

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 de l'Environnement

## **THEME**

***Etude Mécanique thermique et Economique de  
quelque Mélange à base de PVC Proposé par  
l'ENICAB de BISKRA***

**Présenté par :**

***BOUTAMINE Mimi & RAHAL Abir***

**Devant le jury composé de :**

**Président : M<sup>r</sup> R.CHEBBI**

**Examinatrice : M<sup>elle</sup> D.SMAIL**

**Encadreur : M<sup>eme</sup> C.BOURMEL**

**Co-Encadreur : M<sup>eme</sup> A.LOUCIF**



# Remerciements

*Louange à Dieu le tout puissant, de m'avoir aidé à réaliser ce modeste projet.*

*Nous tenons à exprimer mes sincères remerciements à notre promoteur M<sup>me</sup>. SAKRI Cherifa, pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire, son aide et ses conseils qui nous avons été très précieux.*

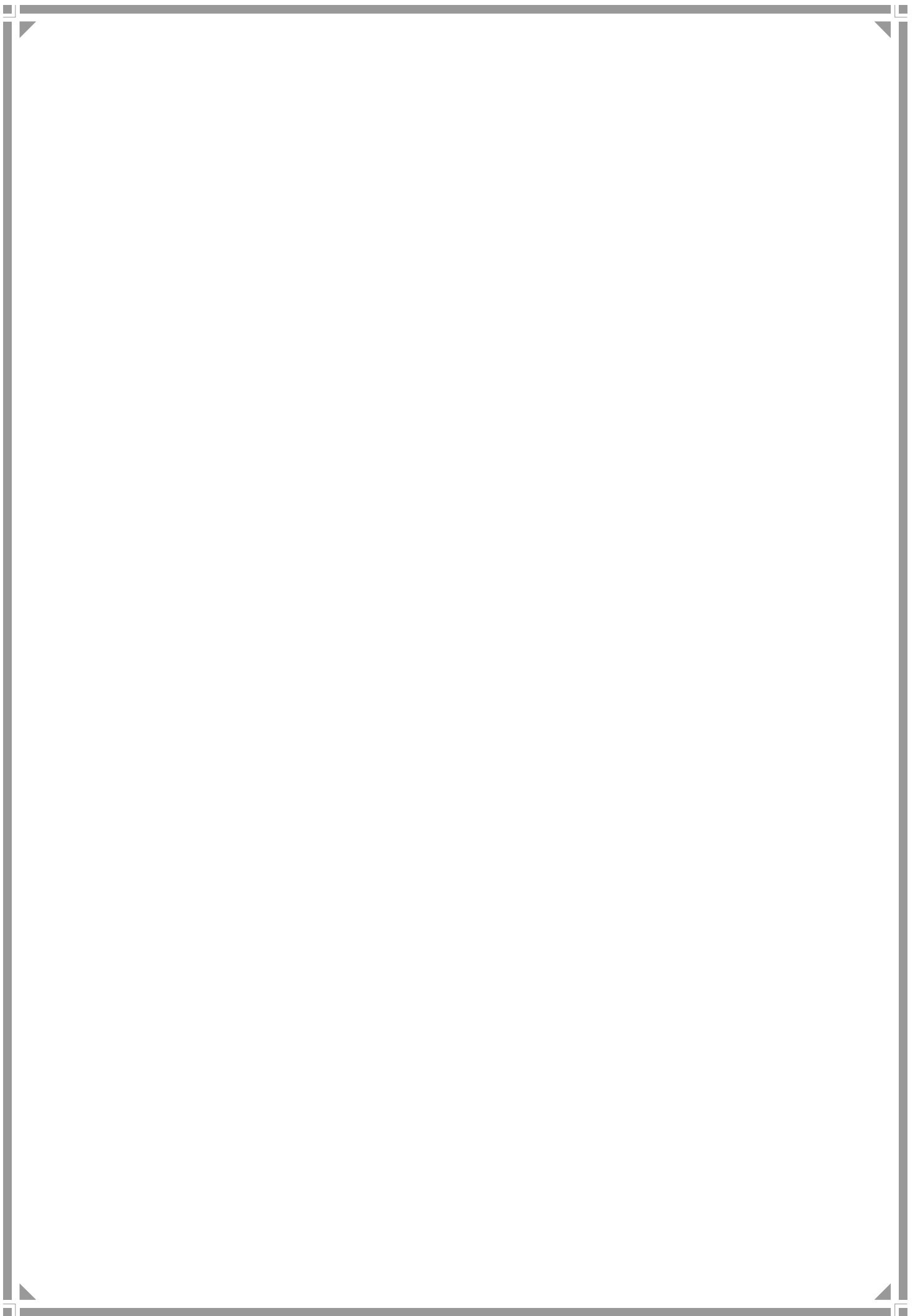
*Nous remercions profondément l'ensemble des enseignants du département de chimie industrielle, qui ont contribué à notre formation.*

*Nous voudrions également exprimer toute notre reconnaissance aux autres membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour l'honneur qu'ils m'ont fait de participer à ce jury de mémoire :*

*Mr. CHEBBI Rachid, M<sup>lle</sup>. SMAIL Dalila.*

*Nous remercions aussi très profondément M<sup>me</sup>. LOUCIF Amina pour son aide et ses encouragements et l'ensemble du personnel de laboratoire plastique et physique de l'ENICAB.*

*À tous, pour tout, Merci.*



## ***Résumé***

L'objectif de cette étude est de développer un nouveau mélange à base de PVC possède des bonnes propriétés : mécanique, thermique et plus économique par rapport au mélange standard qui celui employé actuellement au niveau de l'entreprise ENICAB. Donc l'objectif de ce travail est consiste à préparer des formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC) avec l'addition des différents adjuvants tels que : charge, stabilisant, plastifiant...etc. Le comportement de ces mélanges a été suivi par : des études mécanique (test de traction et la dureté schore A), des analyses thermiques (stabilité thermique et perte de masse) et des études économiques (le cout et le gain).D'après les résultats obtenus nous avons identifié que le meilleur mélange en terme de gain et de caractéristiques mécaniques et thermiques est le mélange (D).

**Mots Clés** : Polymère PVC, Adjuvants, Plastifiant, Charge, Conductivité, Isolation, Gainage, Dégradation de PVC.

---

## *Liste de Figure*

<i>Figure</i>
<i>Figure. I.1Création du MVC.</i>
<i>Figure .I.2. Polymérisation de PVC.</i>
<i>Figure. I.3.Elaboration du PVC.</i>
<i>Figure. II.1. Conducteur électrique.</i>
<i>Figure. II.2.Câble électrique.</i>
<i>Figure .II.3. Divers types usuels d'isolation.</i>
<i>Figure-II.7.Conducteur isolé : H07V-U.</i>
<i>Figure. II.8.Conducteur isolé : H05 V-K.</i>
<i>Figure.II.9.Câble: H07 VV H6-F.</i>
<i>Figure.III.1. Pyramide de plastique.</i>
<i>Organigramme du protocole expérimental.</i>
<i>Figure IV.2. Essai de la stabilité thermique.</i>
<i>Figure. V.1. Variation de la contrainte à la rupture médiane en fonction des formulations d'isolation.</i>
<i>Figure .V.2. Variation de l'allongement à la rupture médiane en fonction des formulations d'isolation.</i>
<i>Figure .V.3. Variation de la dureté shore A en fonction des formulations d'isolation.</i>
<i>Figure .V.4. Variation de la stabilité thermique en fonction des formulations d'isolation.</i>
<i>Figure. V.5. Variation de la perte de masse médiane en fonction des formulations d'isolation.</i>
<i>Figure. VI.1.Variation de gain des mélanges (A, B, C, D) par rapport au mélange référentiel (PVC01).</i>

## Liste de Tableaux

<i>Tableaux</i>
<i>Tableau (IV. 1) : Quelques caractéristiques de la résine « PVC.S.70 ».</i>
<i>Tableau(IV.2) : Composition de CaCO<sub>3</sub> traité.</i>
<i>Tableau(IV.3) : Quelques caractéristiques de CaCO<sub>3</sub> traité.</i>
<i>Tableau(IV.4) : Quelques caractéristiques de DIDP.</i>
<i>Tableau(IV.5) : Différentes formulations utilisées.</i>
<i>Tableau(VI.1) : Composition des mélanges utilisés</i>
<i>Tableau (VI .2) : Quelques informations sur les matières premières utilisées.</i>
<i>Tableau(VI.3) : Gain par rapport au mélange référentiel (PVC01).</i>

---

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>i</b>
<b>Chapitre. I. Polychlorure de vinyle(PVC)</b>	
<b>I.1.Définition de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>01</b>
I.1.1 Formule chimique de Polychlorure de vinyle.....	01
<b>I.2.Déférente type de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>01</b>
<b>I.3.Préparation de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>02</b>
I.3.1 Synthèse du monomère.....	02
I.3.2. Polymérisation de Polychlorure de vinyle.....	02
I. 3.2.1. Principe de polymérisation.....	03
A) Polymérisation en suspension.....	03
B) Polymérisation en masse.....	04
C) Polymérisation en émulsion.....	04
D) Polymérisation en micro suspension.....	04
I. 3.3. Copolymérisation.....	05
I.3.4. Chloration.....	05
<b>I.4.Mélange à base du Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>06</b>
I.4.1. Formulation.....	06
I.4.1.1. Additifs.....	07
I.4.2. Formes de Polychlorure de vinyle transformé.....	10
I.4.2.1. poudre.....	10
I.4.2.2. Granulés.....	10
I.4.2.3. Pâtes.....	11
<b>I.5.Propriété de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>11</b>
I.5.1. Pvc Résines.....	11
I.5.2. Pvc transformé.....	11
I.5.2.1. Propriétés physiques de PVC.....	11
I.5.2.2. Propriétés mécanique de PVC.....	12
I.5.2.3. Propriétés chimiques de PVC.....	12
I.5.2.3. Propriétés électriques.....	12
I.5.2.4. Propriétés thermiques.....	12
I.5.2.5. Propriétés dimensionnelles.....	13
I.5.2.6. Propriétés de mise en œuvre.....	13
<b>I.6. Techniques de transformation du Polychlorure de vinyle en produit fini.....</b>	<b>13</b>
I.6.1. l'extrusion.....	13
I.6.2. Extrusion soufflage.....	13
I.6.3. l'injection.....	14
I.6.4. L'enduction.....	14
I.6.4. Calandrage.....	14
I.6.5. Thermoformage.....	14
I.6.6. Trempage.....	14
I.6.7. Rotomoulage.....	15
<b>I.7. Application de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>15</b>
I.7.1. bâtiment.....	15
I.7.2. Matériel médical.....	16
I.7.3. Equipements électriques et électroniques.....	16

I.7.4. Automobile.....	16
I.7.5. Accessoires.....	16
I.7.6. Emballage.....	16
<b>Chapitre. II. Les isolations électriques</b>	
<b>II.1. Conducteur électrique.....</b>	<b>17</b>
II.1.1. Définition de Conducteur isolé.....	17
II.1.2. Définition de câble électrique.....	17
II.1.3. Caractéristiques électriques des câbles.....	18
<b>II.2. Isolants.....</b>	<b>18</b>
II.2.1. Définition d'isolant.....	18
II.2.2. Différents matériaux isolants.....	18
II.2.3. Polymères dans l'isolation des câbles.....	19
<b>II.2.4 Types d'isolation.....</b>	<b>19</b>
II.2.4.1. Isolation rubanées.....	20
II.2.4.2. Isolations extrudées.....	20
<b>II.3. Enveloppe isolante.....</b>	<b>21</b>
II.3.1. Caractéristique générale.....	21
<b>II.3.2. Principaux matériaux synthétique utilisés pour l'enveloppe</b>	<b>21</b>
<b>isolante.....</b>	<b>21</b>
II.3.2.1. Matière thermoplastiques.....	21
A- Polychlorure de vinyle (PVC).....	21
B- Polyéthylène (PE).....	21
C- Polyéthylène réticulé (PR).....	22
D- Caoutchouc éthylène propylène (EPR).....	22
<b>II.4. Quelque exemple du conducteur isolé et des câbles électrique</b>	<b>23</b>
<b>Chapitre. III. Polychlorure de vinyle et l'environnement</b>	
<b>III.1. Danger de Polychlorure de vinyle.....</b>	<b>26</b>
<b>III.2. Risques liés à la transformation du polychlorure de vinyle.....</b>	<b>26</b>
III.2.1. Résine de PVC.....	26
III.2.2. Additifs.....	27
III.2.3. Dégradation thermique du PVC.....	28
<b>III.3. Classement des déchets.....</b>	<b>28</b>
III.3.1. Déchets de fabrication en PVC.....	29
III.3.2. Gestion des Déchets de polychlorure de vinyle.....	29
III.3.2.1. Recyclage mécanique.....	29
III.3.2.2. Recyclage chimique.....	30
III.3.2.3. Incinération.....	30
III.3.2.4. Mise en décharge.....	31
<b>Chapitre. IV. Matériaux et techniques</b>	
<b>IV.1. Matériaux utilisés.....</b>	<b>32</b>
IV.1.1. Résine de polychlorure de vinyle « PVC.S.70 ».....	32
IV.1.2. Additifs utilisés.....	32
<b>IV. Méthodologie.....</b>	<b>35</b>
<b>IV.3. Préparation des mélanges.....</b>	<b>36</b>
IV.3.1. Préparation de Dry – blend.....	36
IV.2.2. Extrusion de Dry – blend.....	36
IV.2.3. Préparation des plaques (pressage).....	37
<b>IV.3. Caractérisations des mélanges.....</b>	<b>37</b>



IV.3.1. Etude de vieillissement.....	37
IV.3.2. Etude mécanique.....	38
IV.3.2.1. Test de traction.....	38
IV.3.2.2. Dureté shore A.....	38
<b>IV.3.3. Etude thermique.....</b>	<b>38</b>
IV.3.3.1. Stabilité thermique.....	38
IV.3.3.2. Perte de masse.....	39
<b>Chapitre. V. Résultats et Discussions</b>	
V.1. Propriétés mécaniques.....	40
V.1.1. Test de traction.....	40
V.1.2. Dureté shore A.....	42
<b>V.1.2. Propriétés thermique.....</b>	<b>43</b>
V.1.2.1. Stabilité thermique.....	43
V.1.2.2. Perte de masse.....	44
<b>Chapitre. VI. Etude économique</b>	
<b>V.1. Objectif de l'étude.....</b>	<b>45</b>
<b>V.2. Calcul des coûts des mélanges.....</b>	<b>45</b>
V.2.1. Coût massique.....	46
V.2.2. Coût volumique.....	47
<b>V.3. Calcul de gain.....</b>	<b>51</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>53</b>
<b>Référence bibliographique.....</b>	
<b>Annexe.....</b>	

## ***Introduction générale***

Dans le domaine du génie électrique, les matériaux isolants sont utilisés pour assurer une fonctionnalité optimale des équipements tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes. Généralement, la durée de vie des isolants conditionne la durée de vie de l'appareillage. Cela explique les nombreuses études consacrées aux effets des contraintes électriques sur les polymères, ces matériaux qui, actuellement, prennent une place de plus en plus importante dans l'isolation. Les thermoplastiques les plus utilisés comme des isolants dans la fabrication des câbles électriques sont : le PVC, le PP, le PS....etc [1].

Le polychlorure de vinyle seul est un plastique très instable et il se brise facilement. Depuis 1930, des additifs tels des plastifiants, des lubrifiants et des stabilisateurs thermiques y sont ajoutés afin de donner certaines caractéristiques aux plastiques comme la flexibilité, la résistance à la chaleur et au froid et la durabilité [2]. Le PVC à une excellente rigidité diélectrique (bonne isolant) et à une résistance : à l'humidité, à la corrosion et au feu [3].

