

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH - OUARGLA



Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des Procédés

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Industries Pétrochimiques

Spécialité : Génie Pétrochimique

Présenté Par :

BELLATRACHE Khouloud

Thème

**Préparation d'un nouveau composé
(PVC 4000 M – 1,12-Diaminododécane) et
(PVC 4000 M – 1,2-Diaminopropane)
pour l'extraction des Métaux Lourds des eaux polluées.**

Soutenu publiquement le : 13/06/2023

Devant le jury composé de :

Dr. ACHI Fethi	Pr (UKM Ouargla)	Président
Dr. ROUANE Azeddine	MCB (UKM Ouargla)	Examineur
Dr. TABCHOUCHE Ahmed	MCB (UKM Ouargla)	Encadreur
Dr. ZOBELDI Naoual	MCB (UKM Ouargla)	Co-Encadreur

Année Universitaire : 2022/2023



DÉDICACE



**Je dédie ce mémoire à
ma maman HACHLEF Torkia**

رحمة الله عليك



REMERCIEMENT

**MERCI MON DIEU
ALLAH ☾★**



Remerciement

MAMAN, TU ES UNE MÈRE FORMIDABLE.
LA PLUS GENTILLE DES MAMANS DU
MONDE.

TOUJOURS DISPONIBLE POUR MOI.
UNE FEMME GÉNÉREUSE ET VAILLANTE.

MERCI MAMAN MON AMOUR.

J'ESPÈRE QU'ALLAH M'AIDERA À DEVENIR
CE QUE TU VOULAIS QUE JE SOIS, MAMAN.

J'AI BEAUCOUP À TE DIRE, MAMAN.

JE T'AIME FORT !

TU ME MANQUES...

TOUS MES CHEMINS DE VIE MÈNENT À TOI.

TA FILLE CHÉRIE.





Remerciements

Je tiens à remercier mon père, ma
sœur Sabrina, ma sœur Emrane
et mon frère Mohamad.

je vous aime beaucoup.



Remerciements

JE TIENS À REMERCIER
SINCÈREMENT MON ENCADREUR,
LE DR TABCHOUCHE AHMED,
POUR SES EFFORTS, SES CONSEILS
ET SA PATIENCE DANS LE SUIVI.

JE REMERCIE TOUS LES
ENSEIGNANTS DU DÉPARTEMENT
DE GÉNIE DES PROCÉDÉS DE
L'UNIVERSITÉ KASDI MERBAH
OUARGLA.

JE REMERCIE LES ENSEIGNANTS
DU CENTRE DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE EN
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES
CRAPC.

MERCI...

Liste des Tableaux

Chapitre I : Généralités sur le PVC

Tableau I.01 : Les formules moléculaires de PVC.....	2
------------------------------------------------------	---

Chapitre III : Méthodologie Expérimentale

Tableau III.01 : Les formules moléculaires de 1,12-diaminododécane.....	13
Tableau III.02 : Les propriétés chimiques et physiques de 1,12-diaminododécane.....	14
Tableau III.03 : Les formules moléculaires de 1,2-diaminopropane.....	14
Tableau III.04 : Les propriétés chimiques et physiques de 1,2-diaminopropane.....	14
Tableau III.05 : Les formules moléculaires de N,N-Diméthylformamide.....	15
Tableau III.06 : Les propriétés chimiques et physiques de N,N-Diméthylformamide.....	15
Tableau III.07 : Les propriétés chimiques et physiques d'Iodure de potassium.....	15
Tableau III.08 : GHS Information.....	18
Tableau III.09 : Mentions de danger.....	19

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Tableau IV.01 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC 4000 M.....	38
Tableau IV.02 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC ₁	38
Tableau IV.03 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC ₂	39

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur le PVC

Figure I.01 : Tableau périodique montrant les emplacements des "métaux lourds"	7
--------------------------------------------------------------------------------------	---

Chapitre II : Méthodes physiques d'analyse

Figure II.01 : Principe de fonctionnement d'un spectromètre UV-visible.....	9
Figure II.02 : Spectrophotomètre d'absorption UV-VIS CARY 100 (Agilent Technologies)...	9
Figure II.03 : Spectrophotomètre infrarouge IR FT/IR Jasco 4600.....	10
Figure II.04 : Appareil de mesure de point de fusion automatique SMP50 (Stuart).....	11
Figure II.05 : Conductimètre C6010 (Consort).....	12

Chapitre III : Méthodologie Expérimentale

Figure III.01 : Polyvinyle de chlorure.....	16
Figure III.02 : 1,12-diaminododécane.....	16
Figure III.03 : 1,2-diaminopropane.....	17
Figure III.04 : N,N-Diméthylformamide.....	17
Figure III.05 : Iodure de potassium.....	18
Figure III.06 : Le montage à reflux.....	22
Figure III.07 : Méthode de préparation d'une solution.....	31
Figure III.08 : Conductimètre.....	33

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Figure IV.01 : Spectre UV-Visible de PVC 4000 M.....	35
Figure IV.02 : Spectre UV-Visible de PVC ₁	35
Figure IV.03 : Spectre UV-Visible de PVC ₂	35
Figure IV.04 : Spectre UV-Visible de PVC ₂ qui adsorbé les métaux de Co ⁺²	36
Figure IV.05 : Spectre UV-Visible de PVC ₂ qui adsorbé les métaux de Cu ⁺²	36
Figure IV.06 : Spectre UV-Visible de PVC ₂ qui adsorbé les métaux de Mo ⁺²	36
Figure IV.07 : Spectre UV-Visible de PVC ₂ qui adsorbé les métaux de Pb ⁺²	37
Figure IV.08 : Spectre UV-Visible de PVC ₂ qui adsorbé les métaux de Zn ⁺²	37
Figure IV.09 : Spectre IR de PVC 4000 M.....	38

Figure IV.10 : Spectre IR de PVC₁.....	38
Figure IV.11 : Spectre IR de PVC₂.....	39

Liste des schémas

Chapitre I : Généralités sur le PVC

Schéma I.01 : Elaboration du PVC.....	3
Schéma I.02 : Modification de PVC.....	4
Schéma I.03 : Dégradation thermique du PVC.....	4

Chapitre II : Méthodes physiques d'analyse

Schéma II.01 : Montage d'un spectromètre IR (principe du fonctionnement).....	10
-------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre IV : Résultats et Discussions

Schéma IV.01 : Mécanisme réactionnel de PVC avec 1,2-diaminopropane.....	34
Schéma IV.02 : Mécanisme réactionnel de PVC avec 1,12-diaminododécane.....	34

Liste des abréviations

PVC : Le PolyChlorure de Vinyle

PVC₁ : PVC 4000 M modifié par 1,12-diaminododécane

PVC₂ : PVC 4000 M modifié par 1,2-diaminopropane

UV-vis : La spectroscopie Ultraviolet-visible

IR : La spectroscopie Infrarouge

ENIP : Entreprise Nationale des Industries Pétrochimiques

DMF : N,N-DiMéthylFormamide

KI : Iodure de potassium

GHS : Globally Harmonized System (Système Général Harmonisé)

Sommaire

Dédicace

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des schémas

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur le PVC

I -1- Définition de PVC 2

I -2- Elaboration du PVC 3

I -3- Modification de PVC 4

I -4- Dégradation thermique du PVC 4

I -5- Applications de PVC 5

I -6- Risques de métaux lourds dans l'eau 7

I -7- Sources de Métaux Lourds 8

I -8- Conclusion 8

Chapitre II : Méthodes physiques d'analyse

II -1- Introduction 8

II -2- La spectroscopie Ultraviolet-visible UV-vis 8

II -3- La spectroscopie Infrarouge IR 9

II -4- Point de fusion 11

II -5- La conductivité 11

II -6- Conclusion 12

Chapitre III : Méthodologie Expérimentale

III -1- Introduction	13
III -2- Objectifs	13
III -3- Les produits chimiques utilisés	13
III -3-2- 1,12-diaminododécane (do décane 1,12 diamine)	13
III -3-3- 1,2-diaminopropane (propane-1,2-diamine)	14
III -3-4- N,N-Diméthylformamide DMF (Diméthylformamide)	15
III -3-5- Iodure de potassium KI	15
III -4- Les pictogramme et Mentions de danger	16
III -5- Les Verreries et les Appareilles	19
III -6- Montage	22
III -7- Les étapes de la modification chimique de PVC 4000 M	23
III -8- Hygiène et Sécurité au laboratoire	25
III -9- Mode opératoire	26
III -10- Mesure de la conductivité	30
III -11- Conclusion	33

Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV -1- Mécanisme réactionnel	34
IV -2- Résultats de modifications de PVC 4000 M	34
IV -3- Résultats d'analyse par la spectroscopie ultraviolet-visible	35
IV -4- Résultats d'analyse par la spectroscopie infrarouge IR	38
IV -5- Résultats de mesure de point de fusion	40
IV -6- Résultats de mesure de conductivité	40
Conclusion générale	41

Introduction générale

Le PolyChlorure de Vinyle (PVC) est l'un des polymères les plus importants en raison de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Le PVC est utilisé dans différents secteurs et tout ce qui nous entoure est en PVC. [1]

Et l'un des secteurs qui nous intéresse est le traitement des eaux, les eaux usées contiennent des métaux lourds qui ont des effets nocifs sur l'environnement et la santé humaine, et sont certainement dangereux pour l'homme... Il est donc très important de les retirer efficacement de l'eau. [2]

Il sera intéressant de développer de nouveaux matériaux afin d'éliminer les métaux lourds de l'eau naturelle. Certaines études scientifiques ont été menées sur le PVC et ses résultats ont montré que le chlorure de polyvinyle (PVC) peut capter et adsorber les métaux lourds lors du traitement des eaux usées. [3]

Notre mémoire est organisé en quatre chapitres précédés par une introduction générale

Chapitre I : Généralités sur le PVC.

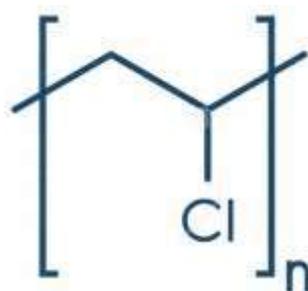
Chapitre II : Méthodes Physiques d'analyse.

Chapitre III : Méthodologie Expérimentale.

Chapitre IV : Résultats et Discussions.

Et à la fin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et une liste de références bibliographiques.

Généralités sur le PVC



PVC

I -1- Définition de PVC

Le PolyChlorure de Vinyle (PVC), connu généralement sous le symbole international PVC «en anglais : Poly Vinyl Chloride», est un polymère thermoplastique de synthèse composée de carbone **C**, d'hydrogène **H** et de chlore **Cl**.

C'est la troisième matière plastique utilisée dans le monde après le polyéthylène et le propylène et très présente dans notre vie quotidienne, le PVC est utilisé dans divers secteurs telles que la construction, l'emballage, les dispositifs médicaux, l'électricité, l'électronique, les biens de consommation, et les transports...etc.

