



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering



Department of Process Engineering

قسم هندسة الطرائق

The Date

التاريخ :

Ref :...../U.M/F.S.T/2023

رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت/2023

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option : Génie des procédés des matériaux

Thème

Étude comparative des propriétés mécaniques (physico-chimiques) des polymères XLPE et PVC utilisés pour l'isolation des câbles électriques

Présenté par : Mme Abdulhakeem T. Habebah

Soutenu le **26/06/ 2023** devant le jury composé de :

Président :	Ziane Samira	Grade	Université de Mostaganem
Examinatrice :	Fares Zineb	Grade	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Chouaih Abdelkader	Grade	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Louange à ALLAH le saint tout puissant miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Mes sincères remerciement et reconnaissance pour prof CHOUAIIH ABDELKADER, d'avoir accepté de diriger ce mémoire, et qui n'a pas cessé de m'encourager et de m'aider dans l'apprentissage et la maîtrise de tous les outils nécessaires demandés dans ce travail. La réalisation de ce travail aurait été impossible sans son soutien et sans aspect moral et affectif.

Je tiens également à remercier les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, et qu'ils me feront l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

A tous mes professeurs chacun en son nom, je vous remercie du fond du cœur pour votre dévouement et pour vos conseils.

Mes remerciements vont également à l'encontre de tous ceux et celles qui de près ou de loin m'ont apporté aide et encouragement ; qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

En fin, je remercie l'Algérie pour m'avoir formé pendant six ans et surtout son hospitalité la plus particulière que je n'oublierai jamais.

DEDICACE

Venir dans un autre pays pour commencer une nouvelle vie différente dans un pays et une langue complètement différente a été l'une des décisions les plus difficiles que je n'ai jamais prises de ma vie. Mais cela m'a appris à survivre et à ne jamais abandonner dans cette vie, surtout quand je me suis retrouvé à étudier l'ingénierie, un cours auquel je n'aurais jamais cru que je ne serais jamais capable de faire face et de m'adapter aussi à cause de la façon dont c'était fastidieux et éprouvant, mais je suis tellement heureux que DIEU m'ait amené ici jusqu'à présent.

Je dédie ce projet à MOI-MEME pour me rappeler de ne jamais abandonner tant que je continue à respirer l'air que Dieu m'a permis de respirer, je dédie spécialement ce projet à ma mère Rashidah pour s'être efforcée de me donner la meilleure éducation qu'une fille puisse avoir et aussi ne jamais abandonner sur moi.

الملخص

تتمثل هذه الدراسة في عرض مقارنة الخواص الميكانيكية (الفيزيائية - الكيميائية) لبوليمرين مختلفين (PVC و XLPE) يستخدمان في تصنيع أنواع مختلفة من الأسلاك / الكابلات في شركة GISB الواقعة في مسرة. لدراسة الخصائص المختلفة بين البوليمرات المستخدمة في تصنيع الكابلات ، تم إجراء اختبارات مختلفة بعد التصنيع لتحديد خصائصها الميكانيكية (القوة ، العمر المتوقع ، القطر ، السماكة ، الاستطالة عند الجر والكسر على التوالي) لتحديد الكابلات هو الأكثر ديمومة.

ABSTRACT

This study consists in presenting the comparison of the mechanical properties (physico-chemical) of two different polymers (PVC and XLPE) used in the manufacture of different types of wires/cables in the GISB Company located in Mesra.

To study the different properties between the two polymers used for the manufacture of the cables, various tests were carried out after manufacture to determine their mechanical properties (strength, life expectancy, diameter, thickness, elongation at traction and rupture respectively) to determine which cables is the most durable.

RESUME

Cette étude consiste à présente la comparaison des propriétés mécaniques (physico-chimiques) de 2 polymères différents (PVC et XLPE) utilisés dans la fabrication de différents types de fils/câbles dans l'entreprise GISB située à Mesra.

Pour étudier les différentes propriétés entre les deux polymères utilisés pour la fabrication des câbles, différents tests et simulations ont été réalisés après fabrication pour déterminer leurs propriétés mécaniques (résistance, dureté de vie, diamètre, épaisseur, allongement à la traction et rupture respectivement) pour déterminer lequel des câbles est le plus durable.

LISTE DE TABLEUX

Tableau 1 : 1 caractéristique mécanique de pvc/c	31
Tableau 2 : caractéristique mécanique de pvc/d	32
Tableau 3 : caractéristique mécanique de pvc/st5.....	33
Tableau 4 : caractéristique mécanique de xlpe	34
Tableau 5 : résultats de caractéristique mécanique du polymère avant vieillissement. ...	35
Tableau 6 : résultats de caractéristique mécanique du polymère après vieillissement.	38

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : représentation de la chaîne d'un polymère.....	4
Figure I-2 : Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire	5
Figure I-3 : Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel, ici le Carbone graphite	6
Figure I-4 : Représentation schématique d'un fragment de polymère tridimensionnel	6
Figure I-5 : Structure vermiculaire d'un polymère linéaire.....	7
Figure I-6 : représentation de différentes architectures macromoléculaires.....	8
Figure I-7 : copolymère	10
Figure I-8 : structure configurationnelle.....	11
Figure I-9 : tacticité simple.....	12
Figure I-10 : dictacticite	13
Figure II-1 : polymérisation de PVC	16
Figure II-2 : polymérisation de polyéthylène	21
Figure III-1 . Tréfilage.....	25
Figure III-2 : câblage.....	26
Figure III-3 : conducteur après isolation.....	27
Figure IV-1 : graphe de module Young (E) avant et après vieillissement.	36
Figure IV-2 : graph de module Young avant et après vieillissement	38

LISTE DES ABBREVIATIONS

XLPE- POLYETHENE RETICULE

PVC- POLYVINYL CHLORIDE

PVC/c – câble pvc isolation rigide

PVC/d – câble pvc isolation souple

PVC/st5 – câble pvc isolation souple blanche

GISB- GROUPE INDUSTRIELLE SIDI BENDEHIBA

SOMMAIRE

a. HISTORIQUE	2
i. Introduction	2
ii. Définition :	3
iii. Représentation de polymère :	3
iv. Classification de polymère :	4
b. STRUCTURE DE POLYMERE	7
i. Architecture et dimensionnalité.....	7
ii. Enchaînement des unités monomères	9
iii. Structures configurationnelles	11
CHAPITRE II : LES POLYMERES UTILISES POUR LE CABLAGE (PVC & XLPE) ...	15
PROCEDES INDUSTRIELS	16
c. Domain d'utilisation	18
Introduction	20
Définition	21
Polymérisation.....	21
Procédés industriels	21
Domaine d'utilisation :	22
CHAPITRE III ; FABRICATION DE CABLE A L'ENTREPRISE GISB	24
d. Procédés de fabrication.....	24
i. Tréfilage :.....	24
ii. Câblage :	26
iii. Isolation :	26
iv. Assemblage ;.....	27
v. Bourage/gainage :.....	27
vi. Emballage et marquage	27
e. Classe de conducteur	27
i. Rigide massif (U)	27
ii. Câble rigide (R).....	28
iii. Souple (K OU F).....	28
iv. Extra souple (K OU F)	28
f. Types du larmes/câbles.....	29
CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE	30

SPECIFICATION MATIERE DU PVC et XLPE	30
Caractéristiques mécaniques :.....	31
Application :	32
Caractéristiques mécaniques :.....	32
Application :	33
Caractéristiques mécaniques :.....	33
Avant vieillissement ;.....	35
Remarque ;	36
Après le vieillissement ;	37
Remarque	39

INTRODUCTION GENERALE

GISB est une Entreprise compose de 4 unités ;

- 1) CLA (câblerie algérienne)
- 2) GISB énergétique (production de la transformateur)
- 3) KAST (production de lampe)
- 4) GISB green power (production de câble solaire)

SERVICES DU GISB

- Diarrage
- Bureau d'études
- Bureau d'études et développement
- Planification
- Service de production
- Gestion du stocke
- Services commerciaux
- Service personnelle

CHAPITRE I : Généralités sur les polymères

a. HISTORIQUE

Les polymères naturels ont été parmi les premiers matériaux utilisés par l'homme : bois et fibres végétales, cuir, tendons d'animaux, laine, etc. La notion de macromolécule n'est apparue que tardivement dans l'histoire de la chimie. Bien que présagée par Wilhelm Eduard Weber ou encore Henri Braconnot au début du 16^e siècle, de nombreux chercheurs ne voient là que des agrégats ou micelles. Il faut attendre les années 1920-1930 pour que l'idée de macromolécule soit acceptée, notamment grâce aux travaux d'Hermann Staudinger.

