

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Chimie Industrielle



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الكيمياء الصناعية

Mémoire présentée en vue de l'obtention
du diplôme de Master en : Génie des Procédés

Option : Génie d'environnement

Développement d'un mélange à base de résine PVC de propriétés mécaniques, thermiques et économiques capable de remplacer le mélange standard utilisé pour le gainage au niveau de l'ENICAB de Biskra

Présentée par :

ATROUS Rabiaà & NACER Rahima

Devant le jury composé de :

Président : M^{elle}. SMAIL Dalila

Encadreur : M^{me}. BOUREMEL Cherifa

Examineur : Mr. CHEBBI Rachid

Co-encadreur: M^{me}. LOUCIF Amina



REMERCIEMENT

Nous remercions DITU qui nous a donné la volonté et qui nous aidé à élaborer cette travail.

Puis, nous tenons à remercier Madame « SAKRI Cherifa » pour accepter de nous encadrer, pour ses orientations, et le temps qu'elle nous a consacré.

Nous tenons également à remercier les membres du jury ;

M^{lle}. SMAIL Dalila et Mr. CHEBBI Rachid

Nous tenant également à remercier tout les professeurs ainsi que le chef du département de chimie industrielle.

Aussi un grand remerciement à M^{me}. Loucif Amina, et toutes l'équipe des laboratoires du plastique, de mécanique pour tous ces précieux conseils, son aide lors de notre travail. Nous voudrions témoigner aussi de ses compétences et de ses immenses qualités humaines.

Merci.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

Mes très chers parents

Je souhaite que Dieu leur préserve une longue vie.

Mes très chers frères et sœurs.

Mon très cher fiancé.

Toute ma famille,

Et à Tous mes collègues et amies

Et Toute la promotion de Master 2013.

Rabiaà

DIDICAGE

Je dédie ce travail :

*A mon très cher père qui espéré voir ce jour ;
A ma mère qui m'a études. Et ne m'a jamais
privée de son amour, de son attention et de ses
encouragements ;*

*A mes beaux-frères et mes belles-sœurs ;
A toute ma famille et A tous mes amies et
mes collègues, surtout : Djahida, Ghania,
Fatima, Linda, Firouz, Khadija, Hanifa.
Et à tous ceux qui m'ont aidé ;*

*A Hama, hichem, houda, rekaia, seif, salah,
youcef, ousama, fatima, abdel-raouf,
melek, Hanan, Luisa, Meriem, yamina, Nadjwa*

Rahima

Résumé

Ce sujet est proposé par la société ENICAB de Biskra pour développer un nouveau mélange à base de PVC capable de remplacer le mélange standard utilisé pour le gainage des câbles électriques. L'objectif de ce travail est consisté à préparer des différents mélanges à base de PVC avec l'incorporation des additifs tels que: stabilisant, plastifiant, charge.....etc. ; le comportement de ces mélanges a été suivi par des études mécaniques (test de traction, test de la dureté Shore A), des analyses thermiques (perte de masse et stabilité thermique) et une étude économique.

Les résultats obtenus montrent que le meilleur mélange en termes de gain et de caractéristiques mécaniques et thermiques est le mélange (B).

Mots Clés : polymères, PVC, polychlorure de vinyle, gainage, polymères conducteur propriétés mécaniques et thermiques.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre. I .Polymères et additifs

I.1.Introduction.....	01
I.2.Définitions.....	01
I.2.1.Polymères	01
I.2.2.Monomères	01
I.3.Structure des polymères	01
I.3.1.Polymères linaires.....	01
I.3.2.Polymères ramifiés.....	02
I.3.3.Polymères réticulés.....	02
I.3.4.Polymères amorphe et polymères cristallins.....	02
I.4.Types des polymers.....	02
I.4.1.Thermoplastes.....	02
I.4.2.Thermodurcissables.....	04
I.4.3.Elastomères.....	04
I.5.Propriétés des polymères.....	04
I.5.1.Propriétés physiques.....	04
I.5.2.propriétés chimiques.....	04
I.5.3.Propriétés thermiques.....	04
I.5.4.Propriétés électriques.....	05
I.5.5.Propriétés acoustique.....	05
I.5.6.Propriétés mécaniques.....	05
I-5-7- Propriétés optiques.....	05
I.6.Aditifs et charges.....	05
I.6.1.Aditifs.....	05
I.6.1.1.Plastifiants.....	06
I.6.1.2.Lubrifiants.....	06
I.6.1.3.Stabilisants.....	06

I.6.1.4. Ignifugeants.....	06
I.6.1.5. Renforts.....	06
I.6.2. Charges.....	07
I.6.2.1. Charges renforçantes.....	07
I.6.2.2. Charges non renforçantes.....	07
I.6.2.3. Charges ignifugeantes.....	08

Chapitre. II. Polychlorure de vinyle (PVC)

II.1. Introduction.....	09
II.2. Définition.....	09
II.3. Préparation du polychlorure de vinyle.....	09
II.3.1. Polymérisation du polychlorure de vinyle.....	11
II.3.1.1. Polymérisation en suspension.....	11
II.3.1.2. Polymérisation en émulsion.....	11
II.4. Mélanges à base du polychlorure du vinyle.....	11
II.4.1. Transformation du polychlorure du vinyle.....	11
II.4.2. Méthodes de transformation du PVC en produits finis.....	12
II.4.2.1. Extrusion.....	12
II.4.2.2. Injection.....	12
II.4.2.3. Extrusion-soufflage.....	12
II.4.2.4. Enduction.....	12
II.4.2.5. Calandrage.....	12
II.4.2.6. Thermoformage.....	12
II.4.2.7. Trempage.....	13
II.4.2.8. Rotomoulage.....	13
II-5-Propriétés du polychlorure de vinyle transformé.....	13
II-5-1-Propriétés physiques.....	13
II-5-2- Propriétés mécaniques.....	13
II.5.3. Propriétés chimiques.....	14
II.5.3.1. Résistance aux agents chimiques.....	14
II.5.3.2. Tenue à la lumière (Résistance photochimique).....	14

II.5.4. Propriétés électriques.....	14
II.5.5. Propriétés thermiques.....	14
II.5.6. Propriétés dimensionnelles.....	14
II.5.7. Propriétés de mise en œuvre.....	15
II.6. Domaines d'applications du polychlorure de vinyle.....	15
II.6.1. Matériel medical.....	15
II.6.2. Équipements électriques et électroniques.....	15
II.6.3. Automobile.....	15
II.6.4. Mode et accessories.....	15
II.6.5. Emballage.....	15
II.6.6. Transports.....	16
II.6.7. Bâtiment.....	16
II.7. Polychlorure de vinyle dans l'environnement.....	17
II.7.1. Dégradation du polychlorure de vinyle.....	17
II.7.1.1. Amorçage.....	17
II.7.1.2. Propagation.....	17
II.7.1.3. Terminaison.....	18
II.7.2. Problèmes peuvent engendrés à l'utilisation du PVC.....	18
II.7.2.1. Rejets de CVM.....	18
II.7.2.2. Risques liés à la transformation du PVC La résine de PVC.....	18
II.7.3. Traitement et valorisation des déchets en PVC.....	19
II.7.3.1. Recyclage mécanique.....	19
II.7.3.2. Recyclage chimique.....	19
II.7.3.3. Incinération.....	20
II.7.3.4. Mise en décharge.....	20

Chapitre. III. Conducteurs et câbles

III.1. Introduction.....	21
III.2. Définitions.....	21
III.2.1. Conducteur isolé.....	21
III.2.2. Câble unipolaire.....	21

III.2.3.Câble multiconducteurs.....	21
III.3.Caractéristiques des câbles.....	22
III.3.1.Caractéristiques électriques.....	22
III.3.1.1. Partie conductrice.....	22
III.3.1.2.Partie isolante.....	22
III.3.2.Caractéristiques mécaniques.....	22
III.3.2.1.Ame.....	22
III.3.2.2. Enveloppe isolante et gaines.....	23
III.4. Classification et choix des câbles.....	23
III.4.1.Classification.....	23
III.4.2.Choix des câbles électriques.....	23
III.5. Identification et repérage des câbles électriques	23
III.6. Polymères utilisé pour l'isolation et le gainage.....	24
III.6.1. Plastomères.....	24
III.6.2.Elastomères.....	24
III.7.Matériaux de fabrication des conducteurs.....	24
III.8. Fabrication des câbles électriques	24
III.8.1.Conducteur	25
III.8.1.1.Tréfilage.....	25
III.8.1.2.Câblage.....	25
III.8.2.Isolation	25
III.8.3.Câblage de phase	26
III.8.4.Gaine extérieure.....	26
III.8.5.Protections supplémentaire	26
III.9.Risques de fabrication des câbles pour l'environnement et leur prévention.....	26
<i>Chapitre. IV. Matériaux et Techniques</i>	
IV.1.Présentation des matières employées.....	29
IV.2.Méthodologie de préparation des mélanges.....	32

IV.2.1. Formulations des différents mélanges utilisés.....	32
IV.2.2. Méthode de préparation des mélanges (Dry – blend).....	32
VI.2.3. Extrusion du Dry – blend.....	33
IV.2.4. Méthode de préparation des plaques (procédé de pressage).....	34
IV.2.5. Méthode de préparation des éprouvettes.....	34
IV.3. Caractérisations d'échantillons	35
IV.3.1. Etude de vieillissement (Test en étuve).....	35
IV.3.2. Etude mécanique.....	35
IV.3.2.1. Test de traction.....	35
IV.3.2.2. Dureté shore A.....	36
IV.3.3. Etude thermique.....	37
IV.3.3.1. Stabilité thermique.....	37
IV.3.3.2. Perte de masse.....	38

Chapitre. V. Interprétation des résultats

V.1. Interprétations des résultats mécaniques.....	39
V.1.1. Test de traction.....	39
V.1.2. Dureté shore A.....	41
V.2. Interprétation des résultats thermique.....	42
V.2.1. Stabilité thermique.....	42
V.2.2. Perte de masse.....	43

Chapitre. VI. Etude économique

VI.1. But d'étude.....	44
VI.2. Calcul des coûts de mélanges.....	44
VI.2.1. Coût massique.....	44
VI.2.2. Coût volumique.....	46
VI.3. Calcul le gain.....	48

Conclusion générale

Référence bibliographique

Annexe

Liste des tableaux

Tableaux	Pages
Tableau (II.1) : Propriétés mécaniques du PVC.....	13
Tableau (IV.1): Quelques caractéristiques de la résine « PVC.S.70 ».....	29
Tableau (IV.2) : Quelques caractéristiques de CaCO ₃ traité.....	30
Tableau (IV.3) : Quelques caractéristiques de DIDP.....	31
Tableau (IV.4) : Quelques caractéristiques de Noir de carbone.....	31
Tableau (IV.5) : Les différentes formulations utilisées.....	32
Tableau(VI.1) : Composition des mélanges utilisés.....	44
Tableau (VI.2) : Densités et prix des matières premières utilisées.....	44
Tableau (VI.3) : Le gain par rapport au mélange référentiel (PVC08A).....	48

Liste des figures

Figures	Pages
Figure II.1 : Forme de polychlorure de vinyle.....	09
Figure II.2 : Procédés de préparation du PVC.....	10
Figure IV.1. Organigramme de la partie expérimentale.....	28
Figure IV.2 : Mélangeur de type MSH25.....	33
Figure IV.3 : Extrudeuse de type plasti-corder type PLE330.....	33
Figure IV.4 : Presse de type polystat.....	34
Figure IV.5 : Etuve de type (WSU 100).....	35
Figure IV.6 : Machine de traction de type Zuick/Roell Z 100.....	36
Figure IV.7 : Appareil de type Zuick/Roell mesure la dureté Shore A.....	37
Figure IV.8 : Essai de la stabilité thermique.....	37
Figure IV.9 : Thermostat.....	38
Figure V.1 : Contrainte à la rupture médiane avant et après vieillissement pendant 7 jours.....	39
Figure V.2 : Allongement à la rupture avant et après vieillissement pendant 7 jours.....	40
Figure V.3 : Variation de la dureté shore A.....	41
Figure V.4 : Variation de la stabilité thermique.....	42
Figure V.5 : Variation de la perte de masse médiane.....	43
Figure VI.2 : Histogramme de gain des mélanges (A, B, C, D) par rapport au mélange référentiel (PVC08A).....	49

Introduction générale

Aujourd'hui, les matières plastiques sont présentes dans presque tous les secteurs de l'activité humaine, Grâce à leurs diversité et à leurs nombreuses propriétés intéressantes : le bâtiment, l'agriculture, les transports, l'électroménager, l'électronique, l'électricité... etc. Utilisent ces matériaux couramment [01].

Les câbles électriques portent un recouvrement polymérique extérieur pour leur protection, c'est ce qui s'appelle enveloppe extérieure. Cette enveloppe isole l'intérieur du câble d'éléments externes qui pourraient altérer ses propriétés électriques comme l'humidité et le protège des chocs qu'il peut recevoir durant son installation et utilisation. Comme l'isolation, l'enveloppe extérieure est fabriquée par un polymère thermoplastique comme le polychlorure de vinyle [02].

Le polychlorure de vinyle, appelé PVC est la troisième matière plastique la plus utilisée au monde [03], ce polymère a un rôle très important dans le secteur électrique surtout dans le domaine de fabrication des câbles électriques. Où ce polymère a une bonne : propriétés diélectrique, résistance à l'ozone et au vieillissement Etc [04].

Le PVC est électriquement isolant mais assez instable à la chaleur et à la lumière qui entraînent une perte de chlore sous la forme de chlorure d'hydrogène (HCl), pour cela cette résine de PVC n'est jamais utilisée seul, elle est mélangée aux différents additifs avant la transformée. Ces additifs sont également responsables de la grande variété qui existe entre les différents produits en PVC au niveau de leurs propriétés (mécanique, thermique, ...) [05].

Il est disponible sur demande en plusieurs couleurs, qui peut être utilisé pour l'identification des circuits électriques [04].

Ce sujet est proposé par la société ENICAB (L'Usine National d'Industrie du Câble de Biskra) pour développer un nouveau mélange à base de PVC capable de remplacer le mélange standard utilisé pour le gainage des câbles électriques. L'objectif de ce travail est consiste à préparer des différents mélanges à base de PVC avec l'incorporation des additifs tels que: stabilisant, plastifiant, charge.....etc. ; le comportement de ces mélanges a été suivi par des études mécaniques (test de traction, test de la dureté Shore A), des analyses thermiques (perte de masse et stabilité thermique) et une étude économique (calcul de coût et de gain).

Ce mémoire comporte six chapitres :

Chapitre I : Polymères et additifs.

Chapitre II: Polychlorure de vinyle.

Chapitre III : Conducteurs et câbles.

Chapitre IV : Matériaux et techniques.

Chapitre V : Interprétation des résultats.

Chapitre VI : Etude économique.

En termine par une conclusion générale et annexe.

I. Polymères et additifs

I.1.Introduction

Avec la découverte des hydrocarbures, les polymères sont devenus des matériaux utilisés couramment dans l'industrie. Le secteur des matériaux à base des polymères connaît un développement intensif.

