioration de l'activité photocatalytique [18,19]

L'efficacité de dégradation de Cristal Violet en présence de ZnO, AgOet Ag / ZnO a été tracée en fonction du temps et sont représentés sur la figure 7 (b et d). On observe que le pourcentage de dégradation augmente avec le temps d'exposition et que le ZnO dopé à l'argent présente une efficacité de photodégradation plus élevée que le ZnO non dopé[20,21].



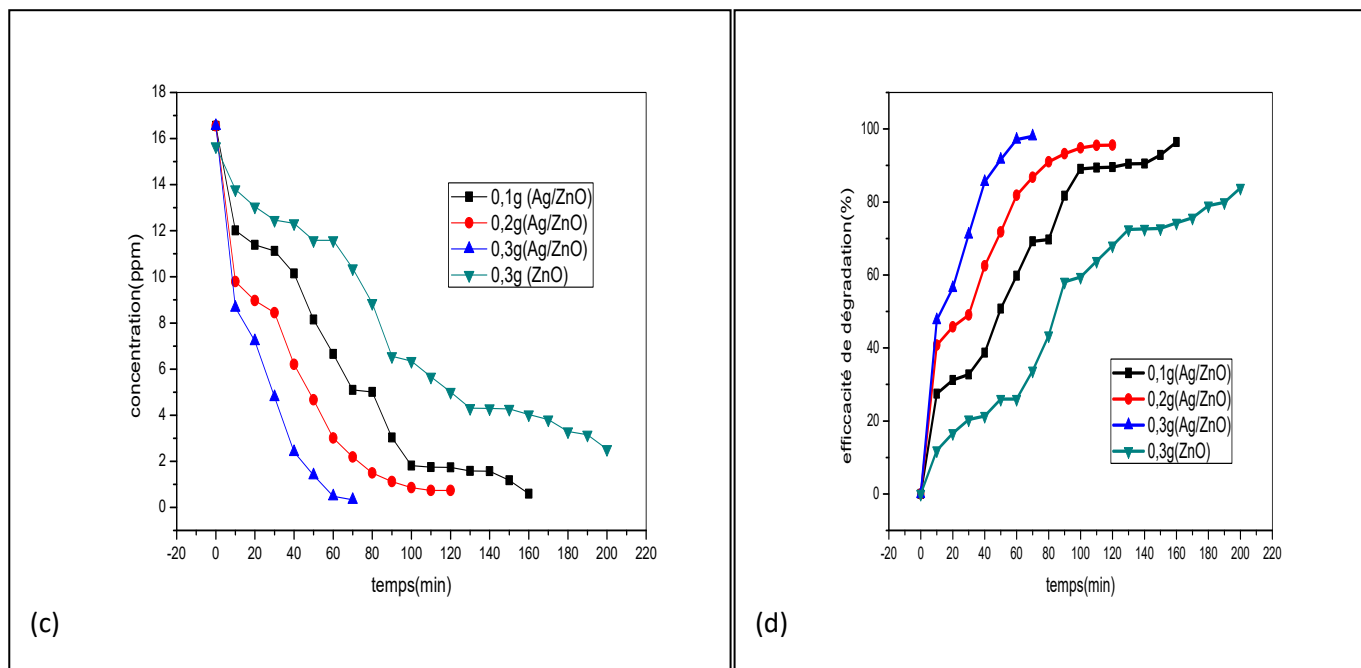


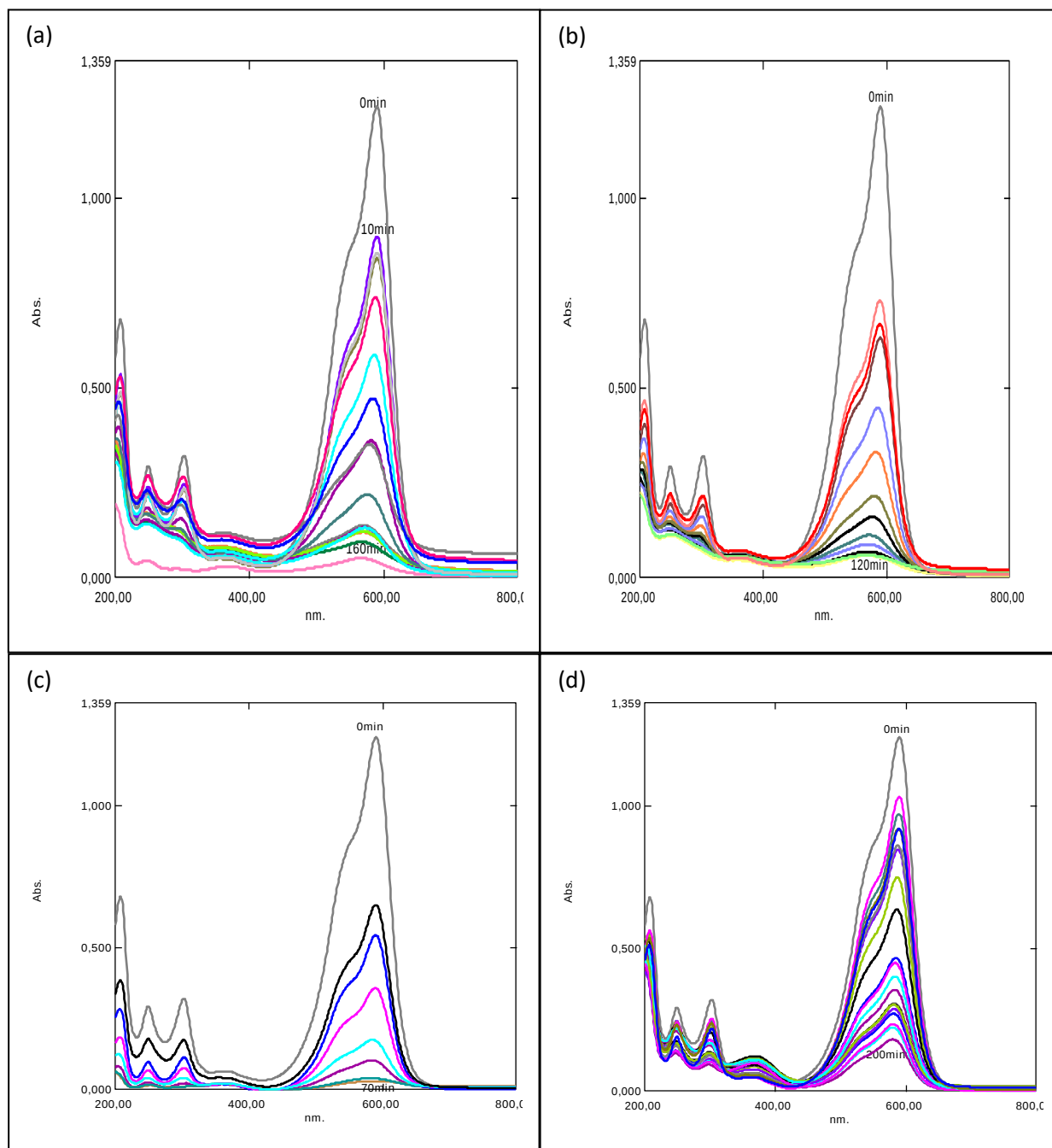
Figure V.8 La variation de concentration de cristal violet (a) La variation de l'efficacité de dégradation(b) en présence des différentes masses d'AgO et variation de concentration de cristal violet (c) La variation de l'efficacité de dégradation(d) en fonction de temps en présence des différentes masses d'Ag/ZnO et ZnO