Le développement industriel consécutif de la science macromoléculaire a été accéléré ensuite par la Seconde Guerre mondiale. Les États-Unis ont été privés lors de leur entrée en guerre de leur approvisionnement en caoutchouc naturel en provenance d'Asie du Sud-Est. Ils ont alors lancé un immense programme de recherche visant à trouver des substituts de synthèse. Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets de la vie courante, dans lesquels ils ont souvent remplacé les substances naturelles. Ils sont présents dans de nombreux domaines industriels. Suivant la température, les propriétés mécaniques des polymères varient. De plus, comme ils sont métastables, il y a donc une évolution de leur comportement en fonction du temps. Cette évolution peut être simulée en utilisant les méthodes de modélisation moléculaires

i. Introduction

Le concept de macromolécule a été formulé au début du vingtième siècle par le chimiste pionnier allemand, Staudinger. Il étudia, dès 1920, la structure et les propriétés de ces molécules géantes et inhabituelles à cette époque ses travaux, constituant la base de la science des polymères, lui permirent de recevoir le prix Nobel de chimie beaucoup plus tard, en 1953. Les hypothèses de Staudinger furent très controversées par les scientifiques. En effet, ils pensaient que les polymères étaient formés par de petites molécules soudées entre elles, ou par des particules colloïdales. Le terme « plastiques » désigne communément une famille, toujours plus nombreuse, de produits constitués de macromolécules (ou polymères) caractérisées par la répétition, un très grand nombre de fois, du même groupe d'atomes appelé motif constitutif. Ce dernier diffère d'un polymère à l'autre et détermine en grande partie les propriétés physiques et thermomécaniques du produit fini (après sa mise en œuvre)

ii. Définition :

1. Monomères :

Ce sont les composés de base des polymères. Relevant de la chimie organique, ils associent par des liaisons covalentes des atomes de carbone et des atomes d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, plus éventuellement des atomes de chlore, de fluor, de soufre, etc. Chaque atome de carbone, tétravalent, est relié aux atomes voisins par quatre liaisons covalentes, orientés dans l'espace vers les quatre sommets d'un tétraèdre régulier.

2. Polymère :

C'est un nom scientifique pour désigner l'ensemble des matières plastiques. C'est un ensemble des monomères issue d'assemblage covalente des motifs identiques

iii. Représentation de polymère :

Quel que soit le niveau de structure auquel on s'adresse, on peut avoir à sa disposition une représentation adaptée. Pour figurer le simple état macromoléculaire, une ligne continue, telle celle dessinée sur la figure 1.1 pour représenter un polymère linéaire, est suffisante ; pour des architectures plus complexes, on peut aussi utiliser ce mode de représentation.

Lorsque la structure chimique du composé macromoléculaire est concernée, il est nécessaire de représenter la chaîne macromoléculaire par un motif (unité) de répétition mis entre parenthèses et affecté de l'indice n , qui est le nombre de motifs de répétition contenus dans la chaîne.

Lorsque le motif de répétition est identique à l'unité monomère (voir tableau), alors n correspond également au degré de polymérisation moyen (X_n). Cette représentation revient à négliger les extrémités des chaînes, obligatoirement différentes, ainsi que les éventuelles imperfections de la structure moléculaire des enchaînements . Les trois exemples suivants utilisent les conventions habituelles de la chimie organique :

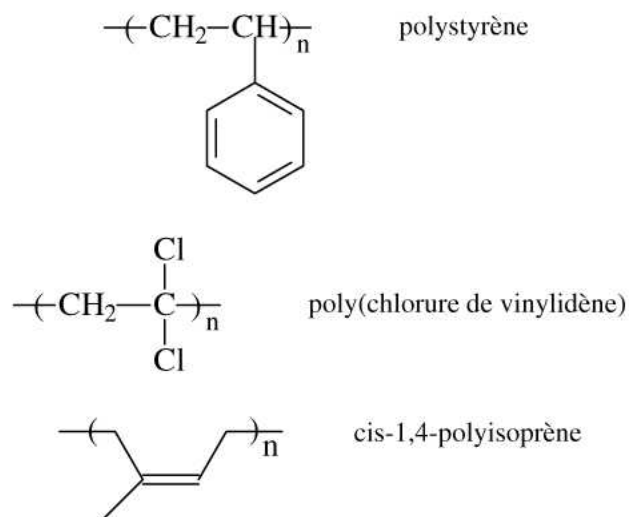


Figure 0-1 : représentation de la chaîne d'un polymère

iv. Classification de polymère :

1. Selon leur origine

On peut les classer en trois (3) catégories :

- les polymères naturels sont issus des règnes végétaux ou animaux. Leur importance est considérable mais ils ne seront que succinctement décrits dans la première partie de cet ouvrage.

On peut cependant mentionner, dans cette catégorie, la famille des polysaccharides (cellulose, Amidon...), celle des protéines (laine, soie...), le caoutchouc naturel, etc.

- les polymères artificiels sont obtenus par modification chimique de polymères naturels, de façon à transformer certaines de leurs propriétés. Les esters cellulosiques (nitrocellulose, acétate de cellulose...) ont toujours connu une certaine importance économique

- les polymères synthétiques, totalement issus du génie de l'Homme, sont obtenus par polymérisation de monomères. Leur variété est extrême et ce sont eux qui seront le plus souvent considérés dans la suite de cet ouvrage.

2. Selon leur domaine d'application

Il est difficile de proposer une classification exhaustive tant la variété des propriétés a multiplié les applications des polymères, comme matériaux en particulier. Il est cependant possible de regrouper les polymères en trois (3) grandes catégories :

- les **polymères de grande diffusion** (encore appelés **polymères de commodité**), dont la production annuelle s'évalue en millions de tonnes, sont devenus d'un emploi quotidien. Le polyéthylène, le polystyrène, le polychlorure de vinyle et quelques autres sont à classer dans cette catégorie ; ils présentent une importance économique considérable ;
- les **polymères techniques** ont des caractéristiques mécaniques qui leur permettent de se substituer, de plus en plus, aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...) dans de nombreuses applications. Les polyamides, les polyacétals... font partie de cette famille ;
- les **polymères spéciaux** (ou **polymères de fonction**) présentent généralement une propriété spécifique qui induit leur utilisation pour une application particulière. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, photo actifs, thermostables, adhésifs, biocompatibles/biodégradables, etc.

Tous les spécialistes ne donnent pas la même définition à chacune de ces catégories même s'ils s'accordent sur les termes ; un choix a été fait dans le cadre de cet ouvrage, qui veut être une proposition.

3. Selon leur architecture

Les polymères peuvent encore être classés en trois (3) catégories :

- celle des polymères **monodimensionnels**, pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères. De tels systèmes correspondent à la polymérisation de monomères bivalents et une macromolécule linéaire peut être très schématiquement représentée par un trait continu divisé en intervalles figurant chacun une unité monomère (figure 1.1). Un ensemble de chaînes polymères est constitué d'entités de longueur variable, propriété désignée par le terme *dispersité* (\bar{D}) ;



Figure 0-2 : Représentation de la chaîne d'un polymère linéaire

- celle des polymères **bidimensionnels**, dont certains peuvent être produits par la nature (carbone graphite, kératine...). Dans le domaine des polymères synthétiques ce sont encore des curiosités de laboratoire. Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels, d'épaisseur comparable à celle des molécules simples (figure 1.2)

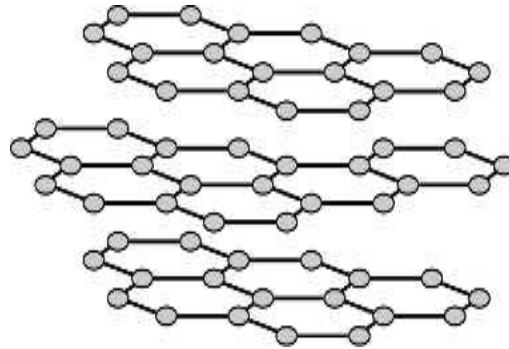


Figure 0-3 : Représentation schématique d'un polymère bidimensionnel, ici le Carbone graphite

- celle des polymères **tridimensionnels**, naturels (lignine...) ou bien résultant de la polymérisation de monomères dont la valence moyenne est supérieure à deux. Ils peuvent aussi être obtenus par la **réticulation** (formation d'un *réseau tridimensionnel* ou *polymère réticulé*), par voie physique ou chimique, de polymères monodimensionnels. Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie puisque toutes les unités monomères constitutives d'un objet sont liées de façon covalente pour former une seule macromolécule. Les liaisons se développent dans les trois dimensions et un élément de volume d'un tel système est représenté comme sur la figure 1.4.

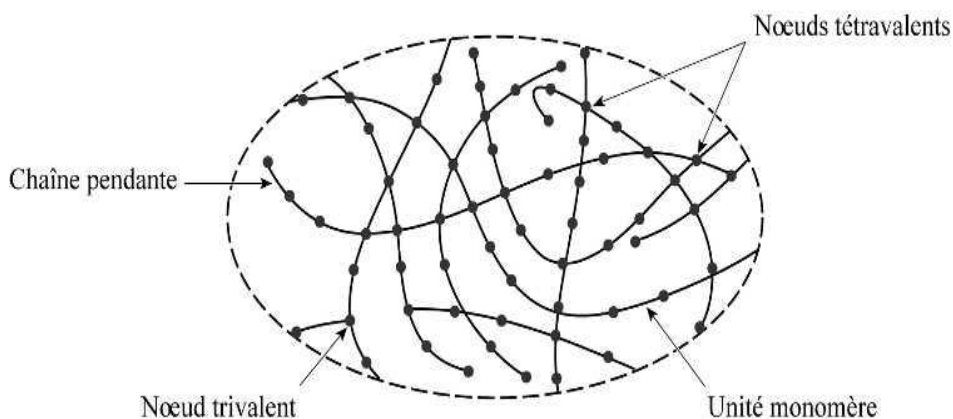


Figure 0-4 : Représentation schématique d'un fragment de polymère tridimensionnel

b. STRUCTURE DE POLYMERE

Les polymères font l'objet d'une attention particulière dans ce manuel, mais il n'existe pas de frontière bien définie entre polymères organiques et polymères inorganiques. La nature des atomes qui les constituent n'influence que relativement peu les propriétés de base des polymères, lesquelles sont étroitement dépendantes de l'état macromoléculaire de ces substances.