L'application des polymères dans de nombreux domaines comme l'adhésion, la stabilité colloïdale, la conception de matériaux composés et de matériaux biocompatibles, exige l'étude et la compréhension des propriétés physico-chimiques tels que : la structure chimique, l'état de phase et la composition des surfaces voisines agissantes réciproquement [06].

I.2.Définitions

I-2-1-Polymères

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères reliées par des liaisons covalentes.

Un homopolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères tous identiques.

Un copolymère est un polymère qui comporte des motifs monomères de deux ou plus sortes différentes.

Les polymères peuvent être d'origine naturelle (animale ou végétale) ou d'origine synthétique [07].

I.2.2.Monomères

Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire [08].

I.3.Structure des polymères

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés. Le plus souvent, ils sont amorphes, parfois ils peuvent être, au moins partiellement, cristallins [07].

I.3.1.Polymères linaires

Les polymères linéaires sont constitués des grandes chaînes des monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont

des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Vander Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide.

Si la température s'élève, l'agitation moléculaire qui en résulte va rompre progressivement ces liaisons secondaires. Le matériau va pouvoir s'écouler sous son propre poids : il présente alors le comportement d'un liquide visqueux.

La température à laquelle se produit cette évolution s'appelle la température de transition vitreuse.

La transition vitreuse correspond à l'apparition de mouvements de longs segments de chaîne et marque le passage de l'état vitreux à l'état caoutchouteux [07].

I.3.2. Polymères ramifiés

Des chaînes homopolymériques ou copolymériques peuvent se greffer sur d'autres chaînes au cours de la polymérisation. Au dessus de la température de transition vitreuse, ces matériaux présenteront un comportement visqueux plus marqué que les polymères linéaires [07].

I.3.3. Polymères réticulés

La réticulation correspond à la formation de liaisons chimiques suivant les différentes directions de l'espace au cours d'une polymérisation, d'une polycondensation ou d'une polyaddition, et qui conduit à la formation d'un réseau [07].

I.3.4. Polymères amorphe et polymères cristallins

Les chaînes macromoléculaires peuvent être organisées de façon aléatoire dans l'espace et constituer ainsi une phase amorphe. La phase amorphe est, en théorie équivalente à un liquide, sans ordre moléculaire à grande distance.

Elles peuvent être rangées régulièrement avec la constitution d'un ordre responsable d'une caractéristique de l'état cristallin : l'aptitude du matériau à diffracter les rayons X selon des angles définis.

Dans un polymère, les deux états ordonnés et désordonnés peuvent exister dans un même matériau qui est alors de nature semi-cristalline [07].

I.4. Types des polymères

I.4.1. Thermoplastes

❖ Polyéthylène (PE)

Polymérisation de l'éthylène par compression de 1000 à 2000 MPa et à une température de 150 à 300°C, utilisé, pour la fabrication de feuilles barrière, récipients domestiques, canalisation des eaux usées fragilisé par UV=>noire de carbone [09].

❖ Polytétrafluoroéthylène (PTFE: Téflon)

Forte attraction des chaînes et cristallisation => grande stabilité, peu de friction mécanique, peu inflammable et point de fusion élevé structure hélicoïdale => stabilité du cristal, T = 350°C, comme ruban dans les joints des tuyaux, mélangé avec fibres de verre, dans des toitures [09].

❖ Polychlorure de vinyle (PVC)

Dur et inflammable, résistant à l'attaque des acides et des bases ; se ramollit à 80°C. A température élevée (200°C), le PVC prend une fluidité trop basse pour l'injection ; l'ajout de plastifiants ; selon leur quantité, ont été obtenus des produits rigides, semi-rigides, flexibles ou élastiques.

Emplois : tuyauterie d'eau potable et d'eaux usées, gaines des câbles électriques, les profilés de menuiserie, les stores et les revêtements muraux et des sols [09].

❖ Polypropylène (PP)

Dur et insoluble dans n'importe quel solvant organique. Sa résistance mécanique et chimique au-dessus de 100°C permet son usage pour les appareils sanitaires et les conduites d'eau. Ajouté au béton sous forme de fibre, il améliore les propriétés mécaniques [09].

❖ Polystyrène (PS)

Se prête facilement au moulage et à l'extrusion, objets domestiques et éléments électriques. Il est aussi utilisé pour les peintures. En réchauffant les granulés de polystyrènes contenant un agent gonflant, l'obtient d'un matériau expansé, utilisé pour les isolations thermiques [09].

❖ Résine acrylique

S'obtient par la polymérisation d'esters de l'acide acrylique et de l'acide métacrylique. Ont été obtenus d'une part, des résines polyacryliques pour la fabrication d'isolants et de colle et d'autre part, les résines polymétacryliques, commercialisé sous le nom plexiglas. Ce produit a une bonne résistance chimique et mécanique ; il est transparent ; inflammable et se laisse facilement travailler ; il remplace souvent le verre, car il est plus léger et incassable.

Egalement utilisé dans les peintures, comme liant dans le béton de polymère, réparation des fissures [09].

I.4.2. Thermodurcissables

❖ Résine

Phénol (PF) production industrielle : bakélite. Fabrication des laminés comme Formica. Adhésives résistants à l'eau (utilisation industrielle car très acide) [09].

Mélatamine (MF); inflammables, résistants aux solvants, peuvent être colorés et émaillés ; fabrication des stratifiés [09].

Polyester (UP) pour les peintures ou sous forme textile pour la fabrication des panneaux, souvent renforcé avec des fibres de verre, citerne d'eau froide, piscine, ... [09].

Epoxyde (EP) très bonne résistance aux agents chimiques et à l'usure ; sont utilisés pour les revêtements de sol sans joints, très bonne capacité d'adhérence à l'acier et au bois. Béton de résine. Composite. Coût élevé mais très bonnes performances [09].

I.4.3. Elastomères

❖ caoutchouc naturel, NR

Appuis pour les ponts, diminution de la vibration dans les bâtiments.

❖ Caoutchouc silicone

Pour étanchéité bonne adhésion, bonne propriétés élastiques, bonne durabilité, hydrophobe [09].

I.5. Propriétés des polymères

I.5.1. Propriétés physiques

Les propriétés physiques des matériaux polymères sont une moyenne de celles des composants quand il s'agit de la masse volumique ou de la reprise l'humidité pour le reste, ces matériaux sont souvent inhomogènes et il n'y a pas de règle d'addition pour les propriétés à partir de celles des composants [10].

I.5.2. Propriétés chimiques

Le comportement chimique du matériau dépend en grande partie de la nature chimique de la partie polymère mais aussi de son accessibilité aux agents extérieures. La distinction entre mise en solution et attaque chimique est théoriquement claire une solution devant laisser intacte la structure chimique du produit [10].

I.5.3. Propriétés thermiques

La conductibilité thermique est faible, quelque $0.1 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Les polymères sont des isolants. Les charges peuvent augmenter la conductibilité. La capacité thermique à pression constante est de l'ordre du $\text{KJ.K}^{-1}.\text{Kg}^{-1}$. Les variations importantes ne se manifestent que pour les semi-cristallins au passage de la fusion [10].

I.5.4. Propriétés électriques

Certains polymères sont théoriquement conducteurs comme les polyacétylènes, polyparaphénylène, polypyroles, polyanalines. Cependant un dopage est nécessaire pour le rendre effectivement conducteurs (agent, oxydant qui prélève les électrons dans la structure principale). Actuellement la limite est qu'en présence d'air et d'humidité. Ils sont instables et perdent leur aspect conducteur. Cependant, les polymères actuellement disponibles dans le commerce en standard sont des isolants électriques les polymères chargés des particules conducteurs comme le noir de carbone ou des poudres métalliques peuvent avoir une faible conduction électrique permettent, par exemple, d'évacuer des charges électrostatique [08].

I.5.5. Propriétés acoustique

Certains polymères sont disponibles sous forme de structure alvéolaire ou masse qui ont la particularité d'être isolant thermique mais aussi acoustique. Les réglementations en matière d'isolation acoustique deviennent de plus en plus sévères dans les domaines de bâtiment et de la machine notamment [08].

I.5.6. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des matériaux polymères dépendent de la position de la température expérimentale par rapport aux températures caractéristiques que sont les températures de fusion, de transition vitreuse et de transition secondaire. Les essais de traction permettent de déterminer qualitativement si un matériau est fragile ou ductile, rigide ou souple. Ils permettent aussi de quantifier certaines propriétés mécaniques telles que le module d'élasticité. La résistance maximale ou la contrainte et l'allongement à la rupture en traction [08].

I-5-7- Propriétés optiques

- ❖ Transparence.
- ❖ Translucidité.
- ❖ Opacité.
- ❖ Coloration [11].

I.6. Aditifs et charges

I.6.1. Aditifs

Les adjuvants sont des composés organiques, organométalliques, souvent de faible masse moléculaire par rapport à celle du polymère, utilisés en faible concentration; et destinées à modifier ou améliorer leur comportement rhéologique en machine

de transformation, ou bien les propriétés d'usage des matériaux finis (propriétés physiques, stabilité à l'environnement) [12].

I.6.1.1. Plastifiants

Molécules à bas poids moléculaire, diminuent la force de liaison entre les chaînes, améliorent la souplesse d'un polymère rigide [12]

I.6.1.2. Lubrifiants

Lubrifiants facilitent la transformation du PVC et contribuent à ce que ce dernier n'adhère pas aux surfaces de contact métalliques des machines. Il s'agit de cires organiques, d'alcools gras, d'acides gras, d'esters ou de sels métalliques. Ils ne présentent aucun risque pour la santé et n'interviennent qu'à très faibles concentrations dans le PVC [13].

I.6.1.3. Stabilisants

Les stabilisants ralentissent la dégradation des polymères pendant la mise en œuvre ou l'utilisation en améliorant la résistance aux effets de chaleur, radiation et oxydation [12].

I.6.1.4. Ignifugeants

Lors de combustion les polymères libèrent des gazes toxiques, les ignifugeants rendent plus difficile l'amorçage ou la propagation de la combustion [12].

I.6.1.5. Renforts

Le renfort : améliore la résistance de la matrice, il est généralement constitué de fibre qui peut être de différentes formes :

- **Unidimensionnels** : fibres unidirectionnels c'est-à-dire orientés suivant une seule direction.
- **Bidimensionnels** : surface tissée (tissu), ou non tissée feutres « mats »
- **Tridimensionnels** : tissu multidimensionnels, volumes renforcés par des fibres orientés suivant plusieurs directions.

Les matériaux d'origine de fibres sont :

- Verre
- Aramides (ou kevlar), plus légers
- Carbone (module d'élasticité élevé)
- Bore
- Carbure de silicium (tenue en température)

Parmi ces matériaux on trouve souvent trois qui sont de large utilisation dans plusieurs applications industrielles, ce sont le fibre de verre, kevlar et carbone. Cet avantage provient de leurs propriétés qui sont:

- Faible densité

- Résistance élevée à la traction
- Résistance à la compression [14].

I.6.2.Charges

La charge toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé.

Les charges sont des produits (généralement minéraux) utilisés en forte concentration qui ont pour effet principal de modifier les propriétés physiques du produit fini [12].

I.6.2.1.Charges renforçantes

- **Charges sphériques renforçantes**

L'intérêt principal de ce type chargé réside dans leur géométrie sphérique qui répartit régulièrement les efforts et évite les concentrations de contraintes [12].

- **Charges renforçantes non sphériques**

Ce sont des particules ayant la forme d'une écaille de 1 à 20 μ d'épaisseur et de 100 à 500 μ de côté. Le mica a été utilisé essentiellement sous cette forme, mais il existe également des écailles de verre, d'alumine, de carbure de silicium notamment.

Le mica renforce des résines thermoplastiques ou thermodurcissables, le plus souvent dans des applications électriques ou électroniques [12].

I.6.2.2.Charges non renforçantes

- **Charges bon marché**

Ce sont des produits, le plus souvent d'origine minérale, que l'on incorpore à la résine dans des proportions compatibles avec les performances recherchées pour abaisser le prix de la pièce. En effet, ces charges sont simplement extraites de roches ou de minerais donc très bon marché.

Généralement, l'incorporation des ces charges dans les résines modifie les propriétés de la manière suivante :

-en augmentation:

- Viscosité du mélange
- Densité module d'élasticité dureté Stabilité dimensionnelle

-en diminution :

- résistance à la traction et à la flexion.

Les principales charges sont:

- ✓ **Carbonates de calcium (CaCO₃):**de loin les charges les plus utilisées

- ✓ **Silicates:** le talc, le kaolin [12].

I.6.2.3.Charges ignifugeantes

Ce sont des produits qui ajoutés à des résines réduisent ou empêchent les phénomènes de combustion par exemples :

- **Hydrate d'alumine**

C'est le principal produit utilisé avec les résines thermodurcissables. L'hydrate d'aluminium retarde la propagation de la flamme et supprime les fumées de combustion en absorbant une grande partie de l'énergie par l'évaporation d'eau qu'il contient.

- **Oxyde d'antimoine**

Ce produit est beaucoup moins utilisé que l'hydrate d'alumine dans les thermodurcissables. Il est plus cher, plus lourd (densité= 5.3 à 5.8), pose des problèmes de toxicité lors de la manipulation [12].

II. Polychlorure de vinyle

II.1.Introduction

Le polychlorure de vinyle a été découvert par accident à au moins deux occasions au cours du XIX^e siècle, d'abord en 1835 par Henri Victor Regnault et en 1872 par Eugen Baumann. 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 (CH₂=CHCl). Une molécule de PVC contient 750 à 1500 monomères [13].

II.2.Définition

Le PVC est un matériau apprécié et durable à cause de ses bonnes propriétés chimiques et mécaniques. Il est difficilement inflammable et a une très bonne résistance à beaucoup d'acides et de solutions alcaline [15].

Le PVC est composé de chlore (57 % en poids) et d'éthylène, hydrocarbure composé de carbone et d'hydrogène (43 %) issu du pétrole. Le chlore est obtenu par électrolyse du sel (chlorure de sodium : NaCl) [16].

La forme de PVC est la suivante :

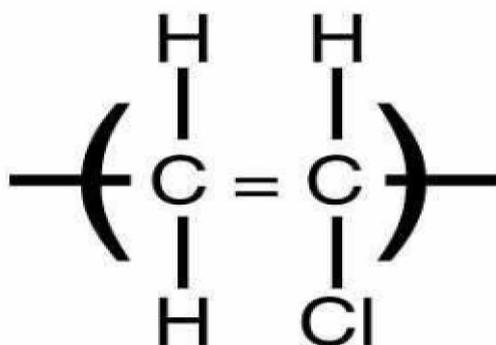


Figure II.1 : Forme de polychlorure de vinyle [15].

II.3.Préparation du polychlorure de vinyle

Le chlore est obtenu par électrolyse du sel (chlorure de sodium: NaCl). Par suite de réactions entre le chlore et l'éthylène qui donne le chlorure de vinyle monomère (CVM) et par polymérisation le CVM donne le PVC. La polymérisation est la réaction chimique par laquelle les molécules s'additionnent les unes aux autres pour former une chaîne de grande longueur [13].