Ce sujet a été proposé par l'ENICAB de Biskra, pour développer un nouveau mélange à base de PVC possède des bonnes propriétés : mécanique, thermique et plus économique par rapport au mélange standard qui celui employé actuellement au niveau de l'entreprise ENICAB. Donc l'objectif de ce travail est consiste à préparer des formulations à base de polychlorure de vinyle (PVC) avec l'addition des différentes adjuvants tels que : charge, stabilisant, plastifiant....etc. Le comportement de ces mélanges a été suivi par : des études mécanique (test de traction et la dureté schore A), des analyses thermiques (stabilité thermique et perte de masse) et des études économiques (le cout et le gain).

Ce mémoire comporte six chapitres :

**Chapitre. I.** est consacré à un aperçu général sur le polychlorure de vinyle ;

**Chapitre. II.** expose sur isolant électrique ;

**Chapitre. III.** expose sur PVC et l'environnement ;

**Chapitre. IV.** la partie expérimentale de notre travail qui a été réalisée au niveau de laboratoire de l'ENICAB ;

**Chapitre. V.** résultats et discussion ;

**Chapitre. VI.** étude économique ;

En termine par une conclusion générale.

*Chapitre. I.*  
*Polychlorure de vinyle*

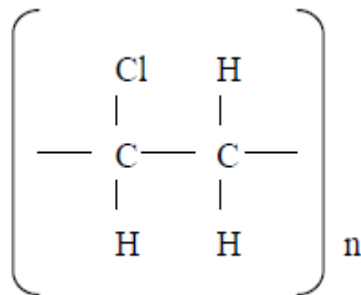
## ***1.1.Définition de Polychlorure de vinyle***

Le Polychlorure de vinyle est une matière thermoplastique de synthèse composée de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le carbone et l'hydrogène proviennent du pétrole (43 %) tandis que le chlore est originaire du sel (57 %).

PVC c'est un plastique très présent dans notre vie quotidienne car l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages [4].

### ***1.1.1 Formule chimique du Polychlorure de vinyle***

Un polymère dont la formule est la suivante [5] :



## ***1.2.Déférente type de Polychlorure de vinyle***

### ***✓ Le PVC rigide (sans plastifiant) :***

Il est très solide à température ordinaire, mais se fragilise à froid et perd de sa rigidité au dessus de 70°C. Grâce à sa forte teneur en chlore [1].

### ***✓ Le PVC plastifié :***

Il est plus ou moins souple selon la proportion de plastifiant. Il est souvent transparent et se met en œuvre facilement par tous les procédés de transformation et se soude aisément [1].

### ***✓ Les films de PVC plastifié (commercialisé en bobines)***

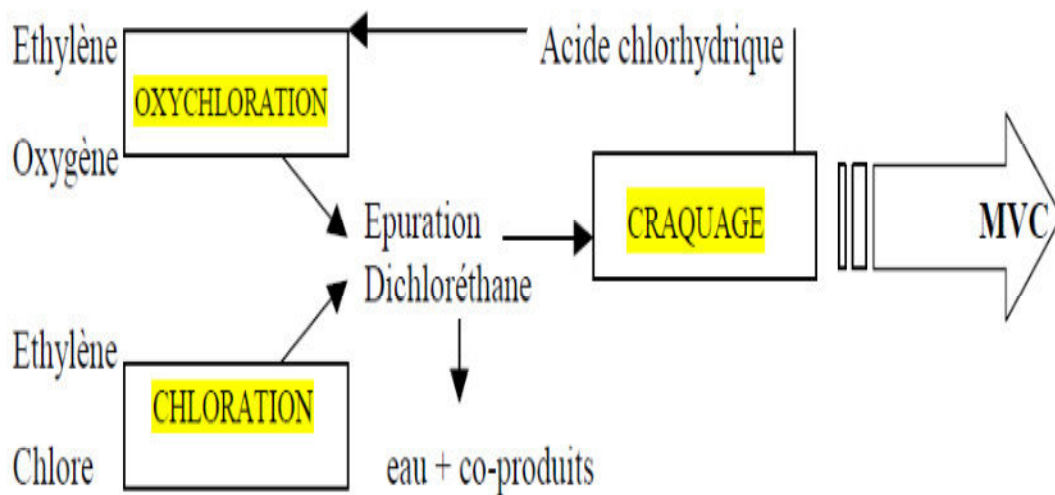
Utilisé (sous forme de film adhésif) comme lamination ou pour le marquage publicitaire, ou (sous forme de film étirable) comme emballage [6].

### I.3.Préparation de Polychlorure de vinyle

#### I.3.1 Synthèse du monomère

Le PVC est fabriqué à la fois à partir d'éthylène issu du pétrole et de chlore récupéré de l'électrolyse de saumure de sel (NaCl). Un sous produit est créé lors de la réaction entre le chlore et l'éthylène : l'acide chlorhydrique. Cette réaction donne naissance au monomère de chlorure de vinyle.

- L'obtention de chlore se fait directement par électrolyse du sel ;
- L'obtention d'éthylène se fait par craquage du pétrole ;
- La chloration et un craquage permettent la création du MVC [5] ;



**Figure. I.1**Création du MVC [5].

#### I.3.2.Polymérisation de PVC

C'est la réaction par laquelle les molécules s'additionnent successivement les unes aux autres pour former une chaîne macromoléculaire de grande longueur.

Quand les macromolécules sont constituées à partir d'un seul type de monomère elles sont appelées homopolymères.

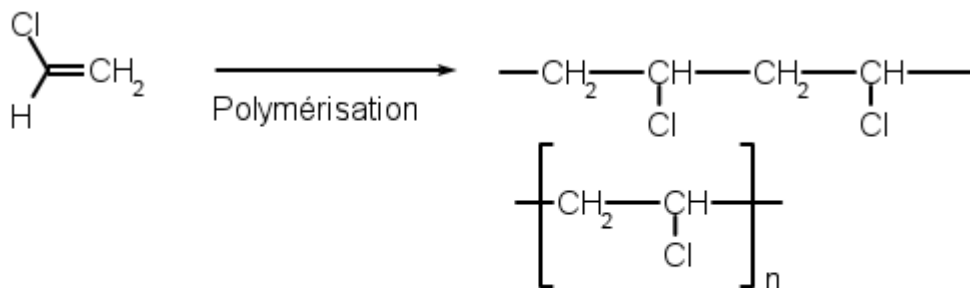
Lorsque la polymérisation s'effectue en présence de mélanges de monomères différents, on réalise une copolymérisation qui conduit à des copolymères [4].

### I. 3.2.1. Principe de polymérisation de PVC

La réaction de polymérisation du chlorure de vinyle monomère par voie radicalaire donne naissance à des macromolécules linéaires de masses moléculaires moyennes déterminées dont la répartition présente une allure gaussienne asymétrique. C'est une réaction fortement exothermique.

Il existe plusieurs procédés industriels de polymérisation du chlorure de vinyle monomère :

- ✓ en suspension,
- ✓ en masse,
- ✓ en émulsion,
- ✓ en micro suspension [4].



Monomère chlorure de vinyle

Polymère polychlorure de vinyle

**Figure I.2.** Polymérisation de PVC [6].

#### A) Polymérisation en suspension

Consiste à mélanger le MVC avec de l'eau en présence d'additifs et d'un initiateur [4].

La polymérisation du chlorure de vinyle dispersé en fines gouttelettes dans l'eau est activée par des amorceurs solubles dans le monomère. Le PVC est séparé de l'eau par centrifugation, décantation, séchage [7].

La température de réaction est de 50 à 70 °C, le volume des autoclaves de 80 à 150 m<sup>3</sup>, la durée d'un cycle de l'ordre de 8 heures. Les produits obtenus sont transparents, avec une faible absorption d'eau, 80 % de la production mondiale [6].

**B) Polymérisation en masse**

Cette méthode permet d'éviter l'eau et les dispersants, la difficulté étant d'évacuer la chaleur de réaction.

Le procédé comporte 2 étapes :

- ✓ Une étape de prépolymérisation dans laquelle environ 10 % du monomère est polymérisé dans des conditions spécifiques pour former des grains de caractéristiques morphologiques définies ;
- ✓ Une étape de polymérisation au cours de laquelle les grains de « semence » sont transférés dans le réacteur principal où sont ajoutés du monomère et des initiateurs ; la polymérisation se poursuit par croissance de grains initiaux ;

Après l'élimination du monomère n'ayant pas réagi, le PVC est tamisé. Il se présente sous forme de grains de 120 à 150 µm de diamètre moyen. Les performances des résines obtenues par le procédé en masse sont en général voisines de celles des résines fabriquées par le procédé en suspension [1].

Ce qui permet d'obtenir des produits encore plus transparents et brillants, 10 % de la production mondiale [6].

**C) Polymérisation en émulsion**

Le chlorure de vinyle est maintenu en émulsion stable dans l'eau avec des émulsifiants. La polymérisation est activée par des amorceurs solubles dans l'eau. Après séchage de l'émulsion on obtient des grains de PVC de 15 à 200 µm de diamètre [7].

Les produits obtenus sont non transparents, faciles à mettre en œuvre et ayant tendance à absorber l'eau, 10 % de la production mondiale [6].

**D) Polymérisation en micro suspension**

Une dispersion de monomère, d'eau d'agent de surface et de catalyseur organosoluble préparée à froid par un moyen mécanique puissant est polymérisée à chaud sous agitation lente.

On obtient des particules de taille comprise entre 0,2 et 4 µm qui subissent ensuite un traitement et un séchage semblables à ceux du procédé de polymérisation en émulsion [4].

### ***I. 3.3. Copolymérisation***

La polymérisation simultanée de monomères différents conduit à l'obtention de copolymères.

Le plus répandu est le poly (chlorure de vinyle/acétate de vinyle) ou VC/VAC ,caractérisé par une chaîne linéaire constituée à partir de molécules de chlorure de vinyle et de molécules d'acétate de vinyle se succédant au hasard pour former un copolymère statistique. Par copolymérisation, on peut aussi obtenir des copolymères greffés constitués par des polymères greffés sur une chaîne moléculaire d'une autre nature appelée « tronc ». On peut citer les copolymères chlorure de vinyle greffés sur copolymères éthylène acétate de vinyle (EVA) ou sur polyacrylates ou sur tronc acrylique [4].

### ***I.3.4. Chloration***

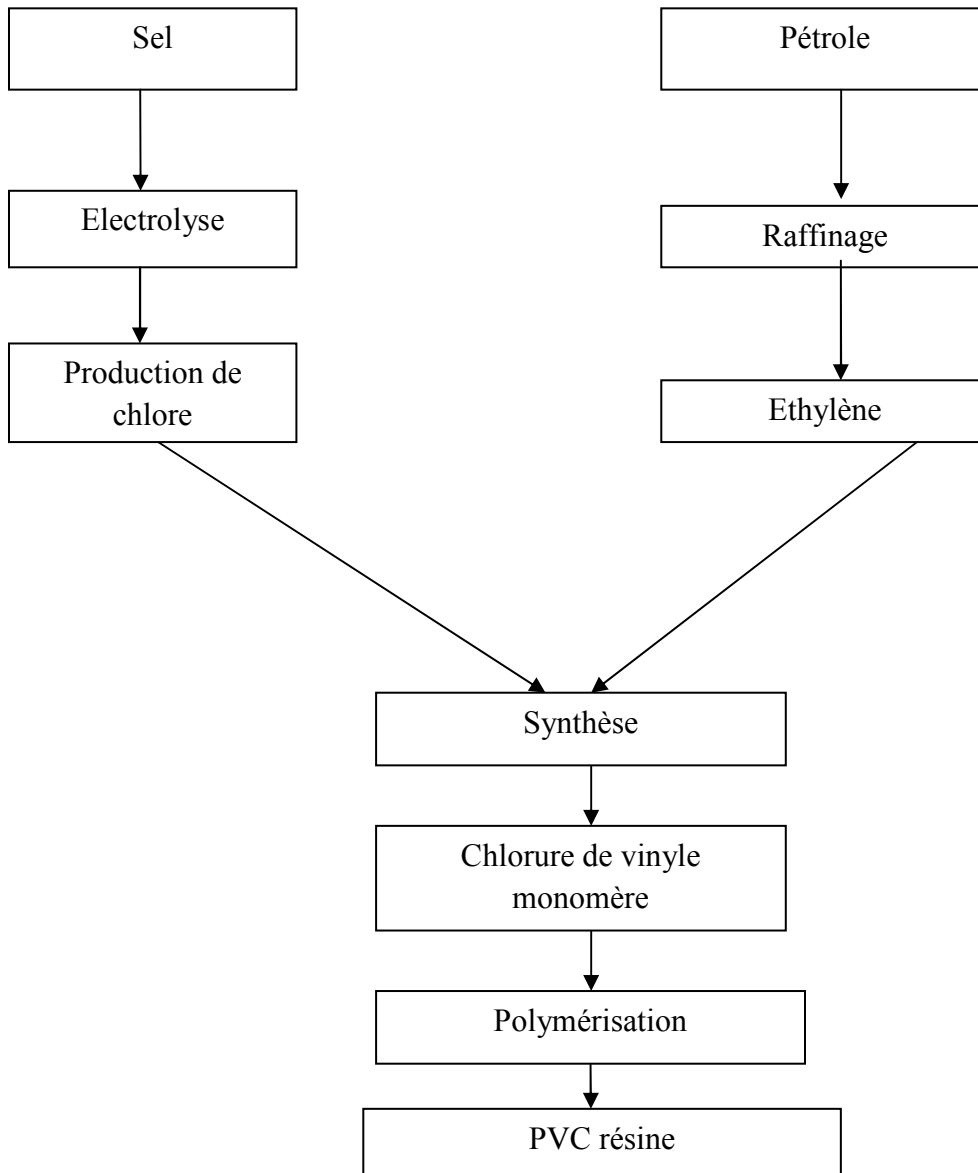
La chloration (par voie sèche ou humide) du PVC constitue plutôt un traitement chimique du poly (chlorure de vinyle). Elle conduit à un type particulier de résines homopolymères à haute teneur en chlore pouvant atteindre 69 %.

L'intérêt du poly (chlorure de vinyle) chloré ou CPVC réside dans l'amélioration de sa résistance thermique.

Cette propriété est mise à profit pour la fabrication de :

- ✓ tuyaux et raccords pour le transport de fluides chauds et le chauffage central,
- ✓ fibres textiles (chlorofibres) [4].





*Figure. I.3.Elaboration du PVC [8].*

## ***1.4.Mélange à base du Polychlorure de vinyle***

### ***1.4.1. Formulation***

Les résines PVC nécessitent, pour leur mise en œuvre et l'obtention des propriétés particulières de l'objet fini ou du matériau semi-fini, l'adjonction d'adjuvants spécifiques [4].

### ***I.4.1.1. Additifs***

L'utilisation variée du PVC repose sur les propriétés intéressantes du polymère qui peut être fabriqué sur mesure grâce au procédé de transformation et à l'ajout d'additifs. C'est pourquoi il existe une grande quantité de types de PVC aux propriétés diverses. Les propriétés mécaniques du PVC peuvent varier d'une extrême rigidité à une très grande souplesse par l'addition contrôlée de plastifiants. L'ajout de toutes sortes de pigments permet de colorer le PVC [9].