La production industrielle de PVC est apparue au début des années 1930 en **Allemagne**. [4]

Le PolyChlorure de Vinyle (PVC) — $[\text{CH}_2 - \text{CHCl}]_n$ — est obtenu par le procédé polymérisation en suspension du Chlorure de Vinyle monomère (CVM) $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$, une molécule de PVC contient 750 - 1500 monomères [5], le **Tableau I.01** suivant montre les formules moléculaires de PVC.

Tableau I.01 : Les formules moléculaires de PVC

Polyvinyle de chlorure PVC	
Formule brute	$(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$ $n = 700 \text{ à } 1500$
Formule semi-développée	Formule développée
$\left[\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \end{array} \right]_n$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array} \right]_n$

Ce polymère se présente sous la forme d'une poudre blanche inodore et faible inflammabilité, sa masse molaire 62, 498 g/mol [6], Le PVC se dégrade si sa température de traitement dépasse 190°C [7], Le PVC est insoluble dans l'eau [8].

I -3- Modification de PVC

L'objectif de la modification du PVC est de créer un nouveau polymère avec de nouveaux groupes fonctionnels qui peuvent être utilisés de manière intensive et efficace, en fonction des propriétés résultant des nouveaux groupes fonctionnels.

Cette modification est basée sur le remplacement du Cl dans le PVC par d'autres groupes fonctionnels (**Schéma I.02**).



Schéma I.02 : Modification de PVC [13]

I -4- Dégradation thermique du PVC

L'inconvénient majeur du PVC est son instabilité thermique, et sa faible résistance aux effets de la chaleur et de la lumière, ce qui entraîne au bout d'un certain temps des modifications à grande échelle au sein de sa structure polymérique, qui ont un impact négatif sur ses propriétés mécaniques, optiques, électriques et physiques, ce qui est indésirable.

Le PolyChlorure de Vinyle est dégradé thermiquement par la perte d'acide chlorhydrique de sa structure polymérique (les atomes de chlore changeants réagissent et accélèrent la libération d'acide chlorhydrique), conduisant à la formation d'une double liaison dans la structure (une série d'hydrocarbures linéaires saturés d'atomes de chlore aux positions 1 et 3) (**Schéma I.03**) [14].

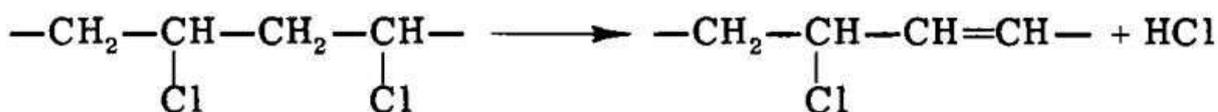


Schéma I.03 : Dégradation thermique du PVC [14]

Processus de dégradation il peut aussi être : mécanique, ultrasonique, hydrolytique, chimique, biologique, rayonnement [15].

I -5- Applications de PVC

Le PolyChlorure de Vinyle (PVC) est une matière plastique largement utilisée dans le monde en raison de son faible coût de production, de sa facilité de modification par de nombreux additifs et de ses bonnes propriétés, dont les plus importantes sont une résistance chimique élevée et des propriétés mécaniques favorables, ainsi qu'une résistance à l'eau et aux intempéries conditions, le PVC est le produit le plus important dans l'industrie chimique où depuis le début de sa fabrication industrielle, au début des années 1930, son volume de production a continué à augmenter [16]. Environ **44,3 MMT** de résine de chlorure de polyvinyle ont été produits à l'échelle mondiale en 2018 et devraient augmenter jusqu'à **59,72 MMT** jusqu'en 2025 à un taux de **4,36 %** du TCAC pour la période estimée [17]. Malgré le fait que la demande de PVC est d'environ **59,1 milliards de dollars US** sur le marché en 2018, elle passera à **88,63 milliards de dollars US** jusqu'en 2025 en hausse de **5,96 %** par an [18].

Le PVC est utilisé pour de nombreuses applications telles que :

- ✓ Le polymère PVC est hautement polaire et possède donc une bonne propriété d'isolation.
- ✓ C'est le matériau idéal pour les toitures en raison de sa résistance aux environnements agressifs [16].
- ✓ Ses bonnes propriétés adhésives permettent l'impression dans, par exemple, la fabrication de papiers peints, de publicités et de panneaux de sol [19].
- ✓ La grande transparence de ce polymère signifie qu'il est utilisé dans la fabrication de feuilles, de blisters ou de panneaux transmettant la lumière [20].
- ✓ La plupart des instruments médicaux sont fabriqués en PVC, en raison de sa biocompatibilité, de sa stabilité chimique et de sa résistance à la stérilisation. Il est utilisé pour fabriquer des conteneurs de sang flexibles, des sacs d'urostomie, des tubes flexibles, des masques d'inhalation et des masques à oxygène [21] [22] [23].
- ✓ Le PVC est utilisé dans l'industrie de l'emballage comme emballage alimentaire. Qui joue le rôle de barrière à l'oxygène, ce qui augmente la durée de conservation des aliments [24].



Dispositifs médicaux



Câbles



Les pipelines



Les fenêtres



Les pales d'éoliennes



Les Cartes de crédit



Les membranes de toiture



Les Gonflables



L'emballage alimentaire



La construction



Le transport



Packagings pharmaceutique

I -6- Risques de métaux lourds dans l'eau

Les éléments ayant une densité relative supérieure à 4,5 kg/cm³ et un poids atomique compris entre 63,5 et 200,6 sont appelés métaux lourds, tels que l'or (Aurum), l'argent (Argentum), le cuivre (Cu), le fer (Fe), plomb (Pb), le zinc (Zn) (**Figure I.01**) [25].

Figure I.01 : Tableau périodique montrant les emplacements des "métaux lourds"[25]

La pollution de l'eau par les métaux lourds est un véritable problème environnemental et sanitaire. De nombreux métaux lourds sont extrêmement dangereux pour la santé humaine et les autres organismes vivants lorsqu'ils sont présents dans l'environnement à des concentrations élevées [26].

Lorsqu'ils pénètrent dans le corps humain par diverses voies, ces éléments peuvent provoquer des symptômes tels que : des maux de tête, de légères douleurs articulaires aux extrémités ou des troubles mentaux, des fonctions hépatiques et rénales anormales, voire un cancer [27].

I -7- Sources de Métaux Lourds

Il existe différentes sources de métaux lourds dans l'environnement. Ces sources peuvent être d'origine naturelle ou anthropique.

1 / Métaux lourds dans les roches et les sols :

(Roches Magmatiques, Roches Sédimentaires, Roches Métamorphiques, Formation Des Sols).

2 / Métaux lourds dans l'eau et les eaux souterraines :

(Eaux de Surface, Eaux Souterraines).

3 / Métaux lourds dans l'atmosphère.**4 / Sources anthropiques de Métaux lourds :**

1. **Activités Agricoles** : Engrais Phosphatés, Pesticides...
2. **Activités industrielles** : Exploitation minière, Combustion du Charbon et du Pétrole, Environnements intérieurs et Urbains, Élimination des déchets solides [28].

I -8- Conclusion

Dans ce chapitre, la première partie était des rappels sur le PVC et son élaboration, ainsi que sur les modifications qui interviennent dans sa structure polymérique et la dégradation thermique à laquelle il peut être soumis, et la dernière partie de ce chapitre présente les applications du PVC et les dangers et sources de métaux lourds.

CHAPITRE
II

Méthodes physiques
d'analyse

II -1- Introduction

Ce chapitre est un rappel théorique sur diverses méthodes physiques d'analyse, telles que les techniques spectroscopiques d'analyse : spectroscopie visible ultraviolette et la méthode d'analyse des molécules en chimie organique, qui est la spectroscopie infrarouge, ainsi que le point de fusion et la conductivité.

II -2- La spectroscopie Ultraviolet-visible (UV-vis)

La spectroscopie UV-vis est une technique analytique rapide, peu coûteuse, simple, flexible et non destructive pour de nombreux composés organiques et à certaines substances inorganiques. Les spectrophotomètres UV mesurent l'absorption ou la transmittance de la lumière traversant un milieu en fonction de la longueur d'onde [29].

La spectroscopie UV-Vis est également connue sous le nom de spectrométrie UV-Vis, spectrophotométrie UV-Vis et spectroscopie de réflectance UV-Vis. La spectrométrie fait référence à des mesures quantitatives et la spectroscopie est utilisée lors de l'enregistrement de spectres sur une gamme de longueurs d'onde. En pratique, les deux termes sont utilisés de manière interchangeable [30].

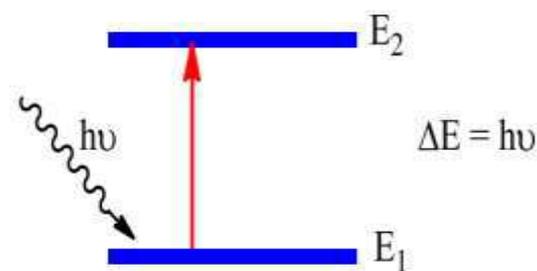
La spectroscopie dans les régions ultraviolette et visible du spectre consiste à observer de l'excitation des électrons et est donc souvent appelée "spectroscopie électronique".

Le terme spectroscopie électronique ne désigne pas spectroscopie dans laquelle l'excitation est effectuée par des électrons, mais spectroscopie des états électroniques (excitation des électrons) [31].

Le Domaine spectral : **Visible** : 800 nm (rouge) - 400 nm (indigo), **UV proche** : 400 - 200 nm, et **UV lointain** : 200 - 10 nm [32].

Principe général :

La transition UV-Vis (typiquement 180 - 750 nm) correspond à la transition d'un électron d'une orbitale moléculaire élémentaire occupée (HOMO) vers une orbitale moléculaire excitée vide (LUMO). La substance absorbe alors un photon dont l'énergie correspond à la différence d'énergie entre ces niveaux fondamental et excité [32].



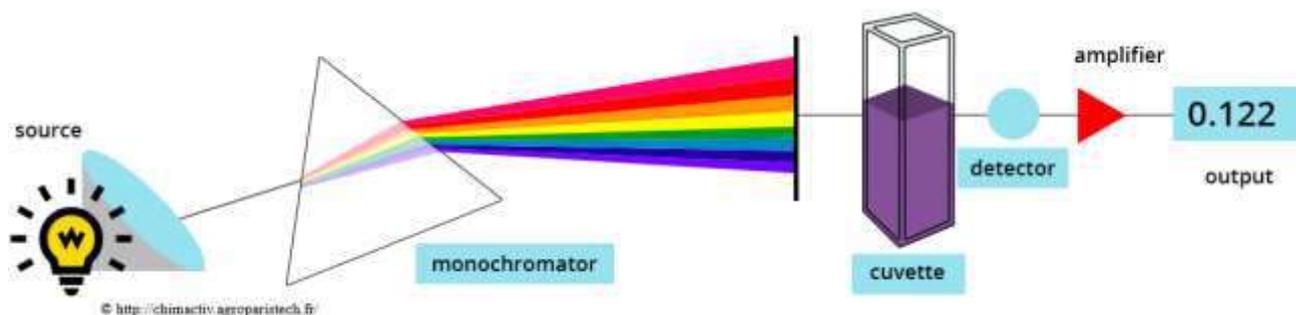


Figure II.01 : Principe de fonctionnement d'un spectromètre UV-visible



Figure II.02 : Spectrophotomètre d'absorption UV-VIS CARY 100 (Agilent Technologies)

II -3- La spectroscopie Infrarouge IR

L'absorption du rayonnement infrarouge par la matière provoque des vibrations des molécules, car les niveaux d'énergie moléculaires vibrationnels sont séparés par des énergies qui tombent dans le domaine infrarouge du spectre électromagnétique.