Le terme « structure » recouvre des sens bien différents quand il s'agit de polymères. Il peut se rapporter à l'enchaînement des atomes, à celui des unités monomères, à la chaîne dans son ensemble ou encore à un ensemble plus ou moins grand de chaînes. Il est donc nécessaire de proposer une dénomination spécifique pour chacun de ces niveaux de structure. Par ailleurs, en raison des méthodes couramment utilisées pour les produire, les polymères synthétiques ne peuvent pas prétendre à la perfection. Aussi, que ce soit au niveau moléculaire ou aux niveaux supérieurs, des irrégularités existent. Celles-ci influencent la plupart des propriétés des matériaux résultants, au *prorata* de l'occurrence de ces défauts.

i. Architecture et dimensionnalité

Dans un souci de simplification, une chaîne polymère est fréquemment représentée par une ligne continue désordonnée qui pourrait s'apparenter à un ver dont les anneaux correspondraient aux unités monomères successives (figure 1.5)

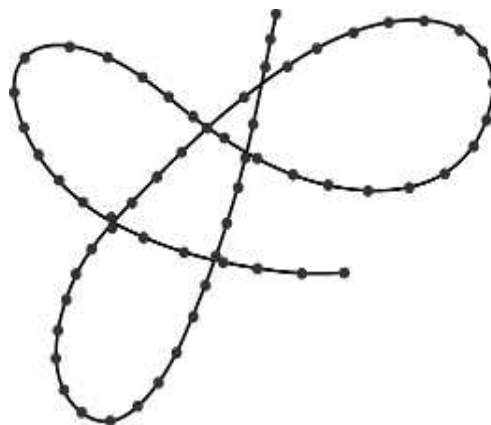
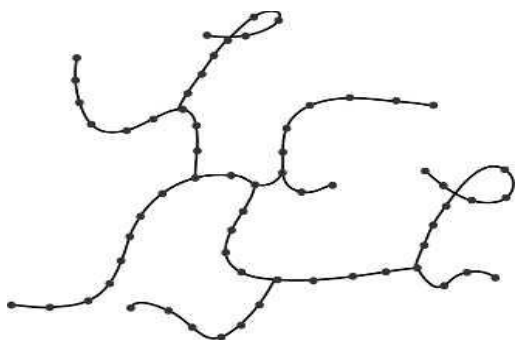
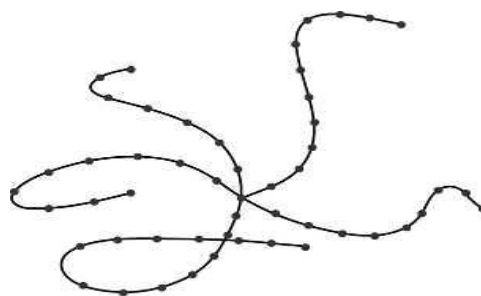


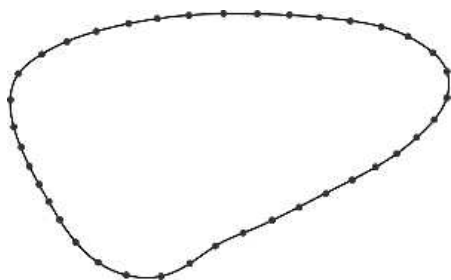
Figure 0-5 : Structure vermiculaire d'un polymère linéaire.



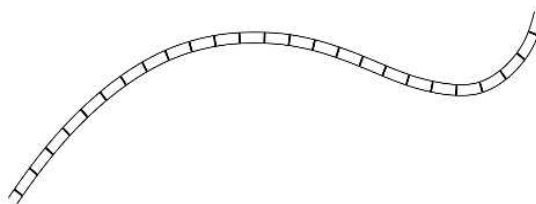
Polymère ramifié



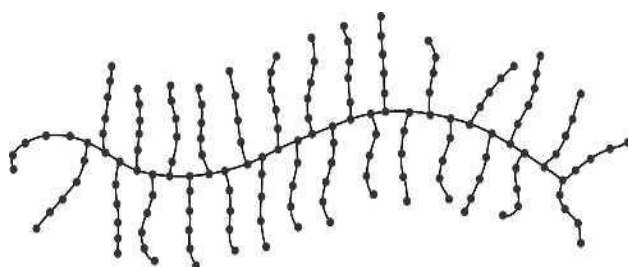
Polymère en étoilé



Polymère macrocyclique



Polymère en échelle



Polymère en peigne

Figure 0-6 : représentation de différentes architectures macromoléculaires.

Une autre manière de considérer la dimensionnalité d'une chaîne macromoléculaire consiste à attribuer à chaque unité monomère une *valence*, laquelle correspond au nombre de liaisons covalentes qu'elle établit avec les unités monomères voisines. On peut ainsi définir la *valence moyenne* (\bar{v}) d'un système par relation :

$$\bar{v} = \frac{\sum_i n_i v_i}{\sum_i n_i}$$

n_i est le nombre d'unités monomères de valence v_i

Dans le cas d'un polymère monodimensionnel, $\bar{v} = (2-\epsilon)$, où ϵ correspond à la monovalence non compensée de deux extrémités par chaîne

Remarques

- a. Dans le cas d'un polymère macrocyclique, $\epsilon = 0$.
- b. Dans l'état polymère, état où la température de transition vitreuse ne varie presque plus avec l'accroissement de la longueur des chaînes macromoléculaires, c'est-à-dire pour des degrés de polymérisation élevés, ϵ est généralement négligé.

Lorsque la valence moyenne est supérieure à 2, cela implique que toutes les unités monomères d'un échantillon soient reliées entre elles par plus de deux liaisons covalentes et la chaîne polymère possède la taille de l'objet. On peut alors considérer sa dimension moléculaire comme infinie et le système est dit *tridimensionnel*.

Plus la valence moyenne du système est élevée, plus la densité de réticulation est grande.

ii. Enchaînement des unités monomères

On considère deux grandes catégories de polymères selon qu'ils sont issus de la polymérisation d'un (Homopolymères) ou de plusieurs monomères (Copolymères).

1. Homopolymères

Un homopolymère résulte de la polymérisation d'un seul type de molécules monomères. Ainsi, lorsqu'on polymérise du styrène on obtient un homopolymère appelé polystyrène. Toutefois, les unités monomères peuvent s'enchaîner de façon plus ou moins régulière dans la chaîne.

Lorsque l'enchaînement des unités monomères successives s'est réalisé selon un processus régi sélectif, le polymère est dit *régulier*. Avec un polymère vinylique, on parle d'enchaînement *tête-à-queue* :

2. Copolymère

Les copolymères résultent de la polymérisation d'un mélange réactionnel contenant plusieurs types de monomères (appelés alors *Co monomères*). On parle alors de *copolymérisation*. Si on désire être plus précis, les *bi polymères* sont issus de 2 Co monomères, les *ter polymères* de trois Co monomères, les *quater polymères* de quatre Co monomères, etc. Dans un but de simplification, seuls les différents enchaînements des *bi polymères*, issus de la copolymérisation de deux Co monomères A et B, seront décrits ci-après. Ils sont désignés par poly (A-co-B), s'il n'y a aucune information sur la structure des copolymères. Ainsi, si on copolymérise un mélange contenant du styrène et du méthacrylate de méthyle, les chaînes copolymères formées contiendront des unités monomères dérivées du styrène et des unités monomères dérivées du méthacrylate de méthyle. Une représentation simplifiée d'une chaîne est illustrée ci-dessous

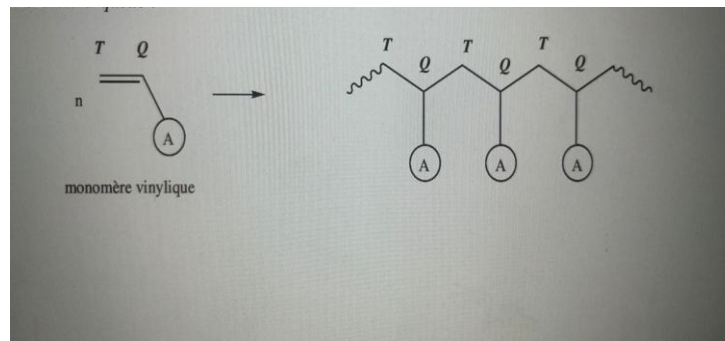


Figure 0-7 : copolymère

iii. Structures configurationnelles

Les règles habituelles définies pour la représentation et la désignation des molécules simples, s'appliquant aux systèmes macromoléculaires ; mais du fait de la répétition des sites susceptibles de donner lieu à isométrie configurationnelle de nouvelles propriétés structurales doivent être considérées.

Ainsi les 3 types de triades de structure configurationnelle relative différente peuvent être désignées en termes de triades ; pour que cela ait une signification il est évident que la dernière unité monomère de la triade précédente doit être prise en compte dans la définition de la triade qui suit ; c'est la conséquence de l'enchaînement covalente des motifs constitutifs.