#### ***A) Stabilisants***

Exposées à des températures élevées, à des produits chimiques oxydants ou aux rayons UV, les matières plastiques risquent de s'abîmer et de se dégrader. Les stabilisants font en sorte que les matières plastiques restent stables mêmes dans ces conditions.

Le choix du stabilisant dépend de l'application ainsi que des exigences techniques auxquelles le produit doit répondre, de la législation et du prix de revient [10].

Le rôle de la stabilisation est double :

- ✓ fixer le chlorure d'hydrogène libéré pour empêcher la réaction auto catalytique ;
- ✓ réagir sur les liaisons insaturées pour supprimer les structures polygéniques ;

Les principaux stabilisants sont à base de :

- **plomb**: utilisé principalement pour la fabrication de tuyaux et profilés rigides pour le bâtiment et d'isolants de câbles électriques ;
- **calcium/zinc**: fréquemment associés à d'autres stabilisants d'origine soit minérale (magnésium, aluminium), soit organique ;
- **baryum/cadmium**: ils présentent une très bonne résistance chimique aux températures élevées et confèrent au PVC une excellente stabilité dans le temps [4];

#### ***B) Plastifiants***

Le PVC seul est un matériau rigide. L'ajout de plastifiants permet de le rendre flexible. Il PVC souple dont le champ d'application est très large : emballages, câbles, tuyaux d'arrosage, jouets,...

Par ailleurs, des plastifiants sont également utilisés dans des applications comme les peintures, les produits en caoutchouc et certains cosmétiques [10].

Il ya deux grandes famille:

- ✓ **primaires** : ils ont un fort effet plastifiant qui permet de les utiliser seuls , comme esters phtaliques (dioctyle, dibutyle...), phosphoriques, de diacides linéaires dérivés de l'acide dicarboxylique ils ont en général un bon pouvoir gélifiant ;
- ✓ **secondaires** : ils sont constitués de plastifiants polymères dont la masse molaire peut atteindre 10 000. Ces produits peu volatils résistent bien à la migration. Il ya également des paraffines chlorées qui présentent l'avantage d'améliorer le comportement au feu du PVC plastifié [4] ;

### C) Charges

Les charges sont utilisées, entre autres, pour augmenter la résistance au feu et renforcer certaines propriétés physiques [9].Et pour réduire le prix de revient.

Les charges les plus utilisées sont :

- ✓ la craie,
- ✓ les carbonates de calcium (naturels ou précipités),
- ✓ les kaolins calcinés,
- ✓ le talc,
- ✓ les dolomies [4],

Ces charges ne présentent aucun danger pour la santé et l'environnement [9].

### d) Lubrifiants

Les 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. Le rôle du lubrifiant est donc de maîtriser et régulariser ces forces de frottement [10].

Il existe 2 grandes familles de lubrifiants :

- ✓ **externes** : leur action vise à combattre les frottements sur les parois métalliques des outillages en facilitant le glissement de la matière plastique et en évitant les collages sur ceux-ci, ils sont peu compatibles avec le polymère, on utilise généralement des paraffines et des cires de polyéthylène ;
- ✓ **internes** : leur action consiste à réduire les frottements intermoléculaires qui provoquent l'échauffement du polymère et risquent d'entraîner sa dégradation thermique ; ces lubrifiants compatibles avec le PVC pour éviter toute migration hors du polymère sont des dérivés des alcools et esters d'acides gras, souvent de l'acide stéarique [4];

### ***E) Colorants et pigments***

Ajoutés à faibles doses en général, ces adjuvants permettent d'obtenir une gamme de coloris très étendue.

Ils se classent en plusieurs catégories :

- ✓ pigments minéraux (oxydes de titane, de fer, de chrome, de manganèse, de cobalt...)
- ✓ composés organométalliques (phtalocyanine de cuivre...)
- ✓ noirs de carbone ;
- ✓ pigments métallisés.

Contrairement aux colorants, les pigments sont insolubles dans le polymère et se retrouvent sous forme de suspension de particules dans le produit fini [4].

### ***F) Agents antichocs***

Ils sont destinés à améliorer la résistance aux chocs du PVC en particulier à basse température. Ce sont généralement des polymères et des copolymères de types:

- ✓ polyéthylènes chlorés;
- ✓ polyacrylates;
- ✓ copolymères MBS ou ABS[9];

### **G) Retardateurs de feu**

Le PVC rigide est retardateur de feu par nature. Des retardateurs de flamme sont souvent ajoutés au PVC souple étant donné que l'ajout de plastifiants augmente son inflammabilité.

Bien que la résistance au feu du PVC soit en général plus élevée que celle d'autres matières plastiques, l'ajout de certains retardateurs comme les oxydes de métal peut encore augmenter cette résistance [4].

## **I.4.2. Différents formes de Polychlorure de vinyle transformé :**

### **I.4.2.1.poudre**

Pour assurer une homogénéisation correcte des adjuvants liquides et solides répartis sur les grains de PVC, on utilise des mélangeurs.

Deux types sont couramment employés :

- ✓ **Les mélangeurs rapides** : la grande vitesse de rotation des pales assure une excellente dispersion des ingrédients ; la poudre ainsi obtenue présente de bonnes propriétés d'écoulement qui permettent d'alimenter directement les machines de production (fabrication de tubes, de raccords...);
- ✓ **les mélangeurs lents** : leur plus grande capacité de mélangeage, leur faible consommation d'énergie d'agitation et leur simplicité d'exploitation les ont imposés pour l'alimentation de machines de calandrage ou de production de granulés [4];

### **I.4.2.2.Granulés**

La poudre préparée vers une unité de granulation qui se compose généralement :

- ✓ d'une extrudeuse ou d'un comalaxeur interne dans lequel la poudre se transforme progressivement en une masse plastique visqueuse sous les effets combinés de la chaleur et de cisaillements mécaniques ;
- ✓ d'une granulatrice équipée d'une filière plate ou à trous et d'un système de coupe qui transforme la masse plastique (fondue ou refroidie préalablement) en granulés de forme cylindrique ou cubique [4];

### ***1.4.2.3. Pâtes***

Celles-ci, appelées également plastisols, sont constituées par des suspensions, dans des plastifiants organiques, de particules de PVC de faibles dimensions (0,1 à 3 mm) préparées par les procédés en émulsion ou en microsuspension. Dans ces pâtes, on peut incorporer des stabilisants, charges, pigments, colorants, agents gonflants voire même des qualités spéciales de PVC fabriquées en suspension appelées « extenders ».

Selon le type et la quantité de PVC et de plastifiants en présence, on obtient des plastisols dont la viscosité varie de 5 P.A.S. (liquide) à 2 000 Pa.s (mastic).

La préparation de ces plastisols est réalisée dans des mélangeurs lents ou rapides. Une opération de filtration et de débullage est ensuite effectuée avant stockage ou utilisation [4].

## ***1.5. Propriété de Polychlorure de vinyle***

### ***1.5.1. Pvc Résines***

La résine "brute" de PVC qui se présente sous la forme d'une poudre blanche généralement inodores et insipides. Suivant leur distribution granulométrique, elles font penser soit à de la farine, soit à du sable très fin [4].

Le PVC est très polyvalent. A l'état brut, le PVC est sensible à l'action du rayonnement ultra violet (Vieillissement accéléré). Les fabricants ajoutent au mélange des photo-stabilisants très efficaces. Le PVC a une excellente rigidité diélectrique, une bonne résistance aux acides et bases et une bonne résistance aux hydrocarbures aliphatiques. Il présente toutefois une mauvaise résistance aux hydrocarbures aromatiques et chlorés ainsi qu'aux cétones et esters. Le PVC pur est instable à la chaleur et à la lumière. Sa température de transition vitreuse  $T$  est élevée entre 75 et 80, ce qui le rend impropre à de nombreuses applications. Placé dans une flamme, le PVC se brûle mais ne propage pas lui-même la flamme [3].

### ***1.5.2. Pvc transformé***

#### ***1.5.2.1. Propriétés physiques de PVC***

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 1,38g/cm<sup>3</sup>. Le PVC amorphe est transparent et relativement perméable à la vapeur d'eau [11].

La masse moléculaire moyenne du PVC est généralement donnée par le (K-wert) ou (valeur K). Lorsque le K-wert augmente, la résilience, la stabilité dimensionnelle à chaud et la résistance au fluage augmentent alors que la transformation devient plus difficile [7].

#### ***1.5.2.2. Propriétés mécaniques de PVC***

- ✓ Le PVC offre une excellente rigidité jusqu'au voisinage de sa température de transition vitreuse ;
- ✓ Les PVC offre une excellente résistance à l'abrasion ;
- ✓ Les PVC sont fragiles au choc à basses températures (<-100°C) [7];

#### ***1.5.2.3. Propriétés chimiques de PVC***

- ✓ Le PVC non plastifié résiste bien (jusqu'à 60° C) aux acides et bases ainsi qu'aux huiles, alcools et hydrocarbures aliphatiques. Par contre, il est sensible aux hydrocarbures aromatiques et chlorés, aux esters et cétones qui occasionnent un gonflement ;
- ✓ Le PVC souple est sensible aux agents atmosphériques et à la lumière solaire [11];

#### ***1.5.2.4. Propriétés électriques de PVC***

Le PVC présente de bonnes propriétés isolantes mais les pertes électriques dans le matériau sont suffisamment importantes pour permettre le soudage par haute fréquence [11].

#### ***1.5.2.5. Propriétés thermiques de PVC***

- ✓ **Conductivité thermique** : Elle est d'environ 0,2 W. m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.
- ✓ **Capacité thermique massique** : Elle est d'environ 1 046 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.
- ✓ **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 10<sup>-5</sup> à 8 10<sup>-5</sup> K<sup>-1</sup> pour les PVC non plastifiés, Il est moins significatif pour les PVC plastifiés.

- ✓ **Température de ramollissement Vicat** : Mesurée uniquement sur les PVC non plastifiés, la température de ramollissement Vicat se situe entre 65 et 85 °C. Pour des mélanges de PVC et de PVC chloré, elle peut atteindre des valeurs supérieures à 100 °C.
- ✓ **Température de fléchissement sous charge** Elle ne s'applique qu'aux PVC non plastifiés. Elle varie de 55 à 70 °C selon les formulations et peut atteindre 90 °C pour celles contenant du PVC chloré [4].

#### ***1.5.2.6. Propriétés dimensionnelles de PVC***

Le PVC présente une bonne stabilité dimensionnelle et un retrait limité dû à sa structure amorphe [11].

#### ***1.5.2.7. Propriétés de mise en œuvre de PVC***

Le PVC se forme très bien à chaud pour les aménagements intérieurs "PLASTICASE"[11].

### ***1.6. Techniques de transformation du Polychlorure de vinyle en produit fini***

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 :

#### ***1.6.1. 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 [12].

Le choix des extrudeuses et les conditions opératoires de mise en œuvre dépendent de la forme de présentation du mélange prêt à l'emploi.

- ✓ Pour l'extrusion des poudres sèches non (ou peu) plastifiées, on adopte de préférence des machines à double vis.
- ✓ En présence de granulés, on utilise des extrudeuses mono ou double vis [4].

#### ***1.6.2. 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 [12].

### ***1.6.3. 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 [12].

### ***1.6.4. 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 [12].

### ***1.6.5. Calandrage***

Ce procédé de transformation concerne à la fois les PVC plastifiés et non plastifiés. Il est destiné à la fabrication de films et de feuilles.

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 [12].

### ***1.6.6. Thermoformage***

C'est la technique de fabrication de pièces plus ou moins complexes à partir de feuilles ou de films en PVC non plastifié. Elle consiste à chauffer la matière thermoplastique entre 130 et 150 °C, puis à effectuer sa mise en forme dans une empreinte par l'action du vide, d'une surpression, ou par combinaison des deux, en y adjoignant une action mécanique dans certains cas [12].

### ***1.6.7. 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 [12].

### ***1.6.8. 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 [12].

## ***1.7. Application de Polychlorure de vinyle***

C'est le plus utilisé des plastiques, on le retrouve aussi bien en matériel chaudronné pour l'industrie chimique qu'en construction mécanique, dans l'industrie électrique et dans les panneaux d'enseignes publicitaires [13].

### ***1.7.1. bâtiment***

Le PVC est le matériau de synthèse le plus utilisé dans le bâtiment. Le choix d'un matériau pour une application est toujours dicté par l'adéquation de ses performances au service d'une utilisation précise. Le PVC n'échappe pas à la règle. Là où le PVC est présent dans les bâtiments, c'est grâce à la combinaison de ses caractéristiques techniques qui répondent à plusieurs exigences en même temps [14].

Il contribue ainsi à la performance des bâtiments dans différents domaines [14]:

#### ***✓ Longévité***

Le PVC est totalement imperméable, imputrescible, non corrodable et totalement résistant aux UV.

#### ***✓ Hygiène***

La surface du PVC est compacte et lisse, comprendre qu'elle n'autorise pas la prolifération de germes.

#### ***✓ Isolation thermique et performance énergétique***

Comme tous les autres plastiques, le PVC est un très mauvais conducteur de chaleur. Il est donc un très bon isolant.

#### ***✓ Confort acoustique***

Les fenêtres en PVC répondent à des normes acoustiques sévères. Elles font barrière aux nuisances sonores, telles que celles auxquelles sont exposés les riverains des aéroports.

#### ***✓ Performance économique***

Les produits en PVC associent performances d'usage et de prix. Ils sont souvent moins chers à l'achat que leurs principaux concurrents. Il est facile à mettre en œuvre. Surtout, ils ont besoin de très peu d'entretien, ce qui réduit d'autant les frais inhérents à leur utilisation.

### ✓ *Sécurité incendie*

Le PVC est naturellement ignifuge, ce qui lui confère un avantage de poids face à d'autres matériaux.

### *I.7.2. Matériel médical*

(Poches à sang, cathéters, 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.) [14].

### *I.7.3. Equipements 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 [14].

### *I.7.4. 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 [14].

### *I.7.5. Accessoires*

Le PVC fait aussi partie de nos garde-robes. Souvent accessibles en prix, cirés, bottes de pluie ou de plage, transparents et autres accessoires en PVC sont inusables. Légers et souples, ils ne se fendillent pas, sont indéchirables et totalement imperméables [14].

### *I.7.6. Emballage*

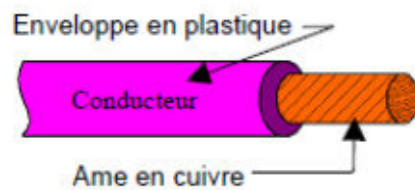
C'est le deuxième débouché pour ce polymère. 17 % des matières plastiques utilisées dans l'emballage sont en PVC [4].

*Chapitre. II.*  
*Isolants électriques*

## II.1. Conducteur électrique

### II.1.1. Définition de Conducteur isolé

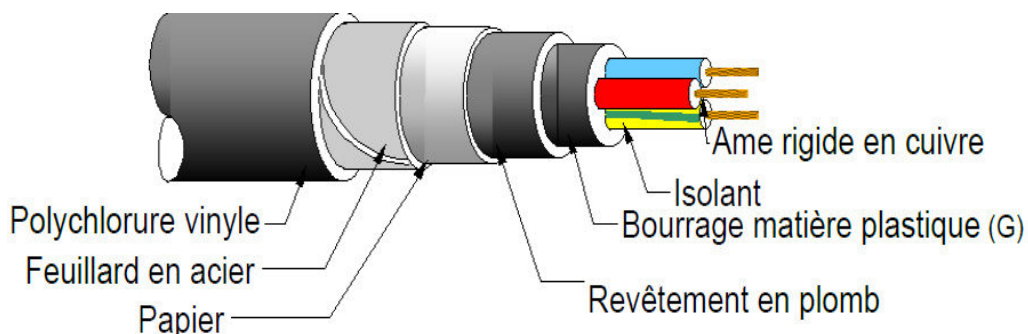
Le conducteur ne dispose que d'un seul isolant, alors que le câble comporte un isolant et une gaine isolante supplémentaire, il existe des câbles unipolaires (qui ne comportent qu'un conducteur) et des câbles multipolaires (qui comportent plusieurs conducteurs) [15].