La partie infrarouge du rayonnement électromagnétique est partagée en trois domaines : le proche infrarouge **PIR** (le plus énergétique) qui s'étend de **14 000 à 4000 cm^{-1}** (0,7-2,5 m en longueurs d'onde) ; l'infrarouge moyen **MIR** qui va de **4000 à 400 cm^{-1}** (2,5-25 m) et enfin l'infrarouge lointain **LIR**, qui couvre le domaine spectral de **400 à 10 cm^{-1}** (25-1000 m).

La mise en œuvre de l'interaction d'un rayonnement infrarouge avec un échantillon, puis détecter et analyser par spectrale (par transmission ou réflexion) de ce rayonnement après qu'il ait interagi avec la matière est l'objet de la spectroscopie infrarouge. Cette spectroscopie, extrêmement sélective, est couramment utilisée pour l'identification de composés et les groupements fonctionnels mais elle permet également d'obtenir des informations très importantes sur les interactions inter- et/ou intra-moléculaires, et sur la conformation des molécules [33], la **figure II.03** suivante montre un Spectrophotomètre infrarouge.



Figure II.03 : Spectrophotomètre infrarouge IR FT/IR Jasco 4600

Principe général :

La lumière complexe traverse l'échantillon et détermine quelles fréquences manquent à la sortie et sont donc sélectivement absorbées par l'échantillon. Cette absorption suit la loi de Beer-Lambert et dépend de la concentration C et de l'épaisseur traversée l [32].

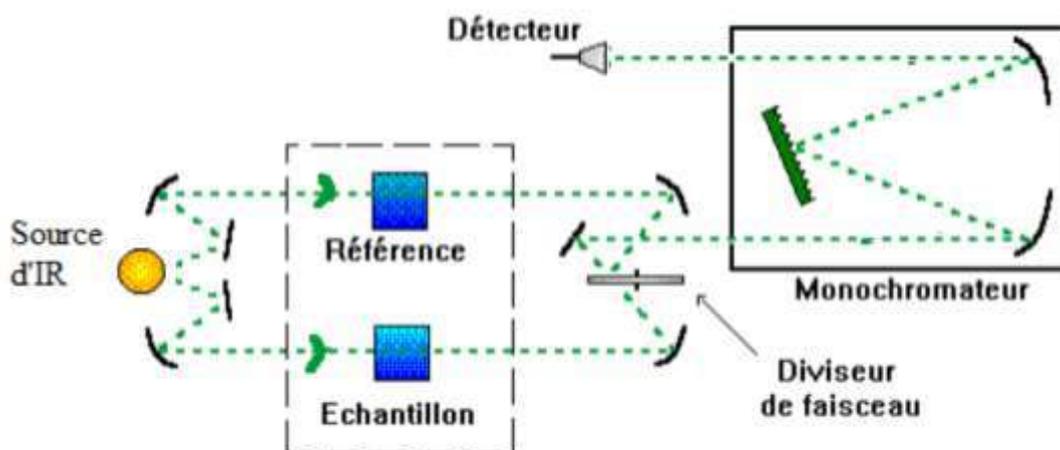


Schéma II.01 : Montage d'un spectromètre IR (principe du fonctionnement) [32]

II -4- Point de fusion

Le point de fusion (ou la température de fusion) est une propriété physique fondamentale des composés organiques, à une pression donnée, la température à laquelle les états liquide et solide de cette substance peuvent coexister à l'équilibre [34].

Le point de fusion est défini comme la température à laquelle se produit la transition de la phase solide à la phase liquide, à la pression atmosphérique [35].

Il existe différents appareils de mesure de point de fusion tels que le **Banc Kofler** ou le **bloc Maquenne** (les appareils classiques), dans le travail pratique de laboratoire on utilise des appareils de mesure de point de fusion automatique, parce qu'il est rapide et facile à manipuler et fournit des résultats reproductibles et plus précis (**Figure II.04**).



Figure II.04 : Appareil de mesure de point de fusion automatique SMP50 (Stuart)

II -5- La conductivité

La conductivité σ (S.cm^{-1}) est la capacité d'une solution (anions et cations) à laisser passer un courant électrique.

La mesure de conductivité est une méthode très répandue en raison de sa grande fiabilité, sensibilité, rapidité et faible coût, c'est une technique requise pour toute application de surveillance. Voici quelques exemples d'utilisation de la mesure de conductivité : surveiller la pureté de l'eau, contrôler l'eau potable et l'eau utilisée dans la fabrication des produits, estimer le nombre total d'ions dans la solution.

Chaque substance a un certain degré de conductivité, pour les solutions aqueuses, la valeur de conductivité est trop faible pour l'eau ultrapure et trop élevée pour les échantillons chimiques concentrés.

Les paramètres qui influencent la mesure de conductivité : concentration de la solution (la nature et la concentration des ioniques en solution), température (si la température augmente, la conductivité augmente aussi).

La conductivité de contact utilise deux électrodes métalliques ou en graphite en contact direct avec la solution d'électrolyte. Les conductimètres appliquent un courant alternatif entre les électrodes et la tension résultante est utilisée pour déterminer la conductivité [36].

Il existe de nombreux appareils pour mesurer la conductivité (**Figure II.05**).

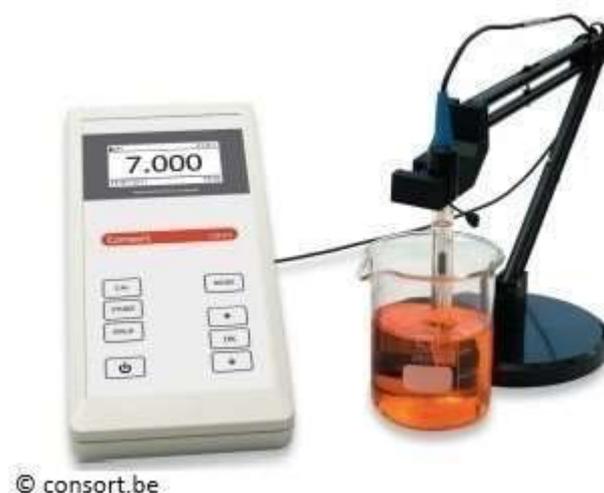
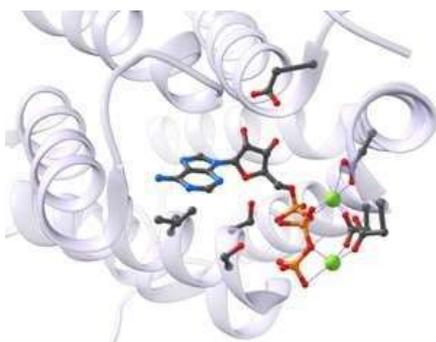


Figure II.05 : Conductimètre C6010 (Consort)

II -6- Conclusion

Les méthodes physiques d'analyse sont extrêmement importantes, non destructives pour l'échantillon, faciles, rapides, leurs applications sont utilisées dans des domaines très divers. Qu'il s'agisse du contrôle de la qualité des Produits alimentaires, du contrôle des processus dans l'industrie chimique ou pharmaceutique, en médecine, du contrôle de la qualité de l'eau, de la surveillance de l'environnement.



Ces méthodes analytiques permettent au chercheur ou à l'étudiant d'analyser l'échantillon, de connaître ses propriétés et de confirmer ses compositions.

CHAPITRE III

Méthodologie Expérimentale



III -1- Introduction

Dans ce travail, Nous modifions la matrice de Polychlorure de Vinyle 4000 M par deux amines primaires aliphatiques **1,12-diaminododécane** et **1,2-diaminopropane**, pour obtenir une nouvelle matrice polymérique avec l'avantage de l'utiliser dans divers domaines tels que l'extraction des métaux lourds des eaux usées (traitement des eaux), et évaluer l'efficacité de cette PVC modifié (produit) par utilisé des méthodes spectroscopiques telle que Ultra Violette (UV-visible) UV spectroscopie, l'infrarouge **IR** spectroscopie.

Le Polychlorure de Vinyle 4000 M produit par l'Entreprise Nationale des Industries Pétrochimiques l'ENIP de **SKIKDA** par le procédé de polymérisation en suspension.

III -2- Objectifs

L'objectif de cette étude est de développer la structure polymérique du PVC et de lui donner un avantage fonctionnel qui est l'absorption des métaux lourds des eaux polluées.

III -3- Les produits chimiques utilisés

Les réactifs :	Le solvant :	Le catalyseur :
PolyVinyle de Chlorure 4000 M (PVC 4000 M) 1,12-diaminododécane 1,2-diaminopropane	N,N-DiMéthylFormamide DMF	Iodure de potassium KI

III -3-1- PolyVinyle de Chlorure 4000 M (Voir le premier chapitre)

III -3-2- 1,12-diaminododécane (do décane 1,12 diamine)

Tableau III.01 : Les formules moléculaires de 1,12-diaminododécane

1,12-diaminododécane	
Formule brute	$C_{12}H_{28}N_2$
Formule linéaire	$NH_2(CH_2)_{12}NH_2$
Formule semi-développée	

Tableau III.02 : Les propriétés chimiques et physiques de 1,12-diaminododécane [37]

Masse molaire	200,36 g/mol
État physique	Solide
Couleur	Blanc
Point d'éclair	155 °C
Inflammabilité	cette matière est combustible, mais elle ne s'enflamme pas facilement

III -3-3- 1,2-diaminopropane (propane-1,2-diamine)

Tableau III.03 : Les formules moléculaires de 1,2-diaminopropane

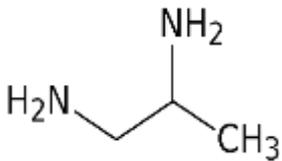
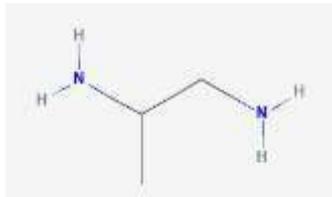
1,2-diaminopropane	
Formule brute	$C_3H_{10}N_2$
Formule linéaire	$CH_3CH(NH_2)CH_2NH_2$
Formule semi-développée	Formule développée
	

Tableau III.04 : Les propriétés chimiques et physiques de 1,2-diaminopropane [38]

Masse molaire	74.13 g/mol
Point d'ébullition	120.5 °C
Température d'auto-inflammation	460 °C
Stabilité	Volatil
Solubilité	Soluble ; l'eau
État physique	Liquide
Odeur	poissonneux, ammoniacal
Couleur	Incolore