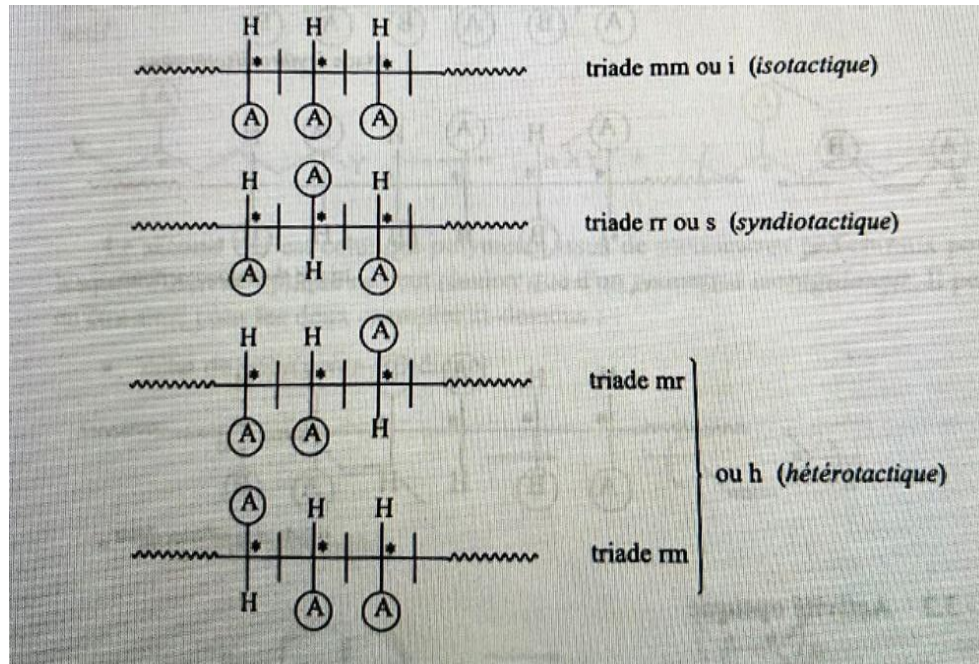


Figure 0-8 : structure configurationnelle

1. Tacticité :

- a) Tacticité simple ; cette notion est particulièrement intéressante dans le cas des polymères vinyliques et assimilés. Si le processus de polymérisation est *stéréospécifique* et que des unités successivement insérées dans la chaîne en croissance qui sont de même genre dès l'unité précédente, le polymère est qualifié d'*isotactique*. Pour le représenter, on utilise la méthode préconisée par Fischer pour les molécules simples avec, par convention, rotation de $\pi/2$ dans le plan de la feuille. Un polymère vinylique isotactique est donc représenté par :

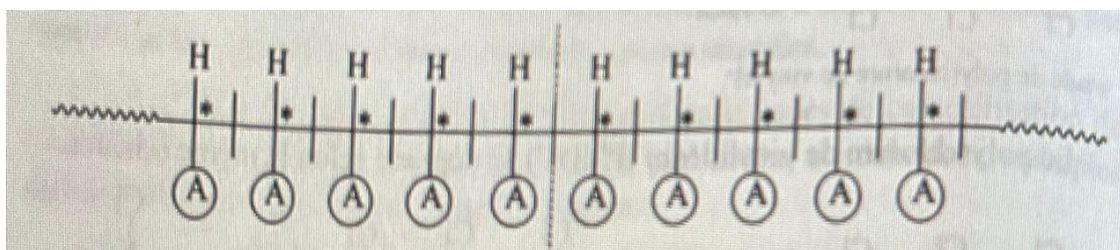


Figure 0-9 : tacticité simple

- b) Ditacticité ; elle se rapporte aux polymères qui possèdent deux centres d'asymétrie par unité monomère comme c'est le cas pour les polymères vinyliques 1,2-disubstitués, pour lesquels la polymérisation génère deux centres chiraux ou bien pour les hétérocycles porteurs de deux centres. Elle est définie comme l'existence d'une régularité configurationnelle relative des unités monomères successives dans une chaîne macromoléculaire d'asymétrie. Les trois tacticités possibles sont schématisées ci-après ;

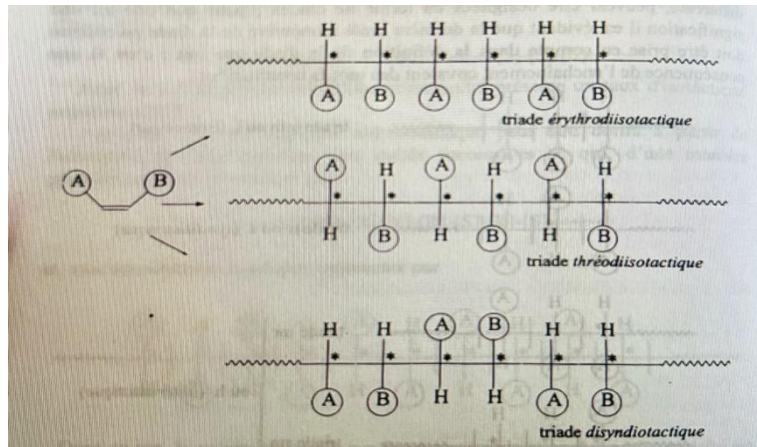


Figure 0-10 : dictacticite

2. Active optique

Deux cas sont considérés ;

Le Premier est celui des polymères issus de monomères optiquement actifs pour lesquels, à la condition que la réaction de polymérisation ne modifie pas la chiralité de l'unité monomère par rapport à celle de la molécule monomère, la pureté est celle du monomère originel.

Le second cas est celui des polymères issus de monomères pro chiraux pour lequel l'activité optique ne peut résulter que d'un processus iso régulateur.

3. Détermination des structure configurationnelle ;

La caractérisation de l'activité optique et celle de l'isométrie géométrique mettent en œuvre les méthodes conventionnelles utilisées par la chimie organique. La caractérisation de la tacticité fait appel, presque exclusivement, à la spectrométrie de RMN ; le cas particulier des polymères vinyliques sera plus particulièrement explicité dans cet ouvrage. Il a été précédemment établi pour quelles raisons ces polymères, même fortement isotactiques, ne sont pas doués d'activité optique ; ils sont pseudo-chiraux par rapport à l'ensemble de la chaîne, mais la tacticité ne prend en compte que les configurations relatives et donc celle des voisins immédiats du site considéré.

a) RMN du ¹H ; Dans les polymères vinyliques, deux types de sites peuvent être concernés par la stéréosensibilité. Tout d'abord, les méthylènes, H, CH₂, pour lesquels les deux voisins immédiats du groupe sont des carbones pseudos asymétriques.

CHAPITRE II : LES POLYMERES UTILISES POUR LE CABLAGE (PVC & XLPE)

II.1. Le PVC

Introduction

Le poly (chlorure de vinyle), dont le symbole international PVC découle de l'appellation anglaise « Poly Vinyl Chloride », 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 %).

La production industrielle du PVC remonte au début des années 1930. 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.

Le PVC est présent dans tous les secteurs économiques : bâtiment (57 % pour l'Union européenne), emballage, électricité, électronique, biens de consommation, santé, transports.

C'est la troisième matière plastique employée dans le monde (20 % de la consommation mondiale totale des plastiques, soit de l'ordre de 28 millions de tonnes).

Définition

Le poly(chlorure de vinyle) PVC, est un polymère thermoplastique de grande consommation, amorphe ou faiblement cristallin, principal représentant de la famille chloro-polymères (Un chloropolymère ou polymère chloré est un polymère produit à partir d'alcènes dans lesquels au moins un des atomes d'hydrogène a été remplacé par du chlore).

Polymérisation

Il est préparé à partir de deux matières premières : à 57 % de sel de mer (NaCl) et à 43 % de pétrole ; c'est la seule matière plastique constituée par plus de 50 % de matière première d'origine minérale

Le *PVC rigide* est surtout utilisé pour la fabrication de profilés et tubes par extrusion. Le *PVC souple* (ou *PVC plastifié*) sert par exemple dans l'industrie des vêtements et des tapisseries

Le polychlorure de vinyle est une poudre blanche inodore. Sa teneur en chlore est de 56,7 %. Il est obtenu à partir du chlorure de vinyle monomère par polymérisation en suspension, en masse ou en émulsion. Cette résine peut être mise en œuvre telle quelle (produits rigides) ou sous forme "plastisol" avec un plastifiant (produits souples). Elle subit une gélification : le gonflement des grains de PVC par un solvant (plastifiant) ou un copolymère (plastification interne).

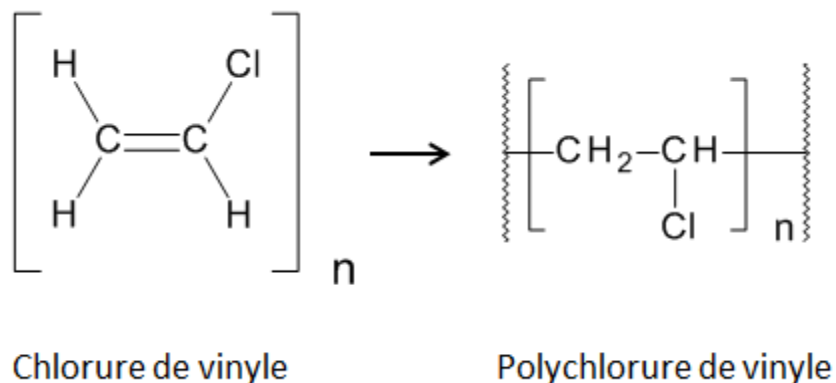


Figure 0-1 : polymérisation de PVC

PROCEDES INDUSTRIELS

Polymérisation : La première étape de la production de PVC est la polymérisation du chlorure de vinyle monomère (VCM) pour former du chlorure de polyvinyle. Le procédé

de polymérisation peut être réalisé en utilisant soit des techniques de polymérisation en suspension, soit en émulsion. Dans la polymérisation en suspension, le VCM est mélangé avec de l'eau, des agents de suspension et des initiateurs dans une cuve de réacteur. Le mélange est ensuite agité pour former de petites gouttelettes de VCM, qui polymérisent pour former des particules de PVC. Dans la polymérisation en émulsion, le VCM est dispersé dans une solution aqueuse d'émulsifiants et d'initiateurs pour former des micelles, qui polymérisent ensuite pour former des particules de PVC.

Stripping : Une fois le processus de polymérisation terminé, les particules de PVC résultantes sont séparées du mélange réactionnel à l'aide d'une centrifugeuse ou d'autres techniques de séparation. Les particules de PVC séparées sont ensuite lavées et séchées.

