



**Université Mohamed Khider de Biskra**  
Faculté des sciences et de la technologie  
Department de chimie industrielle

# MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**  
**Filière : Génie des procédés**  
**Spécialité : Génie chimique**

**Réf. :** Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par :  
**Adaïka Adel**

Le : lundi 27 juin 2022

## **Elaboration et caractérisation des nouvelles formulations à base de PVC et déterminer leurs compositions**

---

### **Jury :**

Dr. Sakri Adel	MCA Université de Biskra	Président
Dr. Ghebghoub Fatima	MCA Université de Biskra	Examineur
Dr. Bouremel Cherifa	MCA Université de Biskra	Rapporteur

**Année universitaire : 2021 - 2022**

## Remerciement

---

### Remerciement

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d'ALLAH le plus puissant ainsi que certaines personnes. En premier lieu, nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances à notre promoteur **Dr. Bouremel Cherifa**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Nous tenons également à remercier les membres du jury ayant laissé leurs multiples occupations pour examiner ce travail. Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leurs critiques et suggestions qui contribueront certainement à rehausser la valeur scientifique de notre travail.

Nous remercions, Le directeur de l'**ENICAB** de nous avoir accueillis dans leur service, ainsi qu'à tout l'ensemble du personnel du laboratoire pour leurs aide, leurs conseils ainsi que leurs complicités.

Enfin, nous remercions énormément tous les professeurs du département de chimie industriel.

# SOMMAIRE

LISTE DE FIGURES .....	i
LISTE DES TABLEAUX.....	ii
LISTE D'ABREVIATION.....	ii
INTRODUCTION GENERALE.....	iv
<b>I. GENERALITE SUR LES POLYMERES.....</b>	<b>1</b>
INTRODUCTION.....	1
DEFINITION.....	1
DEFINITION D'UN MONOMERE.....	1
DEFINITION DE POLYMERE.....	1
HISTORIQUE DE POLYMERES.....	2
STRUCTURE DES POLYMERES.....	2
POLYMERES LINEAIRE.....	3
POLYMERES RAMIFIE.....	4
POLYMERES BIDIMENSIONNELS.....	4
POLYMERES TRIDIMENSIONNELS.....	4
CLASSIFICATION DES POLYMERS.....	4
SELON LEUR COMPORTEMENT THERMIQUE.....	4
THERMOPLASTIQUES.....	4
THERMODURCISSABLES.....	5
THERMOELASTIQUE.....	6

SELON L'ORIGINE.....	6
POLYMERE NATUREL .....	6
POLYMERES ARTIFICIELS.....	7
POLYMERES SYNTHETIQUES.....	7
SELON LA NATURE CHIMIQUE .....	7
POLYMERES MINERAUX.....	7
POLYMERES ORGANIQUE.....	7
POLYMERES MIXTES.....	7
PROPRIETES GENERALES DES POLYMERES .....	8
PROPRIETES CHIMIQUE .....	8
PROPRIETES PHYSIQUES .....	8
DOMAINE D'APPLICATION DES POLYMERES.....	9
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	11
<b>II. LE POLYCHLORURE DE VINYLE (PVC) .....</b>	<b>13</b>
DEFINITION.....	13
II.2 HISTORIQUE.....	13
PREPARATION DU POLYCHLORURE DE VINYLE.....	14
REACTIONS DE POLYMERISATION.....	15
MOLECULE DE PVC.....	15
II-4. PROPRIETES GENERALES DU PVC.....	17
PROPRIETES CHIMIQUES.....	17

PROPRIETES MECANIQUES.....	17
PROPRIETES PHYSIQUES.....	18
PROPRIETES THERMIQUES.....	19
ADDITIFS DE TRANSFORMATION.....	19
LES STABILISANTS.....	20
LES LUBRIFIANTS.....	20
LES PLASTIFIANTS.....	20
LES CHARGE.....	21
LES COLORANTS ET LES PIGMENTS.....	21
II.4. APPLICATIONS.....	21
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	23
<b>III. DESCRIPTION D’USINE ENICAB.....</b>	<b>26</b>
INTRODUCTION.....	26
PRESENTATION D’USINE.....	27
POLITIQUE QUALITE, SECURITE, SANTE & ENVIRONNEMENT.....	29
ORGANIGRAMME D’USINE.....	31
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	32
<b>IV. MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>33</b>
INTRODUCTION.....	33
BUT DE TRAVAIL.....	33
PRODUIT UTILISE.....	33

DEFINITION.....	33
ROLE DE PVC.....	34
MODE OPERATOIRE.....	34
ESSAI DE TRACTION.....	34
PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	35
PREPARATION DES PLAQUES.....	35
PREPARATION DES EPROUVETTES.....	36
ESSAI DE DURETE (DURETE SHORE A).....	38
MASSE VOLUMIQUE.....	39
SPECTROSCOPIE INFRA-ROUGE (IFTR).....	40
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	42
<b>V. RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>43</b>
ESSAI DE TRACTION.....	43
ESSAI DE DURETE SHORE A.....	44
LA MASSE VOLUMIQUE.....	45
CARACTERISATION PAR SPECTROSCOPIE INFRA-ROUGE (IFTR).....	45
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>48</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>49</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> : Structures de base des polymères .....	3
<b>Figure I.2</b> : polymères linéaires .....	3
<b>Figure I.3</b> : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b) .....	4
<b>Figure I.4</b> : Thermoplastique amorphes .....	5
<b>Figure I.5</b> : Thermoplastique semi-cristallin .....	5
<b>Figure I.6</b> : Thermodurcissables .....	6
<b>Figure II.1</b> : Polymérisation de PVC .....	13
<b>Figure III.1</b> : câbles produit par l'entreprise ENICAB .....	27
<b>Figure III.2</b> : Photographie de l'usine .....	28
<b>Figure IV.1</b> : PVC utilisé.....	33
<b>Figure IV.2</b> : Câble électrique .....	34
<b>Figure IV.3</b> : Machine de traction utilisée.....	35
<b>Figure IV.4</b> : Presse hydraulique de type «SCHWABENTAAN POLYSTAT 300» .....	35
<b>Figure IV.5</b> : Avant et après le pressage.....	36
<b>Figure IV.6</b> : Découpeuse utilisé.....	36
<b>Figure IV.7</b> : Les éprouvettes obtenues.....	36
<b>Figure IV.8</b> : mesure l'épaisseur par pied à coulisse.....	37
<b>Figure IV.9</b> : Duromètre utilisé .....	39
<b>Figure IV.10</b> : Protocole suivi pour obtenir la densité .....	40
<b>Figure V.1</b> : Variations de la contrainte à la rupture des composites PVC en fonction du mélange différents .....	43

<b>Figure V.2</b> : Variations de l’allongement des composites PVC en fonction du mélange différents.....	43
<b>Figure V.3</b> : Variation de la dureté shore A en fonction des mélanges différents.....	44
<b>Figure V.4</b> : Spectres infrarouge à transformée de Fourier d’échantillon E1.....	45
<b>Figure V.5</b> : Spectres infrarouge à transformée de Fourier d’échantillon E2.....	46
<b>Figure V.6</b> : Superposition des spectres dans un seul graphe.....	47

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau I.1</b> : domaine d’application des polymères .....	9
<b>Tableau II-1</b> : Propriétés mécaniques de PVC rigide et de PVC souple.....	18
<b>Tableau II-2</b> : Propriétés thermiques du PVC.....	19
<b>Tableau II-3</b> . Avantages, inconvénients et domaines d’applications du PVC rigide et plastifié.....	22
<b>Tableau V.1</b> : densité des échantillons 1 et 2 .....	44
<b>Tableau V.2</b> : Groupements fonctionnels caractéristiques d’échantillon E1 .....	45
<b>Tableau V.3</b> : Groupements fonctionnels caractéristiques d’échantillon E2 .....	46

## **LISTE D’ABREVIATION**

**PVC** : Polychlorure de Vinyle

**ENICAB** : Entreprise Nationale d’Industrie de Câble Biskra

**CVM** : chlorure de vinyle monomère

**THF** : Tétrahydrofuranne

**PE** : Polyéthylène

**HF** : Haute Fréquence

**UV** : Ultra Violet

**ACS** : International Copper Standard

**XPLE** : polyéthylène réticulé

**Câble** : LSZH Low Smoke Zero Halogen

**THT** : Très Haute Tension

**EPC** : et Entrepreneurs nationaux et internationaux

**ISO** : International Organization for Standardization

**QSE** : Qualité Sécurité, Santé et Environnement

**SMI** : Système de Management Intégré

**E1** : Echantillon 1 (bourrage de l'ENICAB)

**E2** : Echantillon 2 (bourrage commercial)

# **Introduction**

## **générale**

## Introduction générale

Les polymères constituent, aujourd'hui, l'un des secteurs les plus importants de l'industrie chimique et les matériaux qui en sont issus envahissent, de plus en plus, notre vie quotidienne.

Afin d'obtenir l'éventail des propriétés nécessaires dans les produits finis, un certain nombre d'additifs sont mélangés au polymère. Selon l'application à laquelle est destiné le PVC, sa composition (résine + additifs) peut varier énormément en fonction des quantités d'additifs différents qui sont incorporés dans le polymère : stabilisants, lubrifiants, plastifiants. Les stabilisants sont ajoutés au polymère afin d'empêcher la dégradation par la chaleur et la lumière [1].

Le polychlorure de vinyle (PVC), qui fera l'objet de notre étude, est la troisième matière plastique la plus consommée dans le monde après polyéthylène et polypropylène, il est associé aux grandes innovations technologiques du XXème siècle. Il couvre tous les secteurs de l'activité économique, avec une production mondiale qui atteint 32 millions de tonnes en 2015 alors qu'elle était que 2 millions en 1950. Ceci est dû à l'ensemble de ses propriétés mécanique et physiques et son aptitude à être modifié [2].

De nombreuses analyses ont été menées concernant les propriétés mécanique, physique et chimique de notre matière de base (PVC).

L'objectif de ce présent travail est consiste de faire une étude comparative entre deux matières à base de base (PVC) l'un est de l'ENICAB (E1) et l'autre est commercial (E2).

Cette mémoire se présente selon le plan suivant :

Une première partie, constituée de trois chapitres, réservée à une recherche bibliographique. Le premier chapitre est consacré à un aperçu général sur les polymères, le deuxième chapitre est réservé à une présentation du matériau, formulation, mise en œuvre du matériau et aux domaines d'utilisation du PVC comme isolant dans les câbles électriques, le Troisième chapitre est consacré à une présentation sur l'usine ou nous avons fait notre partie expérimental.

## **Introduction générale**

---

Une deuxième partie constituée des chapitres 4 et 5, est réservée aux travaux expérimentaux. Dans le chapitre 4, nous avons décrit la procédure de mise en œuvre des analyses réalisées (matériels et méthodes). Au cinquième chapitre regroupe l'ensemble des résultats expérimentaux ainsi que leur interprétation. En terminant par une conclusion générale.

### **Références**

[1] s.tablit, a.djouad, étude de la thermo-dégradation et la stabilisation de polychlorure de vinyle (pvc), mémoire de master, université ferhat abbas, sétif 1 – Algérie – (2015)

[2] polychlorure de vinyle. techniques de l'ingénieur. am3325.1-14pp (1990)

# **Chapitre I :**

# **Généralité sur**

# **les polymères**

**I. GENERALITE SUR LES POLYMERES****INTRODUCTION**

La science des macromolécules est l'un des domaines la plus récente, c'est seulement dans les années 1920 H. Stdinger a proposé la notion de la macromolécule. L'importance économique des matériaux polymères a suscité à la fin des années 1930, un développement des recherches dans ce domaine, aussi bien théoriques qu'expérimentales. En effet, les composés macromoléculaires présentent un rôle très important dans tous les domaines de la vie. Les macromolécules artificielles, qui résultent de la modification chimique des macromolécules naturelles, ainsi que les macromolécules artificielles synthétiques, créés à partir des molécules simples appelées généralement polymères. Les polymères sont constitués d'un grand nombre d'unités fondamentales, appelées monomères. Ces derniers sont des molécules organiques, inorganiques, artificiels ou synthétiques dont le noyau est essentiellement constitués d'un atome de carbone (ou de silicium dans le cas des polymères siliconés) [1].

**DEFINITION****DEFINITION D'UN MONOMERE**

Un monomère du grec mono « une » et meros « partie » est un atome ou une petite molécule qui peut se lier chimiquement à d'autres monomères pour former un polymère. Ce sont des molécules très réactives, puisque cette réactivité est mise à profit pour fabriquer des polymères [2]. Le nombre d'unités monomères constitutive d'une chaîne de polymère est appelé degré de polymérisation [3].

**DEFINITION DE POLYMERE**

Le mot « polymère » vient de grec « poly » signifiant plusieurs et « meros » partie ou unités [4]. Le polymère est définie comme un système formé par un ensemble de macromolécules, c'est-à-dire d'entités moléculaires de grande taille issues de l'assemblage covalent d'un grand nombre d'unité répétitives plus communément appelées unités ou (motifs) monomère [3].