*Figure. II.1. Conducteur électrique [16]*

### II.1.2. Définition de câble électrique

Un câble électrique est un conduit en matières souple ou rigide, recouvert d'une enveloppe, regroupant plusieurs conducteurs électriques eux-mêmes gaines individuellement dans une enveloppe isolante [16].



*Figure. II.2. Câble électrique [16]*

### **II.1.3. Caractéristiques électriques des câbles**

Elles correspondent à deux fonctions essentielles :

- ✓ l'âme a pour rôle de laisser passer le courant ;
- ✓ D'isolant assure l'isolation entre les conducteurs à des potentiels différents et avec la terre ou les masses pour éviter les contacts directs ;
- ✓ Les isolants utilisés sont caractérisées par leur tension nominale d'isolement ;
- ✓ La tension nominale du câble doit être au moins égale à la tension nominale d'installation [17];

## **II.2. Isolants**

### **II.2.1. Définition d'isolant**

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée:  $10^8$  à  $10^{16}$   $\Omega.m$ . car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques, mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue [18].

### **II.2.2. Différents matériaux isolants**

Les isolants électriques sont classés en trois grandes catégories :

- ✓ les isolants solides ;
- ✓ les isolants liquides ;
- ✓ les isolants gazeux ;

Selon leur origine on en distingue deux types :

- ✓ Les isolants naturels ;
- ✓ les isolants synthétiques ;

Le premier type concerne les isolants minéraux et certains isolants organiques naturels, le second type concerne les matières plastiques et les composites.

Les matières plastiques occupent une place importante et tendent à remplacer les matériaux traditionnels comme le bois ou le papier [1].

### ***II.2.3. Polymères dans l'isolation des câbles***

Pour l'isolation de câbles, les matériaux utilisés sont en général :

- ✓ les papiers imprégnés ;
- ✓ le PVC ;
- ✓ le caoutchouc vulcanisé ;
- ✓ le polyéthylène (PE) ;

Les caoutchoucs vulcanisés sont utilisés pour les câblages domestiques et industriels de faible puissance.

Le PVC est inerte à l'oxygène et à l'humidité. Si les conditions de fonctionnement sont telles que le taux de ces éléments soit élevé.

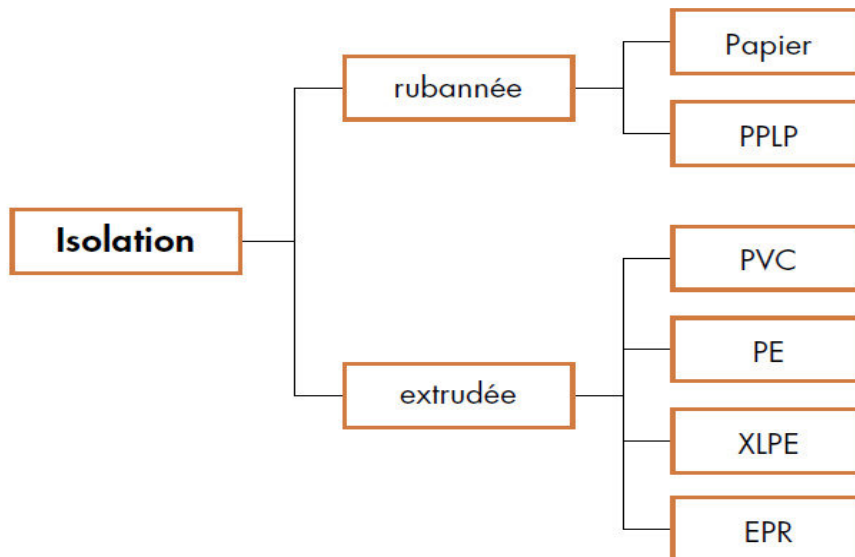
Le polyéthylène est généralement utilisé dans les câbles haute tension pour la transmission d'énergie AC (courant alternatif) ou DC (courant continu) [18].

L'inconvénient de l'utilisation de matériaux synthétiques tels que le polyéthylène dans l'isolation des câbles haute tension est leur capacité à stocker des charges électriques (appelées charges d'espace) lorsqu'ils sont soumis à de fortes contraintes (champ électrique élevé, irradiations, efforts et frottements mécaniques importants, variations de température) [19].

### ***II.2.4 Types d'isolation :***

Il convient de différencier deux groupes principaux,

- ✓ Les isolations rubanées ;
- ✓ Les isolations extrudées [20] ;



**Figure .II.3.** Divers types usuels d'isolation [20]

#### **II.2.4.1. Isolation rubannées**

Ce type d'isolation combine les particularités de l'isolation traditionnelle au papier imprégné avec les excellentes caractéristiques électriques et diélectriques des isolations synthétiques. Par rapport à l'isolation papier, ce type d'isolation engendre des pertes diélectriques inférieures et augmente le gradient de tension de claquage.

Etant donné son prix supérieur, ce type d'isolation reste cependant réservé aux câbles de très haute tension, (< 400 kV).

Pour le domaine des très hautes tensions (220 kV et plus), de nouveaux types de papier ont été utilisés ces dernières années. Il s'agit d'un laminé de papier et de polypropylène appelé PPLP (Polypropylène Laminated Paper) [20].

#### **II.2.4.2. Isolations extrudées**

La plupart des thermoplastes utilisés aujourd'hui ont été développés dans les années 30. Mis à part quelques utilisations spéciales, l'emploi de PVC et de PE comme isolants pour câbles ne débuta que dans les années 50.

Les essais étaient d'abord focalisés sur le PE à basse densité (LDPE) de 916-930 kg/m<sup>3</sup> ainsi que sur le PE à densité élevée (HDPE) de 945-960 kg/m<sup>3</sup>. Il s'est avéré que le comportement au vieillissement de ces matériaux n'était pas suffisant et que le point de fusion était trop bas par rapport aux températures de service admissibles pour les câbles isolés au papier [20].



## ***II.3. Enveloppe isolante***

### ***II.3.1. Caractéristique générale***

L'enveloppe isolante doit assurer une bonne isolation de l'âme conductrice et présenter les caractéristiques :

❖ ***Générales de tout bon isolant :***

- ✓ Résistivité élevée ;
- ✓ Très bonne rigidité électrique ;
- ✓ Faibles pertes diélectriques ;

❖ ***Particulières à l'emploi des conducteurs et des câbles :***

- ✓ Bonne tenue au vieillissement ;
- ✓ Bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu ;
- ✓ Insensibilité aux vibrations et aux chocs ;
- ✓ Bon comportement à l'attaque des agents chimiques [21] ;

### ***II.3.2. Principaux matériaux synthétique utilisés pour l'enveloppe isolante :***

#### ***II.3.2.1. Matière thermoplastiques***

La température provoque, de manière une variation de la plasticité c'est le cas :

***A- Polychlorure de vinyle (PVC) :***

Très employé pour ses bonnes caractéristiques, électrique, mécanique de tenue au froid et au vieillissement thermique, de résistance à l'eau et aux produits chimique courants ainsi qu'à la propagation de la flamme.

Toutefois sa combustion s'accompagne de dégagements nocifs et corrosifs [21].

***B- Polyéthylène (PE)***

Polymère d'éthylène fabriqué par divers procédés de haute et basse pressions ,avec des masses moléculaires très diverses, il s'oxyde très rapidement, est inflammable et peu hygroscopique.

Les excellentes propriétés électriques du PE [rigidité diélectrique élevée, pertes diélectriques et permittivité faibles [3].

***C- Polyéthylène réticulé (PR)***

Le polyéthylène réticulé possède sensiblement les mêmes qualités électriques que le polyéthylène, mais de meilleures qualités thermiques.

La réticulation peut être obtenue par différents procédés. La mise en œuvre de charges minérales dans le PR améliore le comportement mécanique à la température de fusion, mais diminue les propriétés diélectriques [3].

***D- Caoutchouc éthylène propylène (EPR)***

Il s'agit d'EPR (éthylène-propylène rubber), de EPM (éthylène-propylène matériel) et de EPDM (éthylène-propylène diène monomère).

Par ailleurs, on doit souligner son excellente résistance aux décharges partielles et superficielles [3].

## II.4. Quelques exemples de conducteurs isolés et des câbles électriques

### Exemple 1 :

- **Conducteur isolé : H07V-U**

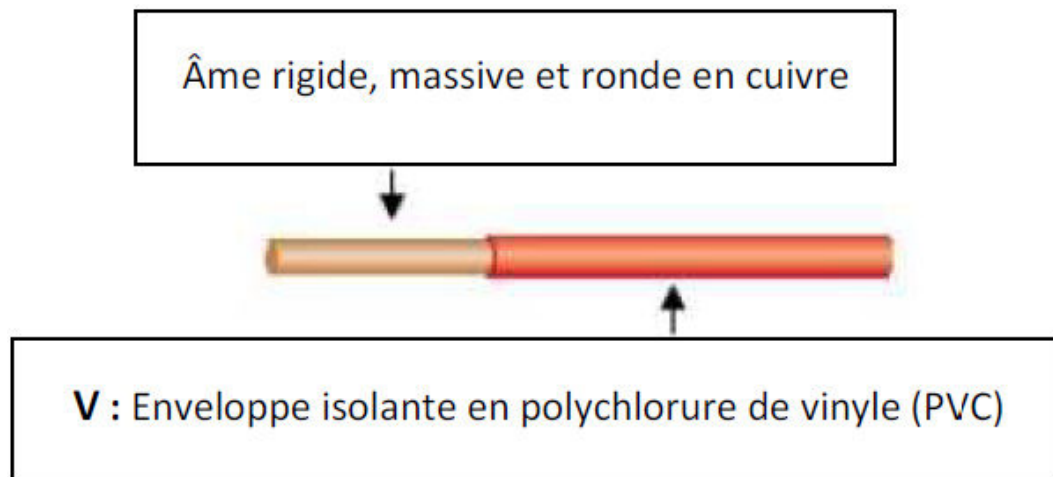
H : Série harmonisée

07 : Tension nominale 450/700V

V : Enveloppe isolante en polychlorure de vinyle

U : âme rigide, massive et ronde en cuivre

- ❖ **Application : Équipement des circuits locaux d'habitation [15].**



*Figure-II.4. Conducteur isolé : H07V-U [15].*

**Exemple 2 :**

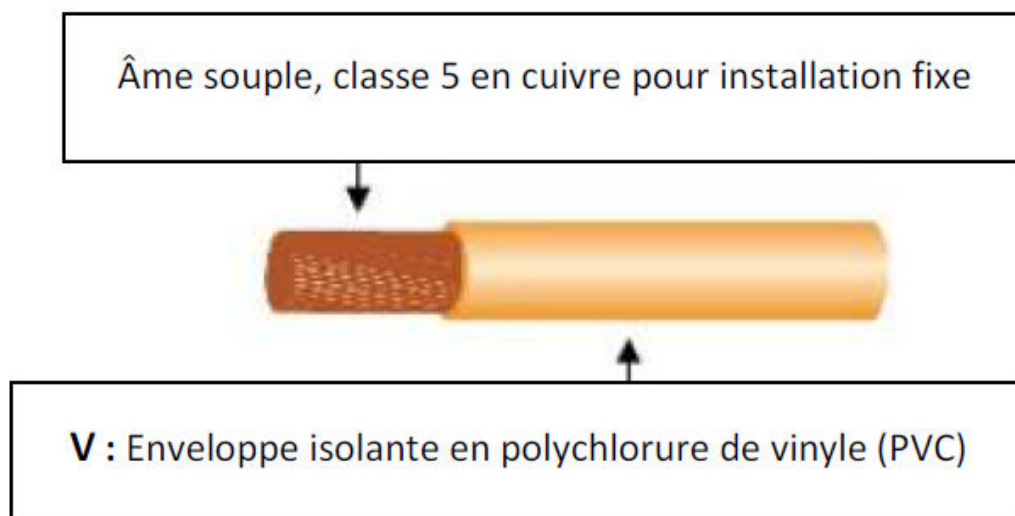
- **Conducteur isolé : H05 V-K**

H : Série harmonisée

05 : Tension nominal 300/500v

K : âme souple, classe 5 en cuivre pour installation fixe

- ❖ **Application : Equipement de filerie et de câblage de tableaux [15].**



*Figure. II.5. Conducteur isolé : H05 V-K [15].*

**Exemple 3 :**

- **Câble: H07 VV H6-F**

H : Série harmonisée

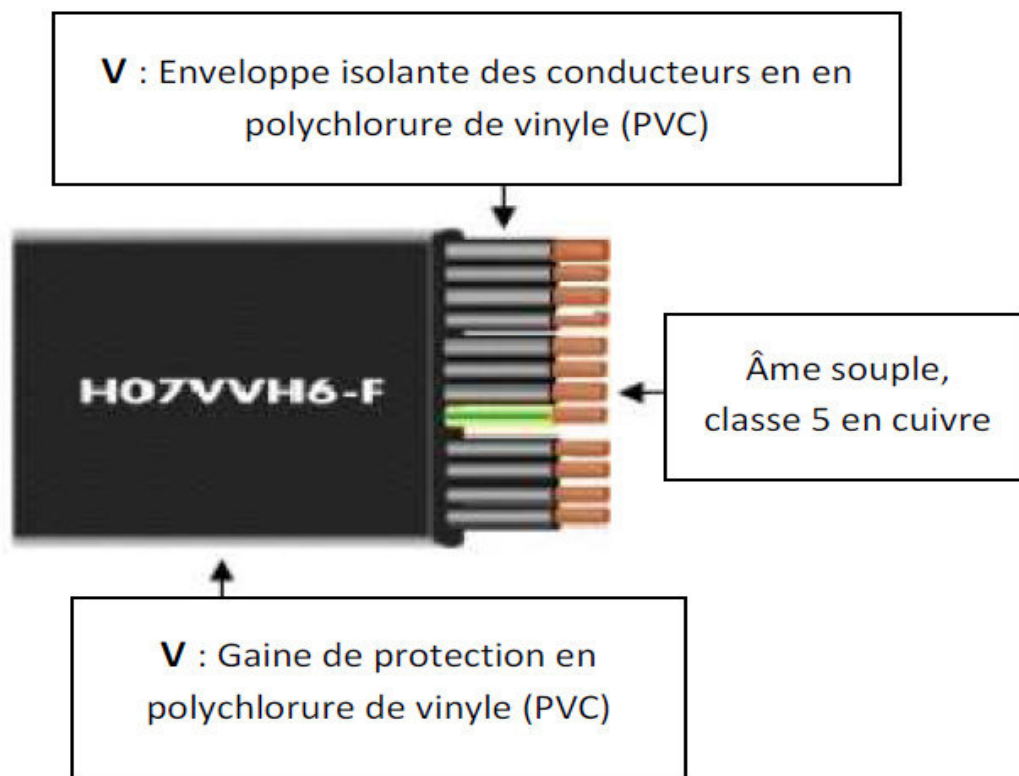
07 : Tension nominal 450/700v

V : Enveloppe isolante en polychlorure de vinyle

H6 : câble méplat « non divisible »

F : âme souple, classe 5 en cuivre

- ❖ **Application : câble méplats souples pour l'alimentation d'appareils mobiles [15].**



**Figure.II.6.** Câble: H07 VV H6-F[15].

***Chapitre. III***  
***Polychlorure de vinyle et***  
***l'environnement***

### ***III.1. Danger de polychlorure de vinyle***

Du PVC, un plastique thermorésistant fait de chlorure de polyvinyle, il y en a partout : dans les automobiles, les maisons, les parcs, les vêtements et les jouets pour enfants. Il y en aussi dans les tubes et sacs en plastiques utilisés pour guérir les enfants qui naissent avec des problèmes de santé. La fabrication de PVC implique le transport et le stockage de nombreux produits nocifs pour la santé comme le dichlorure d'éthylène qui a des effets carcinogènes et génotoxiques (cause des dommages à l'ADN). La production de cette substance émet aussi son lot de produits contaminants atmosphériques comme des métaux lourds et des organochlorés (dioxines et furannes) [22].