Mélange : Les particules de PVC sont ensuite mélangées avec divers additifs tels que des plastifiants, des stabilisants et des pigments pour améliorer les propriétés du produit final. Des plastifiants sont ajoutés pour améliorer la flexibilité et la maniabilité du PVC, tandis que des stabilisants sont ajoutés pour éviter la dégradation du PVC due à l'exposition à la chaleur et à la lumière.

Extrusion : Le PVC mélangé est ensuite fondu et extrudé dans la forme souhaitée à l'aide d'une extrudeuse. L'extrudeuse est une machine qui applique de la chaleur et de la pression sur le PVC pour le faire fondre et le forcer à travers une matrice pour lui donner la forme souhaitée.

Refroidissement : Le PVC extrudé est ensuite refroidi pour le solidifier et lui donner sa forme finale. Le processus de refroidissement peut être réalisé en faisant passer le PVC dans un bain-marie ou en utilisant des systèmes de refroidissement par air.

Découpe et finition : Le PVC refroidi et solidifié est ensuite découpé et fini à la taille et à la forme souhaitées à l'aide de divers outils de découpe et de façonnage. La qualité du produit fini en PVC est ensuite inspectée avant d'être emballé pour utilisation

c. Domain d'utilisation

Le PVC peut être rigide comme des tuyaux industriels et doux comme une pellicule plastique. En outre, ils peuvent être épais comme du verre et minces comme revêtement mural. De plus, il peut être transparent ou de couleur différente selon le choix.

- **Construction et Bâtiment**

Un grand nombre (trois quarts de la production) de produits en PVC va directement dans la construction et la construction toujours continues. De plus, des études montrent que le PVC est efficace pour protéger l'environnement. Car il préserve les ressources et réduit l'effet de serre.

En outre, il est durable, résiste à l'humidité et à l'abrasion et est idéal pour les fenêtres, les toitures, les clôtures, les terrasses et divers autres. De plus, le vinyle est exempt de corrosion et ne nécessite pas d'entretien important.

- **Fenêtres et revêtement**

Ils produisent des produits extrêmement abordables, durables et aident à économiser l'énergie car ils chauffent et refroidissent facilement. De plus, ils gardent la maison froide en été et chaude en hiver. De plus, les fenêtres en vinyle sont plus isolantes que les fenêtres en aluminium.

- **Câbles et câblages**

Le revêtement extérieur ou la coque du fil est en plastique PVC car il peut résister à des températures élevées et à l'humidité dans le mur.

De plus, c'est l'un des matériaux les plus fiables et les plus répandus dans le câblage électrique et les câbles du bâtiment.

- **Conduites d'Eau**

Ils créent des tuyaux pratiquement étanches et exempts de trous. De plus, ils sont exempts de rouille et le stress environnemental sur eux est faible.

De plus, leur taux de rupture est assez faible par rapport aux tuyaux métalliques. En outre, l'absence d'accumulation dans la tuyauterie en PVC augmente l'efficacité énergétique et la fonctionnalité.

- **Emballage**

Ce plastique est durable, léger, flexible et fiable et est parfait pour le travail d'emballage. De plus, il maintient la qualité des produits à l'intérieur.

De plus, les industries de la médecine utilisent du vinyle transparent car ce sont des médicaments en vente libre inviolables et des emballages rétractables pour les produits de consommation.

En outre, l'emballage de blisters et de coques, de produits de soins personnels et de films vinyliques rigides pour produits ménagers utilise du vinyle rigide.

- **Soins de Santé**

Dans le secteur de la santé, il existe des centaines d'utilisations du vinyle. En outre, ils sont utilisés dans les poches intraveineuses, les tubes médicaux.

En outre, les poches de prélèvement sanguin constituent une avancée significative du vinyle car il est incassable, flexible et améliore la médecine ambulatoire et sert de base à la banque de sang moderne.

- **Produits Ménagers**

Le ménage utilise différents produits en plastique PVC. Le plus remarquable, ils sont abordables, résistants à l'eau et durables. Ainsi, ils sont idéaux pour les tuyaux, le fil, les bottes, les rideaux de douche, les imperméables, etc.

***XLPE**

XLPE est un type de polyéthylène ayant subi une réticulation, dans le but d'améliorer certaines propriétés, et particulièrement la résistance aux hautes températures.

Il existe trois procédés courants de réticulation :

- PEX-a : c'est la méthode la plus ancienne, celle qui permet d'obtenir le plus haut taux de réticulation (80-90 %), et la plus chère, à cause du temps de cycle plus important. Elle est basée sur la méthode « Engel » ou peroxyde. La réticulation est faite en amont du formage du tube, et au-dessus du point de fusion cristallin. C'est la seule méthode qui permet de dilater le tube à froid, et donc d'utiliser des raccords à passage intégral.
- PEX-b : méthode au silane (ou « silicane »). Le procédé de réticulation est facilité à haute température (bains de vapeur, par exemple). La réticulation est faite en dessous du point de fusion cristallin et après formage du tube, et elle peut atteindre 70 %. À noter que la réticulation est faite entre les atomes de carbone et l'additif.
- PEX-c : méthode par irradiation (laser, rayon X, etc.). Cette méthode est considérée plus respectueuse de l'environnement que les deux autres car elle n'utilise pas d'agents chimiques. La réticulation est faite en dessous du point de fusion cristallin, après formage du tube et en plusieurs passes. Elle peut atteindre 70 %. Cette méthode est plus difficile à maîtriser pour les diamètres élevés.

Introduction

Les polymères dits plastique sont des matériaux synthétiques fabriqués à partir de matière organique. Les matières premières nécessaires à la fabrication des matières plastiques sont d'origine naturelle.

Définition

Le polyéthylène (PE) est une résine thermoplastique issue de la transformation du pétrole brut. Le polyéthylène est un plastique utilisé comme matière première dans plusieurs domaines d'application, comme les emballages, les tubes de conduite de gaz...etc. C'est une résine thermoplastique issue de la transformation du pétrole brut. Sa température de fusion est de 85 à 140 °C et Température de transition vitreuse : ≈ -110 °C

Polymérisation

Son vrai nom est obtenu grâce à la polymérisation des monomères d'éthylène ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) en une structure complexe de formule générique $[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$.

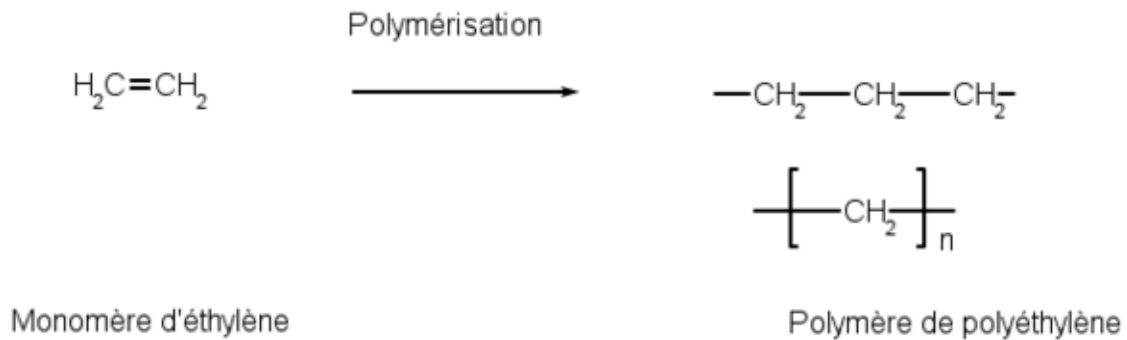


Figure 0-2 : polymérisation de polyéthylène

Procédés industriels

Production d'éthylène : L'éthylène est produit par craquage de fractions de gaz naturel ou de pétrole, telles que le naphtha ou le gazole, dans un four à haute température. Le mélange de gaz résultant est refroidi et séparé en divers composants, y compris l'éthylène.

Polymérisation : Le gaz éthylène est ensuite purifié et comprimé avant d'être introduit dans une cuve de réacteur, où il est mélangé à un catalyseur et soumis à la chaleur et à la pression pour initier la réaction de polymérisation. Le catalyseur utilisé dans la

production de polyéthylène est typiquement un complexe de métaux de transition, tel qu'un catalyseur Ziegler-Natta ou un catalyseur métallo cène.

La polymérisation se poursuit : La réaction de polymérisation se poursuit jusqu'à ce que le poids moléculaire et les propriétés souhaités soient atteints. La réaction est soigneusement contrôlée pour produire du polyéthylène haute densité (PEHD), du polyéthylène basse densité (PEBD) ou du polyéthylène basse densité linéaire (PEBDL), en fonction du catalyseur, des conditions de réaction et d'autres facteurs.

Récupération : Le polymère résultant est ensuite refroidi, solidifié et extrudé en granulés ou sous d'autres formes pour le stockage et le transport. Tout gaz éthylène n'ayant pas réagi est récupéré et recyclé dans la cuve du réacteur pour minimiser les déchets.

Finition : Les granulés de polyéthylène ou d'autres formes peuvent subir un traitement ultérieur, tel qu'un mélange avec d'autres polymères, additifs ou charges, avant d'être transformés en produits finaux tels que des sacs en plastique, des récipients ou des tuyaux

Domaine d'utilisation :

Le polyéthylène est utilisé dans plusieurs domaines tel que :

- Domaine industriel : tel que l'emballage alimentaire, les bouteilles pour les détergents, les cartons de lait, les paniers à linge, tuyaux pour conduite d'eau et transfert des gaz.
- Domaine urbain : utilisé dans le mobilier urbain tel que les poubelles, les bancs publics, jardinière ...
- Domaine médical : prothèse de genoux, poche médicale, les seringues, les gants, blouses médicales...
- Domaine d'électricité : Utilisé souvent pour les gaines électriques, isolant pour les câblés...
- Domaine d'agriculture : Utilisé comme chambre d'agriculture en plastique, champs de culture...

