

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOULOU D MAMMARI DE TIZI-OUZOU**



**Faculté de Génie Electrique et d'Informatique**

**Département d'Electrotechnique**

**Option : Electrotechnique industrielle**

**Mémoire de master académique en Electrotechnique**

Présenté par :

**AIT RAHMANE Abderrahmane**

**HETTAK Khaled**

**Thème**

**Caractérisation du polyéthylène basse densité soumis aux  
irradiations ultraviolettes**

Mémoire soutenu le 11/07/2018 devant les jurys :

**Mr Djafar BOUGUEDAD**

Maître de Conférences A, UMMTO, Président

**Mr Mustapha MOUDOUD**

Maitre de conférences A, UMMTO, Encadreur

**Mr Ferhat SLIMANI**

Doctorant, UMMTO, Co-Encadreur

p

**Mr Abdallah HEDIR**

Maitre de conférences B, examinateur

**Mr Farid NAMANI**

Maitre assistant A, UMMTO, Examineur

# Remerciements

*Avant tout je tiens à remercier DIEU qui m'a arrosé de la lumière de sa connaissance et m'a protégé de l'ignorance.*

*Nos profondes gratitudes adressées à notre encadreur Mr **M.MOUDOUD** pour son encadrement, sa disponibilité, sa compétence, son dévouement et de ses conseils judicieux qui nous ont été un grand soutien moral et qui nous ont amené à réaliser ce travail.*

*On tient à remercier notre co-encadreur Mr **F.SLIMANI** pour toutes les explications, les conseils et les informations pour réaliser ce modeste travail.*

*Nos plus vifs remerciements s'adressent à Mr **A. HEDIR** pour ses encouragements et ses conseils judicieux*

*On tient à exprimer nos sincères remerciements et nos profondes gratitudes à Mr **F. BELLABAS** ingénieur au laboratoire de physique pour ses qualités humaine et l'aide précieux qu'il nous a apporté durant notre période de stage à l'entreprise Electro-Industrie d'AZAZGA.*

*On souhaiterait remercier tous ceux avec qui nous avons eu la chance de travailler et qui ont pu nous aider de près ou de loin, en mettant à notre disposition tous les moyens (matériels, compétences et qualités humaines) dont ils disposaient.*

**Merci**

# *Dédicaces*

*À mes très chers parents qui ont fait de leurs mieux  
pour que je réussisse dans mes études*

*À mon petit frère Assalas*

*À ma petite sœur Thiziri*

*À ma sœur Liza et son marié et sa petite fille*

*À ma sœur Lydia et son époux*

*À ma copine attaf Yasmine et sa famille*

*À toute la famille*

*À mon binôme Abdou et sa famille*

*À tout mes amis en générale et Khalil*

*BELLABAS en particulier*

*Khaled*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À Mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.*

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;  
maman que j'adore*

*À ma sœur Djouher et mon frère Lakhdhar à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite*

*À mes chers oncles et leurs épouses.*

*À ma chère tante et son époux ainsi que leurs enfants, Samir, Ilène et Cidra*

*À mes chers cousins et cousines.*

*À mon binôme Khaled et toute la famille Hattak.*

*À mes amis de cœur en générale, HIBOUCHE Hocine en particulier.*

*Abdou*

# **Table des matières**

Introduction générale.....	1-2
Chapitre I : Généralités sur les polymères	
I. Généralités sur les polymères.....	3
I.1. Définition de polymère .....	3
I.2. Applications des polymères .....	4
I.3. Famille de polymères .....	5
I.3.1. Les matières thermoplastiques .....	5
I.3.2. Les élastomères .....	5
I.3.3. Les matières thermodurcissables .....	5
I.4. Liaisons moléculaires.....	5
I.4.1. Liaison covalentes .....	5
I.4.2. Liaison hydrogène .....	6
I.4.3. Liaison de van der Waals .....	6
I.5. Classification.....	6
I.5.1. Selon l'origine.....	6
I.5.2. Selon leur domaine d'application.....	6
I.5.3. Selon leur dimensionnalité .....	7
I.5.4. Selon leur comportement thermique .....	8
I.5.5. Selon le nombre de monomère .....	9
I.5.6. Selon l'ordre moléculaire.....	10
I.6. Architecture des polymères .....	11
I.6.1. Polymères linéaires.....	11
I.6.2. Polymères ramifiés .....	11
I.6.3. Polymères réticulés :.....	11
I.7. Caractéristiques des polymères .....	12
I.8. Synthèse des polymères .....	12
I.8.1. La polymérisation :.....	12
I.8.1.1. La polymérisation en chaîne.....	12
I.8.1.2. Polymérisation radicalaire .....	12
I.8.2. La polycondensation.....	13
I.8.3. Cristallinité des polymères .....	14
I.9. Propriétés de polymère.....	14
I.9.1. Rigidité diélectrique .....	14
I.9.2. Résistivité .....	14