A chacune des étapes de son cycle de vie, les nombreux dangers du PVC se rapportent toujours aux deux mêmes causes, spécifiques au PVC: il est fabriqué à base de chlore et de grandes quantités d'additifs sont nécessaires pour qu'il soit fonctionnel. Tous les précurseurs du PVC (chlore, dichloroéthane, chlorure de vinyle monomère) sont fortement toxiques et leur production génère des déchets et des émissions toxiques [23].

### ***III.2. Risques liés à la transformation du polychlorure de vinyle***

#### ***III.2.1. 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/m<sup>3</sup> pour les poussières totales et de 5 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières inhalables comme pour toutes les poussières sans effet spécifique (inertes). Par ailleurs, le chlorure de vinyle monomère est susceptible d'être libéré dans l'atmosphère très faiblement, au cours du traitement, de la manipulation et du stockage à température ambiante et au cours de la première mise en œuvre à chaud [12].

### **III.2.2. Additifs**

Selon l'INRS, les additifs pulvérulents présentent, eux aussi, des risques par inhalation et par contact au cours des différentes opérations (pesées, transvasements, mélanges...) [12].

#### **III.2.2.1. Plastifiants**

Selon l'INRS, les phtalates présentent la caractéristique d'être légèrement irritants [12].

#### **III.2.2.2. Charges**

Elles sont souvent pulvérulentes et généralement sans toxicité spécifique ; elles peuvent provoquer par inhalation des troubles respiratoires [12].

#### **III.2.2.3. Stabilisants**

Ils interviennent dans la résine en faible quantité et sont surtout dangereux lors de leur manipulation en vrac.

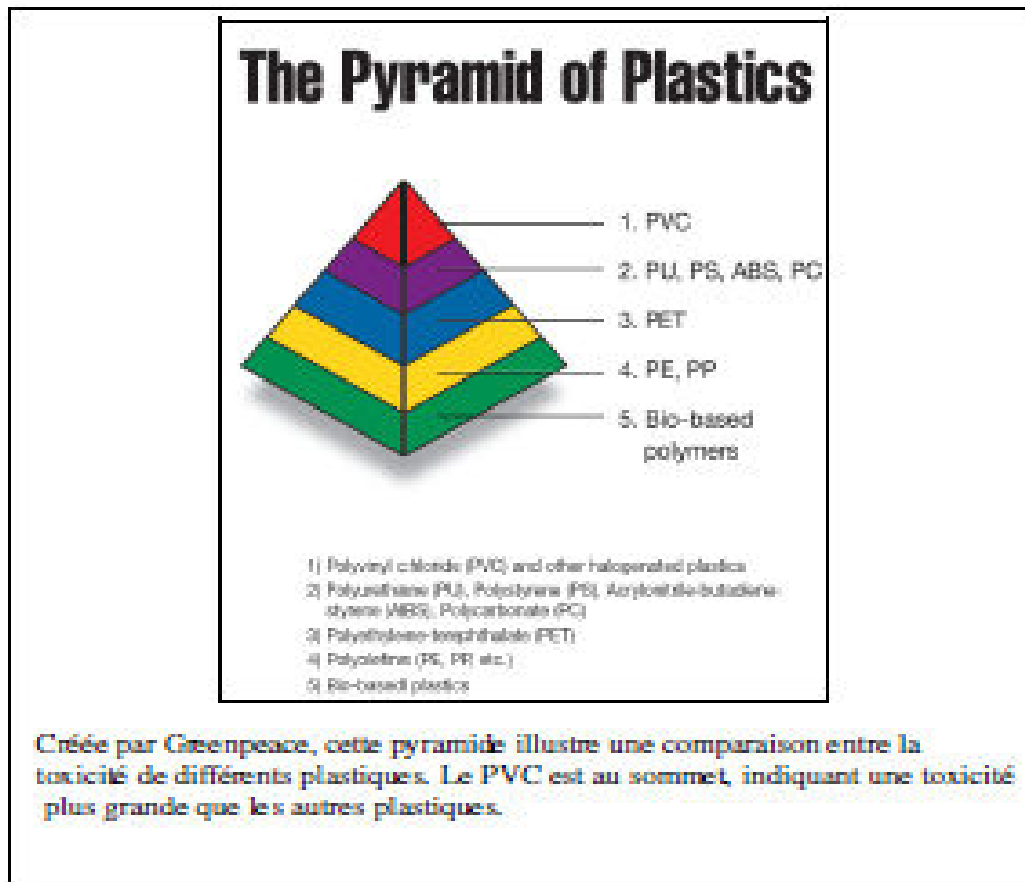
Selon l'INRS cité ci-dessus :

- ✓ 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 [12];

#### **III.2.2.4. 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 [12].





*Figure.III.1. Pyramide de plastique [22].*

### **III.2.3. Dégradation thermique du PVC**

Le PVC peut commencer à se décomposer à partir de 175-200°C et libère principalement des vapeurs d'acide chlorhydrique, très irritantes pour les muqueuses oculaires et respiratoires. Les quantités de vapeurs augmentent avec la température.

Du CVM résiduel, présent à l'état de traces, peut être libéré si le polymère contient du monomère résiduel.

Certains adjuvants, en particulier les plastifiants peuvent se volatiliser, notamment les phtalates et surtout se décomposer dès 150°C en libérant des produits irritants (aldéhydes, anhydride phtalique...) [12].

### **III.3. Classement des déchets**

Il convient d'indiquer que tous les déchets PVC de quelques origines qu'ils soient (ménagers, industriels, bâtiment) sont classés, tant au niveau français qu'europpéen, dans la vaste catégorie des déchets qui ne sont ni inertes ni dangereux :

- ✓ Déchets ménagers ;
- ✓ Déchets assimilés ;

- ✓ Déchets industriels banals [12] ;

### **III.3.1 Déchets de fabrication en PVC**

On entend par "déchets de fabrication", l'ensemble des rebuts et des chutes générés, dans l'industrie de transformation (plasturgie), par la fabrication de produits finis.

Par exemple, la fabrication de pièces plastiques par injection génère 10 à 15 % de déchets plastiques, ce qui s'explique par le fait qu'il existe une "carotte" (résultant de l'introduction de la résine dans le moule). A la sortie de la machine, on récupère, dans deux bacs différents, les pièces et les carottes. Ces dernières sont donc constituées de la même matière que les pièces fabriquées : il suffit donc de les réintroduire dans le procédé de fabrication.

Un exemple est fourni par le recyclage des chutes de fabrication des fenêtres. Avant l'installation d'une fenêtre dans un bâtiment, celle-ci a été fabriquée à partir de profilés : cette opération génère donc chez le fabricant de fenêtres des chutes qui sont récupérées et recyclées [12].

### **III.3.2. Gestion des Déchets de polychlorure de vinyle**

Quatre études ont été commandées par les services de la Commission afin d'évaluer les aspects techniques des principales options pour la gestion des déchets de PVC:

- ✓ Recyclage mécanique ;
- ✓ Recyclage chimique ;
- ✓ Incinération ;
- ✓ Mise en décharge [2] ;

#### **III.3.2.1. 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 ("down-cycling"), habituellement fabriqués à partir d'autres matériaux [2].

### **III.3.2.2. 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 [24].

### **III.3.2.3. Incinération**

Tous les déchets plastiques ne peuvent être recyclés. Une partie devra être incinérée afin d'en réduire sensiblement le volume.

Dans l'incinérateur, le PVC est converti en CO<sub>2</sub>, en eau, en acide chlorhydrique (HCl) et en quelques chlorures métalliques. La moitié du chlore formé dans les incinérateurs provient du PVC, l'autre moitié est générée par le bois, le papier, les déchets végétaux et les denrées alimentaires contenant du sel.

- ✓ CO<sub>2</sub> : étant donné la composition chimique particulière du PVC, la quantité de CO<sub>2</sub> par kg de matériau générée lors de l'incinération de PVC est nettement inférieure à celle résultant de l'incinération d'autres substances comme l'huile, le bois, le charbon ou d'autres plastiques. L'incinération du PVC contribue donc dans une moindre mesure à l'effet de serre.
- ✓ Acide chlorhydrique : l'incinération de déchets en PVC génère de l'acide chlorhydrique (HCl) dans les gaz de fumées, qui doit être neutralisé, à moins d'être récupéré. Cet acide chlorhydrique doit être éliminé des gaz de fumées avant que ceux-ci ne soient libérés dans l'atmosphère. On utilise pour ce faire des agents de neutralisation comme la chaux, qui transforme l'acide chlorhydrique en chlorure de calcium ou de sodium.

- ✓ Dioxine: la dioxine est un nom générique qui désigne un groupe de 210 substances appartenant aux dibenzoparadioxines et aux dibenzofuranes [25].

#### **III.3.2.4. 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 de déchets de PVC ont déjà été mises en décharge au cours des 30 dernières années.

Les États membres devront appliquer les dispositions de la directive 1999/31/CE sur la mise en décharge des déchets en 2001. Celle-ci prévoit que les installations des décharges doivent se conformer à un certain nombre de normes techniques concernant la protection du sol et de l'eau, y compris la collecte des lixiviats, l'imperméabilisation du fond et le contrôle des émissions de gaz.

Toutes les matières présentes dans les décharges, y compris le PVC, sont soumises à différentes conditions réactives, qui sont déterminées par des paramètres tels que la température, l'humidité, la présence d'oxygène, l'activité des micro-organismes et les interactions entre ces paramètres à différentes étapes du processus de vieillissement des décharges.

On distingue quatre phases principales:

- ✓ courte phase aérobie initiale ;
- ✓ phase acidogène anaérobie (de durée variable, supérieure à celle de la phase aérobie) ;
- ✓ phase méthanogène anaérobie (jusqu'à plusieurs siècles),
- ✓ phase aérobie finale [2];

*Chapitre. IV.*  
*Matériaux et Techniques*

## IV. Matériaux et Techniques

### IV.1. Matériaux utilisés

#### IV.1.1. Résine de polychlorure de vinyle « PVC.S.70 »

La résine PVC.S (suspension).70 est sous forme d'une poudre blanche avec une structure fortement poreuse préparée par polymérisation en suspension. Cette matière est destinée pour la préparation des mélanges d'isolation pour câbles électriques.

- *Marque commerciale* : SHINTECH SE 1200 ;
- *Caractéristiques de PVC résine* ;

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

Caractéristiques	Valeurs
Aspect	Poudre blanche
Valeur K	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%

#### IV.1.2. Additifs utilisés

Les additifs utilisés sont :

##### A. Charge

La charge utilisée est le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) en forme de poudre micronisée avec une granulométrie très fine et traité superficiellement.

- *Marque commerciale* : OMYACARB ;
- *Composition de CaCO<sub>3</sub> traité* ;

*Tableau(IV.2) : Composition de CaCO<sub>3</sub> traité.*

<b>Eléments</b>	<b>Teneur (%)</b>
Carbonate de calcium	≥ 98.5
Dioxyde de silicium	≤ 0.80
Oxyde de fer	≤ 0.20
Sulfates	≤ 0.25
MgO	≤ 0.01

- *Caractéristiques de CaCO<sub>3</sub> traité*

*Tableau(IV.3) : Quelques caractéristiques de CaCO<sub>3</sub> traité.*

<b>Caractéristiques</b>	<b>Valeurs</b>
Aspect	Poudre blanche
Forme des particules	microcristaux
Densité	2.7 g/cm <sup>3</sup>
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 32microns	≤ 0 %

**B. Stabilisant**

Le stabilisant utilisé est un complexe à base de Ca/Zn sous forme de poudre blanche.

- **Marque commerciale :** NEWSTAB CAB-11 ;
- **Caractéristiques de Ca/Zn ;**
  - ✓ Le produit ne doit pas contenir de métaux lourds comme le plomb ;
  - ✓ Le produit doit garantir une excellente stabilité thermique, facilite l'opération d'extrusion et donne une brillance aux extrudât ;
  - ✓ Le complexe doit conférer au mélange (M<sub>R</sub>) d'ENICAB ;
  - ✓ Le produit peut être sous forme de poudre, écailles ou granulés ;

**C. Plastifiant**

Le plastifiant utilisé est :

\*Le Di-Iso-DécyI-Phtalate (DIDP) stabilisé au Bis Phénol A.

- **Sa marque commerciale :** STABILISE PLASTIMED 2003 ;
- **Caractéristiques de DIDP,**

**Tableau(IV.4) : Quelques caractéristiques de DIDP.**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Valeurs</b>
Aspect	Liquide
Masse volumique à 20°C	0.965 – 0.975g/cm <sup>3</sup>
Indice de réfraction n <sub>D</sub> 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 <sup>2</sup>



## IV.2. Méthodologie

Toutes les étapes de travail sont regroupées dans l'organigramme suivant :

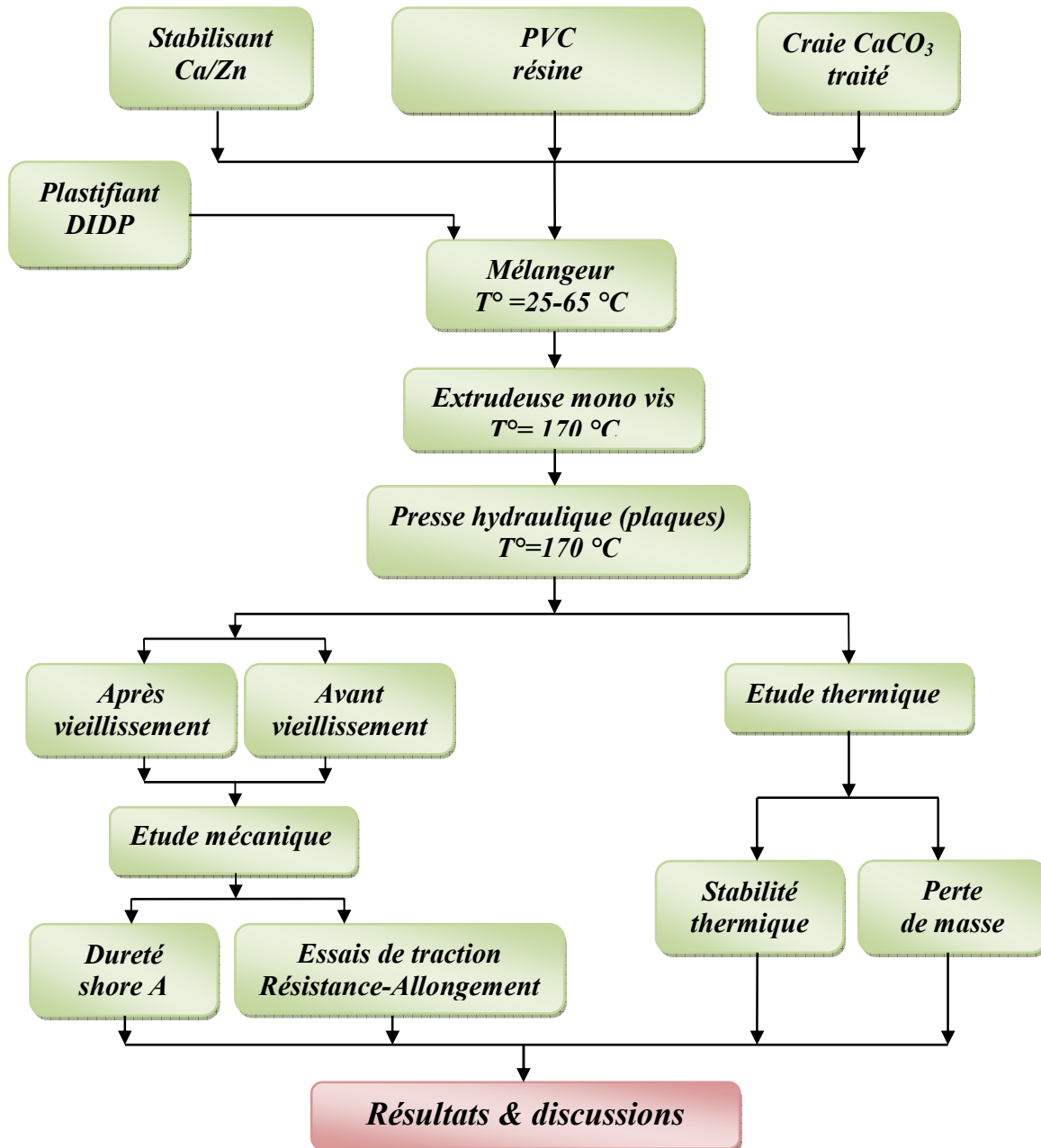


Figure IV.1. Organigramme de la partie expérimentale.