Nos résultats obtenus de notre étude montrent que :

- ✓ le ZnO dopé à l'argent présente une efficacité de photodégradation plus élevée que le ZnO non dopé.
- ✓ Pour les nanoparticules de ZnO, AgO et Ag/ZnO synthétisés à partir de pelures de *pumpkin*, l'efficacité de photodégradation de colorant en présence du 0.3g de ZnO augmente avec le temps jusqu'à atteindre une valeur 83,84%, pour Ag O atteint 98.26% tandis que pour l'Ag/ZnO était de 98 % après un temps de 70min.
- ✓ L'utilisation de mélange à pour but de minimiser l'utilisation de Ag qui il est trop cher et l'augmentation de l'efficacité de dégradation.

La dégradation de cristal violet en présence de Zn O, Ag O et Ag/Zn O à partir des mesures spectrales UV-Vis sont fournies. Les changements spectraux de l'expérience de dégradation de colorant et diminution de l'absorbance du CV à λ_{max} 582 nm sont représentés sur la figure. V. 8 Jusqu'à atteindre une décomposition total de colorant ou l'absorbance est égal à 0.02

en présence de Ag/Zn O pour un temps de 70min. La diminution de l'absorbance est causée par la perte de conjugaison et de groupe chromophore du colorant, ce qui entraîne des produits d'oxydation incolores et plus simples. Aucun autre pic supplémentaire dans le spectre UV-Vis ne montre que le colorant est décomposé en minuscules fragments incolores avant d'être oxydé pour produire du CO_2 et de l'eau.



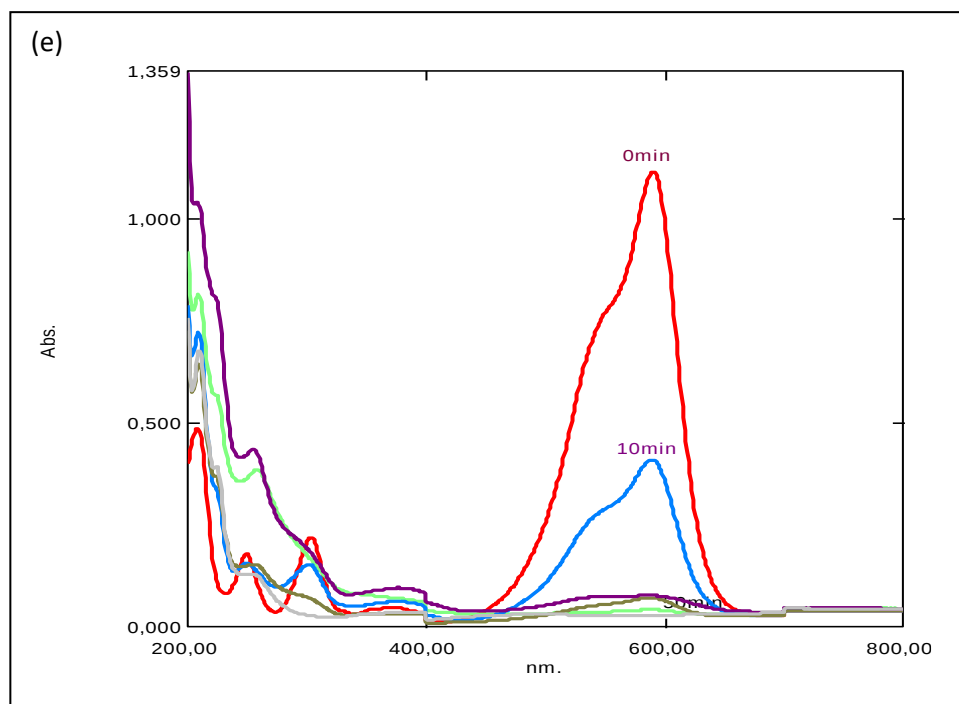


Figure V.9 Spectres UV-visible de la dégradation de cristal violet (15 mg / L) à différents moments en présence de Mélange 0.1g (Ag/ZnO)(a), 0.2g (Ag/ZnO)(b) , 0.3g (Ag/ZnO)(c) et ZnO(0.3g)(d) et 0.2 Ag (e) biosynthétisés a partir de pelures de pumpkin

La dégradation de cristal violet en présence de Zn O, Ag O et Ag/Zn O à partir des mesures spectrales UV-Vis sont fournies. Les changements spectraux de l'expérience de dégradation de colorant et diminution de l'absorbance du CV à λ_{max} 582 nm sont représentés sur la figure V.9. Jusqu'attient une décomposition total de colorant ou l'absorbance est égal à 0 en présence de Ag/Zn O pour un temps de 90min. La diminution de L'absorbance est causée par la perte de conjugaison et de groupe chromophore du colorant, ce qui entraîne des produits d'oxydation incolores et plus simples. Aucun autre pic supplémentaire dans le spectre UV-Vis ne montre que le colorant est décomposé en minuscules fragments incolores avant d'être oxydé pour produire du CO_2 et de l'eau.