## **HISTORIQUE DE POLYMERES**

L'inventeur américain Charles Good Year découvre le procédé de réticulation du caoutchouc au moyen de soufre (brevet déposé en 1839) ; cette opération de vulcanisation est désignée par l'anglais Thomas Hancock en 1844 [5].

Le terme polymère est pour la première fois utilisé en 1866 par Berthelot lors d'une de ses observations, il désigne ainsi probablement le premier polymère synthétique reconnu, le polystyrène [6].

Les frères John Wesley et John Hyatt mettent au point le Celluloïd en 1870. Ce matériau obtenu en plastifiant du coton avec du camphre fut non seulement le premier plastique commercialisé, mais aussi le seul durant près de quarante ans [5].

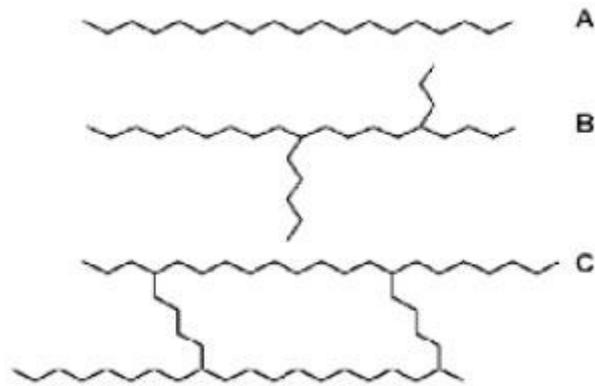
Une étape importante est franchie avec la production industrielle de polymères synthétiques, comme la bakélite en 1910.

Même si la notion de macromolécule est présagée au début du 19<sup>ème</sup> siècle, de nombreux chercheurs ne voient là que des agrégats ou micelles. Cette notion n'apparaît que tardivement dans l'histoire de la chimie, dans les années 1920, avec les travaux d'Hermann Staudinger il est le premier à proposer la notion de polymère comme connue aujourd'hui, il a ainsi ouvert la voie à la science et à la technologie des polymères. Il a obtenu le prix Nobel en 1953 pour ses travaux [6].

## **STRUCTURE DES POLYMERES**

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés [10]. (Figure I.1)

Les polymères peuvent être composés d'un seul type de monomère (homopolymère) ou de différents types de monomère (copolymère).

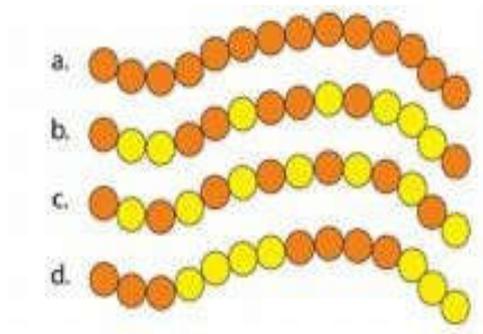


A) polymère linéaire, B) polymère ramifié, C) polymère réticulé

**Figure I.1 :** Structures de base des polymères [6].

## POLYMERES LINEAIRE

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes [10].

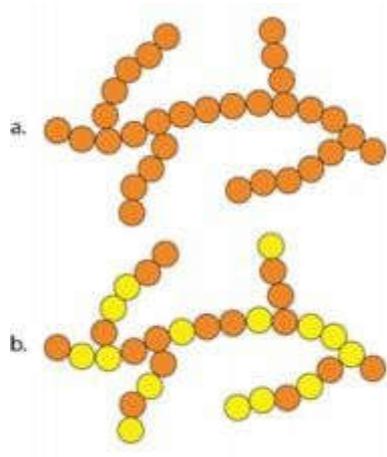


*(a. : homopolymère, b. : copolymère statistique, c. : copolymère alterné, d. : copolymère séquencé)*

**Figure I.2 :** polymères linéaires [10].

## POLYMERES RAMIFIE

Certaines chaines latérales sont liées à la chaîne principale [13].



**Figure I.3** : Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b) [10].

## POLYMERES BIDIMENSIONNELS

Ils se rencontrent sur tout dans le domaine des polymères naturels, où l'enchaînement s'étend dans deux directions de l'espace [13].

## POLYMERES TRIDIMENSIONNELS

Se sont des réseaux à trois dimensions, ils sont beaucoup moins élastiques que les polymères linéaires [14].

## CLASSIFICATION DES POLYMERES

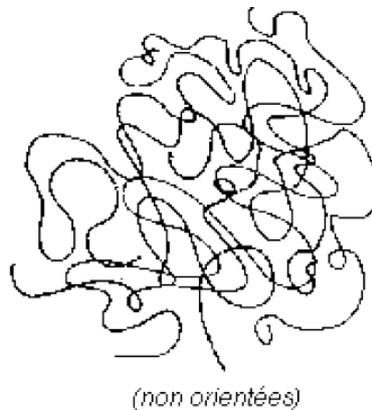
Les polymères peuvent être classés selon divers critères, qui ne s'excluent pas les uns les autres :

### SELON LEUR COMPORTEMENT THERMIQUE

#### THERMOPLASTIQUES

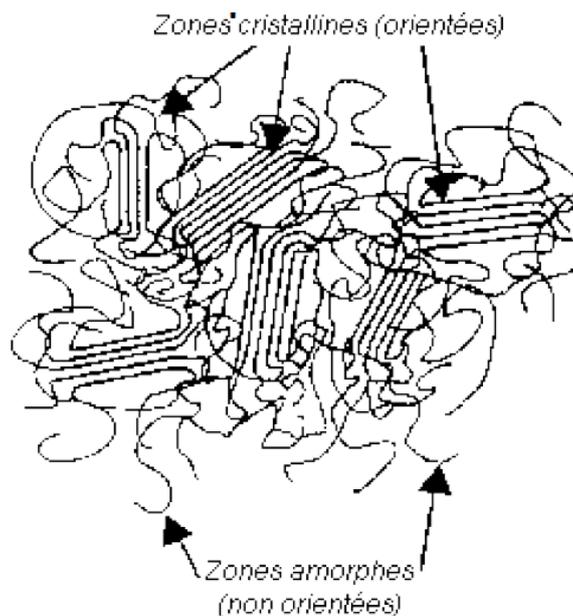
Sont pour la plupart constitués d'enchaînement unidimensionnel résultant de l'association de motifs simples. A chaud les matières thermoplastiques peuvent être moulées et en refroidissant elles conservent la forme donnée.

Polymères fusibles, amorphes ou semi-cristallins, dont les chaînes peuvent être séparées les unes des autres [15].



Amorphes = Plat de spaghetti

Figure I.4 : Thermoplastique amorphes [15].



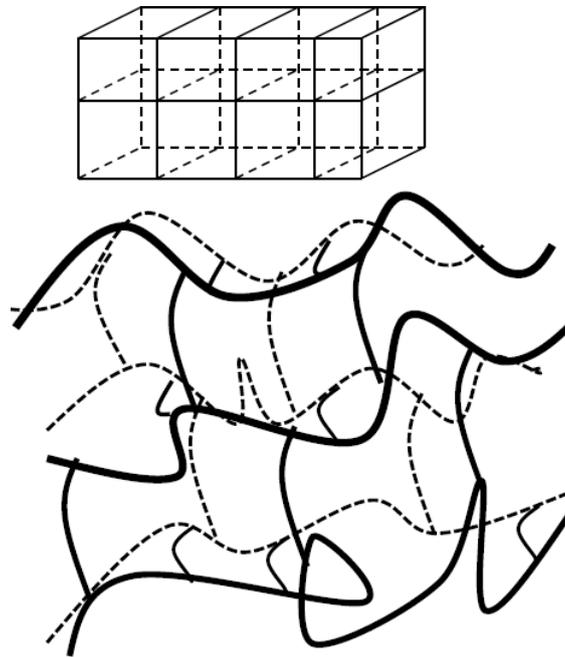
Semi-cristallin = Plat de spaghetti+ parties ordonnées

Figure I.5 : Thermoplastique semi-cristallin [15].

## THERMODURCISSABLES

Sous l'action combinée ou non de la température, de la pression, de catalyseurs et de la réactifs, la réaction conduit à un réseau tridimensionnel résultant du pontage des chaînes, opération appelée réticulation ; alors la forme est fixée et la transformation est définitive.

Polymères infusibles, amorphes, dont toutes les chaînes sont liées les unes aux autres [15].



Thermodur = filet en 3D avec des mailles rigides à Tamb

**Figure I.6** : Thermodurcissables [15].

## **THERMOELASTIQUE**

L'objectif recherche actuellement est la mise au point de polymères capables de conserver l'élasticité à des températures modéré très élevées, afin de palier à la limitation thermique qui est le point faible des élastiques actuels [16].

## **SELON L'ORIGINE**

En fonction de leur origine, on distingue trois types de polymères

## **POLYMERE NATUREL**

(Cellulose, caoutchouc naturel, kératine...), issus des règnes animal et/ou végétal et on connaît mal le processus de génération des motifs monomères [17].

**POLYMERES ARTIFICIELS**

(Esters et éthers cellulosiques...) résultant de la modification chimique de groupements moléculaires portés par les chaînes de polymères naturels [17].

**POLYMERES SYNTHETIQUES**

Les molécules monomères qui permettent de ces polymères n'existent pas la nature. Cependant, on peut remarquer que les structures réalisées par la synthèse sont souvent proches de celles des polymères naturels [12].

**SELON LA NATURE CHIMIQUE**

On distingue : les polymères organiques, les polymères minéraux (diamant, graphite, phosphore, silicates...) et les polymères mixtes (Organométallique).

**POLYMERES MINERAUX**

Sont constitués par les chaînes renfermant un seul corps simple comme le diamant, le graphite, le phosphore et le soufre, ou par des chaînes renfermant plusieurs hétéronomes comme les silicates, les acides poly phosphoriques et les chlorures de polyphosphonitriles [18].

**POLYMERES ORGANIQUE**

C'est la classe la plus riche, ils constituent presque la totalité des polymères d'utilisation courante. Les principaux polymères organiques des synthèses sont les polyoléfines, les polyvinyles, les polyamides, les polyesters et les polyacryliques [18].

**POLYMERES MIXTES**

Sont doués des propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique (300-350°C) [19].

**PROPRIETES GENERALES DES POLYMERES****PROPRIETES CHIMIQUE**

Les propriétés chimiques des hauts polymères, comme celles de tous les composés chimiques sont déterminées soit par les fonctions qu'ils portent, soit sur des chaînes latérales. La cellulose ayant trois fonctions hydroxylée par motif glucose, se comporte comme polyalcool. Elle est estérifiable par les acides (acétate de cellulose, nitrate de cellulose et éthérifiable par les alcools méthylcellulose), les polyéthylènes et polypropylènes ont l'inertie chimique des hydrocarbures saturés, les polyesters sont hydrolysables par les acides [20].

Cependant, les grandes dimensions des macromolécules leur confèrent un comportement réactionnel particulier. D'une manière générale, les réactions d'addition ou de substitution ne s'effectuent pas régulièrement sur les motifs monomères, elles ont lieu bien au hasard sur motifs des macromolécules [20].

**PROPRIETES PHYSIQUES**

Dans les années 1930, les chimistes ont commencé à synthétiser des polymères c'est pour objectif de créer et de produire en masse des matériaux possédant des propriétés spécifiques.

Comme on peut s'y attendre, les propriétés des polymères sont directement liées à leur taille, leur forme, leur composition et leur uniformité. Tous polymères synthétiques sont des mélanges de molécules de tailles et de masses moléculaires différentes suivant le nombre de motifs répétés du monomère incorporés dans sa structure. Par exemple, un échantillon de polyéthylène peut être constitué de milliers de chaînes de polyéthylène dont chacune est formée d'un nombre différent de monomères [21].

Un des soucis constants des chimistes est de trouver des voies pour fabriquer des polymères de degré de polymérisation plus homogène, dont les propriétés seront alors plus prédictibles.

Le point de fusion et le degré de cristallinité sont deux des propriétés physique les plus importantes de n'importe quel polymère, ce sont eux-mêmes un effet qui détermine les facteurs d'utilisation du polymère. Ces propriétés des chaînes des polymères seront examinées

de manière générale sans prendre en compte la structure chimique d'un polymère en particulier [21].

Les polymères peuvent être synthétisés avec un haut degré de régularité structurale (par exemple, la linéarité), de sorte que les chaînes peuvent s'empiler en un réseau cristallin serré, organisé et régulier caractérisé par des températures de fusion plus élevées. Le polyéthylène linéaire est hautement cristallin aux environs de 135°C, alors que le polyéthylène ramifié est amorphe à une température beaucoup plus basse, ce qui en limite parfois les applications [21].

D'autres polymères, comme le caoutchouc naturel dont le point de fusion est aux environs de 30°C, sont des solides amorphes car la forme désordonnée des chaînes empêche leur empilement en motifs cristallins réguliers. Cette propriété du caoutchouc naturel rend son utilisation peu satisfaisante pour la fabrication de pneus, ceux-ci seraient en effet facilement déformables et finiraient par fondre [21].