I.9.3. Permittivité .....	14
I.9.4. Facteur de pertes diélectriques .....	15
I.10. Utilisation des polymères dans le transport d'électricité .....	15
I.10.1. Câbles électriques .....	15
I.10.2. Accessoires pour câbles.....	17
Conclusion.....	17

## Chapitre II : Vieillissement des polymères soumis aux irradiations ultraviolets

I.1. Définition .....	18
II. Type de vieillissement .....	18
II.1. Vieillissement physique : .....	18
II.1.1. Vieillissement physique avec transfert de masse .....	19
II.1.2. Vieillissement physique sans transfert de masse .....	19
II.2. Vieillissement chimique.....	19
III. Vieillissement sous rayonnement ultraviolet .....	19
III.1. Les rayonnements ultraviolets (UV).....	19
III.2. Les source des rayonnement UV .....	20
III.2.1. Le rayonnement solaire.....	20
III.2.2. Les arcs à souder .....	20
III.2.3. Les diodes UV .....	20
III.3. Effet du vieillissement sur les propriétés des polymères.....	20
III.3.1. Propriétés mécaniques .....	20
III.3.2. Propriétés électriques .....	21
III.3.3. Propriétés optiques.....	21
IV. Photo-dégradation .....	21
IV.1. Conséquence des dégradations (vieillissements) .....	22
IV.2. Facteur provoquant la photo-dégradation.....	22
IV.2.1. Impuretés internes.....	22
IV.2.2. Impuretés externes .....	22
V. Photo-oxydation.....	23
V.1. Effet de la photo-oxydation sur les propriétés des polymères.....	23
VI. Mécanisme de coupure de chaîne.....	23
VI.1 Réticulation .....	23
Conclusion.....	24

## Chapitre IV: Techniques expérimentales

I. Présentation du polyéthylène	25
I.1. définition de polyéthylène	25
I.2. Procédés de fabrication des polyéthylène	26
I.3. Domain d'utilisation de PE	26
I.4. Polyéthylène basse densité (PEBD)	26
I.5. Recyclage de PEBD	27
I.6. Le processus de réticulation	27
I.7. Propriétés du polyéthylène basse densité PEBD	27
I.7.1. Propriétés physico-chimiques	27
I.7.2. Propriétés thermiques	27
I.7.4. Propriétés chimiques	28
I.7.5. Propriétés électriques	28
I.7.7. Propriétés mécaniques	28
I.8. Utilisation de PEBD en électricité	29
II. Préparation des échantillons	29
III. Dispositifs expérimentaux	29
III.1. La chambre de vieillissement sous rayonnement UV	29
III.2. Conditionnement des éprouvettes	30
IV. Propriétés diélectriques	31
IV.1. Permittivité relative	31
IV.2. Facteur de pertes diélectriques	32
IV.3. Résistivité transversale	32
IV.4. Régidité diélectrique	32
V. Propriétés mécaniques	34
V.1. Allongement à la rupture et résistance à la traction	34
V.1.1. Allongement à la rupture	35
V.1.2. La résistance à la traction	35
Conclusion	36

## Chapitre IV : Résultats et interprétations

I. Propriétés diélectriques	37
I.1. Variation de la permittivité relative	37
I.1.1. Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence	37
I.1.2. Evolution de la permittivité relative en fonction du temps	38