V.4. 4. L'Efficacité de dégradation de cristal violet en présence de différentes masses de cellulose

L'efficacité de dégradation de la solution aqueuse de 15ppm de cristal violet a augmenté avec la dose de catalyseur, car davantage de sites de liaison étaient disponibles pour la dégradation. L'efficacité est augmentée en fonction de la masse de cellulose jusqu'à atteindre une efficacité maximale de 96,55% pour 0.3 g de cellulose après un temps de 70min par contre la concentration de cristal violet est diminuée en fonction de temps jusqu'à atteindre une valeur de

0, 576ppm (Figure V.10)(a et b). Ce qui indique que des espèces actives capables de dégrader le colorant CV est facilement produites lors du processus d'activation. On peut donc conclure que la cellulose a un effet positif sur le processus de décoloration. Cette décoloration accrue peut être due à la séparation de charge provoquée par la charge de la cellulose.[22]

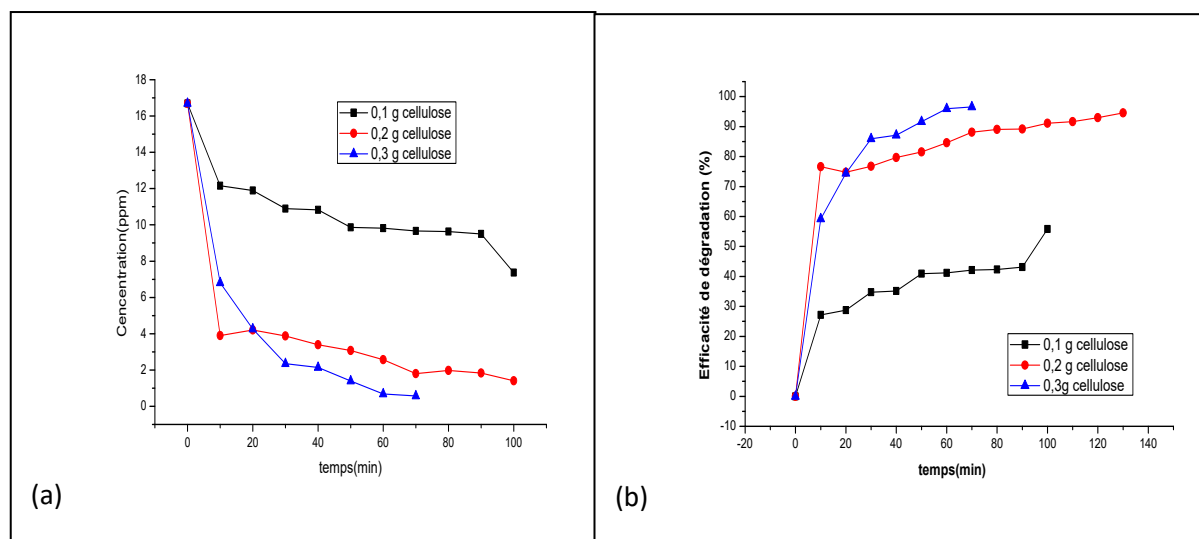
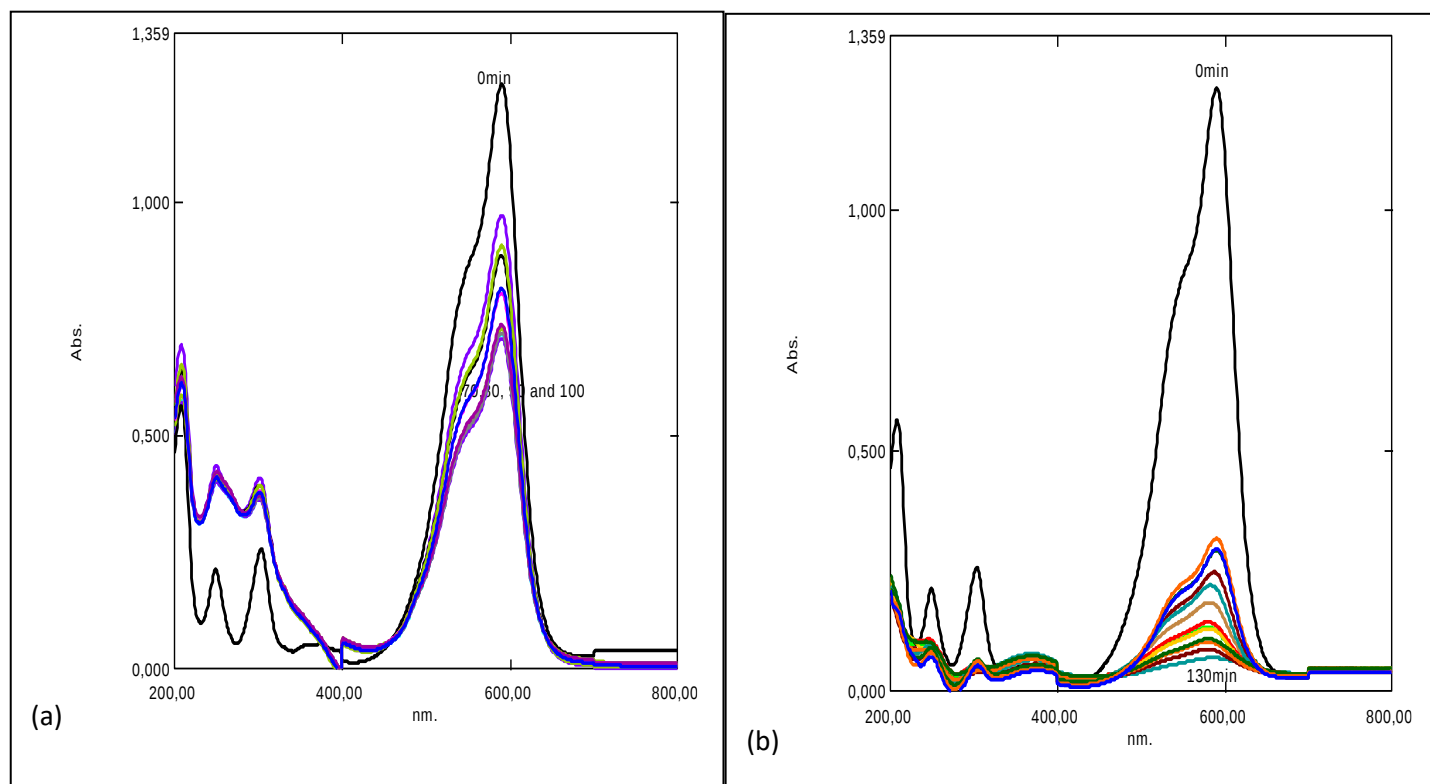