III -3-4- N,N-Diméthylformamide DMF (Diméthylformamide)

Tableau III.05 : Les formules moléculaires de N,N-Diméthylformamide

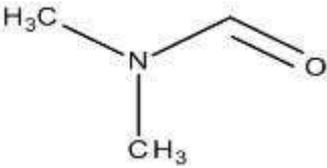
N,N-Diméthylformamide	
Formule brute	C_3H_7NO
Formule linéaire	$HCON(CH_3)_2$
Formule semi-développée	

Tableau III.06 : Les propriétés chimiques et physiques de N,N-Diméthylformamide [39]

Masse molaire	73.093 g/mol
Densité	0.948 g/mL
Point d'éclair	57 °C
Température de fusion	-60 °C
Point d'ébullition	153 °C
Solubilité	l'eau ; miscible
État physique	liquide
Odeur	poissonneux, ammoniacal
Couleur	incolore

III -3-5- Iodure de potassium KI

Tableau III.07 : Les propriétés chimiques et physiques d'Iodure de potassium [40]

Iodure de potassium	
Formule brute	KI
Masse molaire	166,002 g/mol
Température de fusion	723 °C
Point d'ébullition	1 325 °C
Solubilité	soluble dans l'eau
État physique	matière solide (poudre cristalline)
Odeur	inodore
Couleur	blanc

III -4- Les pictogramme et Mentions de danger

III -4-1- PolyVinyle de Chlorure PVC 4000 M

Pictogrammes :	Non étiqueté comme produit dangereux
Mention(s) de danger :	Non étiqueté comme produit dangereux



© additivs pvc.com

Figure III.01 : Polyvinyle de chlorure

III -4-2- 1,12-diaminododécane

H302	H314	H317
-------------	-------------	-------------



GHS05



GHS06



GHS07



GHS09



Figure III.02 : 1,12-diaminododécane

III -4-3- 1,2-diaminopropane

H226	H302	H311	H314	H318
------	------	------	------	------



GHS02



GHS05



GHS06



GHS08



©sigmaaldrich.com

Figure III.03 : 1,2-diaminopropane

III -4-4- N,N-Diméthylformamide DMF

H226	H312	H332	H319
------	------	------	------



GHS02



GHS07



GHS08



© sigmaaldrich.com

Figure III.04 : N,N-Diméthylformamide

III -4-5- Iodure de potassium KI

H372



GHS08



©laboratoriumdiscounter.nl

Figure III.05 : Iodure de potassium

Tableau III.8 : GHS Information [41]

GHS Information	
GHS05 corrosif	Ce groupe comprend toutes les substances corrosives pour les métaux et la peau, ainsi que les substances qui peuvent causer des lésions oculaires graves.
GHS06 toxique	Substances et mélanges qui, même en faibles quantités, peuvent causer des dommages ou la mort en quelques heures ou un jour s'ils sont inhalés ou absorbés par la bouche ou la peau.
GHS07 Irritant, sensibilisant, nocif	Substances et mélanges qui, en contact direct prolongé ou répété avec la peau ou les muqueuses, peuvent provoquer une inflammation. Ce groupe comprend également les substances narcotiques et sensibilisantes pour la peau. Il s'agit de substances qui, absorbées par la peau, peuvent donner lieu à une telle réaction d'hypersensibilisation (hypersensibilité) qu'une exposition ultérieure à la substance ou à la préparation entraînera des effets indésirables caractéristiques.
GHS08 Danger à long terme pour la santé	Ce groupe comprend également les allergènes inhalés, les substances présentant un risque d'aspiration et les substances présentant une toxicité spécifique pour certains organes cibles (STOT).
GHS09 Dangereuses pour l'environnement aquatique	Substances qui présentent ou peuvent présenter un danger immédiat ou différé pour les animaux et/ou la nature.

Tableau III.9 : Mentions de danger [41]

H226	Liquide et vapeurs inflammables.
H302	Nocif en cas d'ingestion.
H311	Toxique par contact cutané.
H312	Nocif par contact cutané.
H314	Provoque des brûlures de la peau et de graves lésions des yeux.
H317	Peut provoquer une allergie cutanée.
H318	Provoque des lésions oculaires graves.
H319	Provoque une sévère irritation des yeux.
H332	Nocif par inhalation.
H372	Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée.

III -5- Les Verreries et les Appareilles

III -5-1 Pour la synthèse



Spatule



Verre de montre



Balance analytique



Support + Pince



Agitateur à plaque chauffante



Ballon bicol



Réfrigérant



Pince 29/32 en plastique



vaseline (en graissant si nécessaire)



Bouchon 29/32



Tuyau en caoutchouc



Eprouvette graduée



Entonnoir



Thermomètre



Cristallisoir



Huile diathermique

III -5-2 Pour la précipitation



Support + Pince



Agitateur magnétique



Barreaux magnétiques



Ampoule à décanter



Pissette



Bécher

III -5-3 Pour la filtration



Erlenmeyer



Entonnoir



Papiers filtre

III -5-4 Pour le séchage et le stockage



Etuve de laboratoire



Flacon de prélèvement

III -6- Montage

? Comment réaliser un montage de chauffage à reflux ?

Fixer le ballon bicol à la barre de montage (support) à l'aide d'une pince.
Placer le réfrigérant bien vertical sur le ballon (en graissant si nécessaire) et l'attacher à l'aide d'une pince à la barre de montage.
Placer un agitateur magnétique chauffant sur le support et le monter de façon à ce que le ballon soit au contact du système de chauffage.
Vérifier que le montage est bien vertical.
Placer le thermomètre
Alimenter le réfrigérant en eau froide avec un faible débit d'eau. L'arrivée d'eau se fait par le bas et la sortie d'eau par le haut du réfrigérant.
Introduire les réactifs et le solvant dans le ballon.
Brancher et allumer le dispositif d'Agitateur à plaque chauffante.
Le mélange est porté à ébullition. Le reflux démarre lorsque la température d'ébullition du solvant est atteinte et que les premières gouttes de vapeur condensées retombent dans le ballon.
À la fin de la synthèse, éteindre le chauffage et agitation. Laisser circuler l'eau jusqu'à ce que le milieu réactionnel ait suffisamment refroidi. En effet, le ballon doit être à température ambiante pour pouvoir être manipulé en toute sécurité.

La méthode du chauffage à reflux

La méthode du chauffage à reflux permet chauffer le mélange réactionnel (réactifs + solvant) sans perdre de réactifs à leur entrée en point d'ébullition le système est un fermé (sans échange de matière avec l'extérieur). Il est utilisé pour accélérer les réactions chimiques.

Le principe de réfrigérant à boule est de condenser les vapeurs formées par la circulation continue de l'eau froide. Ainsi les réactifs qui s'évaporent sous l'effet de la chaleur reviennent donc dans le ballon.

Il existe deux types de réfrigérants, réfrigérant à boule comme ci-dessus ou réfrigérant à air. Dans le réfrigérant à boule, la circulation d'eau froide faire du bas vers le haut [42] (**Figure II.6**).



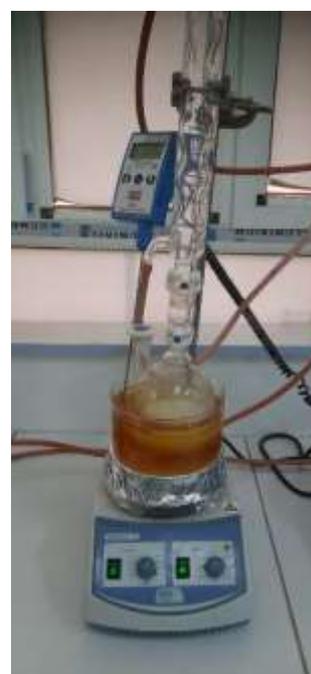
Figure III.06 : Le montage à reflux

III -7- Les étapes de la modification chimique de PVC 4000 M



m (PVC 4000 M) = 4.8g
m (1,12-diaminododécane) = 15.42g
m (1,2-diaminopropane) = 5.63g
m (KI) = 1g
v (DMF) = 70 mL

PVC 4000 M + DMF		
(Agitation + Chauffage)		
5h30min		30°C - 50°C 



KI		
(Agitation + Chauffage)		
50min		60°C 

1,12-diaminododécane		
(Agitation + Chauffage)		
3h20min		160°C 



Précipitation
L'eau agent précipitant



Filtration



Séchage
24h  >35°C 



Stockage

III -8- Hygiène et Sécurité au laboratoire

- 1/ Porter blouse, lunette, masque et gants pour toute manipulation.
- 2/ Éviter d'inhaler les produits chimiques.
- 3/ Nettoyer et rincer les verreries utilisés à l'eau distillée après chaque utilisation.
- 4/ Laisser le laboratoire propre et fonctionnel.
- 5/ Fermer les appareils (plaque chauffage, agitateur, balance analytique, robinet d'eau...)
- 6/ Emballer et éliminer tous les déchets selon les procédures appropriées.
- 7/ Si vous avez un problème, n'hésitez pas à poser des questions.
- 8/ Se laver les mains en quittant le laboratoire.
- 9/ Rester concentré et suivez les règles et procédures de sécurité pour votre sécurité et le succès de votre expérience [42].



© shop-wuider.com



@achatmat.com



© shop-wuider.com



© fr.freepik.com



© fr.123rf.com



© santhea.be



© pharma-gdd.com

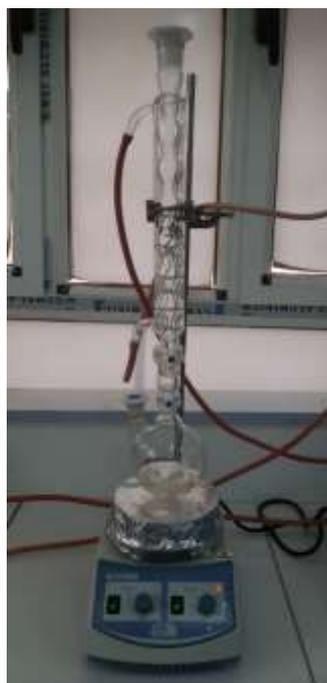
III -9- Mode opératoire

Modifications de PVC 4000 M par 1,12-diaminododécane

Nous avons suivi l'article suivant : A poly (vinyl chloride) functionalized by diethylenetriamine, 2,6-bis-(chloromethyl) pyridine and a crowded aromatic amine. Inductively coupled plasma study of the extraction of La(III) and Bi(III) by modified PVC polymers Fayçal Ammari, Mokhtar Dardouri & Faouzi Meganem. → <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1099475>

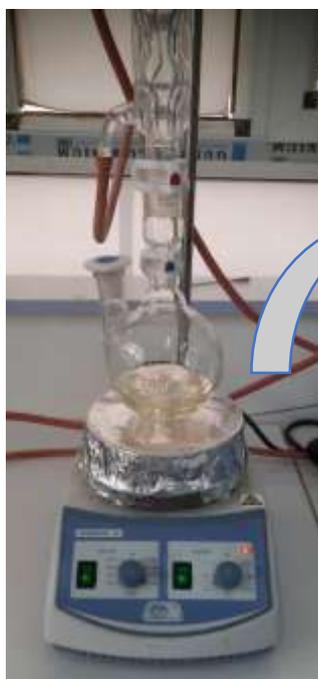
Synthèse à reflux

1/ Dans un ballon bicol ajouter **4.8g** de **PVC 4000 M** avec **70 mL** de **DMF** agité et chauffé à **30 °C - 50 °C** pendant **5h30min**.