### IV.3. Préparation des mélanges

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

**Tableau(IV.5) : Différentes formulations utilisées.**

<i>Formulations</i>		<i>Quantités de la matière (kg)</i>	
		<i>Résine PVC-K70</i> + <i>Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>DIDP</i> + <i>Stabilisant</i>
<i>Isolant</i>	<i>PVC01A</i>	152,5	55,72
	<i>A</i>	150	53
	<i>B</i>	145	58,5
	<i>C</i>	150	56,5
	<i>D</i>	154	53

#### IV.3.1. Préparation de Dry – blend

Le PVC et les additifs en poudre ont été malaxés dans le petit mélangeur de type MSH25 à une température de 25 °C et sous une vitesse de rotation de 3000 tours/min. On suite on a ajouté le plastifiants ; lorsque le mélange atteint à une température de 45 °C. On a continué le malaxage avec l'augmentation de la température jusqu'à 65 °C, on suite on a refroidit le mélange par l'arrive d'eau de refroidissement à la chemise du mélangeur, pour le récupérer.

#### IV.3.2. Extrusion de Dry – blend

Les mélanges à base de PVC obtenus ont été extrudés à l'aide d'une extrudeuse mono-vis (plasti-corder) de type « PLE330 ».

Les conditions d'extrusion on été les mêmes pour tous les mélanges :

- ✓ Les températures des trois zones de l'extrudeuse ont été réglées à 140 ,150 et 170 °C ;
- ✓ La vitesse de rotation est de 70 tr/min (1<sup>ère</sup> extrusion) et 20 tr/ min (2<sup>ème</sup> extrusion) ;

À la sortie de l'extrudeuse le mélange se présente alors sous forme des bandes.

### **IV.3.3. Préparation des plaques (pressage)**

Les bandes obtenues par la 1<sup>ère</sup> extrusion ont été découpées selon des dimensions bien précises et mises dans le moule, compressées sur une presse de type « polystat 300 S » pour obtenir des échantillons en forme de plaques d'épaisseur 2 mm.

Les conditions opératoires sont les suivantes :

- Température de chauffage 170 °C.
- Temps de la mise en pression 9 min :
  - ✓ A 0 bar pendant 4 min.
  - ✓ A 50 bar pendant 1 min.
  - ✓ A 100 bar pendant 1 min.
  - ✓ A 200 bar pendant 1 min.
  - ✓ A 300 bar pendant 2 min.
- À la fin de l'opération, on a refroidi les plaques par l'eau.

#### **❖ Préparation des éprouvettes**

La préparation des éprouvettes a été effectuée par découpeure des plaques à l'aide d'une découpeuse. On a mesuré l'épaisseur de ces éprouvettes, à l'aide d'un pied à coulisse, l'épaisseur considérée est la moyenne des trois valeurs mesurées.

## **IV.4. Caractérisations des mélanges**

### **IV.4.1. Etude de vieillissement**

Les éprouvettes préparées ont été introduit dans une étuve de type (WSU 100) pendant 7 jours à une température de 80 °C.

Cet essai a été fait pour étudier :

- ✓ L'influence de la température sur le comportement mécanique (allongement et résistance à la rupture) des mélanges à base PVC ;
- ✓ La perte de masse.

#### **IV.4.2. Etude mécanique**

##### **IV.4.2.1. Test de traction**

Cet étude a été réalisée à l'aide d'une machine de traction de type « Zuick/Roell Z 100 » assisté par un micro-ordinateur.

##### **Condition de travail :**

- ✓ Vitesse d'élongation est de 120 mm/min
- ✓ L'essai a été fait à la température ambiante.

La contrainte à la rupture a été calculée selon la relation suivante :

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

Où :

**F** : la force appliquée en (N).

**S** : la section de l'éprouvette en (mm<sup>2</sup>).

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

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

Où:

**I<sub>0</sub>** : Allongement initial mesuré en mm.

**I** : Allongement final mesuré en mm.

##### **IV.4.2.2. Dureté shore A**

La dureté Shore A a été déterminée à l'aide d'un appareil de type Zuick/Roell pour tous les mélanges étudiés.

#### **IV.4.3. Etude thermique**

##### **IV.4.3.1. Stabilité thermique**

Le but de ce test est de connaître le temps de dégradation de chaque mélange. On a posé les tubes en verre fermés à une extrémité dans un thermostat chargé par un thermomètre. La température sera toujours fixée à 200 °C, ce thermostat contient des orifices qui sont remplis avec l'huile (IRM 902-ASTM2) où les tubes sont émergés. On a utilisé le papier PH qui indiquer

la dégradation du mélange (le dégagement de Cl donne la couleur rouge). et la figure IV .2. montre clairement cet essai.

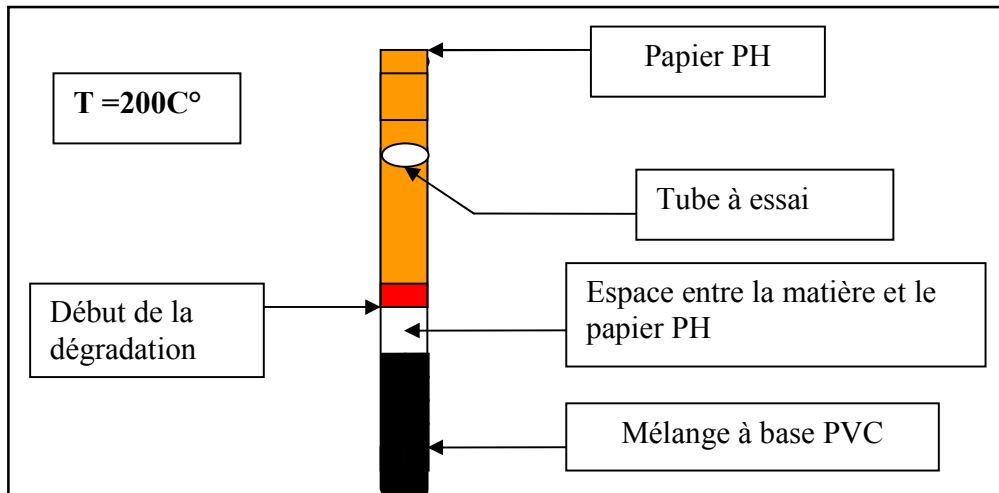


Figure IV.2. Essai de la stabilité thermique.

#### IV.4.3.2. Perte de masse

La perte de masse est basée sur le poids des éprouvettes qui ont été pesées avant et après les mettre dans l'étuve à 80 °C pendant sept jours.

La perte de masse a été calculée par la relation suivante :

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

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  $mm^2$ .

Cette surface a été déterminée par la relation suivante :

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

Où:

$E$  : épaisseur de l'éprouvette en mm.



*Chapitre. V.*  
*Résultats et Discussions*

## V. Résultats et Discussion

### V.1. Propriétés mécaniques

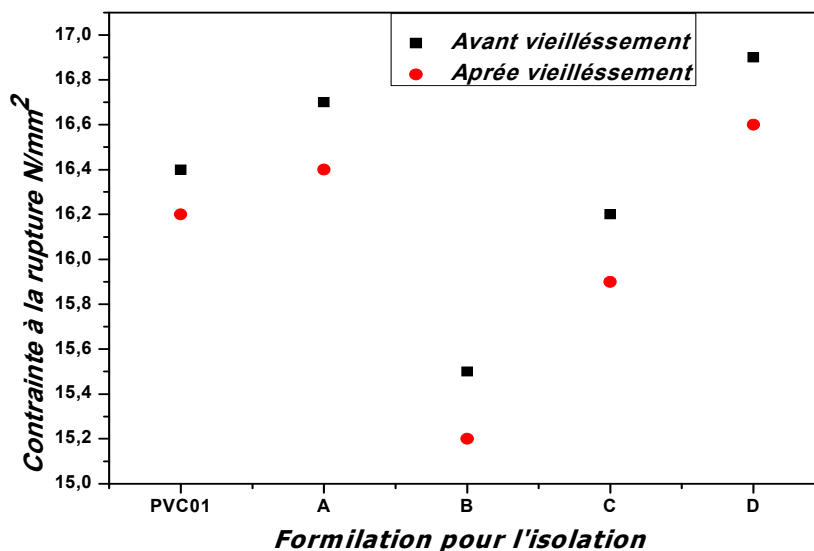
#### V.1.1. Test de traction

##### A. Contrainte à la rupture

La variation de la contrainte à la rupture en fonction des différents mélanges d'isolation à base de PVC est illustrée dans la figure (V.1). Les résultats obtenus ont été regroupés dans le tableau *A.II* (voir annexe). On note que les valeurs de la contrainte à la rupture de ces formulations sont conformes à la norme internationale CEI 60227 (toutes les valeurs  $\geq 12$  N/mm<sup>2</sup>). Les résultats obtenus montrent que la contrainte à la rupture augmente dans les mélanges qui ont un taux de (CaCO<sub>3</sub>) élevé (mélange D), parce que la présence de la charge (CaCO<sub>3</sub>) augmente la rigidité.

Lorsque on compare les résultats avant et après vieillissement on trouve que les valeurs de la contrainte à la rupture sont plus élevées que les valeurs de ce test après vieillissement.

Pour le mélange (B) on trouve que la contrainte à la rupture a une faible valeur par rapport aux autres mélanges, ce qui est expliqué par la présence d'une quantité de la charge (CaCO<sub>3</sub>) moins élevée et la présence d'une grande quantité de plastifiant (DIDP) par rapport aux mélanges (PVC01, A, B, C, D).



*Figure. V.1. Variation de la contrainte à la rupture médiane en fonction des formulations d'isolation.*

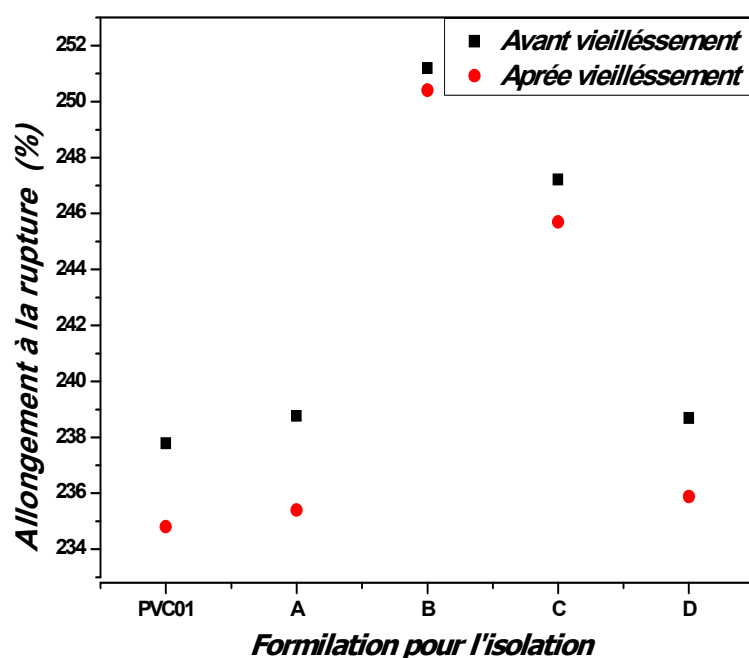


**B. Allongement à la rupture**

La figure (V.2) présente la variation de l'allongement à la rupture en fonction des différentes formulations d'isolation, Les résultats obtenus ont été regroupés dans le tableau .A.II (voir annexe). On remarque que les valeurs de l'allongement à la rupture de ces formulations sont conformes à la norme internationale CEI 60227 (toutes les valeurs  $\geq 150$  %).

On note aussi que le mélange (B) a une valeur de l'allongement à la rupture plus élevée que l'allongement à la rupture dans les autres mélanges, cette augmentation est due à la présence d'une grande quantité de plastifiant (DIDP) par rapport aux autres mélanges.

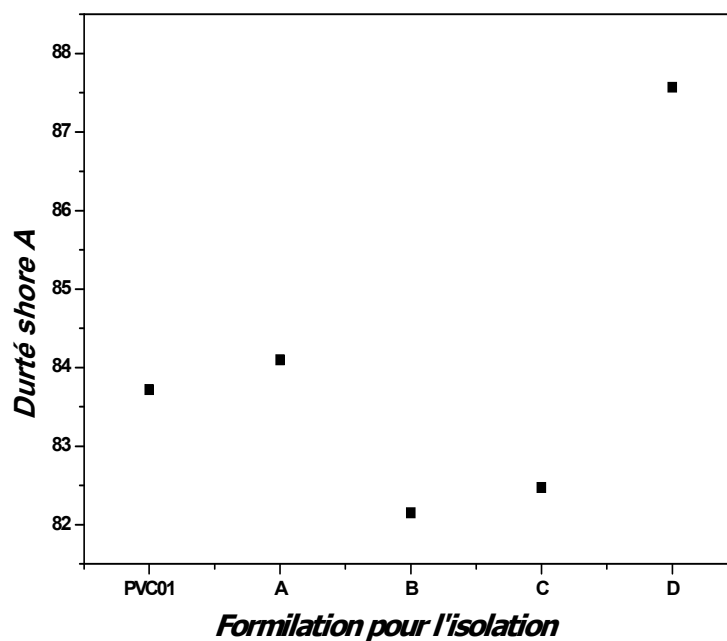
Pour les mélanges (PVC01A, A, C, D), on constate que l'allongement à la rupture augmente avec l'augmentation de taux de (DIDP), ce qui permet de dire que ce dernier améliore la flexibilité de PVC.