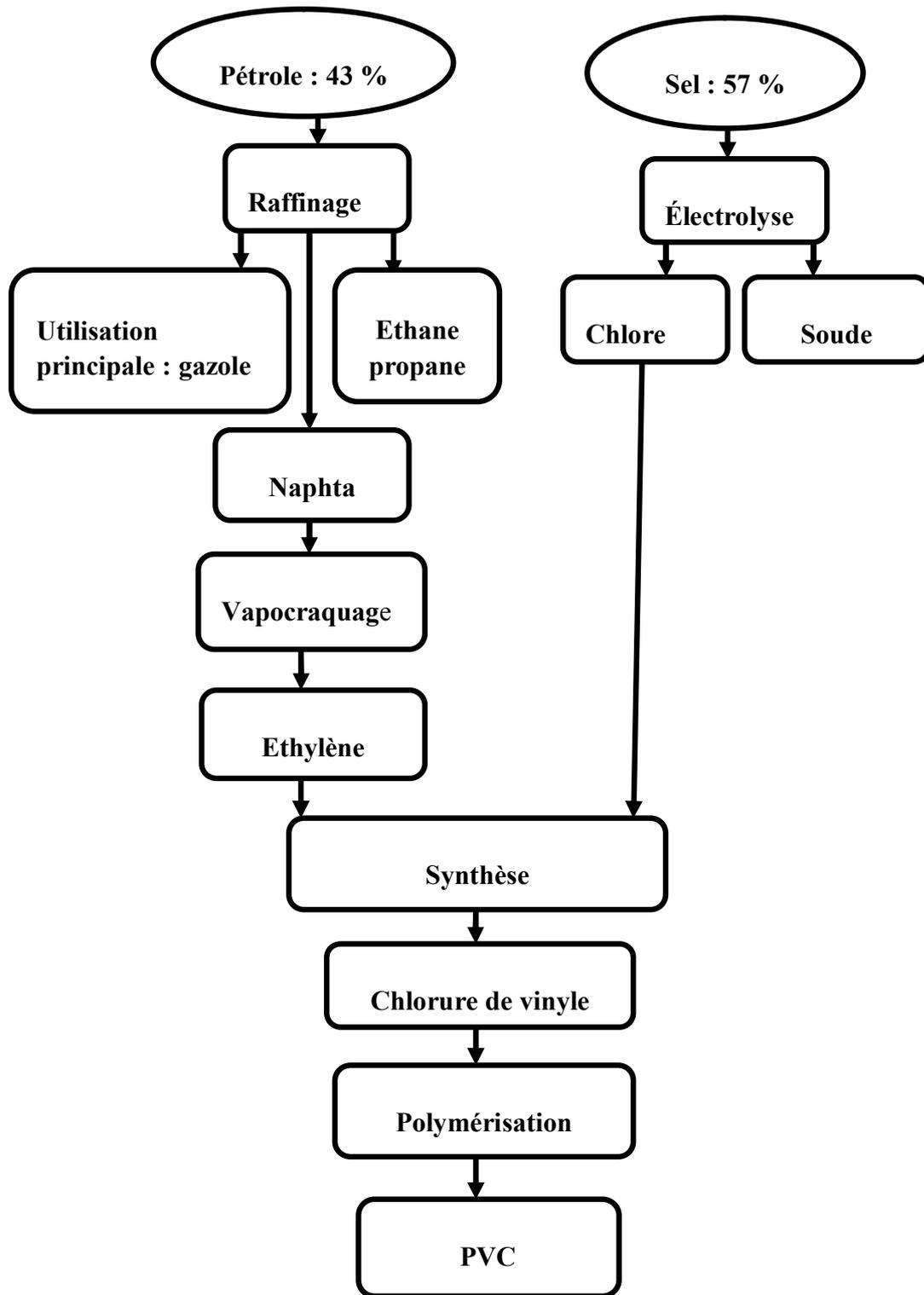


Figure II.2 : Procédé de préparation du PVC [03].

II.3.1. Polymérisation du polychlorure de vinyle

II.3.1.1. Polymérisation en suspension

Dans un grand récipient (autoclave), on mélange fermement le CVM avec une certaine quantité d'eau. La polymérisation commence après ajout d'un initiateur. Lorsque 90 % du CVM est polymérisé, la réaction est stoppée. Le CVM qui n'a pas été transformé est récupéré et réutilisé. Après séchage et tamisage, le PVC est stocké et emballé sous forme de poudre blanche inerte [13].

II.3.1.2. Polymérisation en émulsion

Fournit surtout de fines le processus de production comprend cinq étapes: Ce procédé se fait également dans un autoclave. Le CVM est placé en émulsion dans de l'eau. La suite du procédé est identique.

Ce type de polymérisation

- Extraction du pétrole et du sel.
- Production de chlore et d'éthylène.
- Synthèse du chlorure de vinyle monomère (CVM) à partir du chlore et de l'éthylène.
- Polymérisation (constitution d'une chaîne moléculaire) du chlorure de vinyle en chlorure de polyvinyle (PVC).
- Compound, mélanger du PVC avec toutes sortes d'additifs en vue d'obtenir des variantes aux propriétés diverses.
- Transformation du PVC en produit [13].

II.4. Mélanges à base du polychlorure de vinyle

II.4.1. Transformation du polychlorure de vinyle

La résine "brute" de PVC — qui se présente sous la forme d'une poudre blanche — ne peut être exploitée sans l'adjonction de certains additifs qui vont aider à la transformation de la matière plastique en produits finis et leur conférer des caractéristiques particulières en fonction de l'usage souhaité. Ces additifs, qui sont ajoutés, selon les cas, sont les stabilisants, les plastifiants, les charges et agents renforçant, les lubrifiants, les colorants et pigments... Le PVC est livré sous des formes commerciales très variées : poudres (polymère ou pré-mélanges...), granulés, pâtes (plastisols), émulsions, dissolutions...

Le PVC peut se présenter sous différentes formes avant sa transformation :

- ❖ Poudre : 100% pur à laquelle le plasturgiste ou le compoundeur va ajouter des additifs.
- ❖ Granulés : c'est un PVC additivé prêt à être transformé.

- ❖ Pâtes : pour les applications du type simlicuirs, nappes, jouets souples, gants ou revêtements ou de solutions (colles, adhésifs, peintures...) [16].

II.4.2.Méthodes de transformation du PVC en produits finis

La transformation du PVC en produit fini qui s'effectue à une température se situant entre 180 et 200°C fait appel à plusieurs techniques :

II.4.2.1.Extrusion

Dans un cylindre chauffé, une vis pousse la masse à mouler vers l'avant, la comprime, la ramollit et l'homogénéise. A l'avant du cylindre, une filière confère à la masse plastifiée la forme désirée. Cette technique est utilisée pour les produits comme les profilés, les tuyaux, les plaques et les feuilles [16].

II.4.2.2.Injection

La masse chauffée et ramollie dans le cylindre est poussée dans un moule. Une fois le moule rempli, la pièce est éjectée. Cette technique permet de fabriquer des objets de formes diverses : raccords, pièces électriques... [16].

II.4.2.3.Extrusion-soufflage

À la sortie du cylindre, le tube de matière extrudée est pris dans un moule de la forme de la pièce à fabriquer. Puis s'opère une opération de soufflage qui permet d'obtenir la pièce définitive. Ce procédé sert à la fabrication de corps creux : l'exemple le plus significatif est la bouteille [16].

II.4.2.4.Enduction

Le PVC est appliqué sur un support souple : papier, carton ou tissu. Cette technique permet de fabriquer des revêtements muraux, des revêtements de sols, la bagagerie et la maroquinerie [16].

II.4.2.5.Calandrage

Le PVC est chauffé et laminé entre deux ou plusieurs cylindres jusqu'à former une feuille continue. Ce procédé est surtout utilisé pour la fabrication de feuilles et de tissus enduits [16].

II.4.2.6.Thermoformage

La technique consiste à emboutir une feuille chauffée par une forme. Cette technique est utilisée pour fabriquer des gobelets, des feuilles d'emballages, des pièces d'automobile ou des piscines [16].

II.4.2.7. Trempage

Ce procédé qui consiste à tremper une forme ou un tissu dans la pâte de PVC est utilisé notamment pour la confection des gants [16].

II.4.2.8. Rotomoulage

La pâte de PVC est introduite dans un moule cylindrique qui par rotation va la transformer en application sphérique. C'est la technique utilisée pour fabriquer des ballons [16].

II-5-Propriétés du polychlorure de vinyle transformé

II-5-1-Propriétés 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 volumique du PVC est de l'ordre de 1.38g/cm^3 . Le PVC amorphe est transparent et relativement perméable à la vapeur d'eau. Sa masse moléculaire moyenne du PVC est généralement donné 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 [13].

II-5-2- Propriétés mécaniques

Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Propriétés mécaniques du PVC [13].

Propriétés	Unité	PVC rigide	PVC souple
Masse volumique	g/cm^3	1.38	1.3-1.7
Contrainte à la rupture	MPa	50	10-20
Allongement à la rupture	%	10-50	200 à500
Résistance à la flexion	MPa	70-80	-
Module de traction	MPa	2400	-
Module de flexion	MPa	2000	-
Résilience	J/m	50-200	-
Dureté shore D	-	70-84	20-40

II.5.3. Propriétés chimiques

II.5.3.1. Résistance aux agents chimiques

Le PVC non plastifié possède une résistance remarquable à bon nombre de produit chimie, une gamme étendue d'application où cette qualité revêt une importance primordiale. Par contre, le PVC plastifié est sensible à certains solvants organiques (aromatiques, cétoniques et chlorés) [13].

II.5.3.2. Tenue à la lumière (Résistance photochimique)

Compte tenu des précautions spéciales présent au stade de la formulation qu'à celui de la transformation, les compositions à base de PVC présente une bonne tenue au vieillissement naturel, qui peut être améliorée par l'addition d'agents de protection anti-UV et le choix de colorants ou pigments sélectionnés en vue d'utilisations particulières [13].

II.5.4. Propriétés électriques

Le PVC a de bonnes propriétés isolantes mais les pertes électriques dans le matériau sont suffisamment importantes pour permettre le soudage par haute fréquence [17].

II.5.5. Propriétés thermiques

- **Conductivité thermique** ; Elle est d'environ $0,2 \text{ W. m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- **Capacité thermique massique** ; Elle est d'environ $1046 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- **Pouvoir calorifique** ; Il est de 17 kJ/kg environ, pour les PVC non plastifiés et de valeur supérieure mais variable suivant la formulation pour les PVC plastifiés.
- **Coefficient de dilatation linéique** ; Il est d'environ $5 \cdot 10^{-5}$ à $8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ pour les PVC non plastifiés et moins significatif pour les PVC plastifiés.
- **Température de ramollissement Vicat** ; La température de ramollissement Vicat pour les PVC non plastifiés se situe entre 65 et $85 \text{ }^\circ\text{C}$. Pour des mélanges de PVC et de PVC chloré, elle peut atteindre des valeurs supérieures à $100 \text{ }^\circ\text{C}$.
- **Température de fléchissement sous charge** ; Elle ne s'applique qu'aux PVC non plastifiés. Elle varie de 55 à $70 \text{ }^\circ\text{C}$ selon les formulations et peut atteindre $90 \text{ }^\circ\text{C}$ pour celles contenant du PVC chloré [17].
- **Comportement de PVC au feu**

Le PVC se décompose dans une flamme en libérant de l'acide chlorhydrique gazeux mais il est auto extinguable. Les PVC plastifiés brûlent plus facilement [17].

II.5.6. Propriétés dimensionnelles

Le PVC présente une bonne stabilité dimensionnelle et un retrait limité dû à sa structure amorphe [17].

II.5.7. Propriétés de mise en œuvre

Le PVC se forme très bien à chaud pour les aménagements intérieurs [17].

II.6. Domaines d'applications du polychlorure de vinyle

II.6.1. Matériel médical

(Poches à sang, tubes pour dialyses, gants hospitaliers, emballages de médicaments...)

Le PVC présente une aptitude parfaite au contact direct avec les tissus et liquides biologiques (sang, sérums, etc.). Il est aussi souple que résistant : il ne se perce pas et ne plie jamais au point de ne plus permettre l'écoulement d'une perfusion par exemple. Sa surface est entièrement lisse et n'autorise ni le dépôt, ni le développement de germes. Il est donc sûr en matière d'hygiène [03].

II.6.2. Équipements électriques et électroniques

En raison de ses vertus d'isolant alliées à sa très grande souplesse, le PVC est utilisé pour le gainage des câbles électriques [03].

II.6.3. Automobile

Le PVC a depuis longtemps pris place à l'intérieur de nos voitures. Il est la matière chouchou des designers pour les revêtements des tableaux de bord des véhicules haut de gamme. Sa texture, la douceur de son toucher combiné à sa stabilité à la chaleur (lorsque le véhicule est garé en plein soleil) sont sans pareil. A l'inverse, il sait répondre aux besoins des constructeurs pour toute la sellerie automobile d'entrée de gamme (simili cuir, par exemple) [02].

II.6.4. Mode et accessoires

Le PVC fait aussi partie de nos garde-robes. Souvent accessibles en prix, cirés, bottes de pluie ou de plage, sacs à main transparents et autres accessoires en PVC sont inusables. Légers et souples, ils ne se fendillent pas, sont indéchirables et totalement imperméables. Plus durables que la mode, ils reviennent sur le devant de la scène au fil des saisons et de l'humeur des créateurs [03].

II.6.5. Emballage.

En pratique, le PVC non plastifié se retrouve dans :

- Des barquettes thermoformées pour denrées alimentaires fraîches ;
- des flacons pour produits de cosmétiques ;
- des corps creux et blisters pour l'industrie pharmaceutique (comptabilisé dans l'application santé).

Et le PVC plastifié, plutôt dans :

- des poches pour conservation du sang, des solutés (comptabilisé dans l'application santé) ;
- des films étirables pour produits alimentaires (protection et conservation) ;
- des films rétractables pour palettes de transports ;
- des films de protection d'articles de quincaillerie, de jouets [03].

II.6.6. Transports

Dans le secteur automobile, le PVC souple est principalement utilisé pour les pièces suivantes:

- câbles électriques;
- revêtement des planches de bord;
- simili cuirs pour les habillages de sièges et portes ;
- pare-soleil ;
- baguettes et soufflets de protections ;
- joints ;
- bâches pour les véhicules utilitaires ;.....

Dans les transports en communs, on le rencontre sous forme de revêtements pour sièges.

Il est aussi utilisé pour la réalisation de canots pneumatiques et l'isolation de bateaux [03].

II.6.7. Bâtiment

Les principaux secteurs concernés recouvrent :

- la construction ;
- la rénovation ;
- l'assainissement ;
- le bricolage ;
- la décoration ;
- l'électricité ;....