Le Nylon est un polymère synthétique qui contient certaines régions cristallines et d'autres amorphes. La nature semi-cristalline du Nylon permet de le couler dans des moules, son point de fusion est élevé (265°C) permet d'être utilisé dans des applications qui nécessitent une stabilité à haute température. En 1995, le Nylon a été utilisé pour fabriquer les tubulures d'admission de certaines automobiles Chrysler. Ces tubulures en polymère synthétique possèdent une résistance plus grande, une masse plus faible et une surface interne d'écoulement plus lisse que celles des tubulures en aluminium [21].

## DOMAINE D'APPLICATION DES POLYMERES

**Tableau I.1** : domaine d'application des polymères

<b>Domaines</b>	<b>Exemples</b>
Le secteur de la construction	Les portes, conduites d'eau et l'assainissement, peinture des murs des plans chaires et des plafonds, revêtement du sol.
Industrie de l'emballage	Bouteilles, pots de yaourt, boîtes aux lettres, problème thermique, gainage films vidéo.
Médecine et santé	Poches de sang, gants, lentilles, verres de lunettes, les organes artificiels, Seringues, industrie dentaire, prothèses,

Articles ménagers	Poubelles, seaux, vaisselle.
Matériel électrique et électronique et les communications	Tension d'isolement, isolation, laveuses, ordinateurs et les caméras, Radio et télévision, téléphone.
Industrie automobile	Système vitre claire, Tapie, carrosserie, optiques, planches de bord, habillage intérieur, Façades de téléviseurs, gainage de câbles.
Industrie textile	Vêtement, fibres textiles naturelles et synthétiques, sacs, ski, similicuir, non tissés.
Dans le domaine agricole	Colles, vernis, mousses.
Sports-loisirs	Des bateaux, bandes magnétiques, Files de pêche et les cordons utilisés, piscines, coques de bateaux.
Industrie chimique	Tuyauterie, cuves, revêtements.
Le domaine alimentaire	Procédés de fabrication d'aliments, emballages (bouteilles, pots de yaourt, briques de lait, boites à œufs) ou industriel (flacons de détergent, sachets et sacs, casiers)...
Le matériel de maison	Meuble, vaisselle, accessoires...

**LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

[1]- m.wahiba, la polymérisation par condensation de quelques monomères industriels comme l'acide organique ou amines pour obtenir des polymères qui ont des applications industrielles, mémoire de master, université larbi ben m' hidi oum el bouaghi-algerie -(2013).

[2] a.ferroudja m.djamila, etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (pvc), mémoire de master, université de mouloud mammeri de tizi-ouzou – Algérie – (2017).

[3] fontanille et gnanou, chimie et physico chimie des polymères. edit 2, dunod, paris - france – (2002) 546p.

[4] etienne et david, introduction à la physique des polymères. edit 2, dunod, paris – france – (2012) 368p.

[5]- masson et cie, georges champetier; lucien monnerie, introduction à la chimie macromoléculaire, paris – france – (1969), p: 75,76.

[6] aggoun naziha, synthese et polymerisation de  $\epsilon$ -caprolactame, mémoire de master, université de larbi ben m'hidi (oum el bouaghi) – algerie – (2012).

[10]- p. weiss, la chimie des polymères, société francophone de biomatériaux dentaires, support de cours d'université médicale virtuelle francophon, france (2009-2010), p:4,6,8,9.

[13] zérari sara, etude de la polymérisation cationique et modification du 4-vinyle chlorure de benzyle, universite larbi ben m'hidi oum el bouaghi – algerie –(2011)

[14] solomons, t.w. graham and fryhle, craig, ed., john wiley & sons, 2010, organic chemistry, 10<sup>ème</sup> edition, (2010)

[15] support de cours disponible au site web

[https://moodle.umontpellier.fr/pluginfile.php/310236/course/overviewfiles/1g%  
c3%a9n%  
c3%a9ralit%  
c3%a9s%20sur%20les%20polym%  
c3%a8res.pdf?forcedownload=1](https://moodle.umontpellier.fr/pluginfile.php/310236/course/overviewfiles/1g%c3%a9n%c3%a9ralit%c3%a9s%20sur%20les%20polym%c3%a8res.pdf?forcedownload=1) 26/05/2022 à 16h

[16] disponible au site web :

<http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap3/site/html/5.html> 26/05/2022 à 16h30

[17] michel fontanille, yves gnanou, structure moléculaire des polymères, réf : am3037 v1, (2008)

[18] annab farida, zdira karima, etude de la polymerisation cationique et modification du 4-vinyle chlorure de benzyle, universite larbi ben m' hidi oum el bo uaghi -algerie- (2015)

[19]- m.madkour. polymère, synthèse macromoléculaire, tome(1), office des publications universitaires, alger -Algérie- (1982), pp 2-12,61-86.

[20] a. nouai. synthèse de quelques polymères et étude de leur application en minéralurgie, mémoire magister, université oum el bouaghi -algerie-

[21]- a.william johnson, professor emeritus. invitation à la chimie organique, mémoire de 2ème cycle, université de morth dakota -USA- (2003).

**Chapitre II :**  
**Polychlorure**  
**de vinyle**  
**(PVC)**

## II. LE POLYCHLORURE DE VINYLE (PVC)

### DEFINITION

Le poly (chlorure de vinyle) dont le symbole international PVC d'écoule l'appellation anglaise (PVC), est une poudre blanche, inodore, insoluble et inflammable [1]. Le PVC est une matière thermoplastique de synthèse obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle monomère (CVM) ou monochloréthylène [2], composée de carbone et d'hydrogène et de chlore, le carbone et l'hydrogène proviennent du pétrole (43 %) tandis que le Chlore est originaire du sel (57 %) [3].

Comme tous les polymères, le PVC est une longue chaîne composée d'éléments identiques ou monomères. Pour le PVC, il s'agit du chlorure de vinyle monomère ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$ ). Une molécule de PVC contient 750 à 1 500 unités de monomères [4].

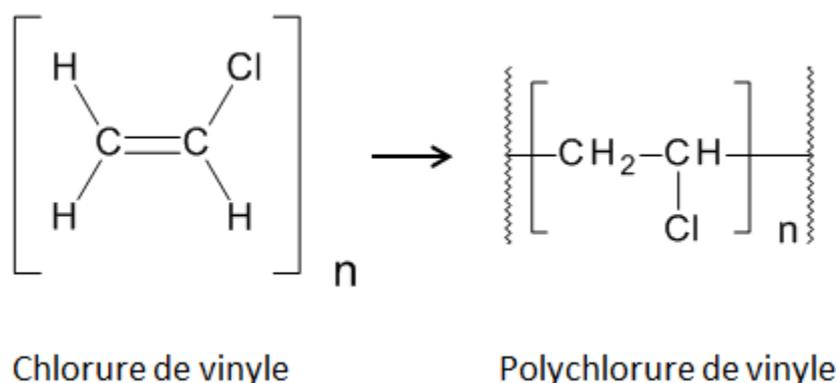


Figure II.1 : Polymérisation de PVC [5]

### HISTORIQUE

Le polychlorure de vinyle a été découvert par accident à au moins deux occasions au cours du XIXe siècle, en premier lieu en 1835 par Henri Victor Regnault et en 1872 par Eugen Baumann. Dans les deux cas, le polymère est apparu comme un solide blanc dans des bouteilles de chlorure de vinyle après exposition à la lumière solaire. Au début du XXe siècle, les chimistes russes Ivan Ostromislensky et Fritz Klätte ont tous deux tenté d'utiliser le PVC dans des produits commerciaux, mais leurs efforts ne furent pas couronnés de succès à cause des difficultés de transformation du polymère. En 1926, Waldo Semon, en collaboration avec la société B. F. Goodrich, a développé une méthode de plastification du PVC en le

mélangeant avec des additifs. Ceci a permis de rendre le matériau plus flexible et plus facile à fabriquer, genèse du succès commercial du PVC [6].

### **PREPARATION DU POLYCHLORURE DE VINYLE**

Le PVC est l'un des matériaux thermoplastiques les plus utilisés. On estime que la consommation mondiale de PVC est à 39,3 millions de tonnes en 2013, et la demande devrait augmenter d'environ 3,2 % par an jusqu'en 2021 [7].

Le monomère employé lors de la réaction de polymérisation est le chlorure de vinyle, gaz incolore à -14°C, le chlorure de sodium de source marine ou minérale est utilisé comme matière première principale dans la fabrication de ce monomère.

La production du PVC s'opère dans un autoclave dans lequel on mélange le monomère CVM à des catalyseurs ou des dispersants en milieux aqueux ou sec [8].

La polymérisation du PVC est aujourd'hui faite selon les trois types de procédés :

#### **a) Procédé en masse**

Ce procédé consiste à polymériser le monomère en absence totale d'eau et d'agent dispersant, sa granulométrie est d'ordre de 130 µm. Ensuite ils sont mélangés avec des additifs et transformés sur des machines fournissant de la chaleur.

#### **b) Procédé en émulsion**

Le monomère est mis dans un milieu aqueux comportant un agent tensioactif. La polymérisation est réalisée au moyen d'un initiateur hydrosoluble. Après évaporation d'eau, la résine obtenue possède une granulométrie d'ordre de 10 µm, ces résines se mettent en œuvre par des techniques très différentes comme l'enduction.

#### **c) Procédé en suspension**

La réaction aura lieu dans des gouttelettes en suspension dans un milieu dispersant. Ce type de polymérisation permet d'obtenir des résines de granulométrie de l'ordre de 130µm auxquelles on ajoute des additifs et elles sont transformées sur des machines fournissant de la chaleur [9].

## REACTIONS DE POLYMERISATION

Le processus de polymérisation consiste à souder bout à bout en une longue chaîne un grand nombre de molécules identiques du produit de base (plusieurs milliers). Cet assemblage forme des molécules géantes ou macromolécules constituant un nouveau produit (polymère) avec des propriétés particulières. Cette polymérisation se produit sous l'effet d'une température et d'une pression élevée ainsi que sous l'influence d'un catalyseur éventuel [10]. Le processus peut être exprimé par :



Où **M** est la molécule monomère, **M<sub>n</sub>** celle du polymère (macromolécule) et **n** le nombre de motifs monomères de la macromolécule (**degré de polymérisation**).

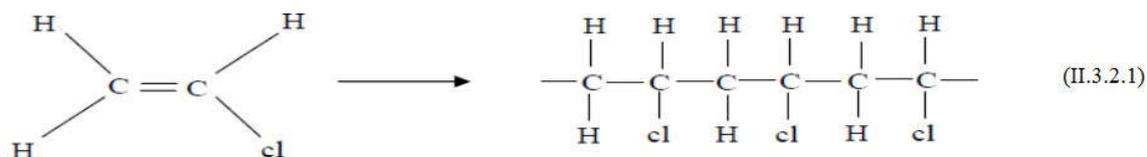
## MOLECULE DE PVC

La polymérisation du chlorure de vinyle conduit à la formation de la molécule de PVC.

Cette polymérisation peut être conduite de différentes façons et permet d'obtenir des résines particulières. La polymérisation dépend [10]:

- du procédé d'obtention : polymérisation en suspension, en masse ou en émulsion,
- de la longueur de la chaîne c'est-à-dire le nombre n de motifs monomères qui figurent dans cette dernière.
- de l'insertion dans la chaîne de motifs monomères autres que le chlorure de vinyle pour modifier certaines caractéristiques.