Figure V.10 Variation de concentration en fonction(a) l'efficacité de dégradation(b) et de temps pour différents masses de cellulose



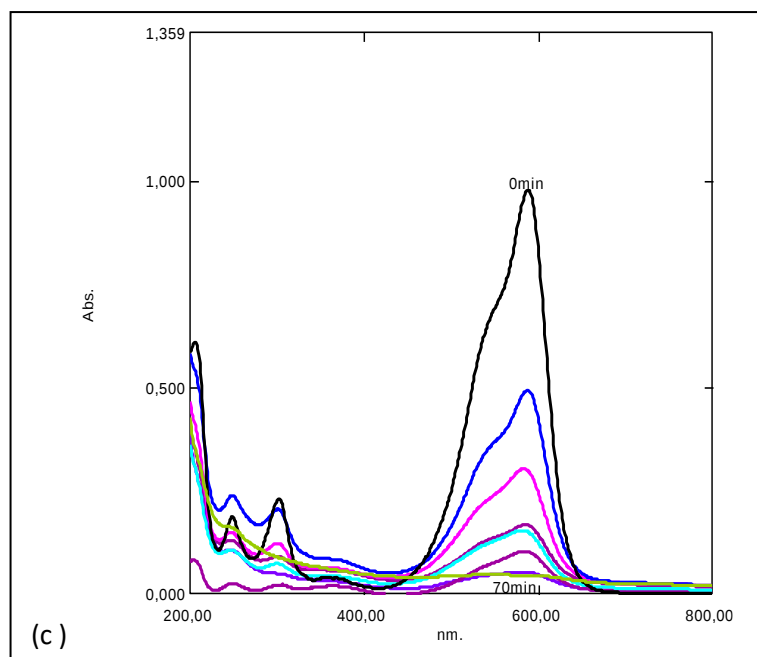


Figure V.11 Spectres UV-visible de la dégradation de cristal violet (15 mg / L) à différents moments en présence de 0.1 g de cellulose(a), 0.2 g de cellulose (b) 0.3 g de cellulose(c) biosynthétisés à partir de pelures de pumpkin

La dégradation de cristal violet en présence de 0.1 ; 0.2 et 0.3 g de cellulose à partir des mesures spectrales UV-Vis sont fournies. Les changements spectraux de l'expérience de dégradation de colorant et diminution de l'absorbance du CV à λ_{max} 582 nm sont représentés sur la figure V.11. Jusqu'à atteindre une décomposition totale de colorant ou l'absorbance est égale à 0,045 en présence de 0.3 pour un temps de 70 min. La diminution de l'absorbance est causée par la perte de conjugaison et de groupe chromophore du colorant, ce qui entraîne des produits d'oxydation incolores et plus simples. Aucun autre pic supplémentaire dans le spectre UV-Vis ne montre que le colorant est décomposé en minuscules fragments incolores avant d'être oxydé pour produire du CO_2 et de l'eau.

V.4. 5. L'Efficacité de dégradation de cristal violet en présence de différentes masses de la plante

La figure V.12 présente la variation de concentration de cristal violet (a) et l'efficacité de dégradation (b) en fonction de temps pour différentes masses des pelures de pumpkin.