On le retrouve pour une large part sous forme de PVC non plastifié comme :

- tubes et raccords pour l'évacuation des eaux pluviales et usées, ou pour l'adduction d'eau potable ;
- tubes servant de fourreaux aux câbles électriques ;
- tubes de drainage ;
- profilés pour fenêtres, volets, bardages, plinthes, clôtures, gouttières, grilles d'aération et d'évacuation ;
- coffrets électriques, boîtes de dérivation, chemins de câbles, dalles de sol ;

- plaques de couverture.

Mais, également, sous forme de PVC plastifié en tant que :

- isolation et gainage des câbles électriques ;
- revêtements de sols et murs, bâches, stores ;
- feuilles d'étanchéité pour toitures et bassins ;
- portes industrielles transparentes.

On peut aussi augmenter la résistance du PVC à la température, la pression et à de nombreux agents chimiques, par exemple en le sur chlorant. Le PVC-C ainsi obtenu est largement utilisé pour les canalisations d'eau chaude, ou les installations de chauffage par le sol à basse température ou, enfin, dans les circuits d'eaux sanitaires des hôpitaux nécessitant un traitement contre la lésionnelle.

Des composites bois-PVC se développent progressivement. Par rapport au bois, ils présentent une meilleure résistance aux agents biologiques dans l'élaboration de planchers, terrasses, panneaux muraux... les tubes lisses et annelés ainsi que les raccords ;

- les gaines et fourreaux téléphoniques ;
- les coffrets, boîtiers, interrupteurs ;
- les chemins de câbles ;
- les séparateurs de batterie ;
- les cartes de crédit [03].

II.7.Polychlorure de vinyle et l'environnement

II.7.1.Dégradation du polychlorure de vinyle

Sous l'influence de la chaleur, le PVC subit une dégradation profonde, accompagnée d'une coloration caractéristique. Plus cette dernière s'accroît, plus les propriétés du PVC décroissent, et devient de plus en plus fendillé et cassant et fini par se désagréger complètement. Ce processus est déclenché selon deux étapes principales [13].

II.7.1.1. Amorçage

La dégradation thermique du PVC produit des atomes de chlore labiles, où un ion de chlore est encore séparé pendant que le proton correspondant et sa charge positive reste sur la chaîne [13].

II.7.1.2.Propagation

La réaction de dégradation thermique la plus importante est la formation de l'acide chlorhydrique, laissant la place à une double liaison. Cette déshydrochloruration obéit à un mécanisme ionique, c'est-à-dire que le chlore est séparé en tant qu'anion et l'hydrogène en tant que proton à partir d'une unité structurale, il déstabilise l'unité structurale voisine

et facilite donc une propagation en cascade, ce qu'on l'appelle en anglais « unzipping » donnant ainsi naissance à des séquences de double liaisons conjuguées, appelées un polyène conjugué, responsable des colorations parasites, cette réaction est catalysée par l'acide chlorhydrique formé. Les atomes de chlore peuvent s'échapper de cet environnement et attaquer une autre chaîne [13].

II.7.1.3.Terminaison

La réaction est terminée par certaines observations expérimentales ne peuvent pas être expliquées par les mécanismes radicalaires et il est particulièrement difficile à expliquer l'effet de HCl. Lorsque le nombre de doubles liaisons conjuguées formées devient égal ou supérieur à 5, le PVC commence à se colorer, il devient brun puis noirci, avec augmentation du nombre de réticulation, si le phénomène continue [13].

II.7.2.Problèmes peuvent engendrés à l'utilisation du PVC

II.7.2.1.Rejets de CVM

Les concentrations dans l'atmosphère à proximité des sites de production résultant des rejets ne doivent pas dépasser 0,1 ppm. La durée de vie du CVM dans l'atmosphère est de 2 jours environ car il se dégrade très rapidement : il a donc un impact négligeable sur l'ozone stratosphérique ainsi que sur l'effet de serre. L'effet éventuel sur l'ozone troposphérique n'a pas encore été mesuré [16].

II.7.2.2.Risques liés à la transformation du PVC

- **résine de PVC**

Le PVC n'est pas dangereux à température ambiante, et le principal risque, lié à la résine, est l'inhalation de poussières fines de polymères. Ce risque est lié à tout produit se présentant sous forme de poudre et le PVC, lors de sa mise en œuvre, ne se présente pas toujours sous forme de poudre. La valeur limite d'exposition qui s'applique est de 10 mg/m³ pour les poussières totales et de 5 mg/m³ pour les poussières inhalables comme pour toutes les poussières sans effet spécifique (inertes) [16].

- **Additifs**

Selon l'INRS (Institut nationale de recherche et de sécurité), les additifs pulvérulents présentent, eux aussi, des risques par inhalation et par contact au cours des différentes opérations (pesées, transvasements, mélanges...) [16].

- **plastifiants**

Selon l'INRS (Institut nationale de recherche et de sécurité), les phtalates présentent la caractéristique d'être légèrement irritants [16].

- **Charges**

Elles sont souvent pulvérulentes et généralement sans toxicité spécifique; elles peuvent provoquer par inhalation des troubles respiratoires [16].

- **Stabilisants**

Ils interviennent dans la résine en faible quantité et sont surtout dangereux lors de leur manipulation en vrac. Les types des stabilisants sont :

✓ les sels de plomb sont fréquemment employés comme stabilisants : même à faible dose, ils ont une action sur le système nerveux et peuvent provoquer des troubles digestifs, rénaux et conduire à des altérations hématologiques.

✓ Les sels de cadmium, ayant également un effet cumulatif, peuvent provoquer des troubles intestinaux, respiratoires, rénaux et métaboliques.

✓ Les dérivés de dibutyl et de dioctyl-étain sont respectivement moyennement et peu nocifs mais ils peuvent renfermer des impuretés éventuellement toxiques [16].

- **Pigments**

Leur caractère pulvérulent les rend dangereux dans les manipulations à sec. Leur toxicité propre est variable. Les pigments minéraux ont en général la même toxicité que le métal qu'ils contiennent. Les pigments organiques peuvent contenir des impuretés de produits toxiques ayant servi à leur fabrication [16].

II.7.3.Traitement et valorisation des déchets en PVC

II.7.3.1.Recyclage mécanique

Le recyclage mécanique désigne les procédés de recyclage dans lesquels les déchets de PVC ne sont traités que mécaniquement, principalement par déchiquetage, tamisage et broyage. Le matériau recyclé résultant (sous forme de poudre) peut être transformé en nouveaux produits. En fonction du degré de contamination et de la composition du matériau collecté, la qualité du matériau PVC recyclé peut varier fortement. La qualité du matériau recyclé détermine le degré auquel du matériau vierge peut être remplacé par du matériau recyclé: le matériau recyclé "de haute qualité" peut être réutilisé dans les mêmes types d'applications du PVC tandis que le matériau recyclé "de faible qualité" issus de fractions de déchets mélangées ne peut être recyclé qu'en produits de valeur inférieure, habituellement fabriqués à partir d'autres matériaux [19].

II.7.3.2.Recyclage chimique

Le recyclage chimique comprend un certain nombre de procédés par lesquels les molécules de polymère qui constituent les matières plastiques sont fragmentées en molécules plus petites. Celles-ci peuvent être des monomères directement utilisables pour

produire de nouveaux polymères ou d'autres substances utilisables ailleurs comme substances chimiques de base.

Dans le cas du PVC, outre la fragmentation de la chaîne des molécules de polymère, le chlore fixé aux chaînes est libéré sous forme d'acide chlorhydrique (HCl). En fonction de la technologie utilisée, le HCl peut être réutilisé après purification ou doit être neutralisé pour former différents produits qui peuvent être utilisés ou doivent être éliminés [19].

II.7.3.3. Incinération

S'ils sont incinérés, les déchets de PVC le sont principalement dans des incinérateurs de déchets municipaux. Des déchets de PVC sont également présents dans les incinérateurs de déchets hospitaliers étant donné que des applications du PVC sont utilisées dans les hôpitaux. Lors de l'incinération, les déchets de PVC génèrent, dans les gaz de combustion, de l'acide chlorhydrique (HCl) qui doit être neutralisé. Afin d'atteindre ces valeurs limites d'émission pour le HCl, des agents de neutralisation, en particulier de la chaux, sont injectés pour neutraliser les composants acides du gaz de combustion. Les quatre principaux procédés de neutralisation utilisés sont le procédé sec, semi-sec, semi-humide/humide et humide [19].

II.7.3.4. Mise en décharge

La mise en décharge est le mode de gestion le plus courant pour les déchets de PVC. On ne dispose pas de chiffres précis sur les quantités de déchets de PVC mis en décharge et il existe de grands écarts entre diverses estimations, qui vont jusqu'à 2,9 millions de tonnes de déchets de PVC mis en décharge chaque année. On peut estimer que plusieurs dizaines de millions de tonnes des déchets de PVC ont déjà été mises en décharge au cours des 30 dernières années [19].

III. Conducteurs et câbles

III.1.Introduction

Les conducteurs et câbles représentent les éléments actifs des liaisons électriques, puisque leur rôle essentiel est de conduire le courant électrique. Il existe une très grande variété, pour satisfaire à toutes les utilisations de l'électricité [19].

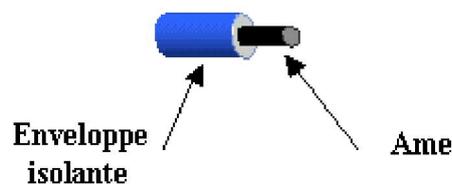
III.2.Définitions

On distingue trois termes

III.2.1. Conducteur isolé

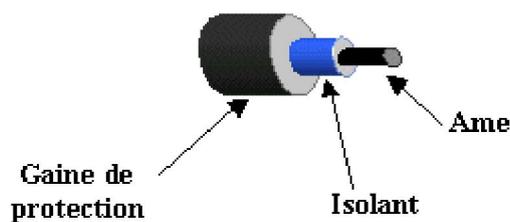
Un conducteur isolé est un ensemble formé par une âme conductrice entourée d'une enveloppe isolante.

- Ame : partie conductrice en courant d'un câble. Cette partie est souvent en aluminium ou en cuivre [20].



III.2.2. Câble unipolaire

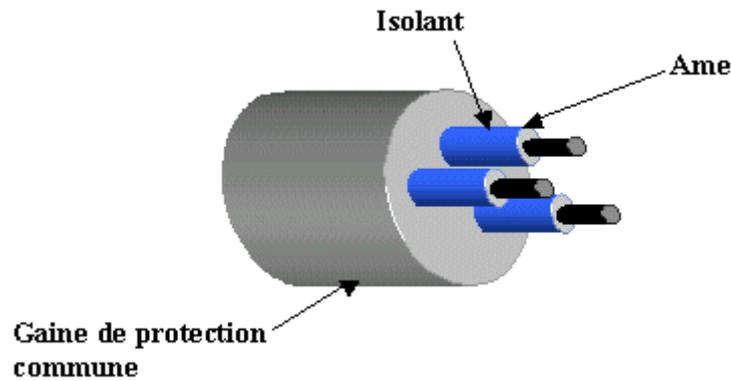
C'est un conducteur isolé qui comporte, en plus, une ou plusieurs gaines de protection [21].



III.2.3.Câble multiconducteurs

Il est formé d'un conducteur isolé comportant en général une ou plusieurs gaines de protection de différente nature feuillarde d'acier, PVC....

Il est constitué d'un ensemble de conducteurs, électriquement séparés mais comportant en plus une ou plusieurs gaines de protection commune [19].



III.3.Caractéristiques des câbles électriques

III.3.1.Caractéristiques électriques

Elles correspondent à deux fonctions essentielles :

- L'âme a pour rôle de laisser passer le courant ;
- L'isolant assure l'isolation entre les conducteurs à des potentiels différents et avec la terre ou les masses pour éviter les contacts directs [19].

III.3.1.1. Partie conductrice

- L'âme conductrice : doit présenter une résistivité très faible pour éviter les pertes par effets joules. L'emploi du cuivre (Cu) et de l'aluminium (Al) dont la valeur de la résistivité à 20°C est donnée :

- pour le cuivre (Cu) $\rho = 17,242 \times 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

- pour l'aluminium (Al) $\rho = 28,264 \times 10^{-3} \Omega\text{mm}^2/\text{m}$

- La section : Sa surface est fonction de la valeur de l'intensité du courant qui circule dans l'âme. Les sections normalisées vont de (1 mm² à 300 mm²) [19].

III.3.1.2.Partie isolante

Elle doit présenter une très grande résistivité. Comme essentiellement :

- Le Polychlorure de vinyle (PVC).
- Le polyéthylène réticulé (PR) et le caoutchouc butyle vulcanisé (PRC).

Les isolants utilisés sont caractérisés par leur tension nominale d'isolement [19].

III.3.2.Caractéristiques mécaniques

III.3.2.1. Âme

Elle doit être assez souple pour suivre les traces compliquées des canalisations :

- Les âmes massives : formées d'un conducteur unique jusqu'à 35 mm².
- Les âmes câblées ou multibrins : formées de plusieurs brins torsadés.

La souplesse d'un câble dépend du nombre de brins pour une même section conductrice [19].

III.3.2.2. Enveloppe isolante et gaines

Les caractéristiques mécaniques de l'enveloppe isolante ne sont pas toujours suffisantes pour protéger le câble des influences externes. Donc il est conduit à recouvrir l'enveloppe par une ou plusieurs gaines qui doit présenter des caractéristiques :

- ❖ **mécaniques** : bonne résistance à la torsion, à la traction,...
- ❖ **électriques** : forte résistivité, rigidité diélectrique élevée
- ❖ **Physiques et chimiques** : tenue au vieillissement ; résistance à l'humidité, à la corrosion et au feu; bonne résistance à la chaleur et au froid [19].

III.4. Classification et choix des câbles électriques

III.4.1. Classification des câbles électriques

Les fabricants proposent plusieurs sortes des câbles répondant aux facteurs d'influence propres à différents domaines d'utilisation :

- Les câbles pour applications industrielles.
- Les câbles à usage domestiques pour canalisation fixes et mobiles ;
- Les câbles basse et moyenne tension de branchement et de distribution ;
- Les câbles courants faibles : téléphone, réseaux locaux, télévision,etc.
- Les câbles spéciaux : mines, ascenseur, pétrochimie, sidérurgies, marine.. etc. [19].

III.4.2. Choix des câbles électriques

Il suffit bien souvent de déterminer le domaine d'application pour avoir directement le câble qui convient. Il reste alors à déterminer le nombre de conducteurs nécessaires et leur section [19].

III.5. Identification et repérage des câbles électrique

Le repérage des conducteurs par leur couleur est impératif pour l'installateur électricien, il peut ainsi vérifier la polarité des conducteurs avant toute intervention.

- ✓ Bleu pour le conducteur neutre (dans le cas d'une alimentation en 400V+N).
- ✓ Vert / Jaune pour le conducteur de protection électrique.
- ✓ Les conducteurs de phase peuvent être repérés par n'importe quelle couleur sauf Vert/Jaune, Vert, Jaune, Bleu [21].