- Domaine l'industrie chimique pharmaceutique : Les industries chimique et pharmaceutique utilisent le polyéthylène spécialement le PEHD parce qu'il dispose de propriétés chimiques résistantes, Il nous sert de contenant pour les shampoings, les produits ménagers, la lessive, l'huile de moteur et utiliser aussi pour créer des flacons de médicaments.

CHAPITRE III ; FABRICATION DE CABLE A L'ENTREPRISE GISB

Introduction

GISB (Groupe Industrielle Sidi Bendehiba) compose de 4 unités ;

-CLA (câblerie algérienne), GISB énergies, KAST (production de lampe), GISB green power.

Le 5 main services de GISB est ;

- 1) Service commerciale – cette service est responsable de discute avec le client lorsque la cliente contacter pour discuter des propriétés des câbles (Domain d'utilisation du câble, la couler, la quantité, la taille, la type du matériel et polymère utilise) et le client déciderai s'il veut ou non. Ce service a 3 étapes ;
 - Fiche technique
 - Prix
 - Durée de production
- 2) Bureau d'études – cette service étudie le plan, et le demande de la cliente, et puis faire une étude pour choisir le meilleur plan pour le client.
- 3) Service de la production – responsable de la fissibilité (on peut produire ou non). Si oui, ils étudient la fiche technique (catalogue)
- 4) Service de contrôle qualité (planification) – cette service est responsable de définira la durée de produit, vérifie s'il y a de commande priorité, vérifier si la machine est une bonne condition et vérifier si la matière l'existe.
- 5) Service personnelle

d. Procédés de fabrication

i. Tréfilage :

C'est le premier processus de fabrication d'un conducteur, son principe est simple, le fil-machine se déplace à travers une série de filières au diamètre décroissant, ce qui permet

une réduction progressive de son épaisseur initiale. Les filières et les cabestans sont directement submergés dans le liquide lubrifiant afin d'apporter une meilleure lubrification et un plus grand refroidissement.

La filière constitue l'élément fondamental de l'opération de tréfilage elle se compose de deux parties : un noyau, très dur, en diamant qui va assurer la réduction du diamètre du fil et une frette en acier qui maintient le noyau et lui permet de résister aux fortes pressions développées au cours du tréfilage.

Les fils de cuivre sont soumis à un traitement thermique appelé recuit. Le recuit d'un matériau est un procédé correspondant à un cycle de chauffage. Celui-ci consiste à faire subir au matériau un choc électrique, c'est une étape de montée graduelle en température suivi d'un refroidissement contrôlé. Le but de cette étape est d'augmenter sa ductilité et sa conductivité.

Le recuit n'est pas nécessaire pour l'Aluminium.

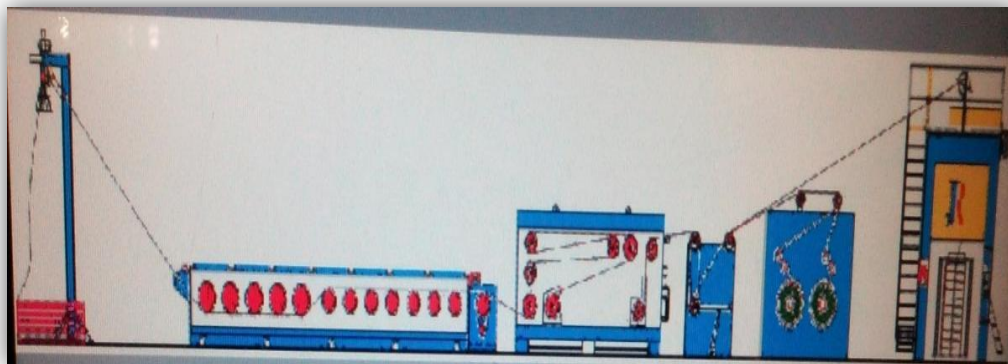


Figure 0-1. Tréfilage

ii. Câblage :

C'est le second processus qui vient Après le tréfilage, les fils obtenus sont regroupés afin de former les conducteurs à l'aide des filières spécifiques et une boîte de commande pour définir le pas et le sens de câblage (droite pour l'aluminium et gauche pour le cuivre), à la fin de cette opération on vérifie le diamètre de câblage, le diamètre du conducteur, le sens de câblage, la résistance, le poids, le pas.



Figure 0-2 : câblage

iii. Isolation :

Dans ce processus nous allons poser un recouvrement isolant sur le conducteur afin d'éviter les fuites de courant. La capacité d'isolation du matériau et son épaisseur détermineront la tension maximale de service du câble. Un matériau d'isolation de meilleur niveau thermique permettra de transmettre une plus grande puissance pour une même section de conducteur.

Le matériau d'isolation est fondu et s'applique sur le conducteur en continu à l'aide d'une extrudeuse afin d'éviter la fuite de courant. Les matériaux d'isolation peuvent être de différente nature : PVC, XLPE, etc.

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

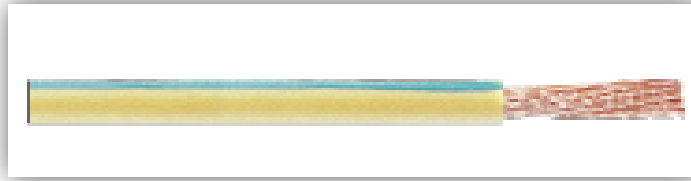


Figure 0-3 : conducteur après isolation

iv. **Assemblage ;**

Il consiste à regrouper différentes âmes isolées afin de former un câble multi polaire. L'identification des phases peut être effectuée par une coloration ou par un numérotage de celles-ci.

v. **Bourage/gainage :**

Le bourrage a pour but de donner une forme ronde au câble. La gaine extérieure est un recouvrement polymérique il isole l'intérieur du câble d'éléments externes qui pourraient altérer ses propriétés électriques comme l'humidité et le protège des chocs qu'il peut recevoir durant son installation et utilisation.

vi. **Emballage et marquage**

Pour que les clients identifient correctement le câble, celui-ci est marqué avec les informations les plus importantes : nom du fabricant, date de fabrication, numéro d'identification du lot, nombre de conducteurs, section, poids net et le poids bruts et autres informations intéressantes comme la certification du produit et le marquage mètre par mètre qui facilite le contrôle du stock.

e. **Classe de conducteur**

i. **Rigide massif (U)**

Un câble rigide massif est un type de câble conçu pour résister à de grandes forces de traction sans se n'étirer ni se déformer de manière significative. Ces câbles sont

généralement fabriqués à partir de matériaux à haute résistance et sont utilisés dans une variété d'applications telles que les ponts suspendus, les ponts à haubans et dans la construction d'immeubles de grande hauteur.

ii. Câble rigide (R)

Le câblage rigide fait référence à un type de câblage ou de câblage qui n'est pas flexible et qui est conçu pour conserver une forme ou une position fixe. Il est couramment utilisé dans les applications où un degré élevé de stabilité et de fiabilité est requis, comme dans la construction, les machines industrielles ou l'aérospatiale. Le câblage rigide peut être fabriqué à partir d'une variété de matériaux, y compris le cuivre, l'aluminium et l'acier. Il est généralement utilisé dans des situations où les câbles ou les fils doivent être maintenus en place et ne pas bouger, comme dans la construction de bâtiments ou dans des machines où les vibrations peuvent endommager le câblage. Exemple ; PVC/C

iii. Souple (K OU F)

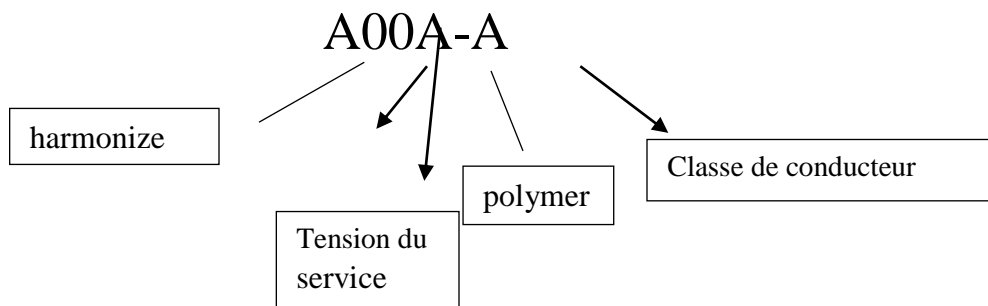
Un câble flexible est un type de câble conçu pour être flexible et capable de se plier ou de se tordre sans casser ni endommager les fils à l'intérieur. Ces câbles sont couramment utilisés dans les applications où les mouvements sont fréquents, comme dans la robotique, l'automatisation et les machines. Les câbles flexibles ont généralement une gaine extérieure flexible en matériaux tels que le PVC, le caoutchouc ou le silicone, qui protège les fils à l'intérieur et permet au câble de se plier et de fléchir. Les fils eux-mêmes sont souvent toronnés, ce qui signifie qu'ils sont constitués de plusieurs fils plus petits torsadés ensemble, offrant une flexibilité supplémentaire. Exemple ; PVC/D, PVC/ST5.

iv. Extra souple (K OU F)

Même procédé que pour le rigide souple

f. Types du larmes/câbles

La méthode pour différencier les différents types du câble peut dépendre sur l'harmonisation, tension du service, type du polymère pour l'isolation, et type du massif...