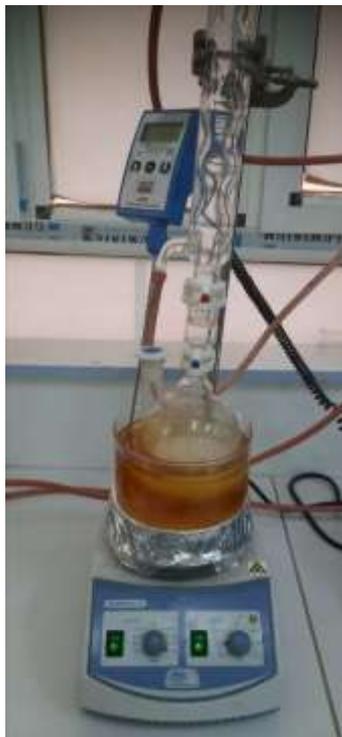


2/ Puis ajouter **1 g** de **KI** et continué l'agitation avec chauffage à **60 °C** pendant **50 min**.

Observation : Le mélange se colore en blanc pâle.



3/ Puis ajouter **15.42 g** de **1.12-diaminododécane** et continué l'agitation avec chauffage à **160°C** pendant **3h20min**.



Précipitation

4/ Laisser le mélange refroidir à température ambiante et déposez-le à l'aide **d'eau** qui joue le rôle d'agent précipitant.





Filtration

5/ Filtrer le mélange avec du papier filtre.

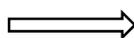




PVC 4000 M modifié par
1,12-diaminododécane



PVC 4000 M modifié par
1,2-diaminopropane



Séchage

6/ Sécher le PVC modifié à $>35^{\circ}\text{C}$ pendant 24 h à l'aide de l'étuve de laboratoire.



© rogosampaic.com

Stockage

7/ Stocker le produit à température ambiante.



NOTE : PVC₁ modifié = PVC 4000 M modifié par 1,12-diaminododécane.

PVC₂ modifié = PVC 4000 M modifié par 1,2-diaminopropane.



On suivre les mêmes étapes de modifications avec la deuxième amine 1,2-diaminopropane

III -10- Mesure de la conductivité**III -10-1- Les Verreries et les Appareils pour préparer les solutions ioniques**

Spatule



Verre de montre



Balance analytique



Fiolle jaugée 500 ml



Pissette



Entonnoir

III -10-2- Préparation les solutions ioniques

1/ Peser les masses de sels (soluté) suivants :

$(\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
Chlorure de cobalt (II) hexahydraté	Nitrate de plomb (II)
$m = 0.0237 \text{ g}$	$m = 0.0331 \text{ g}$

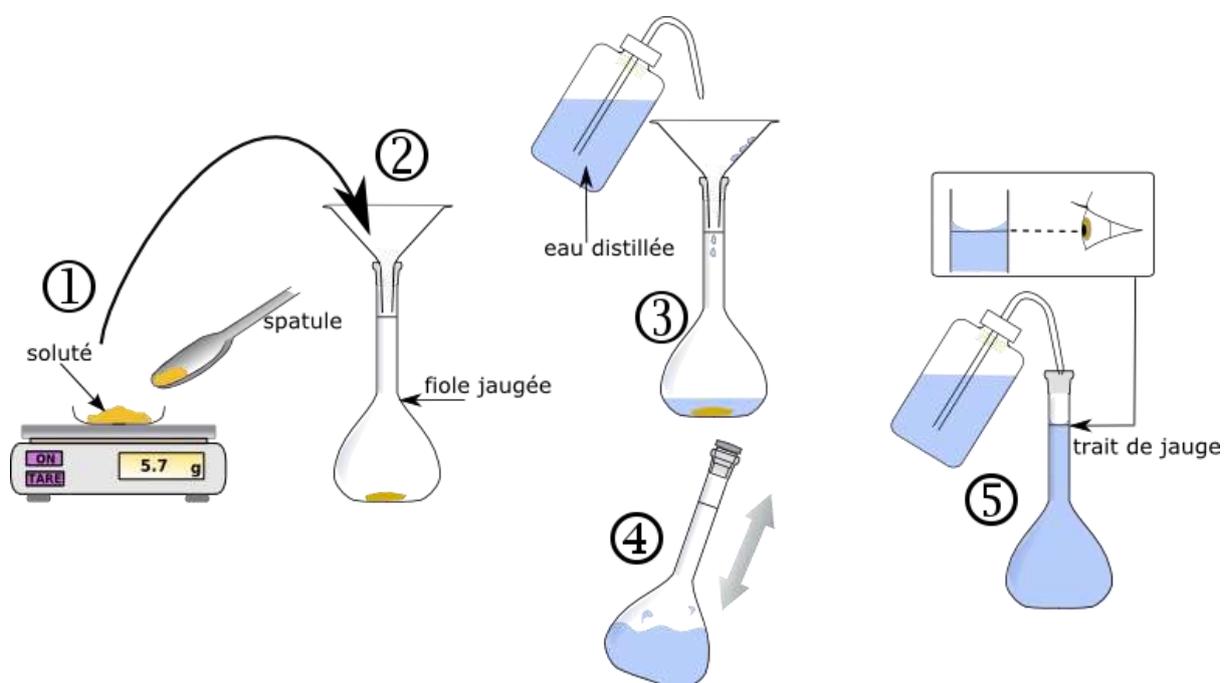
2/ Ajouter chaque sel dans une fiole jaugée.

3/ Remplir fiole jaugée à moitié d'eau distillée (solvant).

4/ Agiter latéralement la fiole jaugée pour la dissolution de sel.

5/ Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher puis agiter vigoureusement.

• La figure suivante **Figure III.07** résumé les étapes de préparation.



© lplagrangemaths.free.fr

Figure III.07 : Méthode de préparation d'une solution

III -10-3- Les Verreries et les Appareils pour mesurer la conductivité



Eprouvette graduée



Flacon de prélèvement



Agitateur



Conductimètre



Seringue de 20 mL



Bêcher 20 mL



Papiers filtre



Tube de prélèvement de laboratoire



Film de protection

III -10-4- La méthode de mesure la conductivité

Dans **04** flacons, mettre **50 mL** de solution de **chlorure de cobalt (II) hexahydraté** Co^{+2} avec une concentration de $2 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ et ajouter une masse de **0,02g** de **PVC₁** modifié et agiter pendant **1h** et mesurer la conductivité de la solution, puis à l'aide d'une seringue, prélever **20mL** de la solution sans **PVC₁** puis mesurer une autre fois la conductivité, puis filtrer la solution et stocker le **PVC** qui a adsorbé le métal pour les analyses et répéter la même manière après deux heures, 3 heures, 4 heures.

La même méthode pour la solution de Pb^{+2} .



Figure III.08 : Conductimètre

NOTE : La même méthode pour le **PVC₂**

III -11- Conclusion

La modification chimique du **PVC** est une méthode simple et facile, le changement de sa structure polymérique a pour but de lui donner d'autres fonctions, spécialement l'élimination des métaux lourds dans les eaux usées.



CHAPITRE IV

Résultats et Discussions



IV -1- Mécanisme réactionnel

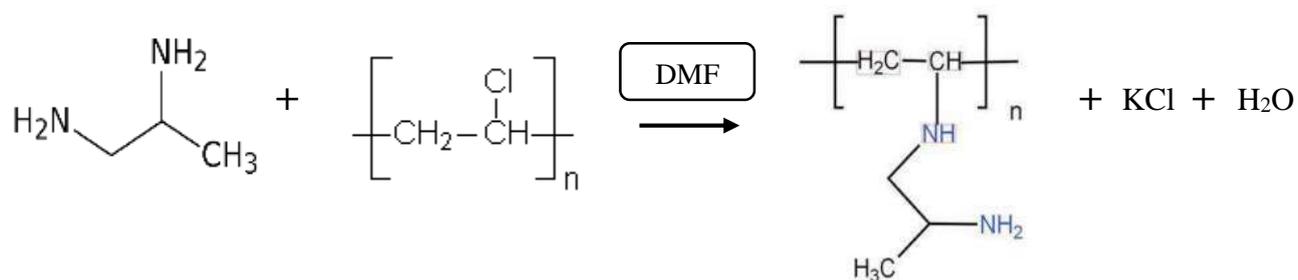


Schéma IV.01 : Mécanisme réactionnel de PVC avec 1,2-diaminopropane

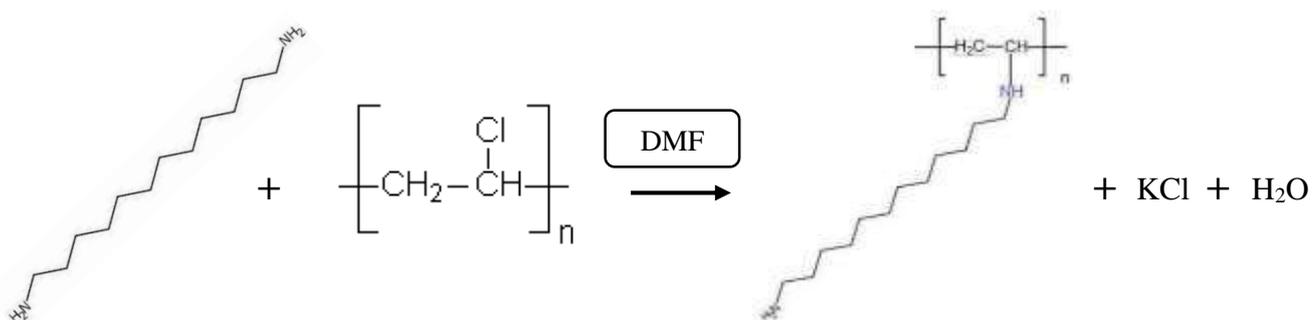


Schéma IV.02 : Mécanisme réactionnel de PVC avec 1,12-diaminododécane

IV -2- Résultats de modifications de PVC 4000 M



PVC 4000 M modifié par
1,12-diaminododécane
(PVC₁ modifié)

17,17g

brune



PVC 4000 M modifié par
1,12-diaminopropane
(PVC₂ modifié)

2.46g

noir

IV -3- Résultats d'analyse par la spectroscopie ultraviolet-visible

L'analyse UV-vis montrer que la molécule de chlore Cl de PVC substituée par une amine primaire à partir d'absorption remarquable dans les graphes schématisée les résultats de la bande d'absorption en fonction de la longueur d'onde λ qui donne une valeur maximum qui montre une différence entre PVC 4000 M, PVC modifier et PVC qui adsorbé les métaux lourds.