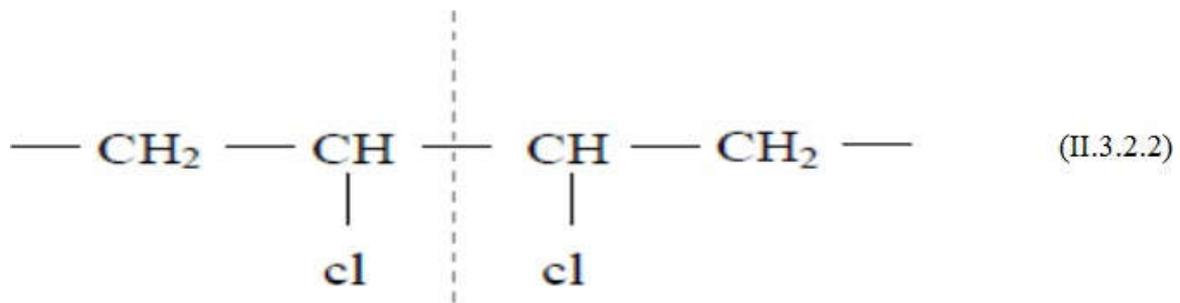
La polymérisation peut être décrite approximativement à l'aide de la formule suivante [11] :



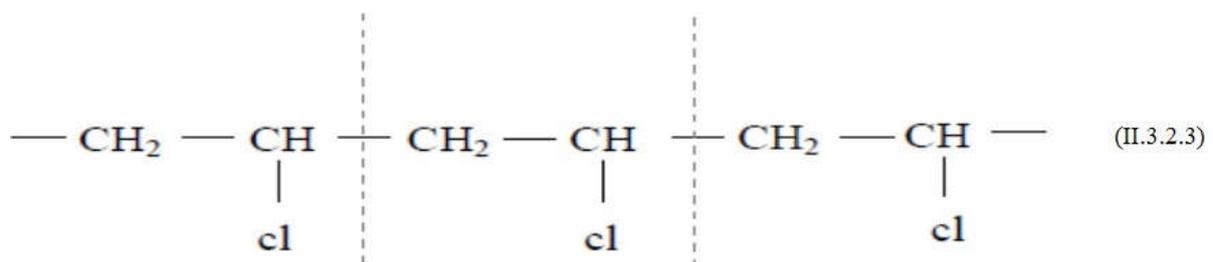
(X = 3)

Cette polymérisation peut se faire par plusieurs enchaînements [12] :

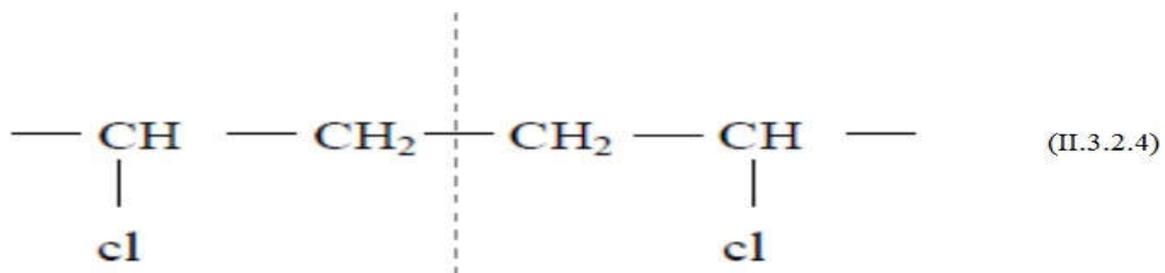
- enchaînements tête à tête :



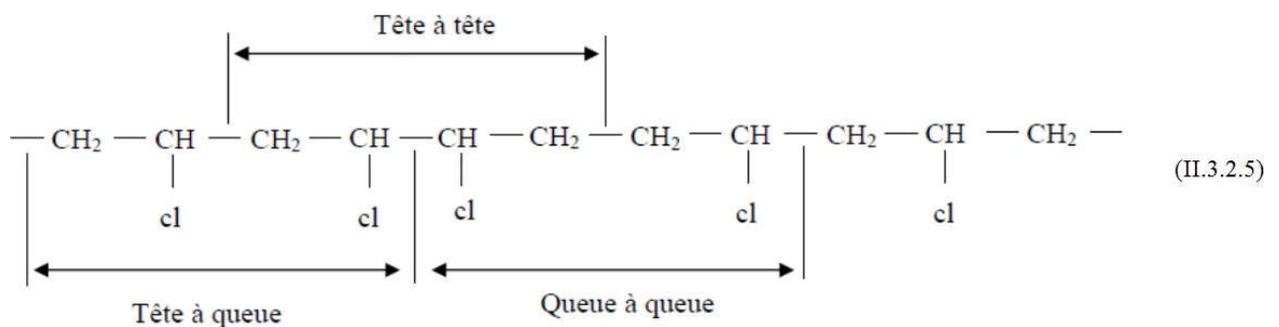
- Enchaînement tête à queue :



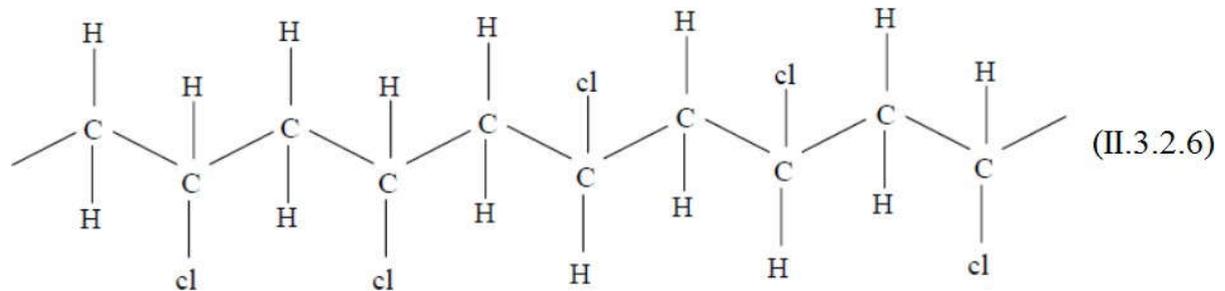
- Enchaînement queue à queue :



Les trois modèles peuvent exister simultanément dans la macromolécule [12] :



La méthode de polymérisation utilisée pour le PVC est dite radicalaire et donne lieu à des polymères à structures en chaînes avec une répartition irrégulière des atomes de chlore dont le schéma est le suivant [13] :



Sa disposition aléatoire des atomes de chlore (molécule tactique) dont le diamètre est plus grand que celui des atomes d'hydrogène empêche la formation de zones cristallines : le PVC est essentiellement amorphe.

#### II-4. PROPRIETES GENERALES DU PVC

##### PROPRIETES CHIMIQUES

Le PVC est en général peu soluble dans la plupart des solvants, il est même insoluble dans son monomère. Le solvant le plus couramment utilisé est le tétrahydrofurane (THF).

La résistance du PVC au vieillissement est améliorée par incorporation de substances qui piègent l'HCl libéré. Il est incompatible avec les hydrocarbures non polaires, et sensible aux hydrocarbures polaires tels que les hydrocarbures chlorés.

Le PVC souple a une bonne tenue aux agents chimiques et atmosphériques [14].

Le PVC sans plastifiant rigide possède une bonne résistance aux produits chimiques : Acides, bases, huiles, alcools, hydrocarbures aliphatiques [15].

##### PROPRIETES MECANIQUES

Le PVC offre une excellente rigidité jusqu'au voisinage de sa température de transition vitreuse (Tg), il offre une excellente résistance à l'abrasion, mais il est relativement fragile au choc à basse température (-10 °C) [1].

Tableau II-1 : Propriétés mécaniques de PVC rigide et de PVC souple [16]

Propriétés	PVC rigide	PVC souple
Masse volumique (g.cm <sup>-3</sup> )	1.4	1.2 à 1.3
Cristallinité (%)	7 à 15	<7
Température de fusion (°C)	160 à 170	140 à 170
Température de transition vitreuse (°C)	75 à 105	-40
Contrainte à la rupture (MPa)	50	10 à 12
Allongement à la rupture (%)	10 à 50	200 à 500

## PROPRIETES PHYSIQUES

Le PVC est un polymère atactique donc essentiellement amorphe, mais il arrive que, localement sur de courts segments de chaînes, le PVC soit syndiotactique et puisse s'organiser en phase cristalline, mais le taux de cristallinité ne dépasse jamais 10 à 15%.

La masse moléculaire moyenne du PVC est généralement donnée par la «valeur K». Lorsque la valeur K augmente, la résilience, la stabilité dimensionnelle à chaud et la résistance au fluage augmentent alors que la transformation devient plus difficile [2].

Le PVC est un composé polaire contenant plus de 50% en masse de chlore. Il est thermoplastique, incolore, inodore, inflammable, non toxique par lui-même à température ambiante.

Il présente une excellente résistance à la lumière.

C'est liquide à T=14°C et sous une pression de 4 bars [14].

## PROPRIETES THERMIQUES

Le PVC présente une température de transition vitreuse entre 75 et 80 °C ; à température ambiante, il est donc rigide mais devient caoutchouteux au-delà de 90 °C.

L'addition de plastifiants diminue la température de transition vitreuse et permet de donner un PVC souple à température ambiante [17].

Tableau II-2: Propriétés thermiques du PVC [17]

Propriétés	PVC rigide	PVC souple
Température de fragilisation (°C)	-	-30
Température de TFC (1.85 MPa) (°C)	60- 70	-
Température de résistance en continu (°C)	70 à10	35 à 00
Retrait (%)	0.5à 0.1	3 à 0.8
Conductibilité thermique W (m.k)	0.16	0.16

## ADDITIFS DE TRANSFORMATION

Le polychlorure de vinyle se présente sous forme d'une poudre blanche inodore et limpide appelée résine [18]. C'est une matière rigide ayant une stabilité à la chaleur plutôt limitée et une tendance à adhérer aux surfaces métalliques une fois chauffée [19].

Il est également intéressant d'examiner la structure du polychlorure de vinyle lorsque celui-ci est chauffé à 80°C, température à laquelle un départ d'acide chlorhydrique est observé. Le chauffage ne produit pas seulement une modification structurale mais aussi une série de changements de couleur, du jaune clair au jaune foncé, puis à l'orange au marron, pour aboutir au noircissement final [20]. Le départ d'HCl provoque la formation de doubles liaisons conjuguées [21]

Pour aider à la mise en œuvre et à l'amélioration de sa résistance au vieillissement, le PVC doit être formulé avec de nombreux additifs, en particulier, stabilisants, plastifiants, charges et pigments [22].

### **LES STABILISANTS**

Ces produits sont destinés à prévenir l'effet néfaste de la chaleur, de la lumière, de l'oxydation sur la molécule de PVC.

Ils sont utilisés pour retarder, ralentir ou inhiber les réactions responsables de l'altération des propriétés du matériau [23].

Le stabilisant idéal devrait être à la fois accepteur d'acide chlorhydrique, anti-oxygène et filtre d'ultraviolets [18].

Les stabilisants les plus utilisés sont :

- Les stabilisants au plomb (stéarate neutre de plomb, phosphite dibasique de plomb,...)
- Les stabilisants à l'étain (dilauryle de dibutyle étain, maléate d'étain,...)
- Les stabilisants mixtes (Ba/Cd, Ba/Zn, Ca/Zn,...)

### **LES LUBRIFIANTS**

Ils sont généralement classés en lubrifiants externes et lubrifiants internes, suivant la nature de leur action qui est [24] :

- Soit d'éviter l'adhérence de la matière plastique aux parois métalliques des machines de transformation.
- Soit de modifier les propriétés rhéologiques des mélanges fondus.

On utilise pour cela des produits à base de cire ; acide stéarique, stéarate et ricinoléate de calcium, stéarate neutre de plomb.

### **LES PLASTIFIANTS**

Ce sont des substances lourdes de volatilité faible dont l'incorporation à un plastique est destinée à abaisser son intervalle de ramollissement, faciliter sa mise en œuvre et augmenter sa flexibilité ou son extensibilité. Leur action peut aussi se traduire par une réduction de la

viscosité à l'état fondu, un abaissement de la température de transition vitreuse de l'objet plastifié [25].

Les produits suivants sont souvent utilisés [26,27] :

- Esters de l'acide phtalique.
- Esters de l'acide phosphorique.
- Esters de l'acide adipique.
- Esters de l'acide sébacique.
- Plastifiants polymériques tels que les polyesters.
- Elastomères de synthèse.

## **LES CHARGES**

Les charges sont des adjuvants pulvérulents incorporés aux mélanges pour améliorer leurs propriétés de résistance électrique, résistance aux chocs, tenue à la chaleur. Elles sont utilisées pour réduire le prix de revient des mélanges [18,24]. Parmi les charges on peut citer [28] : Le trioxyde d'antimoine, le Kaolin et la Craie.

## **LES COLORANTS ET LES PIGMENTS**

Ce sont des additifs qui sont incorporés dans le polymère afin de lui conférer un bel aspect par la coloration voulue, certains peuvent jouer aussi un rôle comme protecteur contre les ultraviolets. On peut citer parmi ces additifs [29] :

- Les pigments minéraux (oxydes de titane, de fer, de chrome, de cobalt, ...)
- Les pigments organiques (azoïques, anthraquinoniques, ...)

## **4. APPLICATIONS**

Grâce à la versatilité et à l'adaptabilité de ses propriétés, le PVC est le seul polymère couvrant tous les secteurs de l'activité économique. C'est aussi toujours l'un des plus utilisés puisqu'en 2003, avec une consommation mondiale de 28 millions de tonnes, dont près de 6 millions de tonnes dans l'Union européenne et 710 000 tonnes en France, il se plaçait au troisième rang derrière le polyéthylène et le polypropylène [30].

Cette diversité de propriétés et son aptitude à répondre favorablement à plusieurs exigences cumulées font du PVC un matériau de choix pour les secteurs du bâtiment, de l’emballage, de l’électricité et de l’électronique, des transports et de la santé [30].

Les 2/3 des applications du PVC ont une durée de vie supérieure à 15 ans. On estime aujourd’hui que dans certaines applications la longévité du PVC dépassera même les 80 ans !

Nous ne citerons que quelques exemples dans le tableau II-3 qui présente également les avantages, les inconvénients et les types d’applications du PVC.

Tableau II-3. Avantages, inconvénients et domaines d’applications du PVC rigide et plastifié [31].