- FLATCAB
- LV-CABLE
- MV & HV CABLE
- CAFLEX+
- BATIFIL
- HALFREE
- LCA FIRE
- PETROCAB
- WELDCAB
- LCA SOLAR

CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE

La propriété mécanique des câbles est fortement influencée par la température, et la vitesse de déformation et surtout le vieillissement. A échelle laboratoire, après la fabrication de câblés il y a des séries des tests pour déterminer toutes ces propriétés.

SPECIFICATION MATIERE DU PVC

Normes ; CEI60227-1

La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux.

La présente partie de la norme internationale CEI 60227 s'applique aux conducteurs et câbles souples et rigides ayant une enveloppe isolante, et éventuellement une gaine, à base de polychlorure de vinyle, de tension nominale U_0/U au plus égale à 450/750 V, utilisés dans les installations d'énergie d'une tension nominale ne dépassant pas 450/750 V en courant alternatif. N

Application :

Le polychlorure de vinyle sous code isolation PVC/C est utilisé comme enveloppe isolante dans les câbles et conducteurs souples d'une tension nominale ne dépassant pas 450/750 V en courant alternatif. La température maximale de lame en service normal est égale 70°C.

Caractéristiques mécaniques :

Le PVC doit être sous forme de granules de tailles et couleur uniforme, le PVC doit être propre et exempt d'impuretés.

Toutes les propriétés mécaniques du PVC doivent répondre à la norme et sont mentionnées dans le tableau suivant ;

Tableau 1 : caractéristiques mécaniques de PVC/C

Propriétés	Valeur spécifique
Densité	1,43g±0.03/cm ³
Valeur minimale de résistance à la traction sans vieillissement	12,5 N/mm ²
Valeur minimale d'allongement a la rupture sans vieillissement	125%
Valeur minimale de résistance à la traction après vieillissement pendant 7 jours 80°C de tolérance ±2	12,5 N/mm ²
Valeur maximale de résistance à la traction après vieillissement	±20%
Valeur minimale d'allongement a la rupture après vieillissement pendant 7 jours a 80°C de tolérance ±2	125%
Variation maximale d'allongement a la rupture après vieillissement	±20%
Valeur minimale de perte de masse après vieillissement pendant 7 jours à température 80°C	2 mg/cm ²
Résistance à la fissuration a température 150°C de tolérance ±3 pendant 1h	Pas de fissuration
Pression a température élevée 70°C de tolérance ±2 pendant 4h	50%

Application :

Le polychlorure de vinyle sous code isolation PVC/D est utilisé comme enveloppe isolante dans les câbles et conducteurs souples d'une tension nominale ne dépassant pas 450/750 V en courant alternatif. La température maximale de service normal est égale 70°C.

Caractéristiques mécaniques :

Le PVC doit être sous forme de granules de tailles et couleur uniforme, le PVC doit être propre et exempt d'impuretés.

Toutes les propriétés mécaniques du PVC doivent répondre à la norme et sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : caractéristique mécanique de PVC/D

Propriétés	Valeur spécifique
Densité	1,43g±0.03/cm ³
Valeur minimale de résistance à la traction sans vieillissement	10 N/mm ²
Valeur minimale d'allongement a la rupture sans vieillissement	150%
Valeur minimale de résistance à la traction après vieillissement pendant 7 jours 80°C de tolérance ±2	10 N/mm ²
Valeur maximale de résistance à la traction après vieillissement	±20%
Valeur minimale d'allongement a la rupture après vieillissement pendant 7 jours a 80°C de tolérance ±2	150%
Variation maximale d'allongement a la rupture après vieillissement	±20%
Valeur minimale de perte de masse après vieillissement pendant 7 jours à température 80°C	2 mg/cm ²
Résistance à la fissuration a température 150°C de tolérance ±3 pendant 1h	Pas de fissuration
Pression a température élevée 70°C de tolérance ±2 pendant 4h	50%

Application :

Le polychlorure de vinyle sous code isolation PVC/ST5 est utilisé comme enveloppe isolante dans les câbles et conducteurs souples d'une tension nominale ne dépassant pas 450/750 V en courant alternatif. La température maximale de lame en service normal est égale 70°C.

Caractéristiques mécaniques :

Le PVC doit être sous forme de granules de tailles et couleur uniforme, le PVC doit être propre et exempt d'impuretés.

Toutes les propriétés mécaniques du PVC doivent répondre à la norme et sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : caractéristiques mécaniques de PVC/ST5

Propriétés	Valeur spécifique
Densité	1,45g±0.03/cm ³
Valeur minimale de résistance à la traction sans vieillissement	10 N/mm ²
Valeur minimale d'allongement a la rupture sans vieillissement	150%
Valeur minimale de résistance à la traction après vieillissement pendant 7 jours 80°C de tolérance ±2	10 N/mm ²
Valeur maximale de résistance à la traction après vieillissement	±20%
Valeur minimale d'allongement a la rupture après vieillissement pendant 7 jours à 80°C de tolérance ±2	150%
Variation maximale d'allongement a la rupture après vieillissement	±20%
Valeur minimale de perte de masse après vieillissement pendant 7 jours à température 80°C	2 mg/cm ²
Résistance à la fissuration a température 150°C de tolérance ±3 pendant 1h	Pas de fissuration
Pression a temperature eleve 70°C de tolerance ±2 pendant 4h	50%

SPECIFICATION MATIERE DU XLPE

Les propriétés mécaniques de tous les échantillons préparés (contraint, essais de traction, flexibilité/allongement, de résistance aux chocs) ont été étudiées.

La très importante propriété est le module d'Young (E) qui est une propriété du matériau qui nous indique avec quelle facilité il peut s'étirer et se déformer. Le module de Young est défini comme le rapport de la contrainte de traction (σ) à l'allongement (ϵ). Où la contrainte est la quantité de force appliquée par unité de surface ($\sigma = F / A$) et l'allongement est l'extension par unité de longueur ($\epsilon = dl / l$)

Tableau 4 : caractéristiques mécaniques de XLPE

Propriétés	Valeur spécifique
Densité	0,92g±0.01/cm ³
Résistance minimale à la traction	12,5 N/mm ²
Allongement a la rupture	200%
Valeur maximale de résistance à la traction après vieillissement pendant 168 heures à 135°C	±25%
Variation maximale d'allongement a la rupture après vieillissement pendant 168 heures à 135°C	±25%
Allongement maximale sous charge 15 mins à 200°C de tolérance ±3 contrainte mécanique 20 N/cm ²	175%
Allongement permanent après refroidissement	15%
Rétraction maximale à 130°C pendant 1 heure	4%

Avec la formule $E = \sigma / \epsilon$, on a essayé pour calculer et trouver le résultat ci-dessus :

Avant vieillissement ;

- $E(\text{pvc/c}) = \sigma / \epsilon$
 $= (12,5/125) * 100 = 10 \text{pa}$
- $E(\text{pvc/d}) = \sigma / \epsilon$
 $= (10/150) * 100 = 6,66 \text{pa}$
- $E(\text{pvc/st5}) = \sigma / \epsilon$
 $= (10/150) * 100 = 6,66 \text{pa}$
- $E(\text{xlpe}) = \sigma / \epsilon$
 $= (1/200) * 100 = 6,25 \text{pa}$

Tableau 5 : résultats de caractéristiques mécaniques du polymère avant vieillissement.

Polymère	Contrainte(σ)	Allongement(ϵ)	Module young (E)
PVC/C	12,5 N/mm ²	125%	10 Pa
PVC/D	10 N/mm ²	150%	6,66 Pa
PVC/ST5	10 N/mm ²	150%	6,66 Pa
XLPE	12,5 N/mm ²	200%	6,25 Pa

On a trace $E = f(\text{polymere})$

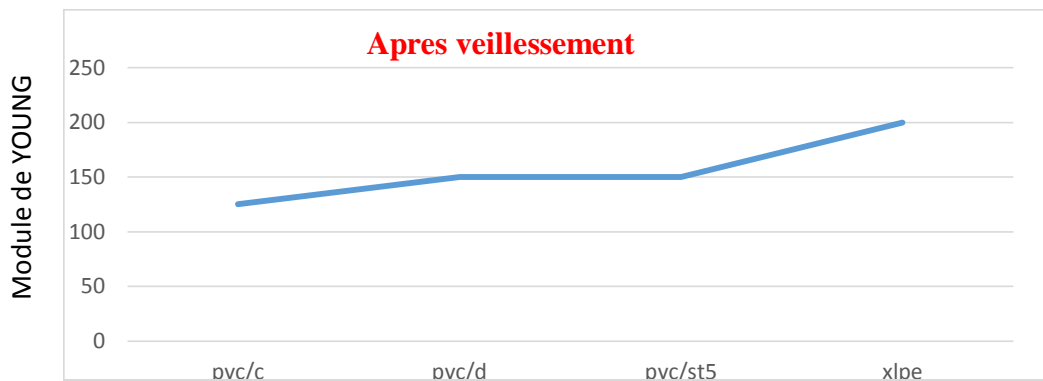
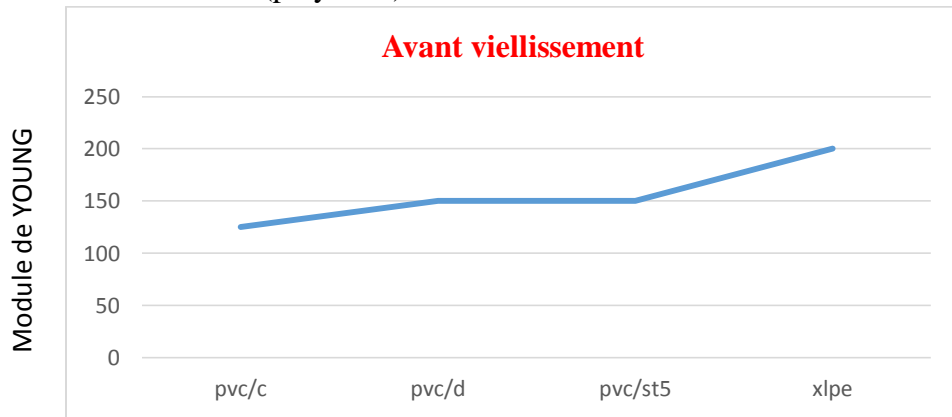


Figure 0-1 : graphe de module Young (E) avant et après vieillissement.