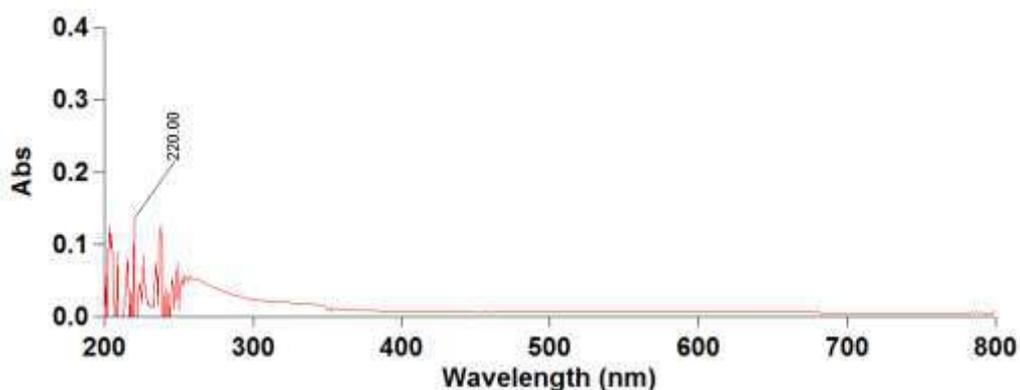


Figure IV.01 : Spectre UV-Visible de PVC 4000 M

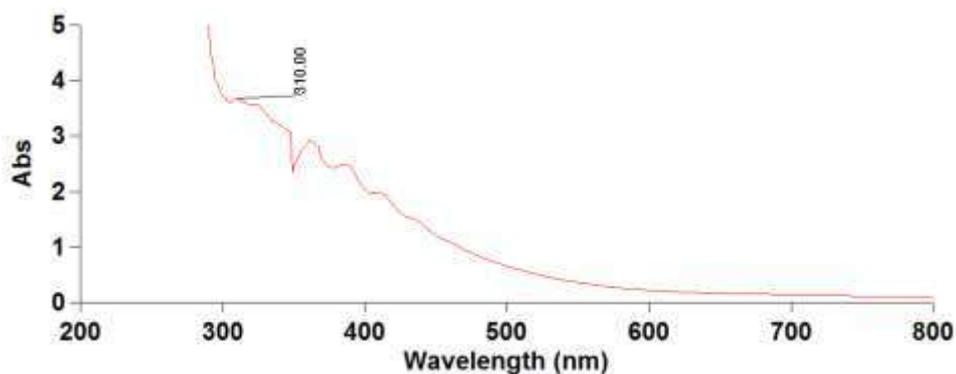


Figure IV.02 : Spectre UV-Visible de PVC₁

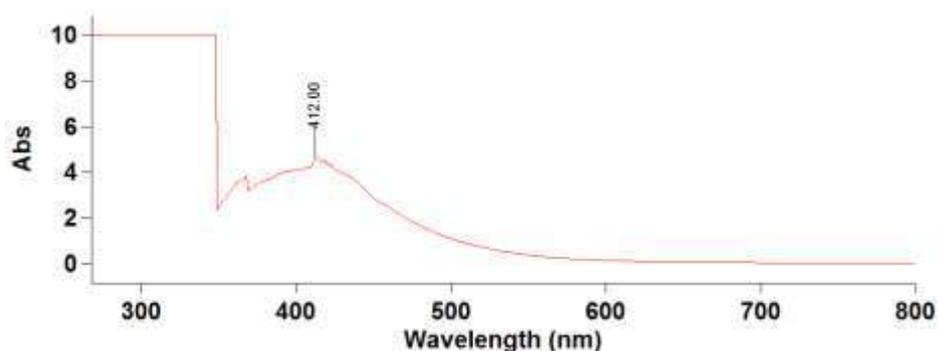


Figure IV.03 : Spectre UV-Visible de PVC₂

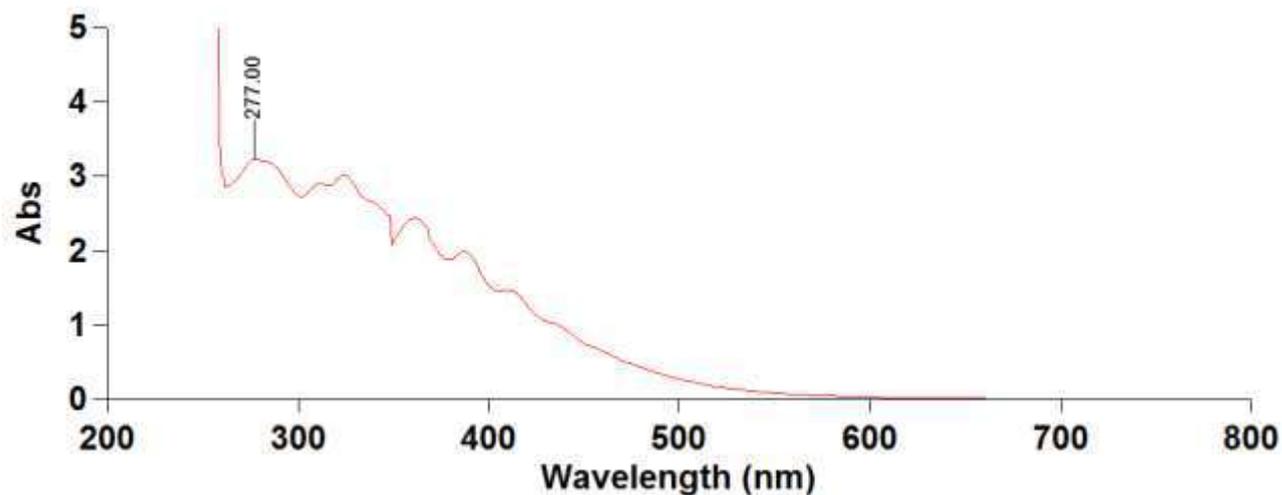


Figure IV.04 : Spectre UV-Visible de PVC₂ qui adsorbe les métaux de Co⁺²

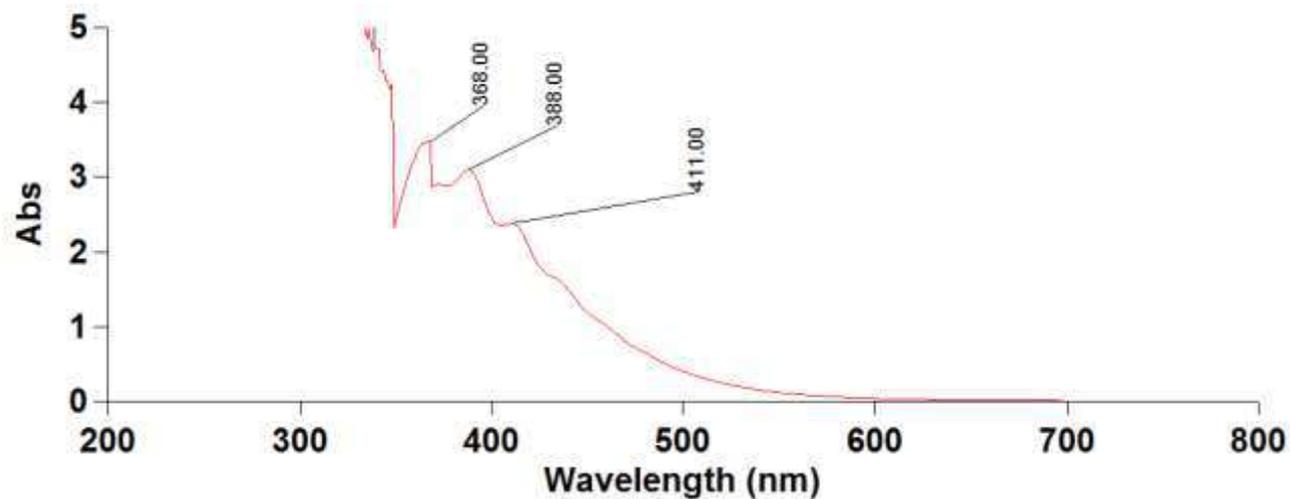


Figure IV.05 : Spectre UV-Visible de PVC₂ qui adsorbe les métaux de Cu⁺²

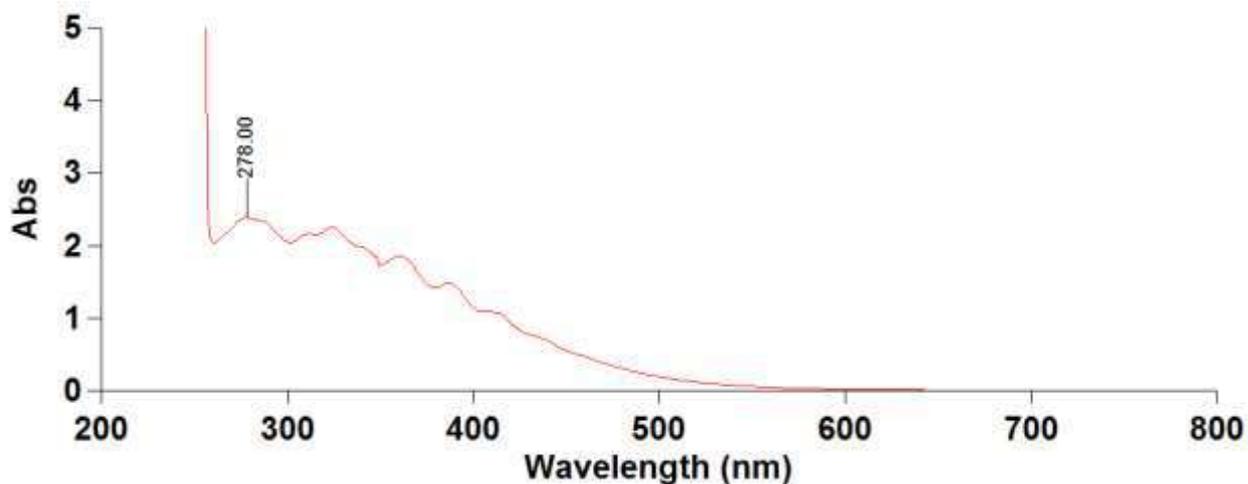


Figure IV.06 : Spectre UV-Visible de PVC₂ qui adsorbe les métaux de Mo⁺²

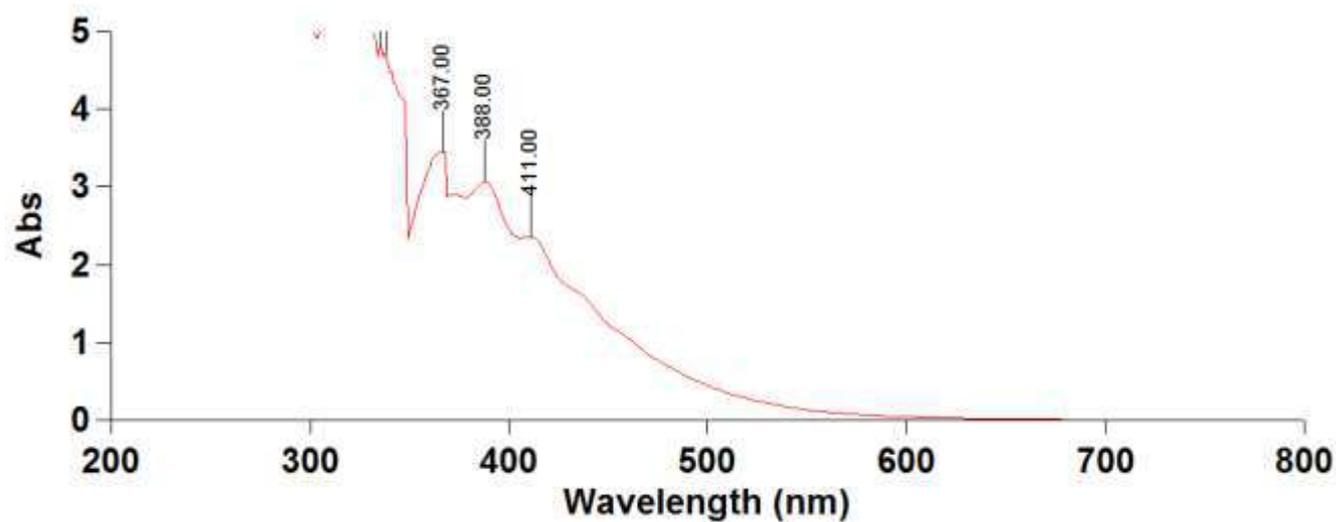


Figure IV.07 : Spectre UV-Visible de PVC₂ qui adsorbe les métaux de Pb⁺²

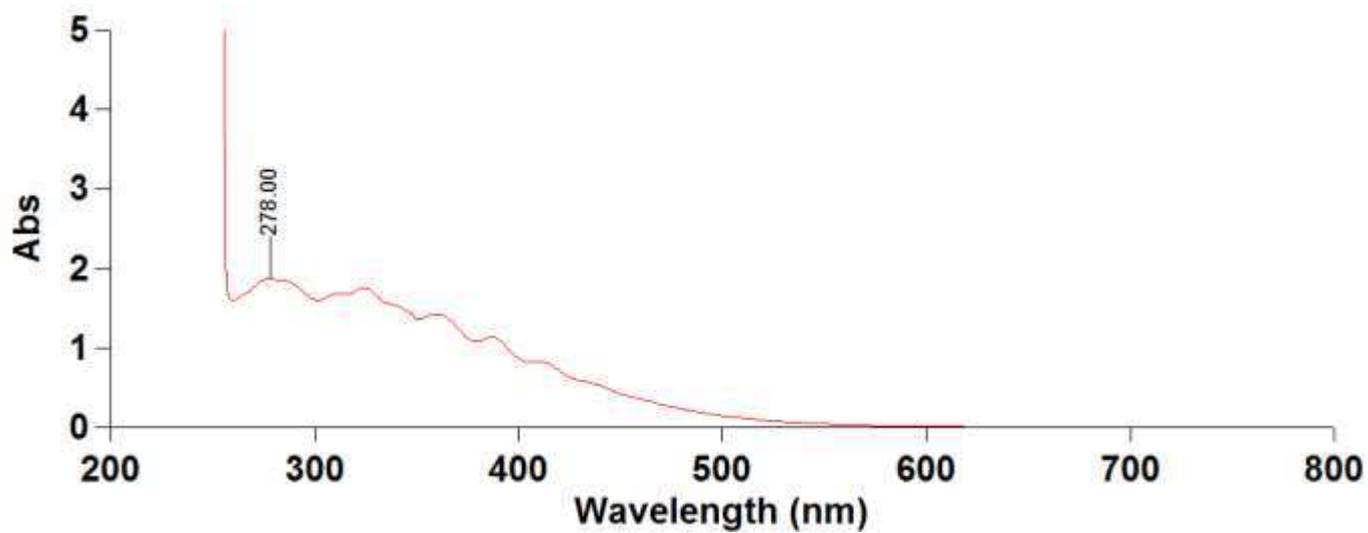


Figure IV.08 : Spectre UV-Visible de PVC₂ qui adsorbe les métaux de Zn⁺²

IV -4- Résultats d'analyse par la spectroscopie infrarouge IR



Figure IV.09 : Spectre IR de PVC 4000 M

Tableau IV.01 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC 4000 M

Liaison	Type de liaison	Nombre d'onde cm ⁻¹ (nm)	Intensité
C-Cl	Chlorure d'alkyle	800 - 600	Fort
C-C	Alcane	1250 - 1000	Moyenne
C-H	Aldehyde Aliphatique	2900 - 2800	Faible

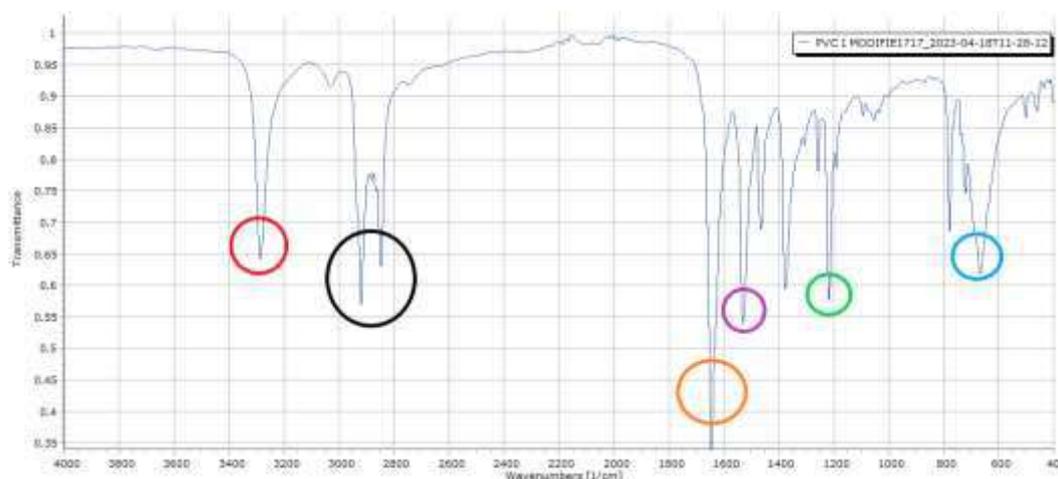


Figure IV.10 : Spectre IR de PVC₁

Tableau IV.02 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC₁

Liaison	Type de liaison	Nombre d'onde cm ⁻¹ (nm)	Intensité
C-Cl	Chlorure d'alkyle	800 - 600	Moyenne
C-N	Amine aliphatique	1220 - 1020	Moyenne
N-H	Elongation	1640 - 1560	Moyenne à forte
C=N	Imine	1680 - 1600	Fort
C-H	Aldehyde Aliphatique	2900 - 2800	Moyenne
N-H 1 bande	Amine secondaire	3500 - 3100	Moyenne

Figure IV.11 : Spectre IR de PVC₂Tableau IV.03 : Principales bandes infrarouges caractéristiques du PVC₂

Liaison	Type de liaison	Nombre d'onde cm ⁻¹ (nm)	Intensité
C-Cl	Chlorure d'alkyle	800 - 600	Moyenne
C-C	Alcane	1250 - 1000	Fort
C=N	Imine	1680 - 1600	Fort
C-H	Aldehyde Aliphatique	3000 - 2800	Faible
N-H	Amine secondaire	3500 - 3100	Faible

Les tableaux ci-dessus résument les principales bandes de vibration du PVC 4000 M, PVC₁ et PVC₂.

Le spectre infrarouge de base de Schiff représenté sur la **figure IV.10 et 11**, montre une intense bande d'absorption au voisinage de $1680 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ correspond au groupe azométhine (C=N) ceci confirme la formation de ligand base de Schiff.