	PVC rigide	PVC souple
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rigidité et stabilité dimensionnelle.</li> <li>-Résistance à l’abrasion.</li> <li>-Auto- extingüibilité.</li> <li>-Transparence possible pour qualité suspension ou masse.</li> <li>-Absorption d’eau pratiquement nulle.</li> <li>-Imperméabilité aux gaz et perméabilité relative à la vapeur d’eau (contraire du PE).</li> <li>-Alimentaire.</li> <li>-Bon comportement aux agents chimiques, huiles, graisse, ozone.</li> <li>-Mise en œuvre aisée par extrusion, formage, usinage, soudage HF.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Souplesse comparable au caoutchouc.</li> <li>-Soudage HF aisé.</li> </ul>
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Densité relativement élevée.</li> <li>-Fragile à basses températures.</li> <li>-Brunissement aux UV.</li> <li>-Précautions à prendre à l’injection</li> <li>-Mauvaise tenue en présence de carburants.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tenue chimique réduite par l’adjonction de plastifiants.</li> <li>-Nécessité d’antioxydants pour éviter l’oxydation des plastifiants et d’agents de blocage pour éviter la migration des plastifiants.</li> <li>-Non alimentaire.</li> <li>-Collage difficile</li> </ul>
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tuyauterie : alimentation et évacuation d’eau.</li> <li>-Bouteilles alimentaires : Eau minérale, huile, vinaigre,...</li> <li>-Profilés : plinthes, fenêtres, volets, portes,...</li> <li>-Canalisations souterraines de gaz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Revêtement de sol.</li> <li>-Isolation de câbles et fils électriques.</li> <li>-Chaussures et semelles.</li> <li>-Siège d’automobiles, mobilier, bagages, rideaux.</li> <li>-Vêtements imperméables.</li> </ul>

**LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] m. ghetas ; influence d'huile de tournesol époxyde comme co-plastifiant sur la stabilité thermique du pvc ; mémoire de master ; université kasdi merbah ; ouargla -Algérie- ; 2013.
- [2] a. haddar ; z. mimoune ; l'effet du nombre du recyclage de pvc sur les propriétés du polyéthylène réticulé par le silane (prs) ; mémoire de licence ; université mohamed khider ; biskra -Algérie- ; 2009.
- [3] z.hruska .p.guesnet .c.salin .j.j.couchoud; poly(chlorure de vinyle) ou pvc ; technique l'ingénieurs ;france ;2008 .
- [4] s.maou ; etude des propriétés thermiques de mélanges à base de pvc et pvc- pehd et les phénomènes de dégradation ; mémoire de magister ; universite kasdi merbah ; ouargla; 2012.
- [5] disponible au site web :  
[https://www.inrs.fr/publications/bdd/plastiques/polymere.html?refinrs=plastiques\\_polymere](https://www.inrs.fr/publications/bdd/plastiques/polymere.html?refinrs=plastiques_polymere)  
12 26/03/2022 à 10h
- [6] disponible au site web [http://www.physique-et-matiere.com/polychlorure\\_de\\_vinyle.php](http://www.physique-et-matiere.com/polychlorure_de_vinyle.php)  
26/03/2022 à 10h30
- [7] problèmes environnementaux du pvc. livre vert. commission des communautés européennes. bruxelles –belgique- (2000) 43p.
- [8] mahrou r thinhinane, etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (pvc) dans le sol, mémoire de master, universite mouloud mammeri de tizi-ouzou – algerie – (2018)
- [9] marc carrega, collectif dunod, matériaux polymères .edit 2, dunod, paris – france – (2007) 641p.
- [10] a. chabloz, technologie des matériaux à l'usage des professions de l'électricité, édition delta et spes, 1983.
- [11] f.namani, effet de l'humidité sur les propriétés électriques du polychlorure de vinyle utilisé dans l'isolation des câbles de haute tension, mémoire de master, universite mouloud mammeri de tizi ouzou – algerie – (2010).

- [12] j. gossot, les matières plastiques, fabrication et technologie, édition dunod technique, 1977
- [13] o.zaibet, s.ayadi, synthese de particules poilymeriques hydrophiles biocompatibles, modification chimique du poly (chlorure de vinyle), université de bordj bou arreridj -algérie– (2020)
- [14] w.chellil ; etude du vieillissement artificiel et naturel du pvc stabilisé à l'huile de tournesol epoxydée ; mémoire de magister ; université ferhat abbas, sétif -algérie- (2006)
- [15] tablit.s, djouad.a, etude de la thermo-dégradation et la stabilisation de polychlorure de vinyle (pvc), université ferhat abbas, sétif -algérie- (2015)
- [16] i.mkacher; vieillissement thermique des gaines pe et pvc de câbles électriques ; thèse de doctorat ; l'école nationale supérieure d'arts et métiers ; centre de paris -france- (2012).
- [17] m.carrega, matériaux polymères, 1 vol, dunod, paris -france- (2000)
- [18] bost. j, " matière plastique" tome i: chimie et application, technique et documentation, 2<sup>ème</sup> paris -france- (1974), pages : 121-174.
- [19] rouane azeddine, etude de l'huile de tournesol epoxydeecomme bio-plastifiant du pvc, mémoire de magister, universite ferhat abbas-setif – algerie – (2008)
- [20] miles, derek cyril briston, john herbert, technologies des polymères, dunod, paris, 1968, 450 pages.
- [21] trognon. l, "corrélacion entre structure moléculaire, paramètre de solubilité et réactivité des stabilisants thermiques du polychlorure de vinyle" thèse de doctorat, insa de lyon –france - (1991)
- [22] fontanille et gnanou, chimie et physico chimie des polymères. edit 2, dunod, paris -france – (2002), 572 pages.
- [23] verdu. j, "stabilisants", techniques de l'ingénieur, 1992, vol. am 3232, pages : 1-13.
- [24] ausseur .d, "polychlorure de vinyle" technique de l'ingénieur, 1999, vol. am 3325, pages : 1-11.

- [25] hawkins. w. l, "polymer stabilization" john wiley & sons inc., new york, 1972.
- [26] verrier.p, "plastifiants", techniques de l'ingénieur, 1992, vol. a 3231, pages : 1-11.
- [27] dubois. p, "plastiques modernes", tome i, plastophysicochimie, masson, paris 1968.
- [28] dobraczynski. a, piperaud. m, trotignon. j. p, verdu. j, " les matières plastiques" edition de l'usine nouvelle, paris, 1982.
- [29]defosse. r., " colorants et pigments", techniques de l'ingénieur, 1991, vol. a3233, pages : 1-7.
- [30] zdenek hruska, patrice guesnet, christian salin, jean-jacques couchoud, poly (chlorure de vinyle) ou pvc, technique de l'ingénieur, am3325 v3 (2007)
- [31] rouane.a, etude de l'huile de tournesol epoxydee comme bio-plastifiant du pvc, universite ferhat abbas-setif, algerie, 2008

**Chapitre III :**

**Description**

**d'usine**

**ENICAB**

### III. DESCRIPTION D'USINE ENICAB

#### INTRODUCTION

La première utilisation d'un câble électrique en tant que tel remonte probablement à la première ligne télégraphique commercialisée, à l'image de celle qui relie Washington D.C à Baltimore (Maryland), en 1844 [1].

Ces premiers câbles étaient fabriqués en fer, et particulièrement difficiles à produire. Pour en améliorer la production, on eut l'idée de les lubrifier avec du sulfate de cuivre, appliqué en une fine couche de cuivre. Les propriétés conductrices supérieures du cuivre sont bien vite détectées, et les conducteurs en cuivre s'imposent rapidement au détriment des premiers conducteurs en fer.

En 1913, la Commission électrotechnique internationale établit l'ACS (International Copper Standard) comme point de référence pour la résistivité du cuivre, équivalant à 100% de conductivité.

Dans les années 1880, le premier matériau d'isolation pour les câbles s'appelle la gutta percha. C'est un matériau en latex naturel fabriqué à partir de la sève des arbres du même nom. Mais l'isolation doit être humidifiée en permanence sous peine de sécher et d'empêcher ainsi une bonne isolation du conducteur. La gutta percha est donc massivement remplacée par le caoutchouc ainsi que par les bitumes vulcanisés [1].

Une décennie plus tard, dans les années 1890, une isolation en papier imprégné de masse est utilisée sur des câbles et des tensions qui atteignent jusqu'à 10 kV.

EN 1906, les premiers câbles armés sont introduits. Ils ont une gaine flexible et deux conducteurs recouverts de tissu et isolés au caoutchouc.

Ce n'est que dans les années 1930 que les premiers essais avec des isolants en PVC furent réalisés en Allemagne. À la fin de la seconde guerre mondiale, on comptait déjà de nombreuses variantes de caoutchoucs synthétiques et de polyéthylène.

Dans les années 1950, le PVC est commercialement viable et commence à remplacer le caoutchouc dans de nombreux domaines, en particulier pour le câblage domestique. De son côté, l'aluminium commence à être utilisé comme matériau conducteur alternatif au cuivre.

Dans les années 1970, le polyéthylène réticulé (XLPE) prend le pas sur le papier et devient l'isolant privilégié des applications moyennes tension.

Dans les années 1980, la fibre optique est introduite dans les lignes aériennes pour la transmission de données et les technologies de surveillance utilisées par l'Etat. Elle est également employée pour permettre une utilisation plus poussée du polyéthylène réticulé dans les lignes de transmission à haute tension entre 66 et 240 kV. En parallèle, des matériaux de supraconductivité à haute température sont découverts. Plus tragique, suite à une série d'incendies qui mettent au grand jour les dangers de la fumée et des gaz toxiques de matériaux comme le PVC, des alternatives plus sûres sont mises au point, comme les câbles LSZH.

Enfin, dans les années 1990, les matériaux polymères sont étendus aux lignes électriques Très Haute Tension (THT), et l'utilisation de la fibre optique se généralise pour les lignes aériennes [1].



**Figure III.1** : câbles produit par l'entreprise ENICAB [2]

## **PRESENTATION D'USINE**

ENICAB, est une entreprise algérienne pionnière dans la fabrication des câbles d'énergie, avec plus de trente-deux ans de service dans le domaine, offrant à ses clients une gamme large et diversifiée de produits comprenant les câbles basse tension, les câbles industriels, les câbles moyenne tension et les câbles nus haute tension [3].

L'acquisition par le géant Condor en 2017 n'a fait que renforcer sa position de leader et a permis à ENICAB d'offrir de nouveaux produits tels que les câbles haute et très haute tension, câbles Telecom et Data ainsi que les Câbles sans Halogènes.

En considérant sa riche gamme, ENICAB est présente dans tous les secteurs d'activité allant de la distribution de l'Energie Electrique aux Hydrocarbures et Pétrochimie en passant par les Industries diverses, les Télécoms ainsi que les secteurs des Infrastructures et Bâtiment, ENICAB a su graver sur ce dernier ses lettres de noblesse en détenant presque une part du marché conséquente en fournissant des fils et câbles de haute qualité pour la majorité des projets de construction du pays [3].

Comptant à son actif un portefeuille client important où figurent les entreprises les plus importantes dans le domaine de l'électricité et la construction en Algérie à l'exemple de SONELGAZ et ses filiales, SONATRACH et ses filiales, les EPC et Entrepreneurs nationaux et internationaux ainsi que les différentes institutions étatiques.



**Figure III.2** : Photographie de l'usine [2]

ENICAB aspire à conforter sa position de leader et à satisfaire au mieux les besoins de ses clients, et ce, à travers :

- L'optimisation continue du niveau de qualité. Elle est certifiée ISO 9001 version 2015.
- Une plus grande couverture géographique grâce à de nouveaux distributeurs officiels accompagnés d'un plan de développement qualitatif afin d'assurer une meilleure proximité aux clients.
- Profitant de son savoir-faire et afin de contribuer au plan quinquennal du gouvernement, notamment, celui du réseau ferroviaire, ENICAB a investi dans deux nouvelles unités de production de Fil Trolley, un type de conducteur conçu spécialement pour l'électrification des voies ferrées.
- Installée à Biskra avec un effectif important, ENICAB demeure la principale source d'emploi de la région et contribue de façon considérable à l'amélioration de la qualité de vie de ses citoyens et à leur épanouissement.
- ENICAB accompagne l'Université Algérienne et les étudiants dans le domaine de la recherche et développement lié aux énergies électriques avec des séminaires et conférences, et leur offre également l'opportunité d'effectuer en son sein des stages pratiques autant dans les domaines techniques que de management.

### **POLITIQUE QUALITE, SECURITE, SANTE & ENVIRONNEMENT**

ENICAB SPA, pionnière dans la fabrication des câbles d'énergie et offrant à ses clients une gamme large et diversifiée de produits comprenant les câbles basse tension, les câbles industriels, les câbles moyenne tension et les câbles nus haute tension est engagée depuis plusieurs années dans la démarche qualité qui est devenue un fondement incontournable dans la réalisation de ses activités et la gestion de l'entreprise [3].

C'est pour cette raison que la Direction Générale, a décidé de poursuivre la démarche qualité visant à accroître la satisfaction de ses clients et l'amélioration continue de ses processus en s'engageant dans la mise en place d'un Système de Management Intégré (Qualité Sécurité, Santé et Environnement) regroupant ainsi les trois référentiels ISO 9001/ 14001 et 45001 [3].