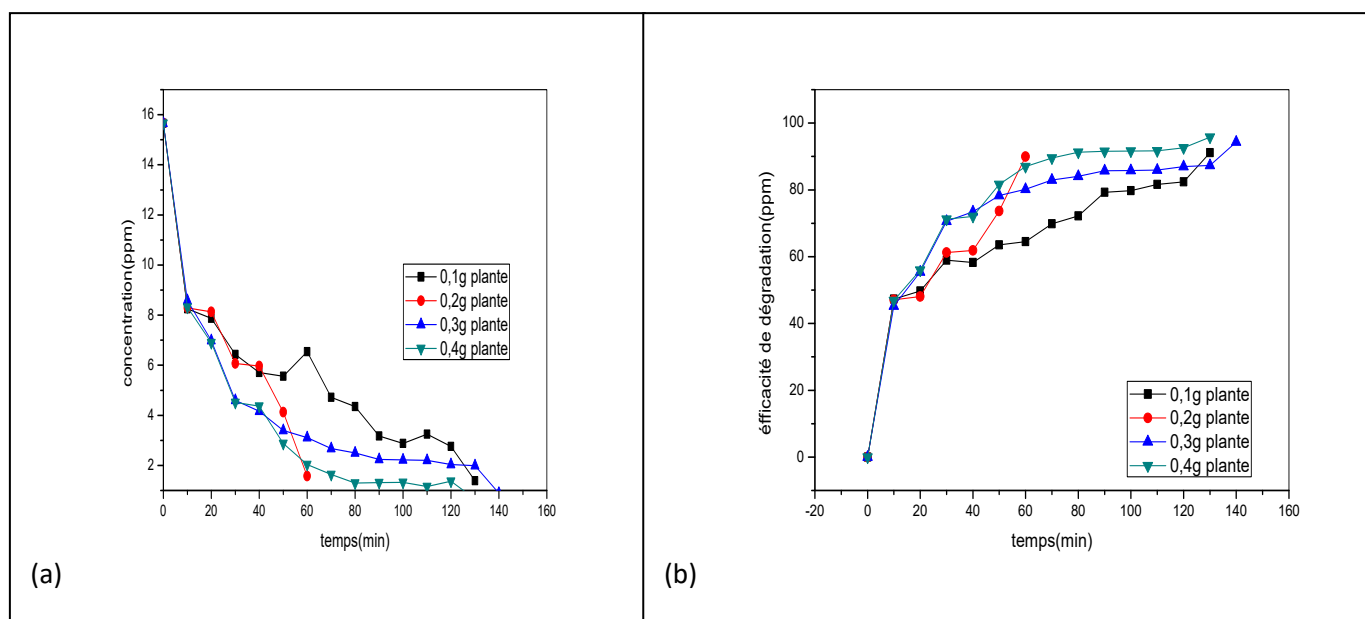
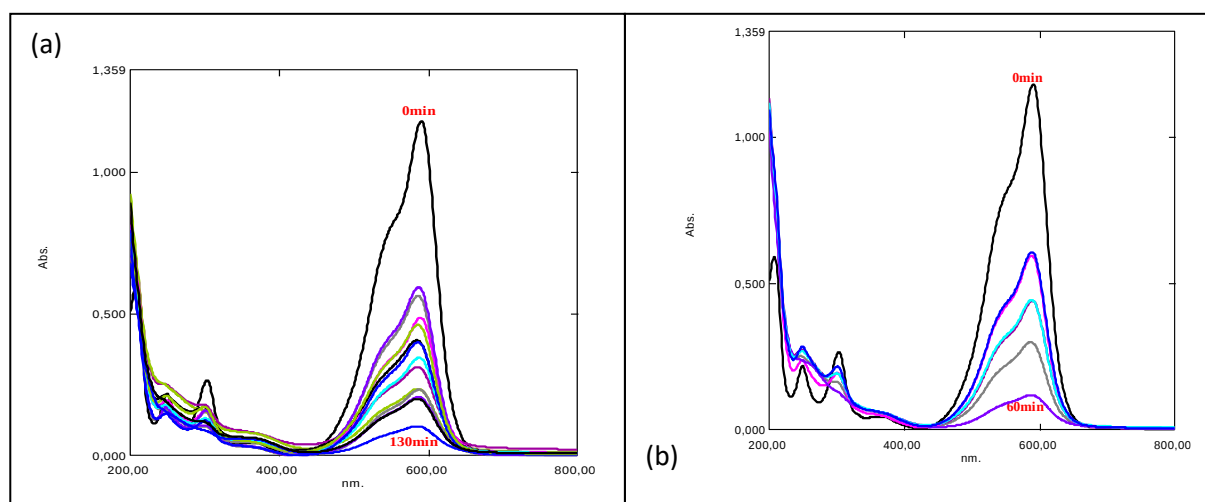


Figure V.12 Variation de concentration de cristal violet (a) et l'efficacité de dégradation(b) et de temps pour différents masses de plante

L'efficacité de dégradation de la solution aqueuse de 15ppm de cristal violet a augmenté avec la masse des pelures de pumpkin, car davantage de sites de liaison étaient disponibles pour la dégradation jusqu'à atteindre une efficacité maximale de 95,78 pour 0.4 g de bioabsorbant après un temps de 130min par contre la concentration de cristal violet est diminuée en fonction de temps jusqu'à atteindre une valeur de 0,66ppm. Ce qui indique que des espèces actives capables de dégrader le colorant CV sont facilement produites lors du processus d'activation. On peut donc conclure que la poudre des pelures de pumpkin a un effet positif sur le processus de décoloration. [23,24]. La dégradation de cristal violet en présence de 0.1 jusqu'à 0.4g de la plante à partir des mesures spectrales UV-Vis sont fournies. Les changements spectraux de l'expérience de dégradation de colorant et diminution de l'absorbance du CV à λ_{max} 582 nm sont représentés sur la figure V.13