I.2. Variation du facteur de pertes diélectriques .....	39
I.2.1. Evolution du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence .....	39
I.2.2. Evolution du facteur de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement .....	40
I.3. Variation de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement .....	41
II. Propriétés mécaniques .....	42
II.1. Variation de l'allongement à la rupture en fonction du temps de vieillissement .....	42
II.2. Variation de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement .....	43
Conclusion .....	43
Conclusion générale .....	45

# Liste des figures

## Chapitre I : Généralités sur les polymères

Figure I.1 : exemples des polymères avec leurs monomères respectifs.....	4
Figure I.2 : Liaison hydrogène .....	6
Figure I.3 : La chaîne d'un polymère linéaire.....	7
Figure I.4 : La chaîne d'un polymère bidimensionnel .....	7
Figure I.5 : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel .....	7
Figure I.6 : Les homopolymères linéaires. ....	9
Figure I.7 : Les homopolymères branchés. ....	9
Figure I.8 : Les homopolymères étoilés. ....	9
Figure I.9 : Le mode statistique de copolymère. ....	9
Figure I.10 : Le mode statistique de copolymère. ....	10
Figure I.11 : Le mode séquencé de Copolymère « dibloc » [AB] .....	10
Figure I.12 : Le mode séquencé de Copolymère « tribloc » [ABA] .....	10
Figure I.13 : Le mode greffé de Copolymère .....	10
Figure I.14 : Polymère linéaire.....	11
Figure I.14 : Polymère ramifié .....	11
Figure I.15 : Polymère réticulé.....	11
Figure I.16 : Polymérisation de Polyéthylène .....	12
Figure I.17 : Composants de câbles hauts tension .....	16
Figure I.18 : Berceau fabriqué en polymère.....	17

## Chapitre II : Vieillissement sous irradiations ultraviolets

Figure I.1 : Spectre de lumière .....	20
Figure I.2 : Avant le vieillissement sous UV. ....	21
Figure I.3 : Après le vieillissement sous UV. ....	21
Figure I.4 : Images correspondant à la dégradation de quelques polymères.....	22

## Chapitre IV: Techniques expérimentales

Figure III.1 : la forme chimique de polyéthylène.....	25
Figure III.2 : Schéma représentatif du polyéthylène .....	25
Figure III.3 : Structure de polyéthylène basse densité (LDPE).....	26

Figure III.4 : Logo de recyclage de PEBD sur les emballages.....	27
Figure III.5 : Eprouvette pour les essais mécaniques et diélectriques.....	29
Figure III.6 : L'extérieur de la chambre de vieillissement sous rayonnement ultraviolet .....	29
Figure III.7 : L'intérieur de la chambre de vieillissement sous rayonnement ultraviolet.....	30
Figure III.8 : Dessiccateur .....	30
Figure III.9 : LCR mètre .....	31
Figure III.10 : Spinter-mètre .....	33
Figure III.11 : Comparateur .....	33
Figure III.12 : La machine à traction.....	34
Figure III.13 : Micromètre.....	35

#### Chapitre IV : Résultats et interprétation

Figure IV.1 : Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence. ....	37
Figure IV.2 : Variation de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement. ....	38
Figure IV.3 : Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.....	39
Figure IV.4: Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	40
Figure IV.5: Variation de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement. ....	41
Figure IV.6: Variation de la l'allongement à la rupture en fonction du temps de vieillissement. .	42
Figure IV.7: Variation de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement. ....	43

# **Introduction générale**

Au jour d'aujourd'hui, les matières plastiques sont présentes presque dans tous les secteurs de l'activité humaine, elles sont devenues ces dernières années indispensables dans de nombreux domaines de haute technologie. La production des plastiques est sans cesse croissante depuis pratiquement un siècle.

Les polymères sont utilisés essentiellement pour leur souplesse (textiles, joints, flexibles, élastiques, films plastiques (emballage, sacs)), leur facilité de mise en forme (moulage d'objets de forme parfois complexe, contenants (flacons, bouteilles, bidons, cuves)), leur légèreté (faible masse volumique, certains flottent dans l'eau), leurs propriétés de surface (anti-adhérence (Téflon) ou au contraire forte adhérence (pneu, peinture, colle)), leurs propriétés isolantes, thermiques et électriques et leur résistance à divers environnements chimiques (alimentaire, acides).