*Figure .V.2. Variation de l'allongement à la rupture médiane en fonction des formulations d'isolation.*

### V.1.2. Dureté shore A

Il est observé d'après les résultats obtenus de la dureté shore A qui est regroupé dans le tableau .A.III (voir annexe) représentés dans la figure (V.3), que les mélanges (PVC01A, A, B, C) sont moins rigides par rapport au mélange (D) .L'augmentation de la dureté dans ce mélange est due à la présence d'une grande quantité de la charge ( $\text{CaCO}_3$ ) qui augmente la rigidité du pvc.

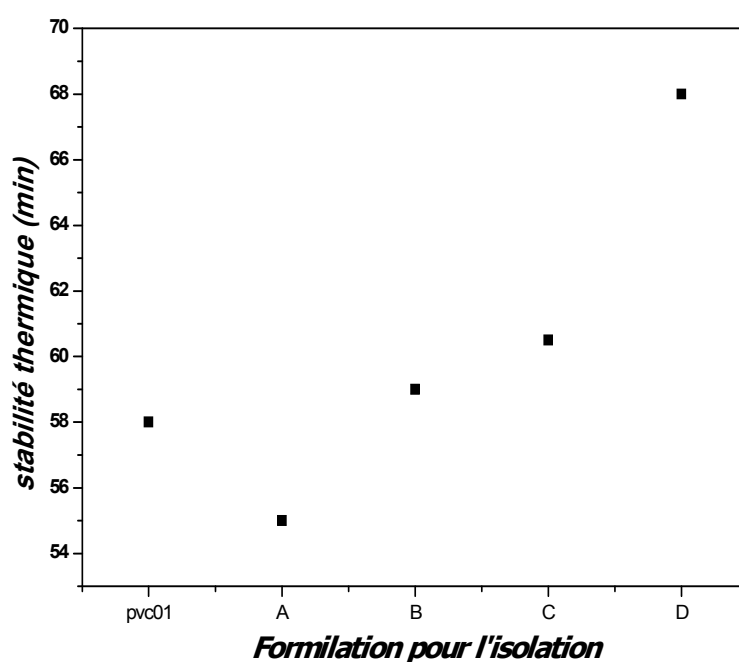


*Figure .V.3. Variation de la dureté shore A en fonction des formulations d'isolation.*

## V.2. Propriétés thermique

### V.2.1. Stabilité thermique

Les résultats de la stabilité thermique des formulations (PVC01A, A, B, C, D) sont illustrés dans la figure (V.4) Les résultats obtenus ont été regroupés dans le tableau .A.IV (voir annexe), on constate que le mélange le plus stable est le mélange (D), parce qu'il contient une quantité de stabilisant (Ca/Zn) plus élevée par rapport aux autres mélanges. Ou le rôle du stabilisant empêche la dégradation du pvc (le dégagement de CL).



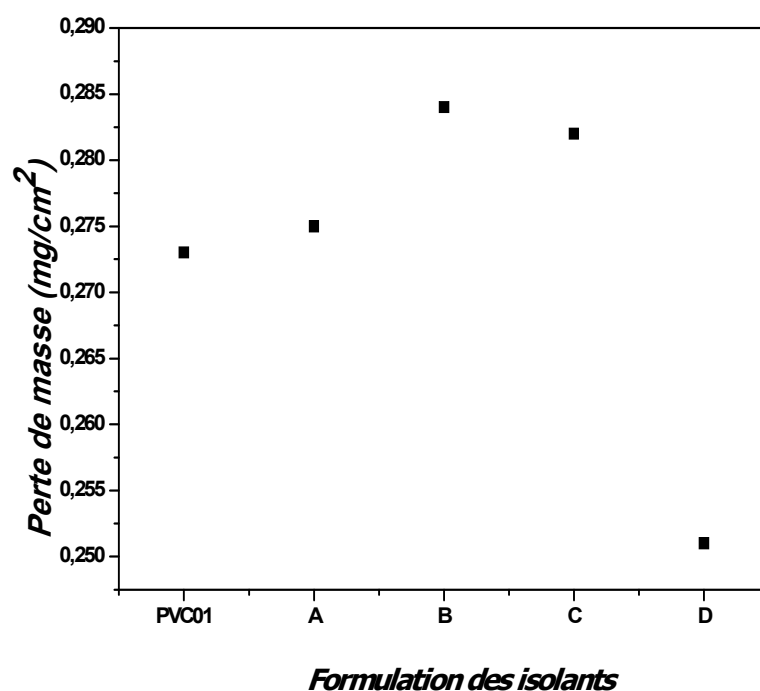
*Figure .V.4. Variation de la stabilité thermique en fonction des formulations d'isolation.*

### V.2.2. Perte de masse

La variation de la perte de masse des différentes formulations est montrée dans la figure (V.5) Les résultats obtenus ont été regroupés dans le tableau .A.V (voir annexe). on observe que les résultats de la perte de masse de ces formulations sont conformes à la norme internationale CEI 60227 (toutes les valeurs  $\leq 2 \text{ mg/cm}^2$ ).

Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas un effet remarquable du vieillissement sur la perte de masse dans tous les mélanges préparés. Ce qui permet de dire qu'il y a une très faible évaporation de plastifiant (DIDP).

Lorsqu'on compare ces différents mélanges, on trouve que la perte de masse est très faible pour le mélange (D) par rapport aux autres mélanges, où ce mélange a une grande quantité de stabilisant donc on peut dire que la présence d'un taux de stabilisant plus élevé dans le mélange (D) par rapport aux autres mélanges empêche l'évaporation de DIDP et la dégradation du pvc.



*Figure. V.5. Variation de la perte de masse médiane en fonction des formulations d'isolation.*

*Chapitre .VI.*  
*Etude économique*

## VI. Etude économique

### VI.1.Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude sera de développer la formulation (PVC01) pour isolation des câbles. Nous avons étudié quatre mélanges proposés pour chaque type dans le but de minimiser le coût pour qu'ils soient plus économiques et homologues à celles utilisées actuellement.

Les mélanges développés devront être :

- ✓ Economique (moins chers que les mélanges usuels) ;
- ✓ Réalisables techniquement et avec les équipements disponibles dans l'entreprise l'ENICAB ;
- ✓ Réalisables avec les matières usuelles disponibles dans l'entreprise l'ENICAB ;
- ✓ Conformes pour le l'isolation du câbles domestique ;

### VI.2.Calcul des coûts des mélanges

Le calcul de coût d'un mélange est effectué selon les prix unitaires récents des matières premières qui sont donnés régulièrement par la structure Achat.

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

<b>Formulation</b>	<b>PVC-K70 Craie(CaCO<sub>3</sub>) traité</b>	<b>Stabilisant (Ca /Zn)+Plastifiant</b>
Mélange (PVC01)	152,5	55,72
Mélange(A)	150	53
Mélange(B)	145	58,5
Mélange(C)	150	56,5
Mélange(D)	154	53

Tableau (VI.2) : Quelques informations sur les matières premières utilisées.

<i>Les matières premières</i>	<i>PVC-K70</i>	<i>Crie (CaCO<sub>3</sub>)</i>	<i>Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>Plastifiant (DIDP)</i>
<i>Densités(Kg /dm<sup>3</sup>)</i>	<i>1,38</i>	<i>2,68</i>	<i>1,5</i>	<i>0,984</i>
<i>Prix (DA /kg)</i>	<i>77,928</i>	<i>11,322</i>	<i>224,4</i>	<i>162 ,690</i>

### VI.2.1. Coût massique

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

$$\text{Coût totale} = (m_{\text{PVC}} \cdot \text{prix}_{\text{PVC}}) + (m_{\text{crie}} \cdot \text{prix}_{\text{crie}}) + (m_{\text{DOP}} \cdot \text{prix}_{\text{DOP}}) + (m_{\text{stabilisant}} \cdot \text{prix}_{\text{stabilisant}})$$

$$\text{Masse totale} = m_{\text{PVC}} + m_{\text{crie}} + m_{\text{DOP}} + m_{\text{stabilisant}}$$

#### -Mélange (PVC 01)

$$\text{Coût totale} = 17650,998 \text{ DA}$$

$$\text{Masse totale} = 208,22 \text{ Kg}$$

$$\text{Coût massique} = 84,77090577 \text{ DA/Kg}$$

#### -Mélange (A)

$$\text{Coût totale} = 17166,6 \text{ DA}$$

$$\text{Masse totale} = 203 \text{ Kg}$$

$$\text{Coût massique} = 84,56453202 \text{ DA/Kg}$$

**-Mélange (B)**

Coût totale=18035,64DA

Masse totale=203,5Kg

**Coût massique=88,62722359DA/Kg**

**-Mélange (C)**

Coût totale=17828 ,58DA

Masse totale=206,5Kg

**Coût massique=86,33694915DA/Kg**

**-Mélange (D)**

Coût totale= 17335,308DA

Masse totale= 207Kg

**Coût massique=83,74544928DA/Kg**

**VI.2.2. Coût volumique**

**Coût volumique= Coût massique. Densité théorique**



**VI.2.2. 1. Calcul de la densité théorique**

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

V : Volume (dm<sup>3</sup>) ; m : Masse(Kg) ; d :(Kg /dm<sup>3</sup>)

$$\text{-Volume}_{\text{pvc}} = \text{Masse}_{\text{pvc}} / \text{Densité}_{\text{pvc}}$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}} = \text{Masse}_{\text{crie}} / \text{Densité}_{\text{crie}}$$

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

$$\text{-Volume}_{\text{stb}} = \text{Masse}_{\text{stb}} / \text{Densité}_{\text{stb}}$$

**-Mélange(PVC01)**

$$\text{-Volume}_{\text{PVC}} = 72,46376812 \text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}} = 19,58955224 \text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{DIDP}} = 53,35365854 \text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{stb}} = 2,147 \text{dm}^3$$

$$\text{Volume totale} = 147,5539789 \text{dm}^3$$

$$\text{Masse totale} = 208,22 \text{Kg}$$

$$\text{Densité théorique} = 1,411144510 \text{ kg /dm}^3$$

$$\text{Coût volumique} = 119,62399829 \text{DA/dm}^3$$

**-Mélange (A)**

$$\text{-Volume}_{\text{PVC}}=72,46376812\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}}=18,65671642\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{DIDP}}=50,81300813\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{stb}}=2\text{dm}^3$$

$$\text{Volume totale : } 143,93349267 \text{ dm}^3$$

$$\text{Masse totale}=203\text{kg}$$

$$\text{Densité théorique}=1,41037361 \text{ kg /dm}^3$$

$$\text{Coût volumique}=119,26758430\text{kg /dm}^3$$

**-Mélange (B)**

$$\text{-Volume}_{\text{PVC}}=72,46376812\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}}=16,79104478\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{DIDP}}=55,89430894\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{stb}}=2,33\text{dm}^3$$

$$\text{Volume totale}=147,47912184 \text{ dm}^3$$

$$\text{Masse totale}=203,5\text{kg}$$

$$\text{Densité théorique}=1,37985633\text{kg /dm}^3$$

$$\text{Coût volumique}=122,29283548\text{kg /dm}^3$$

**-Mélange (C)**

$$\text{-Volume}_{\text{PVC}}=72,46376812\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}}=18,65671642\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{DIDP}}=52,84552846\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{stb}}=3\text{dm}^3$$

$$\text{Volume totale}=146,966013\text{dm}^3$$

$$\text{Masse totale}=206,5\text{Kg}$$

$$\text{Densité théorique}=1,40508677 \text{ kg /dm}^3$$

$$\text{Coût volumique}=121,31090501 \text{ kg /dm}^3$$

**-Mélange (D)**

$$\text{-Volume}_{\text{PVC}}=72,46376812\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{crie}}=20,14925373\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{DIDP}}=48,78048780\text{dm}^3$$

$$\text{-Volume}_{\text{stb}}=3,33\text{dm}^3$$

$$\text{Volume totale}=144,72350965\text{dm}^3$$

$$\text{Masse totale}=207\text{Kg}$$

$$\text{Densité théorique}=1,43031357 \text{ kg /dm}^3$$

$$\text{Coût volumique}=119,78225253 \text{ kg /dm}^3$$

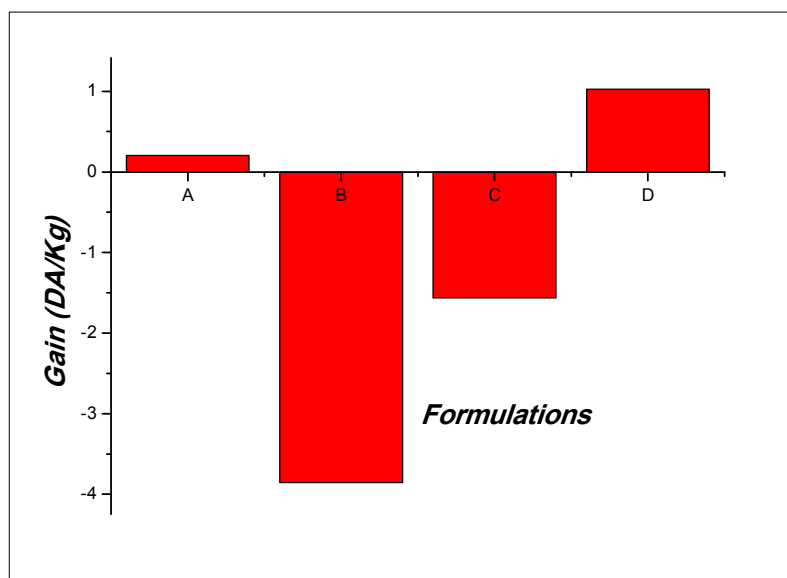
### VI.3. Calcule de gain

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

$$\text{Gain} = \text{Coût mélange référentielle} - \text{Coût mélange proposé}$$

**Tableau(VI.3) : Gain par rapport au mélange référentiel (PVC01).**

Formulation	PVC01	A	B	C	D
Coût(DA/Kg)	83,40648065	83,26064039	87,109754210	84,41426150	81,61428986
Coût(DA/dm <sup>3</sup> )	117,80598812	117,53068084	120,31519894	118,76087719	116,89961434
Gain(DA/Kg)		0,20637375	-3,85631782	-1,56604338	1,02545649
Gain(DA/dm <sup>3</sup> )		0,35641399	-2,668835651	1,68690672	-0,15825424



**Figure. VI.1.** Variation de gain des mélanges (A, B, C, D) par rapport au mélange référentiel (PVC01).

D'après les résultats obtenus on conclut que le mélange (D) plus économique que le mélange référentiel (PVC01).

Le gain est de l'ordre de :

1,03DA /Kg

## *Conclusion générale*

## *Conclusion générale*

D'après les résultats obtenus, on conclut que :

- ❖ La contrainte à la rupture et la dureté Schor A augmentent avec l'augmentation de taux de la charge ( $\text{CaCO}_3$ ) dans le mélange à base de PVC ce qui montre que cette charge augmente la rigidité de la résine de PVC.
  - ❖ Les résultats de l'allongement à la rupture montrent clairement que la flexibilité de PVC est améliorée par l'addition de DIDP (plastifiant).
  - ❖ L'incorporation de stabilisant (Ca/Zn) augmente la stabilité thermique des mélanges à base de PVC, c'est-à-dire empêche : la réaction de dégradation de PVC (le dégagement de HCl) et l'évaporation de plastifiant (DIDP).
  - ❖ Les faibles valeurs de la perte de masse montrent que tous les mélanges qu'on a préparés ont une bonne résistance au vieillissement.
  - ❖ le mélange (D) donne un gain important (d'après les études économiques : calcul de coût et de gain) par rapport aux autres mélanges (soient le mélange standard ou les mélanges proposés)
- Donc les résultats soient mécaniques, thermiques et économique qu'ont été obtenus permet de dire que le mélange (D) est le meilleur mélange par rapport au mélange référentiel (PVC01A) et aux autres mélanges proposés.