On observe ainsi un pic moyen vers $2900 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ indiqué la vibration de (C-H), et une autre bande intense au voisinage de $1220 - 1020 \text{ cm}^{-1}$ attribuée à la vibration d'élongation (C-N).

Le spectre infrarouge de PVC 4000 M représenté sur la **figure IV.09**, montre une intense bande faible au voisinage de $2900 - 2800 \text{ cm}^{-1}$ dû à la vibration d'élongation de la liaison (C-H), comme on observe aussi un pic fort vers $800 - 600 \text{ cm}^{-1}$ indiqué la vibration de (C-Cl).

IV -5- Résultats de mesure de point de fusion

PVC 4000 M	PVC₁	PVC₂
206 °C	91°C	384 °C

Les modifications sur la structure polymérique du PVC ont entraîné un changement du point de fusion de ce dernier.

IV -6- Résultats de mesure de conductivité

Ces résultats ont été mesurés à T = 25 °C ; C = 2×10⁻⁴ mol/L

L'eau distillée	3.03 µS/cm
Solution de Co ⁺²	44.4 µS/cm
Solution de Pb ⁺²	57.6 µS/cm

	Solution de Co⁺² + PVC₁	Solution de Co⁺² sans PVC₁
1h	68.0 µS/cm	56.6 µS/cm
2h	52.9 µS/cm	46.5 µS/cm
3h	70.1 µS/cm	60.4 µS/cm
4h	56.8 µS/cm	49.0 µS/cm

	Solution de Pb⁺² + PVC₁	Solution de Pb⁺² sans PVC₁
1h	76.6 µS/cm	67.7 µS/cm
2h	61.0 µS/cm	53.5 µS/cm
3h	62.3 µS/cm	55.5 µS/cm
4h	71.9 µS/cm	62.2 µS/cm

	Solution de Co⁺² + PVC₂	Solution de Co⁺² sans PVC₂
1h	52.7 µS/cm	50.6 µS/cm
2h	54.4 µS/cm	48.4 µS/cm
3h	55.0 µS/cm	46.6 µS/cm
4h	55.3 µS/cm	45.4 µS/cm

	Solution de Pb⁺² + PVC₂	Solution de Pb⁺² sans PVC₂
1h	63.6 µS/cm	56.4 µS/cm
2h	63.4 µS/cm	56.7 µS/cm
3h	67.4 µS/cm	60.2 µS/cm
4h	68.8 µS/cm	60.8 µS/cm



Notez le taux d'adsorption de Co⁺² supérieur à Pb⁺².



Notez que PVC₁ a la capacité d'adsorber les métaux lourds mieux que PVC₂.



Les résultats de cette étude indiquent également que ce PVC 4000 M modifié peut être utilisé efficacement pour éliminer les métaux lourds.

Conclusion générale

Le PolyChlorure de Vinyle (PVC) occupe aujourd'hui une place importante dans notre vie quotidienne, et son importance demeure dans la possibilité de préparer de nouveaux produits largement utilisés dans différents domaines et bénéfiques pour l'économie et l'environnement, tout cela est dû aux propriétés chimiques et physiques du PVC et à la possibilité de modification chimique.

La modification chimique du PolyChlorure de Vinyle est facile et pas compliquée et apporte de bons résultats.

Au cours de ce travail, nous avons modifié la structure polymère du **PVC 4000 M** par deux amines primaires aliphatiques **1,12-diaminododécane** et **1,2-diaminopropane**.