III.6. Polymères utilisés pour l'isolation et le gainage

Ils se répartissent en deux catégories :

III.6.1. Plastomères

Dont l'état physique évolue en fonction de la température. Leurs caractéristiques physiques et dimensionnelles sont stables à température ambiante. Ils se ramollissent et se déforment sous l'effet d'une contrainte mécanique. Il y a dans cette catégorie, le PVC et le polyéthylène. Certains d'entre eux sont réticulés pour augmenter leur stabilité à des températures de service de 90°C. Le plus utilisé est le EPR (polyéthylène réticulé) [22].

III.6.2. Elastomères

Sont, par contre, des matières dont l'état physique doit être stabilisé par la vulcanisation ou la réticulation. Leurs caractéristiques physiques générales à température ambiante sont plus souples que les plastomères. Les matériaux de gainage sont le PCP (polychloroprène), le CSP (polyéthylène chloré) et le caoutchouc-nitrile-acrylique [22].

III.7. Matériaux de fabrication des conducteurs

Le cuivre a été de tout temps le matériau le plus couramment employé pour les conducteurs des câbles en raison de sa remarquable conductivité électrique.

L'aluminium pour les lignes aériennes, car le gain de poids ainsi obtenu compense largement la perte de conductivité par rapport au cuivre.

Pour certaines applications particulières, des conducteurs métalliques ont été faits d'alliages spéciaux. Ainsi les caténaires ferroviaires et les cordons spiraux des combinés téléphoniques sont constitués d'un alliage cadmium-cuivre. Le cadmium confère à ses câbles une résistance à la traction supérieure à celle du cuivre pur, ce qui réduit la flèche des fils entre les potences. Pour d'autres applications, on utilise également des alliages béryllium-cuivre.

Les fibres optiques, constituées d'un filament continu de verre de haute qualité optique et destinées à la transmission des télécommunications [23].

III.8. Fabrication des câbles électriques

Dans les câbles, les fils isolés sont réunis en torons selon une configuration particulière. Les fils sont disposés en couronne sur des dévidoirs. Cette opération s'appelle le toronnage. Les torons sont ensuite réunis sur une tresseuse pour former des câbles de section plus forte. Certains câbles doivent être protégés contre les dommages

mécaniques. Cette protection est souvent assurée par une tresse, matériau tissé autour de l'isolant extérieur d'un câble souple [02].

III.8.1. Conducteur

III.8.1.1. Tréfilage

Le premier processus de fabrication d'un conducteur est le tréfilage. Il consiste à réduire le diamètre du fil de cuivre de manière progressive jusqu'au diamètre final afin d'augmenter sa ductilité et sa conductivité, la première étape du tréfilage est appelée dégrossissage. Dans ce processus, le diamètre du fil machine est réduit jusqu'à 2 mm.

À partir de ce fil de 2 mm, on entre dans le tréfilage fin où le diamètre du fil de cuivre est réduit jusqu'à la mesure du fil définie pour chaque type de conducteur.

Dans la dernière étape du tréfilage fin, tous les fils sont soumis à un traitement thermique appelé recuit.

Le but de cette étape est d'augmenter la ductilité et la conductivité du cuivre [02].

III.8.1.2. Câblage

Après le tréfilage, les fils de cuivre recuit obtenus sont regroupés afin de former les conducteurs.

Ce processus s'appelle câblage. Dans le câblage, on compose des conducteurs avec des sections très différentes [02].

III.8.2. Isolation

Le processus suivant dans la fabrication d'un câble électrique est l'isolation. Ici, nous allons poser un recouvrement isolant sur le conducteur afin d'éviter les fuites de courant.

En fonction des caractéristiques du câble, les matériaux d'isolation peuvent varier. La qualité d'un matériau d'une isolation est définie par deux propriétés de base : sa capacité d'isolation et son niveau thermique.

La capacité d'isolation du matériau et son épaisseur détermineront la tension maximale de service du câble.

Un matériau d'isolation de meilleur niveau thermique permettra de transmettre une plus grande puissance pour une même section de conducteur.

Dans ce processus, le matériau d'isolation est fondu et s'applique sur le conducteur en continu afin d'éviter la fuite de courant. Les matériaux d'isolation peuvent être de différente nature : PVC, EPR,.... etc.

Toute la longueur du câble est soumise à un contrôle de voltage afin de garantir que la couche d'isolation ne présente aucun défaut [02].

III.8.3. Câblage de phase

Le câblage de phases consiste à regrouper différents conducteurs isolés afin de former un câble multipolaire [02].

III.8.4. Gaine extérieure

Souvent, les câbles portent un recouvrement polymérique extérieur pour leur protection. C'est ce qui s'appelle enveloppe extérieure. Cette enveloppe isole l'intérieur du câble d'éléments externes qui pourraient altérer ses propriétés électriques comme l'humidité et le protège des chocs qu'il peut recevoir durant son installation et utilisation.

Comme l'isolation, l'enveloppe extérieure peut être thermoplastique ou thermostable. Dans ce processus, comme dans l'isolation, le matériau est fondu et appliqué en continu sur le noyau du câble. Le matériau de l'enveloppe peut être de nature différente en fonction du degré de protection requis, de la souplesse finale du câble, de l'environnement de travail....etc. [02].

III.8.5. Protections supplémentaires

Dans certains cas, des éléments supplémentaires peuvent être requis afin d'améliorer le degré de protection du noyau. Donc les câbles intègrent des protections métalliques qu'elles soient électriques ou mécaniques.

Les protections électriques, appelées également écrans, isolent les signaux qui circulent dans le câble des possibles. Interférences externes. Les câbles de puissance sont blindés aussi afin d'éviter qu'ils interfèrent dans des circuits de signal adjacents.

Les protections mécaniques, appelées armatures, protègent le câble des agressions externes telles que des chocs, des attaques de rongeurs, de la traction, etc. Les armatures sont fabriquées en acier ou en aluminium et peuvent être en feuillard, couronne de fils ou tresse de fils [02].

III.9. Risques de fabrication des câbles dans l'environnement et leur prévention

D'une manière générale, la fabrication des câbles ne donne pas lieu à des émissions notables à l'extérieur des usines. Cette règle souffre toutefois trois exceptions:

- Pour limiter l'exposition aux vapeurs des solvants utilisés aux fins du marquage et d'autres opérations, il faut placer des systèmes d'aspiration localisée, qui rejettent ces vapeurs dans l'atmosphère. Ces émissions de composés organiques volatils sont l'un des facteurs de la formation des brouillards photochimiques, formation contre laquelle les organismes de réglementation de plusieurs pays s'efforcent de lutter;

-Il existe un risque d'émission de disocyanate de toluène dans la fabrication des fils émaillés;

-Dans un certain nombre de cas, la fabrication des matériaux de base employés dans les câbles peut donner lieu à des rejets dans l'environnement si des mesures efficaces ne sont pas prises ;

-Les émissions aériennes de particules métalliques provenant de l'affinage thermique du cuivre et de la fabrication des alliages cadmium-cuivre et bérylliumcuivre devraient être dirigées vers des systèmes de filtres à manches adéquats, de même que les particules émises lors de la production de composés de caoutchouc ;

-Les émissions de particules, de chlorure d'hydrogène et de chlore provenant de la fabrication des fibres optiques devraient être dirigées elles aussi vers un système de filtres à manches, puis traitées dans un épurateur à soude caustique [23].

IV. Matériaux et Techniques

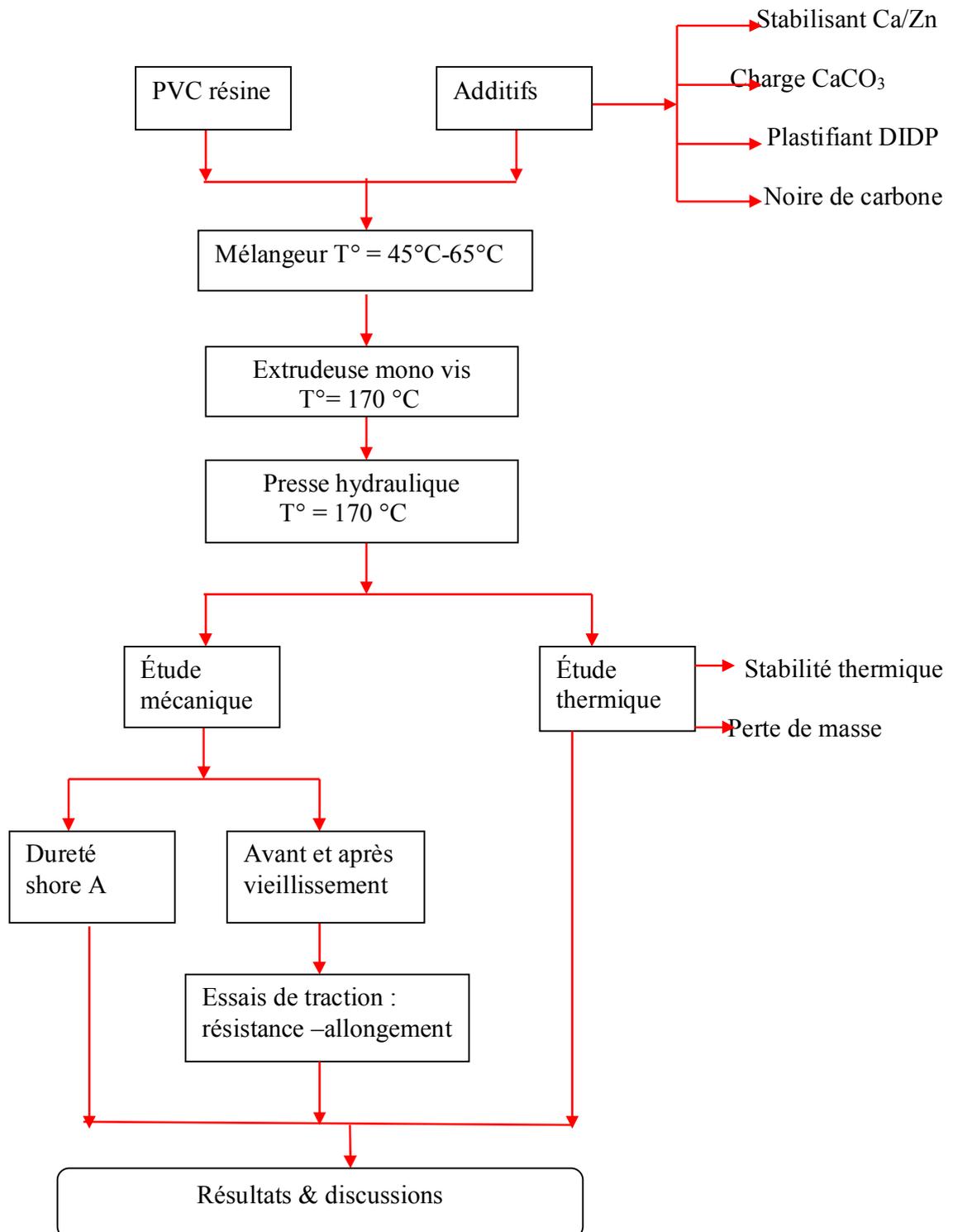


Figure IV.1 : Organigramme de la partie expérimentale.

IV.1.Présentation des matières employées

➤ Résine du PVC

Les résines de PVC se présentent sous forme d'une poudre blanche, inodore (sauf pour certains copolymères) et insipide, elles font penser suivant leur répartition granulométrique à la farine ou à un sable très fin, avec une structure fortement poreuse préparée par polymérisation en suspension. Cette matière est destinée pour la préparation des mélanges d'isolation et de gainage pour câbles électriques, la marque commerciale de PVC qu'on a utilisé pour préparer notre mélange est «SHINTECH SE 1200». Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau (IV. 1) : Quelques caractéristiques de la résine « PVC.S.70 ».

Caractéristiques	Valeurs
Aspect	Poudre blanche
Valeur K (masse moléculaire moyenne)	67 – 72
Degré de polymerization	1250 – 1450
Densité apparente sans tassage	0.43 – 0.50
Densité apparente après tassage	0.53 – 0.63
Ecoulement libre	≥10g/s
Teneur en humidité	≤0.3%
Cendres sulfates	≤0.1%
Refus au criblage par méthode humide	
-Tamis 315microns	≤ 0.01%
-Tamis 250microns	≤ 0.1%
-Tamis 63microns	≥ 90%

➤ Additifs

Les additifs utilisés sont :

- **Charge**

La charge utilisée est le carbonate de calcium (CaCO_3) en forme de poudre micronisée avec une granulométrie très fine et traité superficiellement. sa marque commerciale est « OMYACARB».

Les caractéristiques du (CaCO_3) traité sont montrées dan le tableau suivant :

Tableau(IV.2) : Quelques caractéristiques de CaCO₃ traité.

Caractéristiques	Valeurs
Aspect	Poudre blanche
Forme des particules	Microcristaux
Densité	2.7 g/cm ³
Teneur en humidité	≤ 0.2 %
Densité apparente sans tassage	≥ 0.9
Diamètre statistique moyen (sedigraph)	≤ 2 microns
Taux de particules inférieures à 2microns	≥ 40 %
Refus au criblage par méthode humide -Tamis 32 microns	≤ 0 %

- **Stabilisant**

Le stabilisant utilisé est un complexe à base de (Ca/Zn) sous forme de poudre blanche. Ce produit est destiné à prévenir les effets néfastes de la chaleur, de la lumière et de l'oxygène, sur la macromolécule, la marque commerciale de ce stabilisant est :

«BAEROPAN MC 9917KA», et ayant les caractéristiques suivantes :

- ✓ ne doit pas contenir de métaux lourds comme le plomb ;
- ✓ doit garantir une excellente stabilité thermique, facilite l'opération d'extrusion et donne une brillance aux extrudât ;
- ✓ Le complexe doit conférer au mélange référentiel (M_R) d'ENICAB (voir annexe) similaire au mélange typique ST2 (PVC08) pour gaine (CEI 60502) un temps de stabilité thermique statique minimum de 105 minutes ;

- **Plastifiant**

Di-Iso-DécyI-Phtalate (DIDP) est un produit organique à haut point d'ébullition, il se présente sous forme de liquide plus ou moins visqueux. La marque commerciale est «*STABILISE PLASTIMED 2003*», et leurs caractéristiques sont expliquées dans le tableau suivant :

Tableau(IV.3) : Quelques caractéristiques de DIDP.

Caractéristiques	Valeurs
Aspect	Liquide
Masse volumique à 20°C	0.965 – 0.975g/cm ³
Indice de réfraction n _D à 20°C	C 1.474 – 1.494
Viscosité dynamique à 20°C	120 – 130 mPa.s
Teneur en eau	≤ 0.05 %
Point de solidification	< -50°C
Point d'inflammation (point éclair)	>200
Indice d'acidité	≤ 0.10 mg KOH/g
Indice de saponification par la soude	≤ 250mg
Taux de perte par évaporation 10grs – 2heures/150°C	≤ 0.3%
Perte par évaporation à 100°C/ 7jours dans les mélanges ST2.	≤ 1.3 mg/cm ²

- **Colorant**

Le Noir de carbone utilisé comme adjuvant en tant que colorant noir et protection contre les UV (ultra violé) dans les gaines PVC des câbles électriques. La marque commerciale est «PRINTEX P ».