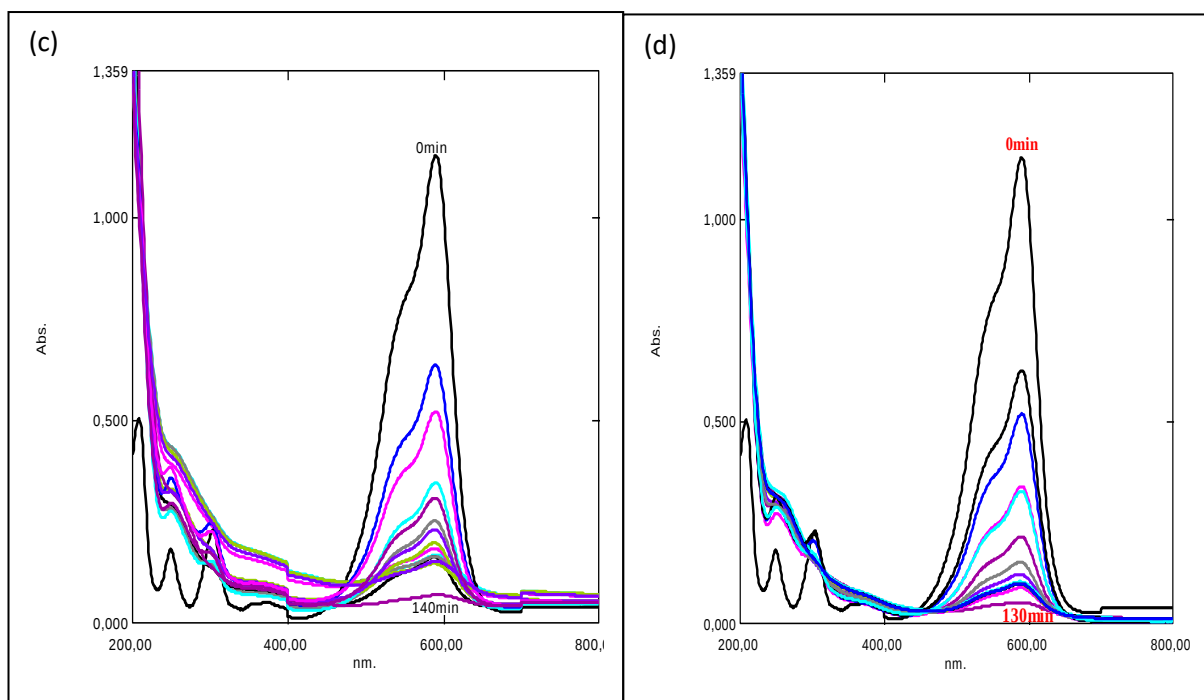


Figure V.13 Spectres UV-visible de la dégradation de cristal violet (15 mg / L) à différents moments en présence de pelures de pumpkin 0.1 g de plante (a), 0.2 g de plante (b), 0.3 g de plante (c) et 0.4 g des pelures de pumpkin (d)

V.5 Traitement des eaux usées industriel (RA2K) :

Les tests organoleptiques des eaux usées de raffinerie de Skikda (RA2K) sont présentées dans la figure V.14



Figure V.14 Dépollution des eaux industrielles par NPs (Ag+Zn) et plante.

La figure V.14 montre que il y'a une réduction significative de la couleur, de la turbidité et de l'odeur et donné après traitement Une eau claire et sans odeur.

Donc les tests organoleptiques sont des indicateurs simples et rapides de la qualité de l'eau.

Ces paramètres sont donc utiles en surveillance quotidienne et en pré-diagnostic. Pour une évaluation complète, ils doivent être complétés par des analyses plus précises (DBO5, DCO, MES, pH, etc.).

V.6 Conclusion

Dans cette étude nous avons examiné le potentiel remarquable de poudre des pelures de pumpkin comme biosorbant , le cellulose et les nanoparticules d'AgO, de ZnO et d'Ag/ZnO(20/80) synthétisées pour la dégradation d'un polluant organique de cristal violet, des hydrocarbures, des matières totales en suspension (MES) des eaux usées pétrolières. Les nanoparticules sont caractérisées par DRX et UV-Vis. La cellulose et les nanoparticules synthétisées d'Ag/Zn ont démontré des capacités exceptionnelles d'adsorption et de dégradation photocatalytique, offrant une solution durable et efficace pour la purification de l'eau et l'assainissement de l'environnement.

Références bibliographiques chapitre V

- [1] Barani Djamel.(2020). « Optimisation des conditions opératoires de synthèse verte de nanoparticules de ZnO à l'aide d'extrait des feuilles de Phoenix DactyliferaL ». Université Mohamed Khider – Biskra .
- [2] Wiam Sahraoui , Rahma Mekhloufi.(2022). « Synthèse vert et caractérisation des nanoparticules à base de CuO et leur application en photocatalyse (élimination de bleu de méthylène) ». Master academique, Universite kasdi merbah ouargla.
- [3] A. Elkaïem,(2015).« Contribution au Développement des Matériaux Nano-Composites à Base de ZnO et Polymère Etude Structural et Optique », Thèse de doctorat, département de physique, Université Mentouri, Constantine.
- [4] Ouidad Sadouki et Zohra Mehiris ,(2021) « Caractérisation et activité antioxydante des nanoparticules synthétisées à partir d'extrait aqueux de deux plantes aromatiques », Master Universite Kasdi Merbah Ouargla.
- [5] Braca, A., et al, « Activité antioxydante des flavonoïdes de *Licania licania eflora* ». Journal of Ethnopharmacology, 2002. 79(3) : p. 379-381
- [6] Skoog, D.A., Holler, F.J. and Crouch, S.R. (2007) Principles of Instrumental Analysis. Sixth Edition, Brooks Cole, Belmont, 1039.
- [7] Mandal, S., Marpu, S. B., Hughes, R., Omary, M. A., & Shi, S. Q. (2021). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Cannabis sativa Extracts and Their Anti-Bacterial Activity. Green and Sustainable Chemistry, 11(01), 28–38.
- [8] Parajuli, K., Sah, A. K., & Paudyal, H. (2020). Green Synthesis of Magnetite Nanoparticles Using Aqueous Leaves Extracts of (*Azadirachta indica*) and Its Application for the Removal of As(V) from Water. Green and Sustainable Chemistry, 10(04), 117–132.
- [9] Nanda Saridewi, Dzikri Anfasa Firdaus, Isalmi Aziz, Biaunik Niski Kumila. (2020). Biosynthesis of ZnO Nanoparticles Using Pumpkin Peel Extract(*Cucurbita moschata*) and its Applications as Semiconductor in DyeSensitized Solar Cell (DSSC) . Jurnal Kimia Valensi, Vol 7(2), November 2021, 100-107
- [10] M. Yass, A. Al-Haddad, M. J. M. Ali, A. Jaafar, and M. Veres, “Effectiveness of Green Synthesized Zinc Oxide Nanoparticles against Extensively Drug-resistant *Klebsiellapneumoniae*,” Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ), vol. 7, no. 3, 2023
- [11] Hayat Zerrouki , Khadra Mokadem, Mohammed Said Nedjimi, Salah Tlili, Abdelhakim Medjdoub. The Role Of Cucurbitaceae Family"Pumpkin" Seed Aqueous Extract In The