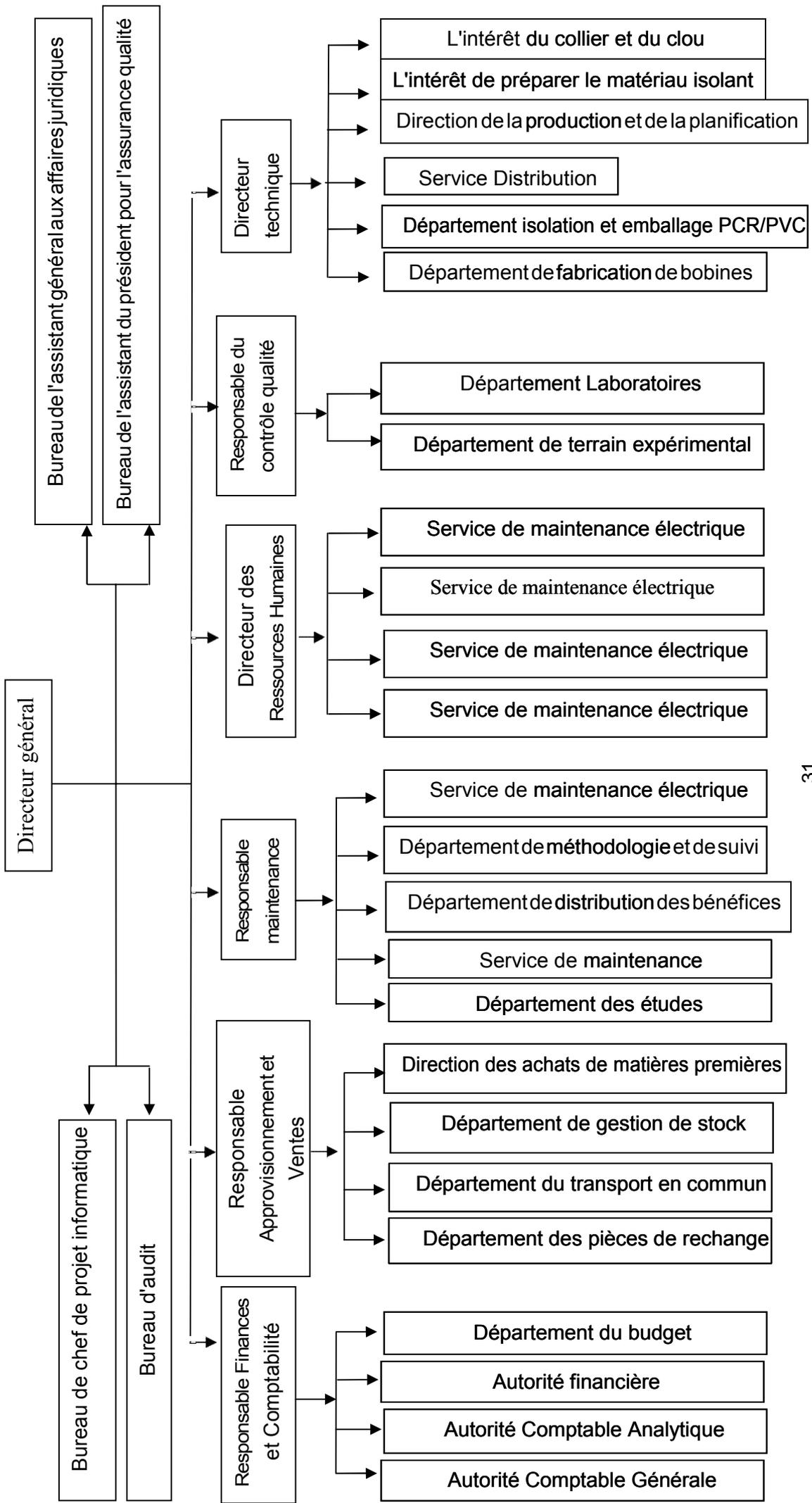
En ma qualité de Directeur Général de ENICAB, je m'engage à:

- Mettre en œuvre la Politique QSE.
- Le respect de la législation, de la réglementation, des normes et autres exigences QSE.
- Satisfaire toutes les exigences applicables.
- Assurer la consultation et la participation à tous les niveaux.
- Protéger l'environnement et prévenir la pollution
- Eliminer les dangers et à réduire les risques
- Procurer des conditions de travail sûres et saines pour la prévention des traumatismes et pathologies.
- Affecter aux activités tous les moyens nécessaires à l'atteinte des objectifs.
- Améliorer continuellement son SMI.

La Politique QSE de ENICAB s'articule autour des axes stratégiques suivants:

- Mettre en place une organisation qui répond aux attentes des parties intéressées.
- Renforcer sa position en tant que fournisseur incontournable dans l'industrie des câbles électriques
- Ecouter en permanence nos clients afin de satisfaire leurs besoins et attentes
- Tendre vers le zéro « Zéro accident »
- Prévenir les risques (à définir quels sont les risques les plus importants pour ENICAB).
- Réduire les déchets et améliorer leur valorisation
- Optimiser l'utilisation des ressources naturelles
- Garantir la gestion et la provenance de toutes les substances
- Développer les compétences des employés

III.4 ORGANIGRAMME D'USINE



## **LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

[1] Disponible au site web : <https://www.elandcables.com/fr/the-cable-lab/faqs/faq-what-is-the-history-of-electrical-cables> 18/05/2022

[2] disponible au site web de l'entreprise <https://www.enicab.dz/Apropos.html> 18/05/2022

[3] Documentations de l'usine ENICAB

# **Chapitre IV :**

# **Matériels et**

# **méthodes**

## IV. MATERIELS ET METHODES

### INTRODUCTION

### BUT DE TRAVAIL

La partie expérimentale se divise en plusieurs essais : essai de traction, essai de la dureté, et essai d'analyses IFTR. A noter que ces essais ont été réalisés au laboratoire de contrôle qualité de l'entreprise ENICAB.

Dans cette étude on a utilisé le polychlorure de vinyle (PVC). C'est un produit commercialisé par l'Entreprise Nationale des Industries de Câbles Biskra et le comparer avec un autre bourrage commercial.

### PRODUIT UTILISE

### DEFINITION

Le PVC est considéré comme l'un des matériaux thermoplastiques les plus polyvalents, car ses propriétés peuvent être modifiées facilement. En effet, bien qu'il soit dur et rigide à l'origine, il peut être facilement modifié avec des plastifiants, des stabilisants, des lubrifiants et bien d'autres ingrédients et charges qui facilitent le traitement et améliorent certaines propriétés. Il est également facile à traiter et à recycler lorsqu'il est utilisé comme type thermoplastique [1].



**Figure IV.1** : PVC utilisé

## ROLE DE PVC

PVC est un matériau particulièrement répandu pour la fabrication de l'isolation, du bourrage et de la gaine extérieure des câbles électriques. L'utilisation du PVC pour l'isolation et la gaine électrique des câbles au détriment du caoutchouc a commencé dans les années 1950, lorsqu'on s'est aperçu de sa facilité d'utilisation. Le PVC a en effet l'avantage d'être particulièrement peu cher et d'avoir d'excellentes propriétés de vieillissement, avec une durée de vie moyenne en service de 25 à 30 ans [1].

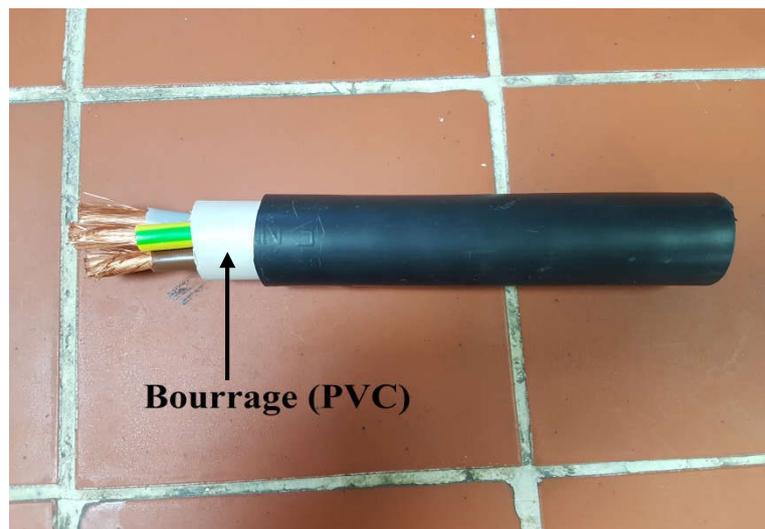


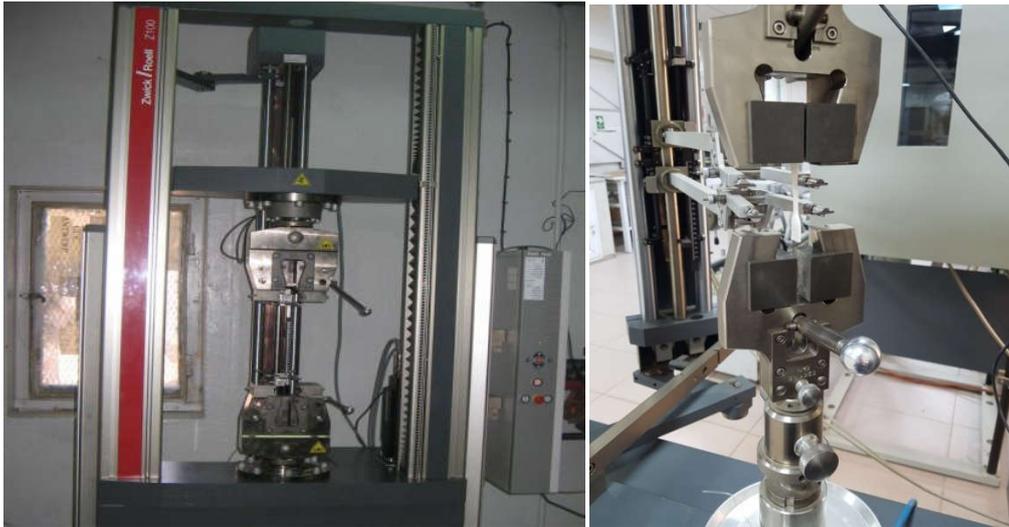
Figure IV.2 : Câble électrique

## MODE OPERATOIRE

### ESSAI DE TRACTION

Les essais de traction déterminent la résistance à la traction, la limite élastique et l'allongement à la rupture. Les informations contenues dans ces différentes valeurs sont utilisées pour anticiper le comportement d'un matériau.

Des éprouvettes sous forme d'haltères sont testées à l'aide d'une machine de traction de type Zwick Roell Z 100 (Fig IV.3).



**Figure IV.3** : Machine de traction utilisée

## PREPARATION DES ECHANTILLONS

### IV.2.1.1.1. PREPARATION DES PLAQUES

La presse que nous avons utilisée est une presse hydraulique à chauffage électrique de type : SCHWABENTHAN POLYSTAT 300S.



**Figure IV.4** : Presse hydraulique de type «SCHWABENTHAAN POLYSTAT 300»

Pour obtenir les plaques compressées, on place les grains de PVC dans le moule.

- On allume la presse et on la laisse en état de préchauffage jusqu'à ce que sa température atteigne 170 °C. Puis, on met le moule dans la presse sous les conditions suivantes :

- la température de la presse est de 170 °C.
- le temps de préchauffage est : 7 min.
- 50 bars pendant 2 min.
- 200 bars pendant 3 min.
- 350 bars pendant 4 min.

Après avoir retiré la plaque de la presse, on la laisse refroidir à l'air ambiant.



**Figure IV.5 :** Avant et après le pressage

## PREPARATION DES EPROUVETTES

La préparation des éprouvettes a été effectuée par découpe des plaques à l'aide d'une découpeuse.



**Figure IV.6 :** Découpeuse utilisé



**Figure IV.7 :** Les éprouvettes obtenues

On a mesuré l'épaisseur de ces éprouvettes, à l'aide d'un pied à coulisse, l'épaisseur considérée est la moyenne des trois valeurs mesurées.



**Figure IV.8** : mesure l'épaisseur par pied à coulisse

Les éprouvettes sont soumises à une force de traction  $F$  à vitesse constante de 100 mm/min (vitesse de la traverse), dans le sens de la longueur, jusqu'à la rupture. La courbe Force en fonction de l'allongement  $F = f(\epsilon)$  est tracée. Le test nous permet de mesurer la contrainte à la rupture ( $\sigma_r$ ), l'allongement à la rupture ( $\epsilon_r$ ), le module de Young ( $E$ ) et l'énergie de la rupture ( $e_r$ ) : Les machines d'essai de traction comprennent essentiellement les éléments suivants :

- Une partie fixe portant un dispositif d'attache.
- Une partie mobile portant le second dispositif d'attache. Ces dispositifs d'attache fixent, autant que possible sans glissement, chaque extrémité d'éprouvette qui se trouve ainsi placée entre la partie fixe et la partie mobile,
- Un mécanisme d'entraînement communiquant, à la partie mobile, à vide, un mouvement uniforme de vitesse contrôlée.
- Un indicateur d'allongement : l'indicateur d'allongement doit permettre de déterminer à tout instant la distance séparant deux points particuliers de l'éprouvette. L'éprouvette est étirée à vitesse constante jusqu'à la rupture.

La contrainte à la rupture ( $\sigma_r$ )

$$\sigma_r = \frac{F}{S} \quad \text{IV.1}$$

Où :

$\sigma_r$  : La contrainte à la rupture (Pa).