Cet adjuvant contient des caractéristiques, qui sont montrées dan le tableau suivant :

Tableau(IV.4) : Quelques caractéristiques de Noir de carbone.

Caractéristiques	Valeurs
Type et classification	Noir fumace non conducteur
Aspect	Poudre ou perle
Profondeur de noir (valeur M)	min145 ± 5

IV.2.Méthodologie de préparation des mélanges

IV.2.1.Formulations des différents mélanges utilisés

Les différentes formulations choisies pour la préparation de nos échantillons sont données dans le tableau suivant :

Tableau(IV.5) : Les différentes formulations utilisées.

Formulations	PVC 08 A (kg)	Mélange A (kg)	Mélange B (kg)	Mélange C (kg)	Mélange D (kg)
Résine PVC- K70 +Charge (CaCO ₃) traité	170	154	165	165	160
DIDP + Stabilisant	65.5	53.5	59.7	53.5	52
Noire de carbone	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

IV.2.2. Méthode de préparation des mélanges (Dry – blend)

Le PVC et les additifs en poudre ont été malaxés dans le petit mélangeur de type «MSH25» (voire la figure. IV.2) avec une vitesse de rotation de 3000 tours/min et une température de 25°C; lorsque la température atteint 45°C, on a ajouté les additifs liquides. Jusqu'à T= 65°C on a refroidit les mélanges (par l'eau) avec une faible vitesse de rotation (V=1500 tours/min). Une fois le mélange est refroidi on a arrêté l'agitation et le récupéré dans un sachet.



Figure IV.2 : Mélangeur de type MSH25.

IV.2.3. Extrusion du Dry – blend

Après l'obtention du dry-blend de différentes compositions, L'extrusion a été fait à l'aide d'une extrudeuse de type «plasti-corder type PLE330».

Les conditions d'extrusion ont été les mêmes pour tous les mélanges.

- Température dans les trois zones est de 175 °C.
- La vitesse de rotation du vis de l'extrudeuse est de 31 tours/min.



Figure IV.3 : Extrudeuse de type plasti-corder type PLE330.

IV.2.4. Méthode de préparation des plaques (procédé de pressage)

Les bandes obtenue par la 1^{ère} extrusion sont découpées selon des dimensions bien précises, mises dans le moule et compressées sur une presse de type «polystat 300 S» cette presse est montré dans la figure (IV.4) a fin d'obtenir des échantillons en forme des plaques d'épaisseur 2 mm.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- Température de chauffage 175 °C.
- Temps de préchauffage 7 min.
- Temps de la mise en pression :
 - ✓ A 0 bar pendant 4 min.
 - ✓ A 100 bar pendant 1 min.
 - ✓ A 200 bar pendant 1 min.
 - ✓ A 300 bar pendant 2 min.



Figure IV.4 : Presse de type polystat.

IV.2.5. Méthode de préparation des éprouvettes

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

IV.3. Caractérisations des échantillons

IV.3.1. Etude de vieillissement

Le procédé le plus connu pour tester l'efficacité des stabilisants thermiques à l'usage consiste à apprécier le changement de nuance des éprouvettes (masse, allongement, résistance). Les éprouvettes préparées ont été introduits dans une étuve de type (WSU 100) avec des pinces, pendant 7 jours à une température de 100 °C.



Figure IV.5 : Etuve de type (WSU 100).

IV.3.2. Etude mécanique

IV.3.2.1. Test de traction

Cet essai a été réalisé sur des éprouvettes qui sont découpées sur des plaques pressées d'épaisseur environ 2 mm par une meuleuse type «SETTRA 2X 200».

L'essai de traction fait en présence d'une machine de traction de type «Zuick/Roell Z100» assisté par un micro-ordinateur.

Conditions de travail :

- ✓ Vitesse d'élongation est 100 mm/min.
- ✓ L'essai a été fait à la température ambiante.

Les résultats obtenus ont été affichés dans les tableaux **A.V.13, 14, ..., 21**(voir annexe).



Figure IV.6 : Machine de traction de type Zuick/Roell Z 100.

Les valeurs de la contrainte à la rupture ont été calculées selon la relation suivante :

$$\sigma_r = F/S \dots \dots \dots (\text{N/mm}^2)$$

Où :

F : la force appliquée en (N).

S : la section de l'éprouvette en (mm²).

L'allongement à la rupture a été calculé par la relation suivante :

$$\varepsilon_r = [(I-I_0)/I_0] * 100 \dots \dots \dots (\%)$$

Où:

I₀ : Allongement initial mesuré en mm.

I : Allongement final mesuré en mm.

VI.3.2.2. Dureté shore A

La dureté Shore A a été mesuré à l'aide d'un appareil de type Zuick/Roell.

Les résultats obtenus ont été classés dans le tableau **A.II.6** (voir annexe).



Figure IV.7 : Appareil de type Zuick/Roell mesure la dureté Shore A.

IV.3.3. Etude thermique

IV.3.3.1. Stabilité thermique

Dans cette étude, on a évalué la stabilité thermique des formulations étudiée à l'aide d'un appareillage qui sert à détecter le temps de stabilisation ou le temps nécessaire pour le dégagement du gaz (HCl) à travers la coloration du papier pH.

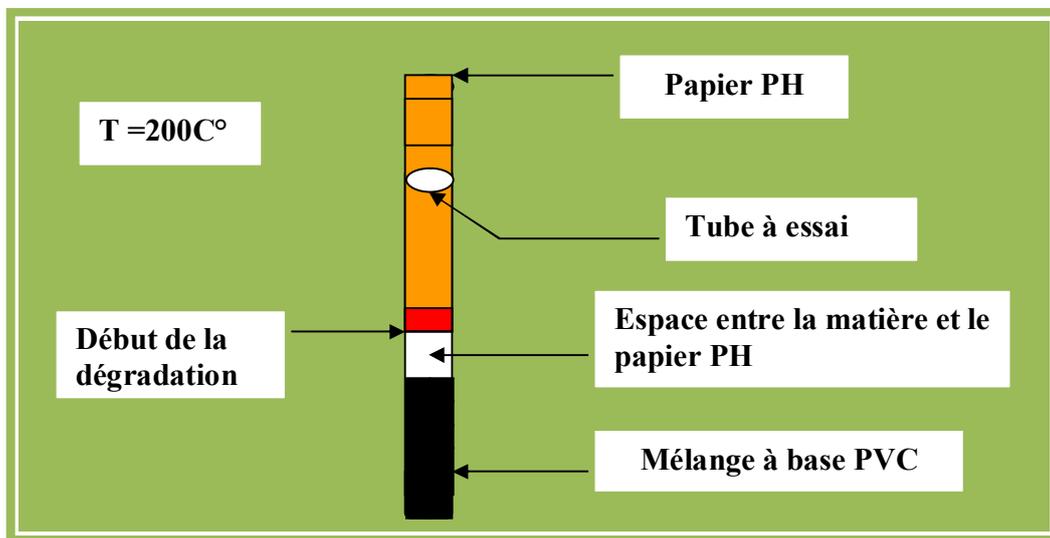


Figure IV.8 : Essai de la stabilité thermique.



Figure IV.9 : Thermostat.

Les résultats obtenus ont été regroupés dans le tableau **A.III.7** (voir annexe).

IV.3.3.2. Perte de masse

La perte de masse est la différence entre la masse des éprouvettes avant et après vieillissement. Elle est calculée par la relation suivante :

$$P = [(P_e - P_s) \times 1000] / S \dots \dots \dots (\text{mg})$$

Où:

P_e : le poids d'éprouvette à l'entrée en mg.

P_s : le poids d'éprouvette à la sortie en mg.

S : la surface de l'éprouvette en mm².

Cette surface a été déterminée par la relation suivante :

$$S = [(E * 180) + 1256] / 100 \dots \dots \dots (\text{mm}^2)$$

Où:

E : épaisseur de l'éprouvette en mm.

Les résultats obtenus ont été regroupés dans les tableaux **A.IV.8, 9, 10, 11, 12** (voir annexe).

V. Interprétation des résultats

V.1. Interprétations des résultats mécaniques

V.1.1. Test de traction

○ Contrainte à la rupture

L'étude de la contrainte à la rupture des différents mélanges (PVC08A, A, B, C, D) avant et après vieillissement de gainage sont représentées dans la figure (V.1), On constate que les valeurs de la contrainte à la rupture de ces mélanges sont conformes à la norme internationale CEI 60502 (toutes les valeurs $\geq 12.5 \text{ N/mm}^2$).

D'après les résultats obtenus figure (V.1) ; on trouve que la contrainte à la rupture (σ_r) diminue avec l'augmentation de taux du plastifiant.

Le mélange référentiel (PVC08A) a une faible valeur de la contrainte à la rupture par rapport aux autres mélanges (A, B, C, D), ce qui est expliqué par la présence d'une quantité de plastifiant (DIDP) plus élevée, On note aussi la présence de la charge CaCO_3 (avec un taux plus élevé); augmente la rigidité de la résine de PVC c'est-à-dire augmente la contrainte à la rupture.

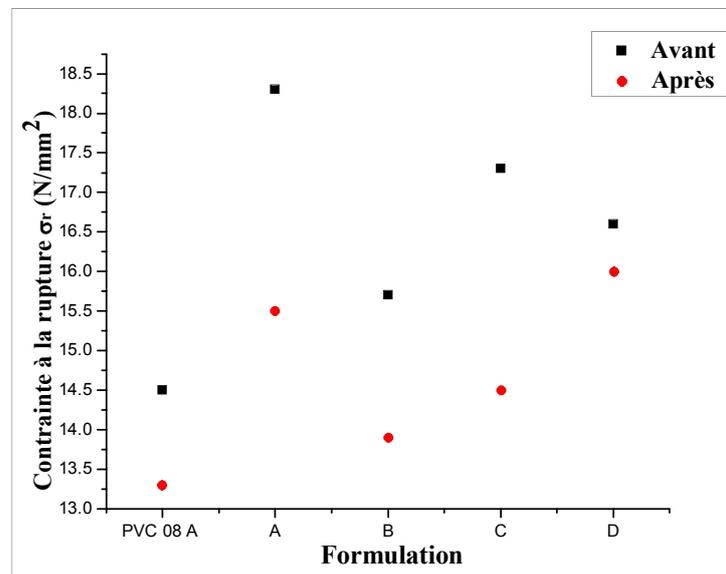


Figure V.1 : Variation de la contrainte à la rupture médiane avant et après vieillissement (pendant 7 jours).

○ Allongement à la rupture

Pour l'allongement à la rupture avant et après vieillissement les résultats obtenus sont montrés dans la figure(V.2), On note que tous les valeurs de l'allongement à rupture des mélanges à base de PVC répond à la norme internationale CEI 60227, et ne dépassent pas la valeur minimale ($\geq 150\%$). On trouve aussi que le mélange référentiel (PVC08A) a une valeur de l'allongement à la rupture moins élevée que l'allongement à la rupture des autres mélanges (A,B,C,D), cette diminution est due à la présence d'une grande quantité de la charge de carbonate de calcium qui augmente la rigidité.

Lorsque on compare les résultats de l'allongement à la rupture (ϵ_r) avant et après vieillissement ; on trouve que l'allongement à la rupture augmente dans tous les mélanges à base de PVC ce qui permet de dire que :

- la température qui on choisi pour cette étude (étude de vieillissement) est peut être amélioré la flexibilité de cette resine (traitement thermique).
- La présence d'une quantité très importante de la charge (CaCO_3) dans les mélanges de PVC où cette charge améliore la résistance thermique de PVC et empêche l'évaporation du plastifiant (DIDP).

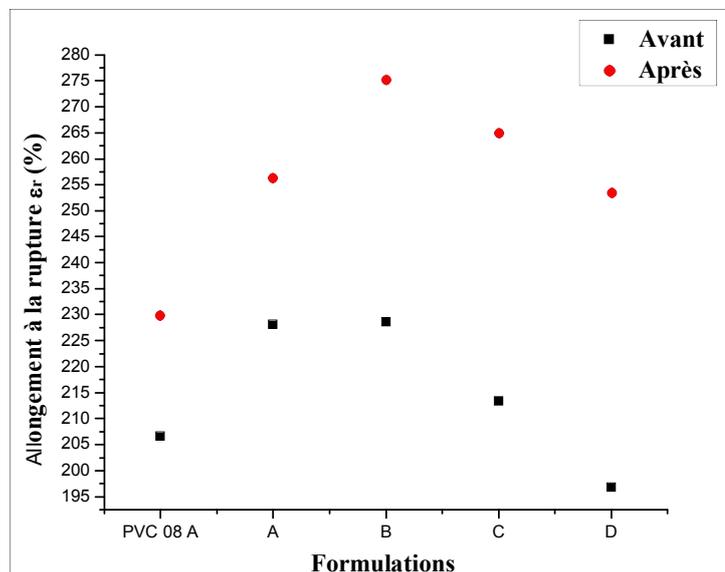


Figure V.2 : Variation de l'allongement à la rupture médiane avant et après vieillissement (pendend 7 jours) .

V.1.2. Dureté shore A

En générale pour la dureté shore A il faut que ne pas être inférieur à la valeur 50 (norme utilisé au niveau d'ENICAB), les résultats de la dureté shore A des mélanges (PVC08A, A, B, C) sont illustrés dans la figure (V.3), on observe que la dureté augmente dans les mélanges (A,D) par rapport au mélange référentiel (PVC08A).

Donc on peut dire que la dureté shore A augmente avec l'augmentation de taux du la charge (CaCO_3) et la diminution de plastifiant (DIDP) dans les mélanges à base de PVC (voire le tableau des compositions des mélanges).

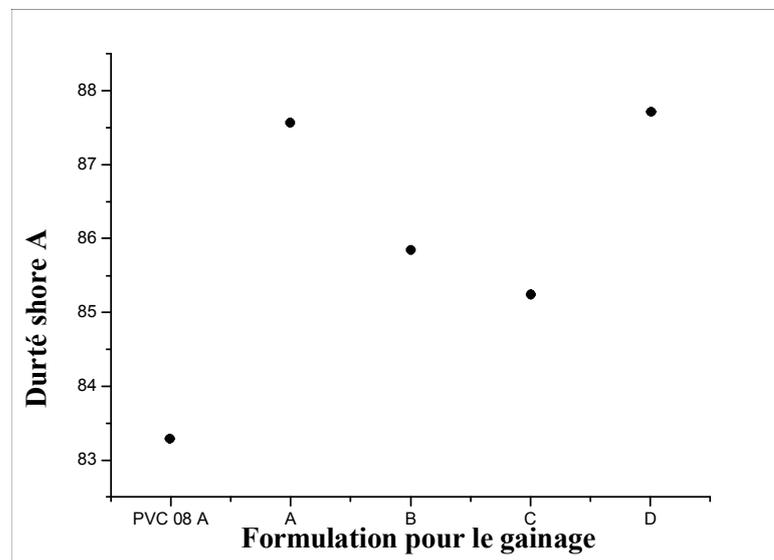


Figure V.3 : Variation de la dureté shore A.