Remarque ;

La propriété mécanique d'un câble, en particulier le module d'Young ou élasticité, est fortement influencée par la température et la vitesse de déformation. D'après le tableau et le graphique, on observe que lorsque l'allongement augmente, le module d'Young diminue. Ça tout simplement implique que lorsqu'il y a augmentation de la température, la longueur du câble augmente, ça veut dit il Ya une augmentation a l'allongement ce qui diminue sa rigidité donc augmentation de l'allongement implique automatiquement à partir de la formule du module d'Young que le module d'Young diminue.

Après le vieillissement ;

- $E(\text{PVC/C}) = \sigma / \varepsilon$
 $12,5 + 20\% = 12,7$
 $125 + 20\% = 125,2$
 $= (12,7 / 125,2) * 100 = 10,1 \text{pa}$

- $E(\text{PVC/D}) = \sigma / \varepsilon$
 $10 + 20\% = 10,2$
 $150 + 20\% = 150,2$
 $= (10,2 / 150,2) * 100 = 6,7 \text{pa}$

- $E(\text{PVC/ST5}) = \sigma / \varepsilon$
 $10 + 20\% = 10,2$
 $150 + 20\% = 150,2$
 $= (10,2 / 150,2) * 100 = 6,7 \text{pa}$

- $E(\text{XLPE}) = \sigma / \varepsilon$
 $12,5 + 25\% = 12,75$
 $200 + 25\% = 225$
 $= (12,75 / 225) * 100 = 5,66 \text{pa}$

Tableau 6 : résultats de caractéristique mécanique du polymère après vieillissement.

	Contrainte(σ)	Allongement(ϵ)	Module Young (E)
PVC/C	12,7 N/mm ²	125,2%	10,1 Pa
PVC/D	10,2 N/mm ²	150,2%	6,7 Pa
PVC/ST5	10,2 N/mm ²	150,2 %	6,7 Pa
XLPE	12,75 N/mm ²	225%	5,66 Pa

On a trace $E = f(\text{polymer})$

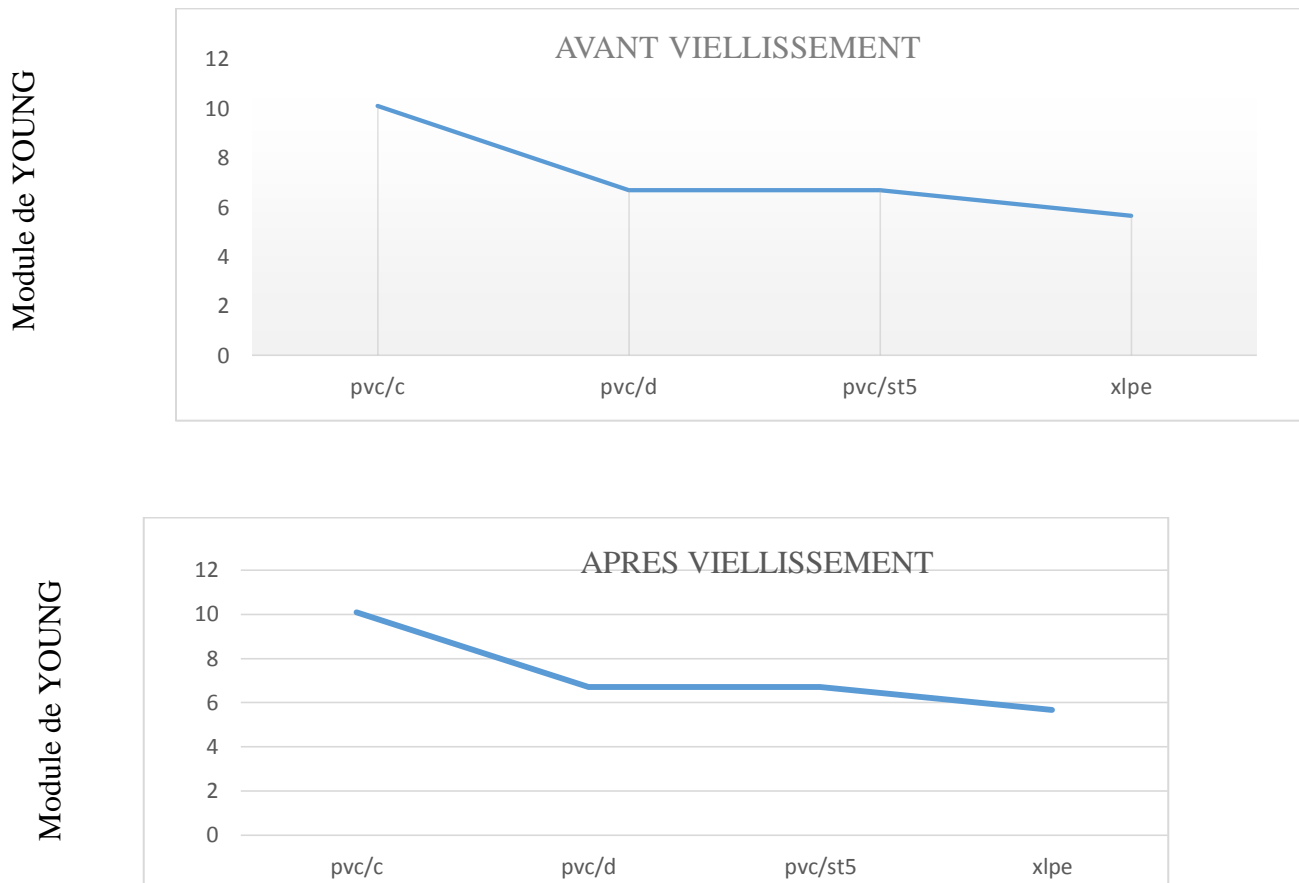


Figure 0-2 : graph de module Young avant et après vieillissement

Remarque

Même avec les calculs et résultats qu'on a trouvés après vieillissement on se remarque que toujours lorsque l'allongement est Croissant, le module Young est un décroissant qui l'implique simplement que le câble après subit toutes les manières et testes nécessaire est un très bon câble avec la bonne qualité et c'est prêt pour commercialise. (Avant et après le vieillissement).

CONCLUSION GENERALE

Ce projet vise à déterminer les propriétés mécaniques des câbles fabriqués en GISB. Les propriétés à examiner en particulier sont le module de Young. Le module de Young est l'une des propriétés les plus importantes des câbles pour déterminer l'élasticité et la durabilité de la qualité du câble préparé. En conclusion, les études comparatives des propriétés mécaniques entre le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polyéthylène réticulé (XLPE) ont fourni des informations précieuses sur les caractéristiques de performance de ces matériaux. Le PVC, un polymère thermoplastique polyvalent, présente des propriétés mécaniques favorables telles qu'une résistance à la traction élevée, une bonne flexibilité et une excellente résistance chimique, ce qui est parfait pour la fabrication de câbles.

D'autre part, le polyéthylène réticulé (XLPE), qui est un polyéthylène réticulé avec un catalyseur (silane), possède des propriétés mécaniques uniques qui le rendent adapté à des applications spécifiques. Il offre une résistance exceptionnelle aux chocs, d'excellentes propriétés d'amortissement et une résistance à la traction élevée, d'où l'utilisation majeure pour la fabrication de câbles dans GISB.

Les études comparatives ont révélé que le PVC excelle généralement en termes de rigidité et de résistance chimique, ce qui en fait un choix privilégié pour les applications nécessitant durabilité et stabilité chimique. En revanche, le XLPE démontre une absorption des chocs et une flexibilité supérieure, ce qui le rend idéal pour les applications qui privilégient la résistance aux chocs.

Il convient de noter que le choix entre le PVC et le XLPE dépend en fin de compte des exigences spécifiques de l'application envisagée. Des facteurs tels que les considérations environnementales, la rentabilité et la conformité réglementaire doivent également être pris en compte lors du choix du matériau approprié.

Dans l'ensemble, les études comparatives ont mis en lumière les propriétés mécaniques du PVC et du polyéthylène réticulé, permettant aux ingénieurs, fabricants, de prendre des décisions éclairées en fonction de leurs besoins spécifiques d'application. D'autres recherches et développements dans ce domaine continueront d'élargir notre compréhension de ces matériaux et de contribuer aux progrès de diverses industries.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] J. Lecomte-Beckers, Cours Physique des Matériaux, Partie Polymères, 2009.
- [2] D.W Van Krevelen. – Properties of Polymers. 3e edition, Elsevier, Amsterdam (1990).
- [3] J. Bandrup, E.H Immergut, E.A Grulke – Polymer Handbook. 4e Ed., 2 vol., Wiley, New York (2003).
- [4] A.F.M Barton – Handbook of solubility parameters and Other Cohesion Parameters. 2e edition, CRC Press, Boca Raton (Fla) (1991).
- [5] J. Bicerano – Prediction of Polymer Properties. 3e Ed., Marcel Dekker, New York (2002).
MARK J.E (ed.), Polymer Data Handbook. Oxford University Press Inc. (1999).