Synthesis Of Zinc Oxide Nanoparticles And Their Potential Applications As Antimicrobial Agents''. Nanotechnology Perceptions 20 No. 6 (2024) 728-743

[12] S. Harish, J. Archana, M. Sabarinathan, M. Navaneethan, K.D. Nisha, S. Ponnusamy, C. Muthamizhchelvan, H. Ikeda, D.K. Aswal, Y. Hayakawa, Appl. Surf. Sci. 418 (2016) 103–112, 29

[13] Ibraheem O. Ali , H. Nady , Mostafa I. Mohamed , Tarek M. Salama. "Fabrication and characterization of ZnO and Ag/ZnO nanoparticles for efficient degradation of crystal violet dye in aqueous solution". Journal of the Indian Chemical Society 101 (2024) 101480

[14] A.N. Kadam, R.S. Dhabbe, M.R. Kokate, N.L. Gavade, P.R. Waghmare, K.M. Garadkar, J. Mater. Sci. Mater. Electron. 26 (2015) 8367. S.S. Patil, M

[15] ./ G. Mali, M.S. Tamboli, D.R. Patil, M.V. Kulkarni, H. Yoon, H. Kim, S.S. Aldeyab, S.S. Yoon, S.S. Kolekar, B.B. Kale, Catal. Today 260 (2016) 126

[16] A.N. Kadama, D.P. Bhopateb, V.V. Kondalkarc, S.M. Majhib, C.D. Bathulad, Anh-Vy Trana, Sang-Wha Leea, « Facile synthesis of Ag-ZnO core-shell nanostructures with enhanced photocatalytic activity ». Journal of Industrial and Engineering Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.12.003>

[17] ShaziaNouren , Ismat Bibi , AbidaKausar , Misbah Sultan , Haq NawazBhatti , YusraSafa , Sana Sadaf , Norah Alwadai , Munawar Iqbal.(2024) « Green synthesis of CuOnanoparticlesusing Jasmin sambacextract:Conditionsoptimization and photocatalyticdegradation of Methylene Blue dye". <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.10308>

[18] [Mohammed Sifat , Eugene Shin , Anthony Schevon , Hugo Ramos , Amol Pophali , Hye-Jung Jung , Gary Halada, Yizhi Meng , Nicholas Olynik, David J. Sprouster and Taejin Kim. « Photocatalytic Degradation of Crystal Violet (CV) Dye over Metal Oxide (MOx) Catalysts". Catalysts 2024, 14, 377. <https://doi.org/10.3390/catal14060377>

[19] Farjana Rahman, Md Abdul Majed Patwary,

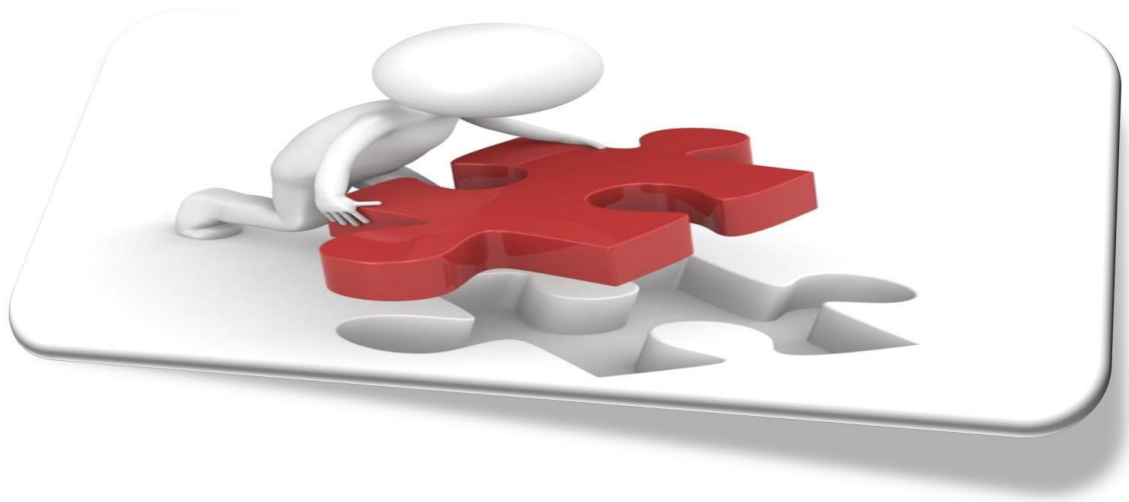
Md . Abu Bakar Siddique, Muhammad Shahriar Bashar, Md. Aminul Haque, Beauty Akter1, Rimi Rashid , Md. Anamul Haque andA. K. M. Royhan Uddin. "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using Cocos nucifera leaf extract: characterization, antimicrobial, antioxidant and photocatalytic activity". activity. R. Soc. Open Sci. 9: 220858.