V.2. Interprétation des résultats thermiques

V.2.1. Stabilité thermique

Les résultats de la stabilité thermique des différents mélanges (PVC08A, A, B, C, D) sont montrés dans la figure (V.4), on remarque que le mélange le plus stable est le mélange (B), parce qu'il contient une quantité de stabilisant (Ca/Zn) plus élevée par rapport aux autres mélanges (A, C, D), où la présence de stabilisant (Ca/Zn) améliore la résistance thermique de PVC (empêche le dégagement d'HCl) donc empêche la dégradation de PVC).

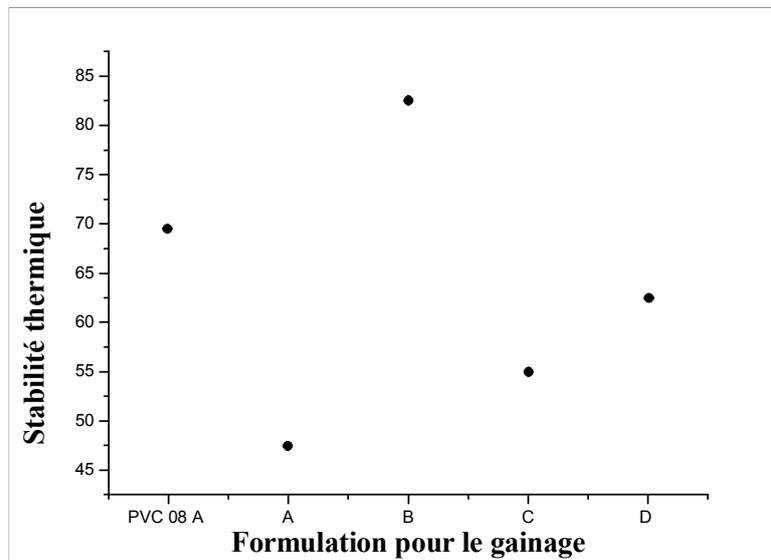


Figure V.4 : Variation de la stabilité thermique.

V.2.2.Perte de masse

La figure (V.5) présente la variation de la perte de masse en fonction des différents mélanges (voir annexe). On constate que les résultats de la perte de masse de ces mélanges sont conformes à la norme internationale CEI 60502 (toutes les valeurs $\leq 1.5 \text{ mg/cm}^2$).

Les valeurs de la perte de masse dans les mélanges (PVC08, A, B, C, D) sont faibles ces résultats montrent que les formulations proposées ont une bonne résistance thermique.

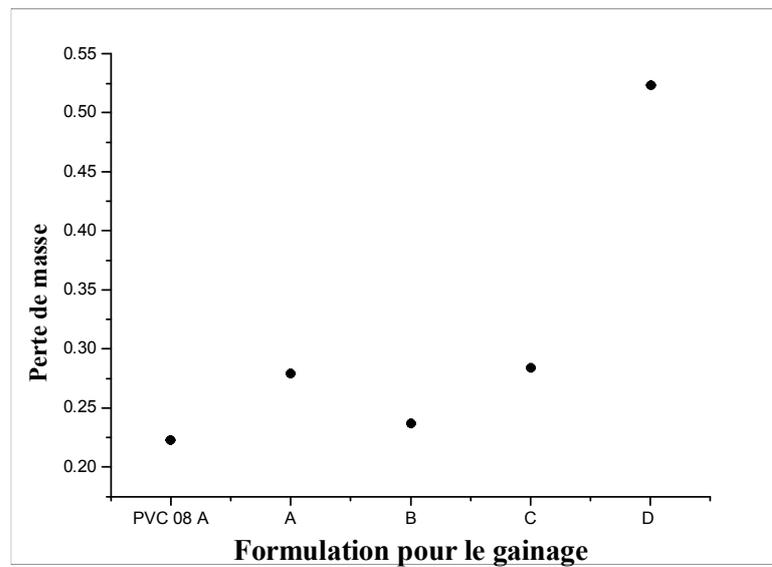


Figure V.5 : Variation de la perte de masse médiane.

VI. Etude économique

VI.1. But d'étude

Cette étude a pour but de développer la formulation (PVC08A) conçue pour le gainage des câbles, minimiser le coût et améliorer les différentes propriétés soient : mécanique, thermique, ... des mélanges par rapport au mélange référentiel.

VI.2. Calcul des coûts des mélanges

Pour calculer le coût des mélanges proposés on a besoins de connaître le prix des différentes matières premières utilisés dans les mélanges préparés.

Tableau (VI.1) : Composition des mélanges utilisés.

Formulations	PVC-K70 + Charge (CaCO ₃) traité	Stabilisant (Ca/Zn) + Plastifiant (DIDP)	Noir de Carbone
Mélange (PVC08A)	170	65.5	0.7
Mélange(A)	154	53.5	0.7
Mélange(B)	165	59.7	0.7
Mélange(C)	165	53.5	0.7
Mélange(D)	160	52	0.7

Tableau (VI.2) : Densités et prix des matières premières utilisées.

Les matiers premières	PVC- K70	Charge (CaCO ₃)	Stabilisant (Ca/Zn)	Plastifiant (DIDP)	Noire de Carbone
Densités (kg/dm ³)	1.38	2.68	1.5	0.966	1.38
Prix (DA/kg)	77.928	11.322	224.4	191.250	450.840

VI.2.1. Coût massique

$$\text{Coût massique} = \text{Coût total} / \text{Masse totale}$$

$$\text{Coût total} = (m_{\text{pvc}} * \text{prix}_{\text{pvc}}) + (m_{\text{craie}} * \text{prix}_{\text{craie}}) + (m_{\text{DIDP}} * \text{Prix}_{\text{DIDP}}) + (m_{\text{stabilisant}} * \text{prix}_{\text{stabilisant}}) + (m_{\text{Noir}} * \text{prix}_{\text{Noir}})$$

$$\text{Masse totale} = m_{\text{pvc}} + m_{\text{craie}} + m_{\text{DIDP}} + m_{\text{stabilisant}} + m_{\text{Noir}}$$

Mélange (PVC08A)

Coût total = 21545.5 DA

Masse totale= 236.2 Kg

Coût massique = 91.216 DA/Kg

Mélange (A)

Coût total =10396.467 DA

Masse totale= 208.2 Kg

Coût massique = 49.935 DA/Kg

Mélange (B)

Coût total = 4568.18 DA

Masse totale= 225.4 Kg

Coût massique = 20.267 DA/Kg

Mélange (C)

Coût total = 19127.392 DA

Masse totale= 219.2 Kg

Coût massique = 87.260 DA/Kg

Mélange (D)

Coût total = 18800.340 DA

Masse totale= 212.7 Kg

Coût massique = 88.389 DA/Kg

VI.2.2. Coût volumique

$$\text{Coût volumique} = \text{Coût massique} * \text{Densité théorique}$$

Pour calculer la densité théorique, on applique la loi suivant :

$$\text{Densité théorique} = \text{Masse total} / \text{Volume total}$$

V : Volume (dm³) ; m : Masse (kg) ; d : Densité (kg/dm³)

$$\text{Volume}_{\text{PVC}} = \text{Masse}_{\text{PVC}} / \text{Densité}_{\text{PVC}}$$

$$\text{Volume}_{\text{Craie}} = \text{Masse}_{\text{craie}} / \text{Densité}_{\text{craie}}$$

$$\text{Volume}_{\text{DIDP}} = \text{Masse}_{\text{DIDP}} / \text{Densité}_{\text{DIDP}}$$

$$\text{Volume}_{\text{Stab}} = \text{Masse}_{\text{Stab}} / \text{Densité}_{\text{Stab}}$$

$$\text{Volume}_{\text{Noir}} = \text{Masse}_{\text{Noir}} / \text{Densité}_{\text{Noir}}$$

$$\text{Volume total} = V_{\text{pvc}} + V_{\text{craie}} + V_{\text{DIDP}} + V_{\text{stabilisant}} + V_{\text{Noir}}$$

$$\text{Masse totale} = m_{\text{pvc}} + m_{\text{craie}} + m_{\text{DIDP}} + m_{\text{stabilisant}} + m_{\text{Noir}}$$

Mélange (PVC 08 A)

$$\text{Volume}_{\text{PVC}} = 72.46376812 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume}_{\text{Craie}} = 26.11940299 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume}_{\text{DIDP}} = 62.11180124 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume}_{\text{Stab}} = 3.66666 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume}_{\text{Noir}} = 0.384615385 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume total} = 164.746252 \text{ dm}^3$$

$$\text{Masse totale} = 236.2 \text{ kg}$$

$$\text{Densité théorique} = 1.433720022 \text{ Kg/dm}^3$$

$$\text{Coût volumique} = 130.7782055 \text{ DA/dm}^3$$

Mélange (A)

Volume $_{PVC} = 72.46376812 \text{ dm}^3$

Volume $_{Craie} = 20.14925373 \text{ dm}^3$

Volume $_{DIDP} = 51.7598343685 \text{ dm}^3$

Volume $_{Stab} = 2.333 \text{ dm}^3$

Volume $_{Noir} = 0.384615385 \text{ dm}^3$

Volume total = 147.0904716 dm^3

Masse totale = 208.2 kg

Densité théorique = $1.415455384 \text{ kg/dm}^3$

Coût volumique = 70.6807 DA/dm^3

Mélange (B)

Volume $_{PVC} = 72.46376 \text{ dm}^3$

Volume $_{Craie} = 24.25373 \text{ dm}^3$

Volume $_{DIDP} = 57.14285714 \text{ dm}^3$

Volume $_{Stab} = 3 \text{ dm}^3$

Volume $_{Noir} = 3.84615 \text{ dm}^3$

Volume total = 160.706497 dm^3

Masse totale = 225.4 kg

Densité théorique = $1.40255686 \text{ kg/dm}^3$

Coût Volumique = 129.3916 DA/dm^3

Mélange (C)

Volume $_{PVC} = 72.46376812 \text{ dm}^3$

Volume $_{Craie} = 24.25373 \text{ dm}^3$

Volume $_{DIDP} = 51.759834 \text{ dm}^3$

Volume $_{Stab} = 2.333333 \text{ dm}^3$

Volume $_{Noir} = 3.84615 \text{ dm}^3$

Volume total = 154.6568215 dm^3

Masse totale = 219.2 kg

Densité théorique = 1.4173315 kg/dm³

Coût volumique =126.5106 DA/dm³

-Mélange (D)

-Volume PVC = 72,46376812 dm³

-Volume Craie= 22,3880597 dm³

-Volume DIDP=49,68944099 dm³

-Volume Stab= 2,666 dm³

-Volume Noir= 0,384615385 dm³

Volume total=147,5925509 dm³

Masse totale= 212.7 kg

Densité théorique =1.44112964 kg/dm³

Coût volumique =127.3800 DA/dm³

VI.3. Calcul de gain

Le gain d'un mélange est calculé par la différence de coût (massique, volumique) entre le mélange référentiel et le mélange proposé.

Gain = Coût de mélange référentiel - Coût de mélange proposé

Tableau (VI.3) : Le gain par rapport au mélange référentiel (PVC08A).

Formulations	PVC08A	A	B	C	D
Coût (DA/Kg)	91.216	49.935	20.267	87.260	88.389
Coût (DA/dm ³)	130.77820	70.6807	129.3916	126.5106	127.3800
Gain (DA/Kg)	-	41.281	70.949	3.956	2.827
Gain (DA/dm ³)	-	60.2796	1.5687	4.4497	3.5803

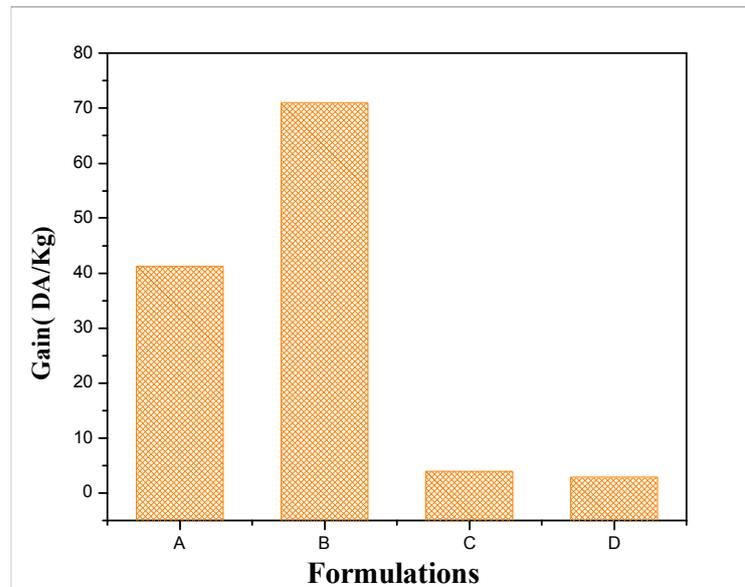


Figure VI.2 : Histogramme de gain des mélanges (A, B, C, D) par rapport au mélange référentiel (PVC08A).

D'après les résultats obtenus on conclut que le mélange **(B)** est plus économique que le mélange référentiel **(PVC08A)**.

Le gain est de l'ordre de :

$$70.949 \text{ DA/Kg} = 1.5687 \text{ DA/dm}^3$$

Conclusion générale

Notre travail a pour but de développer un mélange à base de résine PVC de propriétés mécaniques, thermiques et économiques capable de remplacer le mélange standard qui a été utilisé au niveau de l'ENICAB de Biskra.

Cette étude a été suivie par une analyse des propriétés mécaniques tels que: allongement à la rupture, résistance à la rupture et la dureté Shore A, étude thermique tels que: stabilité thermique et la perte de masse et une étude économique (calcul de coût et gain) pour tous les mélanges.

D'après les résultats obtenus on conclut que :

- Le comportement mécanique (résistance à la rupture et la dureté) des mélanges à base de PVC est amélioré par l'incorporation de carbonate de calcium où la rigidité de la résine de PVC augmente avec l'augmentation de taux de cette charge.
- La présence de DIDP (plastifiant) dans tous les mélanges à base de PVC augmente la flexibilité de ce polymère
- La stabilité thermique de la résine de PVC est augmentée par l'addition de (Ca\Zn) comme stabilisant où ce dernier empêche la réaction de dégradation de polychlorure de vinyle (le dégagement de HCl) .
- Les faibles valeurs de la perte de masse sont expliquées par la présence :
 - La charge (CaCO_3) qui augmente la résistance thermique de ces mélanges.
 - le stabilisant qui empêche : l'évaporation de DIDP et session des chaînes de PVC.
- ❖ D'après l'étude économique : le mélange (B) donne un bon gain par rapport aux autres mélanges.

- ✚ Donc l'étude mécanique, thermique et économique de chaque mélange permet de dire que le mélange (B) est le bon mélange par rapport au mélange standard employé actuellement au niveau de l'ENICAB et les autres mélanges proposés.