F : La force appliquée (N).

S : L'aire de la section droite (épaisseur x largeur) ( $\text{mm}^2$ ).

• L'allongement à la rupture ( $\epsilon_r$ )

$$\epsilon_r (\%) = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{IV.2}$$

Où :

L : La longueur finale de l'éprouvette (partie linéaire étroite).

L<sub>0</sub> : La longueur initiale de l'éprouvette.

• Le module de Young E

$$E = (\sigma / \epsilon) \quad \text{IV.3}$$

### **ESSAI DE DURETE (DURETE SHORE A)**

La dureté d'un matériau est la résistance de celui-ci à l'enfoncement d'un pénétrateur de forme et de dimension donnée. On appelle indice de la dureté de pénétration Shore le résultat de la masse effectuée selon un mode opératoire bien déterminée et réalisé à l'aide d'un duromètre Shore A ou d'un duromètre Shore D.

L'appareil utilisé est un duromètre shore A de type HPE Zwick-Roell (fig IV.9).

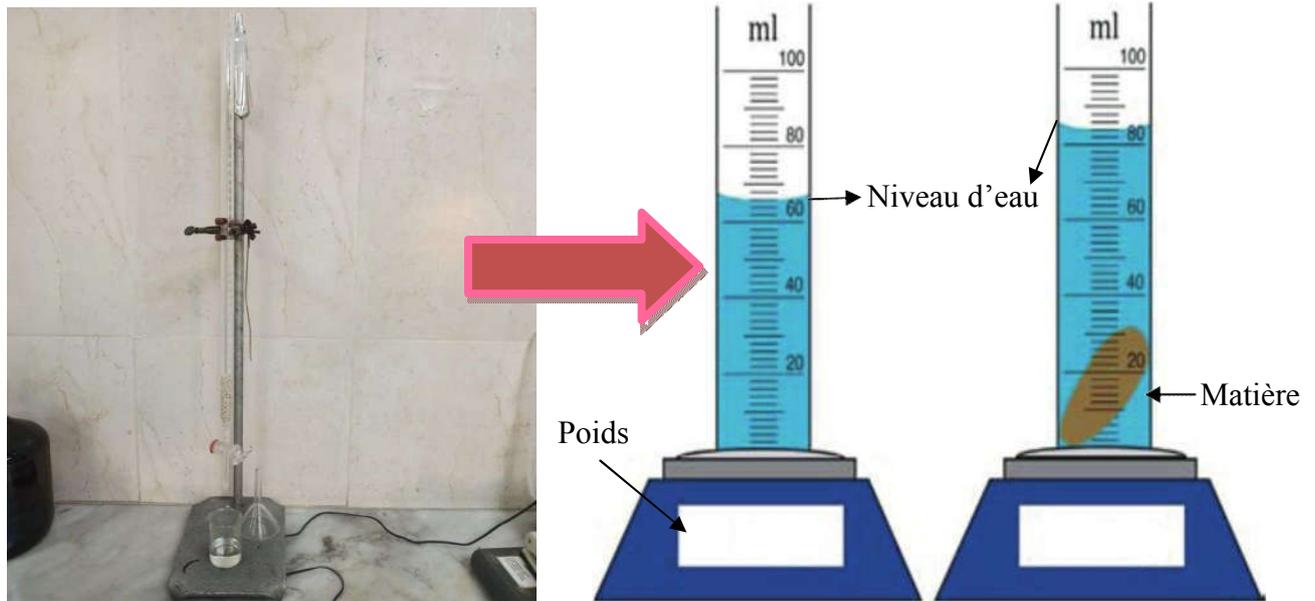


**Figure IV.9** : Duromètre utilisé

- Pour cet essai on utilise une plaque de (2,2 – 2,3) mm d'épaisseur.
- On met la plaque au dessus de surface stable (table, pailleuse...)
- Ensuite, on met le duromètre sur la plaque et enregistre la valeur obtenu
- On fait les mesures de la dureté sur chaque coté de la plaque.
- Les mesures sont ensuite moyennées pour accroître la précision

## MASSE VOLUMIQUE

La masse volumique  $P$  est la masse par unité de volume d'une matière à une température donnée  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ). La masse volumique d'un plastique pris dans un état physicochimique donné est fréquemment utilisée pour suivre les variations de la structure physique de différents lots d'un même plastique, ainsi que pour le calcul de la quantité de matière nécessaire pour obtenir un objet de volume donné [2].



**Figure IV.10** : Protocole suivi pour obtenir la densité [3].

La masse volumétrique est mesurée selon le protocole expérimental suivant:

- Par la balance, on pèse 6 gramme de grain
- Remplir la burette par l'éthanol jusqu'à un volume connue
- On jette les échantillons dans la burette et la lecture se fait directement pour le volume déplacé par la burette.

## **SPECTROSCOPIE INFRA-ROUGE (IFTR)**

La spectroscopie infrarouge a connu, grâce au développement de l'infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), un nouvel essor qui lui permet d'occuper une place de choix, en particulier dans le domaine de l'analyse et de la caractérisation des matériaux polymères.

La spectroscopie IRTF est une spectroscopie multiplex. Le rayonnement infrarouge transmis par l'échantillon est reçu globalement par le détecteur après avoir été "codé" par un interféromètre, qui se substitue au classique monochromateur des spectromètres dispersifs. Le signal enregistré, ou interferogramme, s'exprime en fonction de la différence de marche entre les deux ondes de l'interféromètre. Le spectre infrarouge est calculé par transformée de Fourier à partir de l'interferogramme. C'est une méthode rapide, directe et non destructive, qui nécessite de petites quantités d'échantillons [4].

---

Les possibilités offertes par la spectroscopie infra-rouge permettent d'obtenir des informations détaillées sur :

- La structure chimique des macromolécules et la composition du polymère. Identification de l'unité de base, des ramifications, analyse des extrémités de chaînes, détermination de la nature et de la concentration des additifs, des défauts de structure, et des impuretés.

-Les interactions intra- ou intermoléculaires, la conformation des chaînes, la cristallinité du polymère, l'orientation des macromolécules.

-l'identification de polymères : Généralement, on n'opère pas par interprétation directe des différentes bandes du spectre, mais par comparaison avec des spectres de références de produits connus, en se basant toutefois sur quelques bandes caractéristiques que peut présenter le spectre de l'échantillon à identifier.

-identification d'adjuvants, plastifiants, anti UV : Dans le cas d'un mélange de polymère et d'adjuvants, le spectre infra-rouge global est sensiblement la somme des spectres des constituants [5].

---

**LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] disponible au site web : <https://www.elandcables.com/fr/the-cable-lab/faqs/faq-what-are-the-benefits-of-pvc-insulated-cables> 16/05/2022
- [2] a.ferroudja, m.djamila, etude du comportement de nouvelles formulations à base de polychlorure de vinyle (pvc), mémoire de master, université de mouloud mammeri de tizi-ouzou - algerie - (2017)
- [3] k.hamida, etude comparative sur trois mélanges à base pvc pour le bourrage de câble électrique (gaine de remplissage), mémoire de master université de biskra - algérie-(2021)
- [4] caractérisation des polymères par spectrométrie optique. techniques de l'ingénieur. am2762. 1-10pp (1998)
- [5] caractérisation des polymères par spectrométrie optique. technique de l'ingénieur. p3762. 1-14pp,(1998)

# **Chapitre V :**

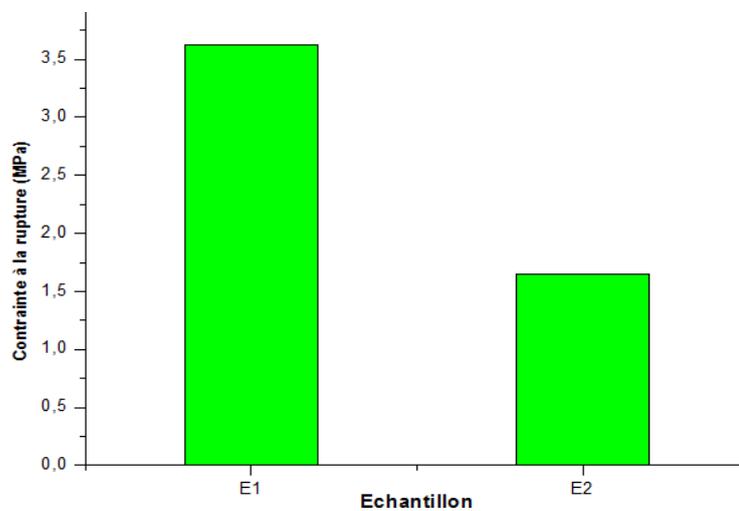
# **Résultats et**

# **discussion**

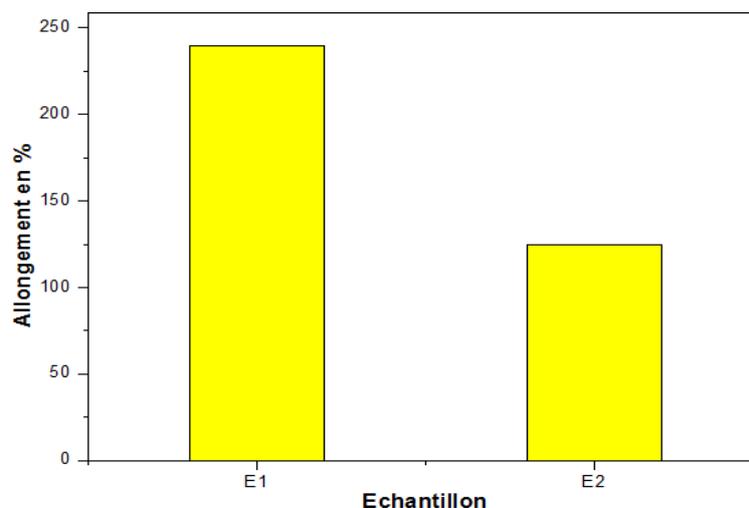
## V. RESULTATS ET DISCUSSION

### ESSAI DE TRACTION

Les figures V.1 et V.2 représentent les variations de la contrainte à la rupture et l'allongement à la rupture des composites PVC en fonction des bourrages étudiés, respectivement. On remarque que la contrainte et l'allongement à la rupture d'échantillon 1 (E1) est plus élevé que l'échantillon 2 (E2), on peut expliquer cette différence de propriétés mécaniques par l'ajout des charges (carbonate de calcium, talc ou des oxydes métalliques). et des plastifiants (acide phtalique, acide phosphorique....) qui augmente la résistance mécaniques.



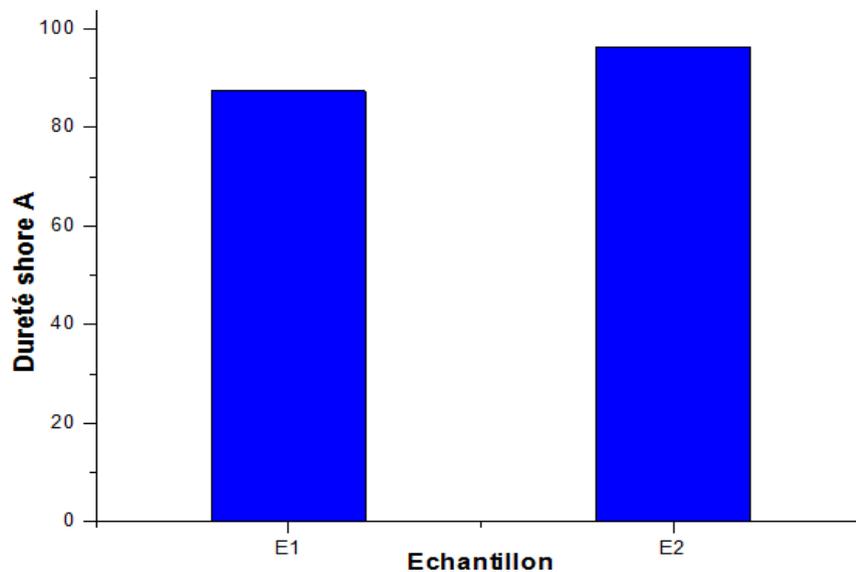
**Figure V.1 :** Variations de la contrainte à la rupture des composites PVC en fonction du mélange différents



**Figure V.2 :** Variations de l'allongement des composites PVC en fonction du mélange différents

### ESSAI DE DURETE SHORE A

La figure V.3 représente la variation de la dureté shore A des composites à base de PVC en fonction des bourrages différents, On remarque que la dureté de l'échantillon E1 est moins élevée que l'échantillon E2. Nous justifions cette différence par l'une rigide (E2), correspond au polymère contenant une forte proportion de charges, tandis que l'autre, souple, possède une teneur en charge faible.



**Figure V.3 :** Variation de la dureté shore A en fonction des mélanges différents

### LA MASSE VOLUMIQUE

Le tableau V.1 représente les valeurs de la masse volumique ( $\text{g/cm}^3$ ) des échantillons, on explique cette différence de masse volumique des deux échantillons de même matière par la différence de la structure physique et les additifs incorporés dans chaque bourrage.