## *Références bibliographie*



- [1] : S. Djedjiga ; « Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques » ; Mémoire de Magister en Electrotechnique université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ; Algérie (2011).
- [2] : A. Laurent ; « Réponse de la France au livre vert de la commission concernant les problèmes environnementaux du PVC » ; Bruxelles ; Bljike(2000).
- [3]: Z. Mohamed ; « ÉTUDE DES PROTECTIONS DES RÉSEAUX ÉLECTRIQUES MT (30 & 10 kV) » Mémoire de Magister En électrotechnique Option : Modélisation et Commande des Machines Electriques ; Université Mentouri Constantine ; Algérie(2010).
- [4] :D.Ausseur ; «Poly (chlorure de vinyle)» ; Technique de l'ingénieur ; AM 3325 ; France.
- [5] : «LA CHIMIE DU PVC» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : « [http://www.polidou.fr/fichiers/chimie\\_du\\_pvc.pdf](http://www.polidou.fr/fichiers/chimie_du_pvc.pdf) » consulté le 26/2/2013.
- [6] : «Le polychlorure de vinyle» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «[http://fr.wikipedia.org/wiki/Polychlorure\\_de\\_vinyle .pdf](http://fr.wikipedia.org/wiki/Polychlorure_de_vinyle.pdf) » consulté le 11/3/2013.
- [7] : J-P.TROGNON , J.VERDU ;M.PIPERAUD : « structures-propriétés mise en œuvre et normalisation , précis de matières plastiques » ; 4<sup>ème</sup> édition Paris.
- [8] : « MATERIAUX COMPOSANTS DU SECTEUR : La fabrication du PVC » ; [en ligne] ; Disponible sur le site «<http://metaluver.wifeo.com/documents/Lafabrication-du-PVC.pdf> » consulté le 4/3/2013.
- [9] : «Oui, c'est du PVC Un choix durable pour le secteur de la construction » ; [en Ligne] Disponible sur le site : «[http://www.pvcinfo.be .pdf](http://www.pvcinfo.be.pdf) » consulté le 7/3/2013.
- [10] : «.PVC - Information publicitaire - Previ» ; < en ligne > ; Disponible sur le site : «<http://www.previ.be/page.cfm?page=271.pdf> » consulté le 4/3/2013.

- [11] :S.GAGGIONE ; «Le polychlorure de vinyle» ; < en ligne » ; Disponible sur le site : «[http:// www.gaggione.fr/downloads/polychloruredevinylepvc.pdf](http://www.gaggione.fr/downloads/polychloruredevinylepvc.pdf)» consulté le 18/2/2013.
- [12] : «Le PVC en "Questions"» ; < en ligne » ; Disponible sur le site : «<http://ces@teaser.fr.pdf>» consulté le 11/2/2013.
- [13] : « Métaux Détail Services : PVC (Polychlorure de vinyle) » ; < en ligne » ; Disponible sur le site : «<http://www.metaux-detail.com.pdf>» consulté le 6/2/2013.
- [14] : «Dossier de presse : Le PVC dans la construction» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «[http://www.laplasturgie.fr/communiquers/PVC\\_construction\\_mars2010.pdf](http://www.laplasturgie.fr/communiquers/PVC_construction_mars2010.pdf)» ; forum PVC France ; (2010) consulté le 21/2/2013.
- [15] : «Conducteurs isolants et câbles » ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «<http://www4b.ac-lille.fr/~lpaa/sen-seid/pdf/Conducteurs.pdf>» consulté le 12/3/2013.
- [16] : « Conducteur » ; [en ligne] ; Disponible sur le site : « <http://www4b.ac-lille.fr/~lpaa/sen-seid/pdf/Conducteurs.pdf> - » consulté le 12/3/2013.
- [18] : M.TALEB «PHENOMENES AUX INTERFACES DES ISOLANTS : MESURE ET SIMULATION » Mémoire de Doctorat ; Option : Génie Electrique ; l'Université Toulouse III-Paul Sabatier ; (2011).
- [19] : «Technologie des câbles moyenne tension» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «<http://www.nexans.ch/eservice/Switzerland-en/fileLibrary/.../Switzerland/-pdf>» consulté le 14/3/2013.
- [20] : « Enveloppe isolante » ; [en ligne] ; Disponible sur le site : « [http://www.geea.org/IMG/pdf/CONDUCTEURS\\_ET\\_CABLES\\_COURS\\_](http://www.geea.org/IMG/pdf/CONDUCTEURS_ET_CABLES_COURS_) » consulté le 14/3/2013.
- [21] : « Danger de PVC » ; [en ligne] ; Disponible sur le site « <http://www.aroy.net/pointbiologique/multi-pvc.pdf> » consulté le 20/3/2013.
- [22] : «Le polychlorure de vinyle» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «<http://www.greenpeace.ch,courrielgreenpeace.suisse@ch.greenpeace.org.pdf>» consulté le 11/3/2013.

[2 3] : *H.Raouia et B.Soumia «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 » Mémoire de Master en Génie de Procédés ; Université Mohamed Khider-Biskra ; Algérie ; (2012).*

[24] : *Global University for Environment and Safety Training (Guest) ; «Incinération» ; [en ligne] ; Disponible sur le site : «[http://www.pvcinfo.be/home.asp ?=177](http://www.pvcinfo.be/home.asp?i=177)» consulté le 11/3/2013.*

# *Annexe*

## ***A.I. Tableaux des compositions des mélanges***

### **A.I.1. Formulation d'isolation**

#### ***-Mélange(PVC01)***

*Tableau(A.1) : Composition du mélange (PVC01).*

<b><i>Matériaux</i></b>	<b><i>Quantités en kilogramme</i></b>
<i>PVC-K70+Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>152,5</i>
<i>Plastifiant(DOP) +Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>55,72</i>

#### ***-Mélange (A)***

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

<b><i>Matériaux</i></b>	<b><i>Quantités en kilogramme</i></b>
<i>PVC-K70+Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>150</i>
<i>Plastifiant(DOP) +Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>53</i>

#### ***-Mélange (B)***

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

<b><i>Matériaux</i></b>	<b><i>Quantités en kilogramme</i></b>
<i>PVC-K70+Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>145</i>
<i>Plastifiant(DOP) +Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>58,5</i>

#### ***-Mélange (C)***

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

<b><i>Matériaux</i></b>	<b><i>Quantités en kilogramme</i></b>
<i>PVC-K70+Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>150</i>
<i>Plastifiant(DOP) +Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>56,5</i>

#### ***-Mélange (D)***

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

<b><i>Matériaux</i></b>	<b><i>Quantités en kilogramme</i></b>
<i>PVC-K70+Craie (CaCO<sub>3</sub>) traité</i>	<i>154</i>
<i>Plastifiant(DOP) +Stabilisant (Ca /Zn)</i>	<i>53</i>

## A.II. Tableaux des essais de traction

### A.II.1. Formulation d'isolation

- *Avant vieillissement*

#### *-Mélange (PVC01)*

*Tableau (A .6) : Essai de traction du mélange(PVC01) avant vieillissement.*

<i>Paramètres</i>				<i>Moyenne</i>		<i>Médiane</i>	
<i>N°</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>
1	2,14	242,62	18,3	235,592	16,92	237,79	16,4
2	2,08	226,47	15,6				
3	2,08	237,79	16,4				
4	2,08	232,01	15,8				
5	2,15	239,07	18,5				

#### *-Mélange (A)*

*Tableau (A .7) : Essai de traction du mélange(A) avant vieillissement.*

<i>Paramètres</i>				<i>Moyenne</i>		<i>Médiane</i>	
<i>N°</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\epsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>
1	2,19	229,69	16,7	241,584	17,02	238,77	16,7
2	2,23	238,77	18,3				
3	2,21	254,32	18,8				
4	2,21	232,08	16,3				
5	2,19	253,06	15,0				

**-Mélange (B)****Tableau (A .8) : Essai de traction du mélange(B) avant vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,22	254,72	14,1	244,618	16,16	251,2	15,5
2	2,23	260,71	15,5				
3	2,24	227,87	14,5				
4	2,20	228,59	18,2				
5	2,20	251,2	18,5				

**-Mélange (C)****Tableau (A .9) : Essai de traction du mélange(C) avant vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,22	240,55	17,7	247,892	16,86	247,23	16,2
2	2,23	247,23	17,4				
3	2,24	240,95	16,0				
4	2,20	266,83	16,1				
5	2,20	243,90	16,2				

**-Mélange (D)****Tableau (A .10) : Essai de traction du mélange(D) avant vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,15	211,71	15,8	226,426	17,02	238,69	16,9
2	2,16	241,17	18,7				
3	2,16	221,09	15,7				
4	2,14	238,69	18,0				
5	2,11	219,47	16,9				

▪ *Après vieillissement*

*-Mélange (PVC01)*

*Tableau (A.11) : Essai de traction du mélange(PVC01) après vieillissement.*

<i>Paramètres</i>				<i>Moyenne</i>		<i>Médiane</i>	
<i>N°</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>
1	2,17	234,8	16,6	237,92	15,92	234,8	16,2
2	2,16	251,4	16,6				
3	2,18	234,3	16,2				
4	2,18	218,5	15,0				
5	2,19	250,6	15,2				

*-Mélange (A)*

*Tableau (A.12) : Essai de traction du mélange(A) après vieillissement.*

<i>Paramètres</i>				<i>Moyenne</i>		<i>Médiane</i>	
<i>N°</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i><math>\varepsilon_r</math> (%)</i>	<i><math>\bar{\sigma}_r</math> (N/mm<sup>2</sup>)</i>
1	2,14	295,7	16,9	245,6	16,46	235,4	16,5
2	2,09	216,2	15,9				
3	2,13	275,0	16,7				
4	2,12	235,4	16,3				
5	2,09	205,7	16,5				



**-Mélange (B)****Tableau (A .13) : Essai de traction du mélange(B) après vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,07	250,4	16,9	232,4	15,58	250,4	15,2
2	2,2	251,2	14,6				
3	2,2	255,0	15,2				
4	2,34	200,4	14,7				
5	2,15	204,8	16,5				

**-Mélange (C)****Tableau (A .14) : Essai de traction du mélange(C) après vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,22	238,4	15,9	257	16,08	245,7	15,9
2	2,24	245,7	15,8				
3	2,23	278,9	15,9				
4	2,23	242,3	16,4				
5	2,21	279,7	16,4				

**-Mélange (D)****Tableau (A .15) : Essai de traction du mélange(D) après vieillissement.**

<b>Paramètres</b>				<b>Moyenne</b>		<b>Médiane</b>	
<b>N°</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\epsilon_r</math> (%)</b>	<b><math>\sigma</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>
1	2,28	216,2	16,6	233,92	15,92	235,0	16,6
2	2,22	219,1	16,7				
3	2,18	256,4	16,8				
4	2,27	242,9	15,2				
5	2,25	235,0	14,3				

### A.III. Tableau de dureté shore A

#### A.III.1. Formulation d'isolation

Tableau(A.16) : Dureté shore de différentes formulations pour l'isolation.

Mélanges	Dureté shore A
Mélange(PVC01)	83,57
Mélange A	84,1
Mélange B	82,15
Mélange C	82,49
Mélange D	87,92

### A.IV. Tableau de Stabilité thermique

#### A.IV.1. Formulation d'isolation

Tableau(A.17) : Stabilité thermique de différentes formulations pour l'isolation.

Mélanges	Temps
Mélange(PVC01)	58
Mélange A	55
Mélange B	59
Mélange C	61
Mélange D	68

### A.V. Tableaux des pertes de masse

#### A.V.1. Formulation d'isolation

-Mélange (PVC01)

Tableau (A.18) : Perte de masse des échantillons du mélange (PVC01).

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm <sup>2</sup> )	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	$P_E - P_S$	Perte de masse (mg/cm <sup>2</sup> )	Médiane
1	2.18	16,48	1,9150	1,9104	0,0046	0,279	0,273
2	2.19	16.50	1,9220	1,9166	0,0054	0,327	
3	2.17	16.46	1.9116	1,9073	0,0043	0,261	
4	2.14	16.41	1.9085	1,9043	0,0042	0,255	
5	2.16	16.44	1.9193	1,9148	0,0045	0,273	

**-Mélange (A)****Tableau (A.19) : Perte de masse des échantillons du mélange (A).**

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm <sup>2</sup> )	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	$P_E - P_S$	Perte de masse (mg/cm <sup>2</sup> )	Médiane
1	2,05	16,25	1,8714	1,8669	0,0045	0.276	0,275
2	2,10	16,34	1,8738	1,8690	0,0048	0.293	
3	2,08	16,30	1,8387	1,8352	0,0035	0.214	
4	2,11	16,35	1,8798	1,8753	0,0045	0,275	
5	2,10	16,34	1,8804	1.8765	0,0039	0,238	

**-Mélange (B)****Tableau (A.20) : Perte de masse des échantillons du mélange (B).**

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm <sup>2</sup> )	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	$P_E - P_S$	Perte de masse (mg/cm <sup>2</sup> )	Médiane
1	2,20	16,52	1,9627	1,9578	0,0049	0.296	0,284
2	2,21	16,53	1,9476	1,9431	0,0045	0.272	
3	2,20	16,52	1,9179	1,9132	0,0047	0.284	
4	2,19	16,50	1,9882	1,9852	0,003	0,181	
5	2,18	16,48	1,9593	1.9546	0,0047	0,285	

**-Mélange (C)****Tableau (A.21) : Perte de masse des échantillons du mélange (C).**

N°	Epaisseur (mm)	Surface (cm <sup>2</sup> )	Poids d'entrée (g)	Poids de sortie (g)	$P_E - P_S$	Perte de masse (mg/cm <sup>2</sup> )	Médiane
1	2,17	16,46	1,9532	1,9481	0,0051	0.309	0,282
2	2,21	16,53	1,9870	1,9823	0,0047	0.284	
3	2,23	16,57	1,9961	1,9920	0,0041	0.247	
4	2,20	16,52	1,9787	1,9747	0,0040	0,242	
5	2,27	16,64	1,0283	2,0236	0,0047	0,282	

**Mélange (D)****Tableau (A.22) : Perte de masse des échantillons du mélange (D).**

<i>N°</i>	<i>Epaisseur (mm)</i>	<i>Surface (cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Poids d'entrée (g)</i>	<i>Poids de sortie (g)</i>	<i>P<sub>E</sub>-P<sub>S</sub></i>	<i>Perte de masse (mg/cm<sup>2</sup>)</i>	<i>Médiane</i>
<i>1</i>	<i>2,20</i>	<i>16,52</i>	<i>1,9627</i>	<i>1,9578</i>	<i>0,0041</i>	<i>0.296</i>	<i>0,284</i>
<i>2</i>	<i>2,21</i>	<i>16,53</i>	<i>1,9476</i>	<i>1,9431</i>	<i>0,0042</i>	<i>0.272</i>	
<i>3</i>	<i>2,20</i>	<i>16,52</i>	<i>1,9179</i>	<i>1,9132</i>	<i>0,0046</i>	<i>0.284</i>	
<i>4</i>	<i>2,19</i>	<i>16,50</i>	<i>1,9882</i>	<i>1,9852</i>	<i>0,0041</i>	<i>0,181</i>	
<i>5</i>	<i>2,18</i>	<i>16,48</i>	<i>1,9593</i>	<i>2,9546</i>	<i>0,0035</i>	<i>0,285</i>	