Référence bibliographique

- [01] : L. Djoudi ; < Etude de la stabilisation polychlorure de vinyle (PVC) et les phénomènes de dégradation > ; magister en chimie ; université mohamed khider ; Biskra ; (2007).
- [02] : <Comment est fabriqué un câble électrique> ; [en ligne]; disponible sur le site : [«http :www.topcable.com/.../Topcable_Le_processus_de_creation_d-une_puissance.pdf»](http://www.topcable.com/.../Topcable_Le_processus_de_creation_d-une_puissance.pdf).
- [03] : Dossier de presse ; <Le PVC dans la construction > ; [en ligne] ; Disponible sur le site : [« www.laplasturgie.fr/communiqués/PVC_construction_mars2010.pdf»](http://www.laplasturgie.fr/communiqués/PVC_construction_mars2010.pdf); France ; (2010).
- [04] : <LES CONDUCTEURS ET LES CÂBLES ELECTRIQUES>; [en ligne]; disponible sur le site:
[« http://www.topcable.com/.../Topcable_Le_processus_de_creation_d-une_puissance»](http://www.topcable.com/.../Topcable_Le_processus_de_creation_d-une_puissance).
- [05] : R.Harzelli; S.Bourouba; <Développement d'un mélange à base de résine PVC de propriétés mécaniques ,thermiques et économiques capable de remplacer le mélange standard utilisé au niveau de l'ENICAB de Biskra >; université Mohamed khider ;Biskra ;(2012)
- [06] : M^r. Boudraa Kamel Eddine;<Elaboration et caractérisation de réseaux de polymères> ; [en ligne] ; disponible sur le site :[«http://www.univ-tlemcen.dz/these/boudraa.pdf»](http://www.univ-tlemcen.dz/these/boudraa.pdf); Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique ; université Abou Bekr Belkaid ; Tlemcen ;(2006).
- [07] : P .WEISS ;< La chimie des polymères> ; [en ligne]; disponible sur le site : [«http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie/enseignement/.../cours.pdf»](http://umvf.univ-nantes.fr/odontologie/enseignement/.../cours.pdf); Société Francophone de Biomateriaux Dentaires ; Date de création du document (2009-2010) .
- [08] : G .Saoudi ;F.Z.Mehenni dirigé par Mme S.Almi ; <L'étude des polymères> ; mini projet de fin d'étude licence en génie des procédés ; Université Mohamed kheider ; Biskra; (2012).
- [09] : A.Guidoum ; <Polymères et composites> ;[en ligne];disponible sur le site : [«http://lmc.epfl.ch/files/content/sites/.../Polymères&Composites.pdf»](http://lmc.epfl.ch/files/content/sites/.../Polymères&Composites.pdf).
- [10] : M.Carrega et coll ; <Mériaux industriels,Mériaux polymères> ; Dunod ; Frence ; (Octobre 2003).
- [11] : <Les polymères structure et propriétés introduction> ; [en ligne] ; disponible sur le site : [«http://www.techno-science.net ?onglet=articles=23..... »](http://www.techno-science.net ?onglet=articles=23.....) .

- [12] : <Charges et additifs> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
«[http://www.cours.polymtl.ca/.../\(3.6\)%20Charges%20et%20additi...](http://www.cours.polymtl.ca/.../(3.6)%20Charges%20et%20additi...)».
- [13] : M^{elle}S.Maou ; <Etude des propriétés thermiques de mélanges à base de PVC> ;
[enligne] ; disponible sur le site :
«<http://bu.univouargla.dz/MAOUSamira.pdf?idthese=878>» Université Kasdi
Merbah ;Ouargla ;(2012).
- [14] : F. Renli et F. Rekbi ; <analyse des structure en matériau composite stratifiées> ; mini
projet de fin d'étude de licence en génie mécanique ; Université Mohamed Khider
promotion juin 2008.
- [15] : <Matériaux plastiques PP, PPS, PE> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
«www.colasit.ch/images/.../pdfs/.../Detailblatt_Kunststoff_F.p...» ; Edition (2009).
- [16] : Groupe de Travail PVC ;< Le PVC en Questions> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
«<http://dechetsbtplr.free.fr/.../pvc/pvc%20en%20questions.pdf>» ; Paris ; (1998).
- [17] : <POLYCHLORURE DE VINYLE (PVC)> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
«<http://www.gaggione.fr/downloads/polychloruredevinylepvc.pdf>» (2007).
- [18] : Le Livre Vert:< problèmes environnementaux du PVC> ; [enligne] ; disponible sur le site :
«http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/.../com2000_0469fr01.p...» ; Bruxelles ; (2000).
- [19] : Bugeia Joel ; <Conducteur et câbles> ;[en ligne] ; disponible sur le site :
«http://stigel.free.fr/...13%20distribution%20de%20l'energie%20electrique/CONDUCTEURS%20ET%20CABLES%20prof_v2k.pdf» ; (2007-2008).
- [20] : < Câbles à isolation polychlorure de vinyle et gaine> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
« <http://www.boutique.afnor.org/.../cables...polychlorure-de-vinyle...gaine-polychlorure-de-vinyle...cablage.../fa163266>» ; (2009).
- [21] : <Conducteurs et câbles> ; [en ligne] ; disponible sur le site :
« <http://www4b.ac-lille.fr/~lpaa/sen-seid/pdf/Conducteurs.pdf>».
- [22] : <Caractéristiques des matériaux pour isolation et pour gainage> ; [en ligne] ; disponible
sur le site : «<http://www.lcs.sn> > Guide et caractéristiques».
- [23] : David .A.O'Malley ; <La fabrication des câbles électriques> ; [en ligne] ; disponible sur le
site : « http://www.ilo.org/safework_bookshelf/french?content&nd.. » ; *chapitre10*.

A.I. Tableaux des compositions des mélanges

- **Mélange (PVC08A)**

Tableau (A.I.1) : Composition du mélange (PVC08A).

Matériaux	Quantités en kilogramme (kg)
PVC-K70+ Charge (CaCO ₃) traité	170
Plastifiant DIDP+ Stabilisant (Ca/Zn)	65.5
Noir	0.7

- **Mélange (A)**

Tableau (A.I.2) : Composition du mélange (A).

Matériaux	Quantités en kilogramme (kg)
PVC-K70+ Charge (CaCO ₃) traité	154
Plastifiant (DIDP) + Stabilisant (Ca/Zn)	53.5
Noir	0.7

- **Mélange (B)**

Tableau (A.I.3) : Composition du mélange (B).

Matériaux	Quantités en kilogramme (kg)
PVC-K70+ Charge (CaCO ₃) traité	165
Plastifiant (DIDP) + Stabilisant (Ca/Zn)	59.7
Noir	0.7

- **Mélange (C)**

Tableau (A.I.4) : Composition du mélange (C).

Matériaux	Quantités en kilogramme (kg)
PVC-K70+ Charge (CaCO ₃) traité	165
Plastifiant (DIDP) + Stabilisant (Ca/Zn)	58.5
Noir	0.7

- **Mélange (D)**

Tableau (A.I.5) : Composition du mélange (D).

Matériaux	Quantités en kilogramme (kg)
PVC-K70+ Charge (CaCO ₃) traité	160
Plastifiant (DIDP) + Stabilisant (Ca/Zn)	52
Noir	0.7

A.II. Tableau de Dureté shore A

Tableau (A.II.6) : Dureté shore des différentes formulations.

Mélanges	Dureté shore A
<i>Mélange (PVC08A)</i>	83.17
<i>Mélange (A)</i>	87.57
<i>Mélange (B)</i>	85.77
<i>Mélange (C)</i>	85.25
<i>Mélange (D)</i>	87.72

A.III. Tableau de stabilité thermique

Tableau (A.III.7) : Stabilité thermique des différentes formulations.

Mélanges	Temps d'entrée	Temps de sortie	Différence (min)
<i>Mélange (PVC08A)</i>	10h01min	11h10min30sec	69,5
<i>Mélange (A)</i>	10h01min	10h48min30sec	47,5
<i>Mélange (B)</i>	10h01min	11h23min30sec	82.5
<i>Mélange(C)</i>	10h01min	10h56min	55
<i>Mélange(D)</i>	10h01min	11h03min	62.5

A.IV. Tableaux des pertes de masse

- Mélange (PVC08A)

Tableau (A.IV.8) : Pertes de masse des éprouvettes du mélange (PVC08A).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm ²)	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	PE-PS	Perte de masse (mg/cm ²)	Médiane
1	2,22	16,556	2,1487	2,1446	0,0041	0, 247	0, 223
2	2,27	16,646	2,1115	2,1078	0,0037	0, 222	
3	2,20	16,547	2,0433	2,0390	0,0043	0, 259	
4	2,23	16,574	2,0722	2,0685	0,0037	0, 223	
5	2,20	16,520	2,0403	2,0369	0,0034	0, 205	

- **Mélange (A)**

Tableau (A.IV.9) : Pertes de masse des éprouvettes du mélange (A).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm ²)	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	PE-PS	Perte de masse (mg/cm ²)	Médiane
1	2,15	16,430	1,9963	1,9918	0,0045	0,273	0.279
2	2,18	16,484	1,8856	1,8817	0,0039	0,236	
3	2,16	16,448	2,0166	2,0119	0,0047	0,285	
4	2,16	16,448	1,8889	1,8843	0,0046	0,279	
5	2,12	16,376	2,0702	2,0649	0,0053	0,323	

- **Mélange (B)**

Tableau (A.IV.10) : Pertes de masse des éprouvettes du mélange (B).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm ²)	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	PE-PS	Perte de masse (mg/cm ²)	Médiane
1	2,07	16,286	1,8938	1,8894	0,0044	0,270	0.237
2	2,22	16,556	1,9200	1,9161	0,0039	0,235	
3	2,03	16,214	1,8546	1,8515	0,0031	0,191	
4	2,15	16,430	1,9023	1,8974	0,0049	0,298	
5	2,14	16,412	1,8814	1,8775	0,0039	0,237	

- **Mélange (C)**

Tableau (A.IV.11) : Pertes de masse des éprouvettes du mélange (C).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm ²)	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	PE-PS	Perte de masse (mg/cm ²)	Médiane
1	2,27	16,646	2,0532	2,0484	0,0048	0,288	0.284
2	2,23	16,574	2,0183	2,0139	0,0044	0,265	
3	2,21	16,538	1,9844	1,9793	0,0051	0,311	
4	2,21	16,538	2,0478	2,0431	0,0047	0,284	
5	2,23	16,574	1,9876	1,9835	0,0041	0,247	

- **Mélange (D)**

Tableau(A.IV.12) : Pertes de masse des du mélange (D).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm ²)	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	PE-PS	Perte de masse (mg/cm ²)	Médiane
1	2,15	16,430	1,9807	1,9767	0,004	0, 508	0.523
2	2,17	16,466	1,9879	1,9838	0,0041	0, 523	
3	2,18	16,484	1,9652	1,9611	0,0041	0, 622	
4	2,10	16,340	2,0625	2,0572	0,0053	0, 502	
5	2,10	16,340	1,9859	1,9815	0,0044	0, 619	

A.V.Tableaux des essais de traction

A.V.1.Avant vieillissement

- **Mélange (PVC08A)**

Tableau (A.V.13) : Essai de traction du mélange (PVC08A) avant vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.22	3.8	100	211.56	15.7	203.73	17.42	206.56	14.5
2	2.27	3.8	100	206.56	14.0				
3	2.20	3.8	100	199.97	14.5				
4	2.23	3.8	100	173.45	13.1				
5	2.20	3.8	100	227.11	14.9				

- **Mélange (A)**

Tableau (A.V.14) : Essai de traction du mélange (A) avant vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/m ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.15	3.8	100	232.14	17.0	227.93	17.9	228.09	18.3
2	2.18	3.8	100	233.41	18.4				
3	2.16	3.8	100	228.09	17.2				
4	2.16	3.8	100	225.04	18.3				
5	2.12	3.8	100	220.98	18.6				

- **Mélange (B)**

Tableau (A.V.15) : Essai de traction du mélange (B) avant vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.07	3.8	100	213.07	15.2	226.66	15.7	228.63	15.7
2	2.22	3.8	100	228.63	17.1				
3	2.03	3.8	100	230.06	15.9				
4	2.15	3.8	100	239.42	14.6				
5	2.14	3.8	100	222.13	15.7				

- **Mélange (C)**

Tableau (A.V.16) : Essai de traction du mélange (C) avant vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.27	3.8	100	200.56	17.3	211.77	15.2	213.36	17.3
2	2.23	3.8	100	223.68	16.8				
3	2.21	3.8	100	213.36	17.3				
4	2.21	3.8	100	206.33	18.3				
5	2.23	3.8	100	214.94	16.3				

- **Mélange (D)**

Tableau (A.V.16) : Essai de traction du mélange (D) avant vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.15	3.8	100	195.22	16.6	199.53	84.5	196.78	16.6
2	2.17	3.8	100	208.83	18.4				
3	2.18	3.8	100	179.16	15.8				
4	2.10	3.8	100	217.70	16.6				
5	2.10	3.8	100	196.78	17.1				

A.V.2. Après vieillissement

- **Mélange (PVC08A)**

Tableau (A.V.17) : Essai de traction du mélange (PVC08A) après vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.36	3.8	100	235	13.3	229.32	13	230	13.3
2	2.23	3.8	100	240	13.3				
3	2.31	3.8	100	230	12.4				
4	2.26	3.8	100	221.3	13.4				
5	2.23	3.8	100	220.3	12.6				

- **Mélange (A)**

Tableau (A.V.18) : Essai de traction du mélange (A) après vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.24	3.8	100	227.4	14.6	254.7	15.44	256.3	15.5
2	2.13	3.8	100	241.4	15.5				
3	2.15	3.8	100	256.3	16.0				
4	2.25	3.8	100	264.1	15.2				
5	2.33	3.8	100	284.3	15.9				

- **Mélange (B)**

Tableau (A.V.19) : Essai de traction du mélange (B) après vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.03	3.8	100	275.1	14.1	279.02	13.88	275.1	13.9
2	2.09	3.8	100	240.7	13.5				
3	2.03	3.8	100	300.6	14.2				
4	2.09	3.8	100	305.5	13.9				
5	2.11	3.8	100	273.2	13.7				

- **Mélange (C)**

Tableau (A.V.20) : Essai de traction du mélange (C) après vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.26	3.8	100	264.9	13.6	260.9	14.3	264.9	14.5
2	2.1	3.8	100	221.4	13.3				
3	2.25	3.8	100	269.9	14.9				
4	2.25	3.8	100	219.6	14.5				
5	2.17	3.8	100	328.7	15.2				

- **Mélange (D)**

Tableau (A.V.21) : Essai de traction du mélange (D) après vieillissement.

Paramètres						Moyenne		Médiane	
N°	Epaisseur (mm)	Largeur (mm)	Vitesse (mm/min)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)	ϵ_r (%)	σ_r (N/mm ²)
1	2.2	3.8	100	224.1	16.1	258.06	15.88	253.5	16.0
2	2.32	3.8	100	253.5	16.0				
3	2.15	3.8	100	221.4	15.8				
4	2.18	3.8	100	301.9	15.5				
5	2.16	3.8	100	289.4	16.0				