Les nouveaux polymères obtenus ont été testés par des méthodes physiques d'analyse telles que : la spectroscopie ultraviolet-visible, la spectroscopie infrarouge IR et la Conductivité.

Le PVC modifié obtenu était capable d'adsorber les métaux lourds.

Les Références bibliographiques

[1] : Bigot, S., Louarn, G., Kébir, N., & Burel, F. (2013). Facile grafting of bioactive cellulose derivatives onto PVC surfaces. *Applied Surface Science*, 283, 411-416.

[2] : Gholami, A., Moghadassi, A. R., Hosseini, S. M., Shabani, S., & Gholami, F. (2014). Preparation and characterization of polyvinyl chloride based nanocomposite nanofiltration-membrane modified by iron oxide nanoparticles for lead removal from water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4), 1517-1522.

[3] : Zhang, X., Chen, Y., Konsowa, A. H., Zhu, X., & Crittenden, J. C. (2009). Evaluation of an innovative polyvinyl chloride (PVC) ultrafiltration membrane for wastewater treatment. *Separation and purification technology*, 70(1), 71-78.

[4] : Ausseur, D. (1999). Poly (chlorure de vinyle). *Les Techniques de l'Ingénieur, Traité Plastique et Composite, Référence AM3325*.

[5] : Anderson, C. D., & Daniels, E. S. (2003). *Emulsion polymerisation and latex applications (Vol. 14)*. iSmithers Rapra Publishing.

[6] : Groupe de Travail PVC. (1998). *Le PVC en « Questions »*. Paris. 49p. Disponible en ligne : <http://dechetsbtplr.free.fr/dossiers%20techniques/documents/pvc/pvc%20en%20questions.pdf>
(Consulté le 1er Mai 2023).

[7] : Tawfik, S. Y., Asaad, J. N., & Sabaa, M. W. (2006). Thermal and mechanical behaviour of flexible poly (vinyl chloride) mixed with some saturated polyesters. *Polymer degradation and stability*, 91(2), 385-392.

[8] : Bhardwaj, S., & Khan, M. A. (2004). Decolourization of pulp and paper mill effluent using polyvinyl chloride.

[9] : Burgess, R. H. (1982). *Suspension polymerisation of vinyl chloride*. In *Manufacture and Processing of PVC*. Applied Science Publishers London.

[10] : Emsley, J. (2011). *Nature's building blocks: an AZ guide to the elements*. Oxford University Press.

- [11] : STA, T. E. (2010). L'activité pétrochimique en France.
- [12] : Lagache, M. (1972). L'économie des industries chimiques. FeniXX.
- [13] : Moulay, S. (2010). Chemical modification of poly (vinyl chloride)—Still on the run. *Progress in Polymer Science*, 35(3), 303-331.
- [14] : Mayer, Z. (1974). Thermal decomposition of poly(vinyl chloride) and of its low-molecular-weight model compounds. *Journal of Macromolecular Science—Reviews in Macromolecular Chemistry*, 10(2), 263-292.
- [15] : Allen, N. S., & Edge, M. (1992). *Fundamentals of polymer degradation and stabilization*. Springer Science & Business Media.
- [16] : Alsabri, A., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Carbon footprint and embodied energy of PVC, PE, and PP piping: Perspective on environmental performance. *Energy Reports*, 6, 364-370.
- [17] : Ye, L., Qi, C., Hong, J., & Ma, X. (2017). Life cycle assessment of polyvinyl chloride production and its recyclability in China. *Journal of cleaner production*, 142, 2965-2972.
- [18] : Martins, J. D. N., Freire, E., & Hemadipour, H. (2009). Applications and market of PVC for piping industry. *Polímeros*, 19, 58-62.
- [19] : Brockmann, W., Geiß, P. L., Klingen, J., & Schröder, K. B. (2008). *Adhesive bonding: materials, applications and technology*. John Wiley & Sons.
- [20] : James, N. R., & Jayakrishnan, A. (2003). Surface thiocyanation of plasticized poly (vinyl chloride) and its effect on bacterial adhesion. *Biomaterials*, 24(13), 2205-2212.
- [21] : Abdel-Monem, R. A., Rabie, S. T., El-Liethy, M. A., Hemdan, B. A., El-Nazer, H. A., & Gaballah, S. T. (2022). Chitosan-PVC conjugates/metal nanoparticles for biomedical applications. *Polymers for Advanced Technologies*, 33(2), 514-523.
- [22] : Zhong, R., Wang, H., Wu, X., Cao, Y., He, Z., He, Y., & Liu, J. (2013). In vitro investigation of the effect of plasticizers on the blood compatibility of medical grade plasticized poly (vinyl chloride). *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 24(8), 1985-1992.

[23] : Asadinezhad, A., Novák, I., Lehocký, M., Bílek, F., Vesel, A., Junkar, I., ... & Popelka, A. (2010). Polysaccharides coatings on medical-grade PVC: A probe into surface characteristics and the extent of bacterial adhesion. *Molecules*, 15(2), 1007-1027.

[24] : Marsh, K., & Bugusu, B. (2007). Food packaging—roles, materials, and environmental issues. *Journal of food science*, 72(3), R39-R55.

[25] : Pourret, O., Bollinger, J. C., & Hursthouse, A. (2021). Heavy metal: a misused term?. *Acta Geochimica*, 40, 466-471.

[26] : Ouro-Sama, K., Solitoke, H. D., Gnandi, K., Afiademanyo, K. M., & Bowessidjaou, E. J. (2014). Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *VertigO*, 14(2).

[27] : Yan, C., Qu, Z., Wang, J., Cao, L., & Han, Q. (2022). Microalgal bioremediation of heavy metal pollution in water: Recent advances, challenges, and prospects. *Chemosphere*, 286, 131870.

[28] : Bradl, H. B. (2005). Sources and origins of heavy metals. In *Interface science and technology* (Vol. 6, pp. 1-27). Elsevier.

[29] : Barbosa-García, O., Ramos-Ortiz, G., Maldonado, J. L., Pichardo-Molina, J. L., Meneses-Nava, M. A., Landgrave, J. E. A., & Cervantes-Martínez, J. (2007). UV–vis absorption spectroscopy and multivariate analysis as a method to discriminate tequila. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 66(1), 129-134.

[30] : Tissue, B. M. (2002). Ultraviolet and visible absorption spectroscopy. *Characterization of Materials*.

[31] : Gauglitz, G. (2001). Ultraviolet and visible spectroscopy. *Handbook of analytical techniques*, 419-463.

[32] : BAKHOUCHE, P. M. Techniques spectroscopiques d'analyse: Spectroscopies IR, UV-Vis et spectrométrie de Masse.

[33] : Servant, L., Le Bourdon, G., & Buffeteau, T. (2011). Comprendre la spectroscopie infrarouge: principes et mise en oeuvre. *Photoniques*, (53), 68-73.

[34] : Feistel, R., & Wagner, W. (2006). A new equation of state for H₂O ice Ih. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 35(2), 1021-1047.

[35] : DE FUSION, A. T., & CONGÉLATION, D. RÈGLEMENT (CE) N o 440/2008 DE LA COMMISSION du 30 mai 2008 établissant des méthodes d'essai conformément au règlement (CE) n o 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH).

[36] : (2020). Conductivite theorie et pratique. Radiometer Analytical. 50p. Disponible en ligne : <https://www.igz.ch/downloads/8525/Conductivite%20theorie%20et%20pratique.pdf>

(Consulté le 09 Mai 2023).

[37] : Chemos GmbH & Co. KG. (2020). Fiche de Données de Sécurité: 1,12-Diaminododecane. CHEMOS. 12p. Disponible en ligne : https://www.chemos.de/import/data/msds/FR_fr/2783-17-7-A0287158-FR-fr.pdf (Consulté le 10 Mai 2023).

[38] : National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 6567, 1,2-Diaminopropane. Accessed May 11, 2023 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_2-Diaminopropane

[39] : National Center for Biotechnology Information (2023). PubChem Compound Summary for CID 6228, N,N-Dimethylformamide. Accessed May 11, 2023 from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/N_N-Dimethylformamide

[40] : (1998). « Potassium iodide » dans la base de données de produits chimiques GESTIS. IFA (organisme allemand responsable de la sécurité et de la santé au travail). Disponible en ligne : <https://gestis.dguv.de/data?name=122515&lang=en>

(Consulté le 12 Mai 2023).

[41] : United Nations Economic Commission for Europe, U. N(2015)). Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) سويسرا. : United Nations Fund for Population Activities.

[42] : ATTAR, T., & DATOUSSAID, Y. (2022). POLYCOPIÉ DE TRAVAUX PRATIQUES DE CHIMIE. École Supérieure en Sciences Appliquées – ESSAT. Tlemcen

Résumé :

Dans ce travail, nous modifions la matrice de **PolyChlorure de Vinyle 4000 M** par deux amines primaires aliphatiques **1,12-diaminododécane** et **1,2-diaminopropane**, pour obtenir une nouvelle matrice polymère avec l'avantage d'être utilisée dans divers domaines tels que l'extraction des métaux lourds des eaux usées (traitement de l'eau), et évaluons l'efficacité de ce PVC modifié (produit) (sa capacité à adsorber les métaux lourds) par utilisant des méthodes spectrales telles que spectroscopie ultraviolet visible (UV-vis), spectroscopie infrarouge IR et mesure de conductivité.

Mots clés : PolyChlorure de Vinyle 4000 M, 1,12-diaminododécane, 1,2-diaminopropane, métaux lourds, traitement de l'eau.

Abstract :

In this work, we modify the **4000 M Polyvinyl chloride** matrix with two aliphatic primary amines **1,12-diaminododecane** and **1,2-diaminopropane**, to obtain a new polymer matrix with the advantage of being used in various fields such as the extraction of heavy metals from wastewater (water treatment), and evaluate the effectiveness of this modified PVC (product) (its ability to adsorb heavy metals) using spectral methods such as spectroscopy visible ultraviolet (UV-vis), infrared IR spectroscopy and conductivity measurement.

Keywords : Polyvinyl Chloride 4000 M, 1,12-diaminododecane, 1,2-diaminopropane, heavy metals, water treatment.

المخلص:

في هذا العمل، نقوم بتعديل مصفوفة البولي فينيل كلوريد 4000 م مع إثنين من الأمينات الأولية الأليفاتية **1، 12-ديامينودوديكان** و **1، 2-ديامينوبروبان**، للحصول على مصفوفة بوليمر جديدة مع ميزة استخدامها في مجالات مختلفة مثل استخراج المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي (معالجة المياه)، وتقييم فعالية هذا PVC المعدل (المنتج) (قدرته على امتصاص المعادن الثقيلة) باستخدام الطرق الطيفية مثل الأشعة فوق البنفسجية المرئية، الأشعة تحت الحمراء الطيفية وقياس الناقلية.

الكلمات المفتاحية: البولي فينيل كلوريد 4000 م، 1، 12-ديامينودوديكان، 1، 2-ديامينوبروبان، المعادن الثقيلة، معالجة المياه.