**Tableau V.1 :** Densité des échantillons E1 et E2

Echantillon	E1	E2
Densité ( $\text{g/cm}^3$ )	2.81	1,875

## CARACTERISATION PAR SPECTROSCOPIE INFRA-ROUGE (IFTR)

Les figures V.4 et V.5 représentent la superposition des spectres FTIR de 500 à 4500  $\text{cm}^{-1}$  (Transmittance en fonction de nombre d'onde), interprétation comparatifs directe des différentes bandes du spectre. Les tableaux V.2 et V.3 regroupent les différents groupements fonctionnels caractéristiques.

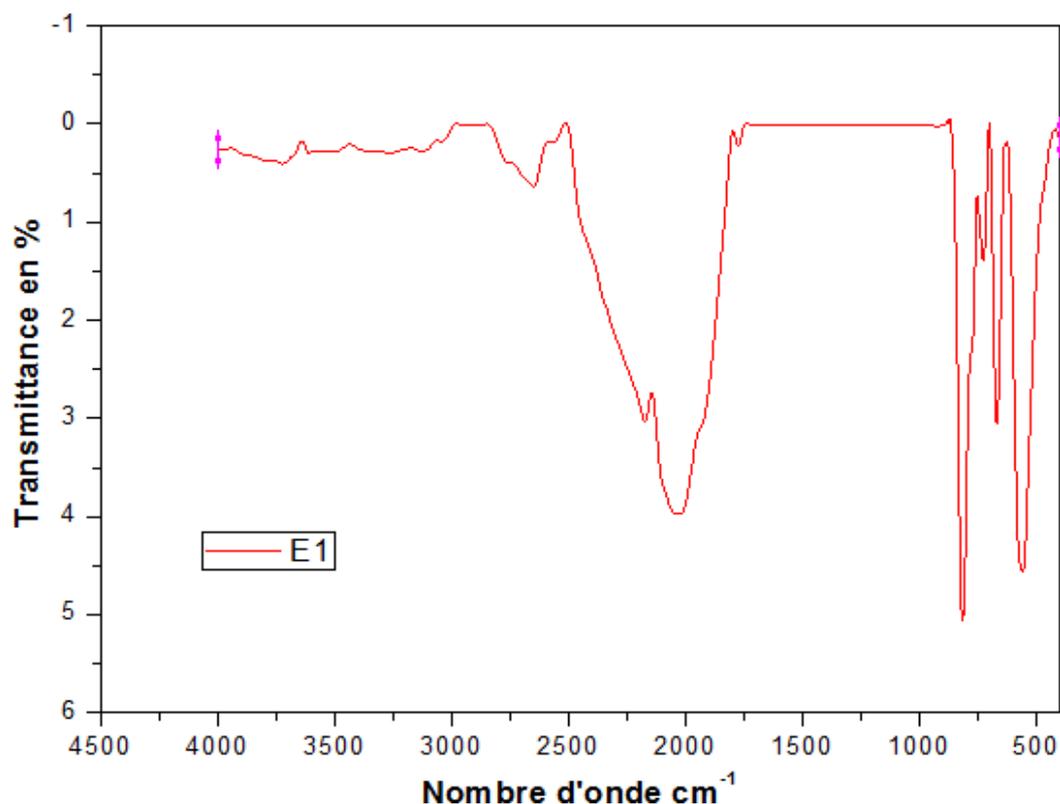


Figure V.4 : Spectres infrarouge à transformée de Fourier d'échantillon E1.

Tableau V.2 : Groupements fonctionnels caractéristiques d'échantillons E1.

Forme	Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )	Fonction
Bande moyenne	3050	C-H
Bande moyenne	2680	$\text{CH}_2$
Bande large	2100	C=C
Pic	820	C-C
Pic	760	C-Cl

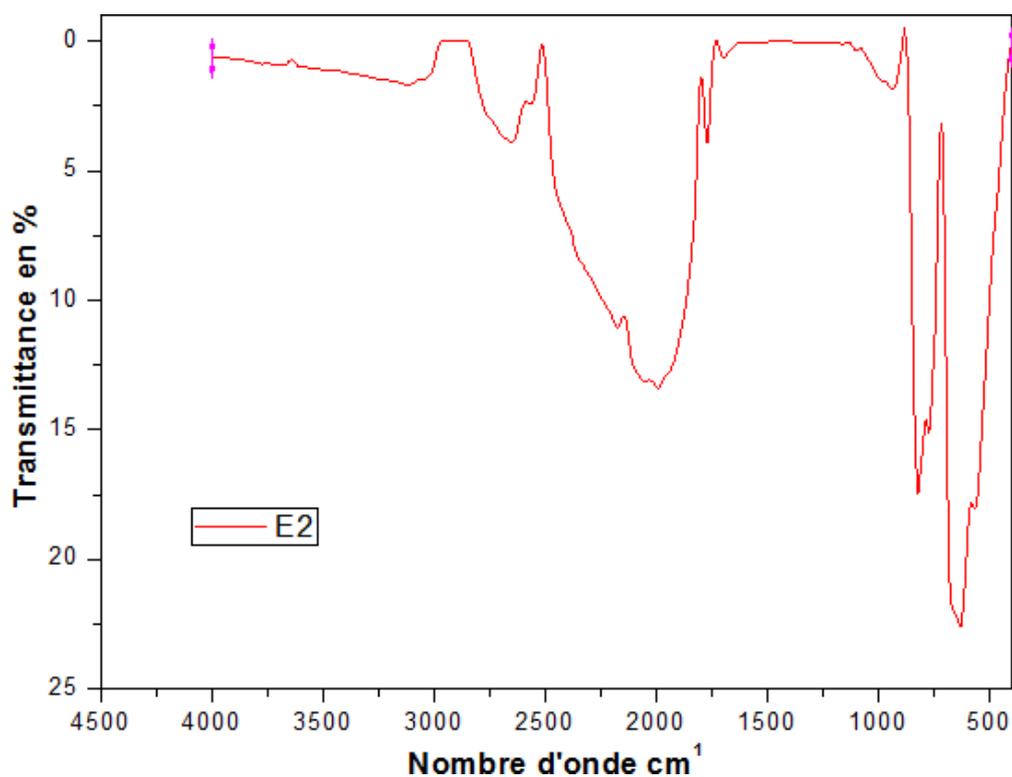


Figure V.5 : Spectres infrarouge à transformée de Fourier d'échantillon E2

Tableau V.3 : Groupements fonctionnels caractéristiques d'échantillon E2.

Forme	Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Fonction
Bande moyenne	3050	C-H
Bande moyenne	2680	CH <sub>2</sub>
Bande large	2100	C=C
Pic	1760	C=O (ester)
Bande moyenne	940	R=CH (alcène)
Pic	820	C-C
Pic	760	C-Cl

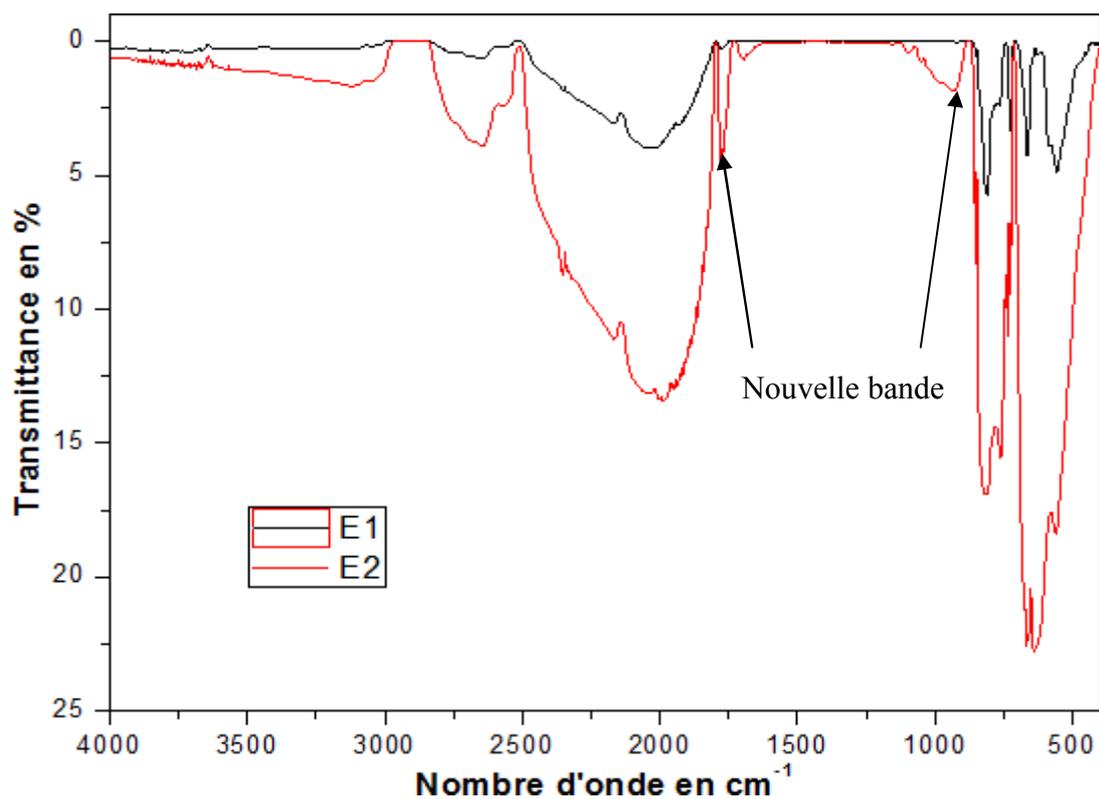


Figure V.6 : Superposition des spectres dans un seul graphe

Par la superposition des spectres, on observe l'apparence de nouvelles bandes fonctionnelles aux ( $1760 \text{ cm}^{-1}$ ) et ( $940 \text{ cm}^{-1}$ ) dans E2 par rapport E1 qui signifie respectivement les groupements fonctionnels  $\text{C}=\text{O}$  (ester) et  $\text{R}=\text{CH}$  (Alcène).

# **Conclusion**

## **générale**

### CONCLUSION GENERALE

Les analyses menées dans ce mémoire visent à établir une comparaison distincte de nouvelle formulation à base de PVC qui est caractérisé par non-adhérence à la surface intérieure de câble électrique et définir sa composition chimique.

L'étude de nouvelle formulation a permis d'obtenir les résultats suivants :

- Le bourrage de l'ENICAB donne des bonnes propriétés mécaniques (contrainte et allongement à la rupture) par apport au bourrage commercial.
- La rigidité de bourrage commercial est plus élevée que le bourrage référentiel.
- La différence des valeurs de la masse volumique entre les échantillons étudiés montre que chaque bourrage a des additifs ajoutés différents. Ce résultat est confirmé par les analyses structurales de l'infrarouge.

Finalement, il sera intéressant en vue d'approfondir cette étude, d'utiliser d'autres techniques analytiques telles que la chromatographie sur gel perméable pour suivre l'évolution du poids moléculaire, l'analyse thermogravimétrique (ATG/ATD et DSC) pour étudier la dégradation thermique et l'analyse par diffraction des rayons X (DRX), Résonance magnétique nucléaire (RMN) pour préciser les composants des échantillons...ets

## Résumé

L'objectif de ce présent travail s'articule autour de la comparaison entre deux matières de base (PVC) l'un est de l'ENICAB (E1) et l'autre est commercial (E2) qui caractérisé par sa non-adhérence à la gaine intérieure de câble électrique. Dans ce cas on a réalisé des analyses comparatives entre les deux bourrages (essai de traction, essai de la dureté et analyse structural par spectroscopie infrarouge transformée de Fourier FTIR) pour mentionner ou déterminer les propriétés et les compositions de chaque bourrage pour finalement obtenir une matière de base de PVC économique et de bonnes propriétés physique, chimique et mécanique.

Les mots clé : PVC, Bourrage, propriétés

## Abstract

The objective of this present work revolves around the comparison between two base materials (PVC) one is from ENICAB (E1) and the other is commercial (E2) which is characterized by its non-adherence to the inner electrical cable sheath. In this case, comparative analyzes were carried out between the two filling (traction test, hardness test and analysis by Fourier transform infrared spectroscopy FTIR) to mention or determine the properties and compositions of each filling to finally obtain a base material. of economic PVC and good physical, chemical and mechanical properties.

Key words: PVC, filling, Properties

## ملخص

يستند الهدف من هذا العمل إلى المقارنة بين مادتين أساسيتين (PVC) إحداهما من شركة الوطنية لصناعة الكوابل ببسكرة (E1) والأخرى تجارية (E2) تتميز بعدم التصاقها بالسطح الداخلي للكابلات الكهربائي. في هذه الحالة، تم إجراء تحليلات مقارنة بين العينتين (اختبار الشد واختبار الصلابة والتحليل بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء المحولة (Fourier FTIR) لذكر أو تحديد خصائص وتركيبات كل حشو للحصول أخيراً على مادة أساسية اقتصادية من PVC وخصائص فيزيائية وكيميائية وميكانيكية جيدة.

الكلمات المفتاحية : كلوريد متعدد الفايثيل, الحشوة, الخصائص