<https://doi.org/10.1098/rsos.220858>

[20] Height, M. J., Pratsinis, S. E. & Mekasuwandumrong, O. Ag-ZnO catalysts for UVphotodegradation of methylene blue. 63, 305–312 (2006)

- [21] Getaye, M. &Taddesse, A. M. Effect on Photo-Catalytic Activity of Zinc Oxide Nanoparticles upon Doping with Silver and Sulphur in Degradation Reaction of Malachite Green. (2015)
- [22] Noor Rehman, Sultan Alam, Inamullah Mian and Hidayat Ullah. “Environmental friendly method for the extraction of cellulose from trifolium resopinatum and its characterization”. Bull. Chem. Soc. Ethiop. 2019, 33(1), 61-68.
- [23] R. S. Rammel, S. A. Zatiti, M. M. El Jamal. “Biosorption of crystal violet by chaetophora elegans alg”. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 46, 3, 2011, 283-292
- [24] A. S. Rashmi, P. Sahithi, P. Raja Rao. « Biosorption of crystal violet dye from aqueous solutions using natural biosorbents”. International Journal of Health and Life-Sciences. Vol. 1, No.2, pp. 48-61, November 2015

Conclusion générale



Conclusion Générale

Cette recherche vise à réaliser la Valorisation de pelures de pumpkin pour l'extraction de cellulose et l'utilisation des extraits de la plante pour biosynthèse de nanoparticules d'AgO, ZnO et d'un mélange Ag/ZnO (20/80) de façon écologique et non toxique, une méthode également appelée synthèse verte. Ces nanoparticules sont destinées à être utilisées comme photocatalyseurs pour l'application à la dégradation du cristal violet et au traitement des effluents industriels. Dans diverses conditions d'expérience pour identifier les conditions idéales permettant d'obtenir un bon rendement. Les résultats de DRX, IR et UV ont montré que les nanoparticules de ZnO, AgO et Ag/ZnO ont été synthétisées avec succès. Dans cette recherche, ces nanoparticules ont été mises en œuvre dans l'industrie du traitement des eaux usées en tant que photocatalyseur pour la décomposition de la cristal violet.

D'après les résultats de dégradation obtenue, on remarque que les nanoparticules du ZnO ont montré une activité de 83,84 %. Afin d'améliorer l'efficacité photocatalytiques de les nanoparticules ZnO, un dopage des nanoparticules d'argent (Ag) à la surface a été réalisé. Nos résultats obtenus de notre étude montrent que :

- le ZnO dopé à l'argent présente une efficacité de photodégradation plus élevée que le ZnO non dopé.
- Pour les nanoparticules de ZnO, AgO et Ag/ZnO synthétisés à partir de la plante, l'efficacité de photo dégradation de colorant en présence du 0.3g de ZnO augmente avec le temps jusqu'à atteint une valeur 83.84 %, pour 0.2g de AgO atteint 98.26 % tandis que pour 0.3g d'AgO/ZnO(20/80) était de 98 % après un temps de 70min.
- Pour l'utilisation des 0,3g de cellulose donne une excellente efficacité de dégradation de 96,55% après 70 min.
- L'utilisation de la poudre de la plante, l'efficacité de photodégradation de colorant en présence du 0.4g atteint de 95,78% après un temps de 130 minutes.
- L'utilisation de mélange vise à minimiser l'utilisation d'argent qui est très chère, et à accroître l'efficacité de la dégradation. Ainsi, d'après les résultats obtenus, il a été constaté qu'en termes de préservation de l'environnement, d'investissement des ressources du milieu désertique et de rentabilité plus élevée dans le traitement des eaux contaminées par le colorant cristal violet, les nanoparticules de Ag/ZnO (20/80) à une masse de 0.3 g est de bons choix.

Résumé

Ce travail porte sur la valorisation de la plante d'alpha (*Stipa tenacissima* L.) par l'extraction de sa cellulose en vue de son utilisation dans le traitement de l'eau de mer. La cellulose extraite a d'abord été évaluée comme matériau de prétraitement, puis utilisée pour élaborer une membrane à couche active cellulosique destinée au dessalement de l'eau de mer. La membrane a été caractérisée par des observations macroscopiques, microscopiques et par spectroscopie FTIR, puis soumise à des essais de dessalement et de régénération. Les résultats obtenus ont confirmé le potentiel de la cellulose et de la membrane élaborée. En outre, une simulation théorique a montré que l'utilisation de plusieurs membranes montées en série pourrait porter le taux de rétention des sels de 13,92 % à 97,30 %, mettant en évidence l'intérêt de cette approche pour de futures applications industrielles.

Mots-clés: *Stipa tenacissima*; Cellulose; Membrane cellulosique; Prétraitement; Dessalement de l'eau de mer.

Abstract

This study focuses on the valorization of *Stipatenacissima* through cellulose extraction for its application in seawater treatment. The extracted cellulose was first evaluated as a pretreatment material and then used to fabricate a membrane with a cellulose-based active layer for seawater desalination. The prepared membrane was characterized by macroscopic and microscopic observations as well as FTIR spectroscopy, followed by desalination and regeneration tests. The obtained results confirmed the potential of both the extracted cellulose and the fabricated membrane. Furthermore, a theoretical simulation showed that connecting several membranes in series could increase the salt rejection rate from 13.92% to 97.30%, highlighting the potential of this approach for future industrial desalination applications.

Keywords: *Stipatenacissima*; Cellulose; Cellulose-based membrane; Pretreatment; Seawater desalination.

الملخص

تتناول هذه الدراسة تثمين نبات الحلفاء من خلال استخلاص السليلوز واستعماله في معالجة مياه البحر. تم في البداية تقييم السليلوز المستخلص كمادة للمعالجة الأولية، ثم استخدم في تحضير غشاء ذي طبقة فعالة أساسها السليلوز مخصص لتحلية مياه البحر. خضع الغشاء المحضر للتوصيف بواسطة، الملاحظات المجهرية وتقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء ، ثم تم تقييم أدائه من خلال اختبارات التحلية وإمكانية تجديده. أكدت النتائج المتحصل عليها كفاءة السليلوز والغشاء المحضر، كما أظهرت محاكاة نظرية أن ربط عدة أغشية على التوالي يمكن أن يرفع نسبة احتجاز الأملاح من 13,92% إلى 97,30%، مما يبرز الإمكانيات الواعدة لهذا الغشاء في تطبيقات تحلية مياه البحر على المستوى الصناعي.

الكلمات المفتاحية: الحلفاء ؛ السليلوز ؛ غشاء قائم على السليلوز ؛ المعالجة الأولية ؛ تحلية مياه البحر.