Les polymères sont bien connus pour être de bons isolants électriques et l'importante considération dont ils jouissent auprès des industriels et de la communauté scientifique en est la preuve. Le polyéthylène PE est le plus utilisé dans la fabrication des câbles de moyenne et haute tension, car, d'une part ils ne sont pas chers, et d'autre part, ils ont une bonne rigidité diélectrique ainsi qu'un faible facteur de pertes diélectriques.

Le vieillissement d'un polymère sous l'impact des diverses agressions qu'il peut subir dans son environnement d'usage constitue très souvent une sévère limitation à l'utilisation même du matériau. On peut facilement imaginer les conséquences que la dégradation des propriétés fonctionnelles du matériau peut avoir, non seulement en termes économiques, mais également en termes de sécurité des biens ou des personnes.

Le présent manuscrit est divisé en deux grandes parties, la première comprenant trois chapitres 1, 2 et 3 consacrés à une recherche bibliographique. Une deuxième partie présentée dans le chapitre 4 consacrée à l'étude expérimentale, résultats et discussion.

Le premier chapitre est un rappel sur les généralités et les notions fondamentales sur des polymères (Définition, structure, et application).

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de vieillissement des polymères soumis aux irradiations ultraviolets.

La partie expérimentale est présentée dans le troisième chapitre, où on trouve une présentation du polyéthylène basse densité (PEBD) dans la première partie. La deuxième partie est consacrée pour la présentation des dispositifs expérimentaux (chambre de vieillissement sous

UV ainsi que les différents dispositifs et équipements, utilisés lors de la partie expérimentale réalisée à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA).

Quant au quatrième chapitre, il sera réservé pour l'exposition et l'interprétation des résultats obtenus , et on termine notre travail avec une conclusion générale .

# Chapitre I

## Généralités sur les polymères

Les composants et systèmes du génie électrique intègrent des éléments d'isolation électrique entre des éléments, portés à des potentiels différents ou dans un souci de protection des biens et des personnes, parmi ces matériaux on distingue les polymères, qui occupent une place très importante, la résistance de ces matériaux est variable selon leur nature et leur formulation. Ces derniers sont exposés à plusieurs risques dont les agressions climatiques (température et rayonnement UV... etc.), ainsi qu'électriques, et cela entraîne une dégradation de ces matériaux polymères en réduisant leurs performances et leurs capacités d'isolation.

Ce premier chapitre est composé en deux parties, la première partie donne un aperçu général sur les matériaux polymères, les différentes classifications, leurs caractéristiques ainsi que les différentes architectures. Et la deuxième partie est consacrée pour l'utilisation des polymères dans le transport de l'électricité.

## **I. Généralités sur les polymères**

### **I.1. Définition de polymère**

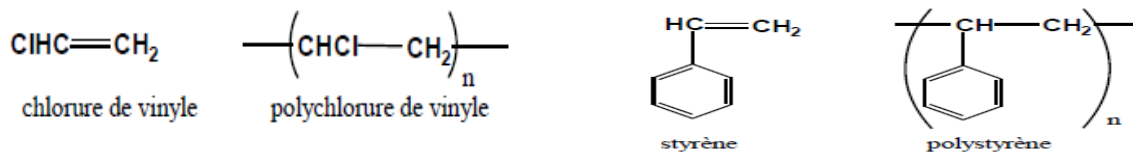
Le polymère veut dire plusieurs unités, en grec. Ces matériaux sont appelés aussi matière plastiques ou simplement plastique, sont des matériaux organiques composés essentiellement d'atomes de carbone et d'hydrogène. Outre leur poids spécifique faible, leurs principales caractéristiques sont leur résistance et leur rigidité [1].

Les macromolécules sont des molécules géantes, formées de plusieurs milliers de motifs structuraux simples appelées monomères, du grec « meros » qui signifie « partie » liés entre eux par des liaisons covalentes. L'exemple suivant présente la formation de polyéthylène (PE) par polymérisation des monomères d'éthylène [2].

Le polymère c'est un ensemble de monomères liés par liaison covalente formant une chaîne macromoléculaire, autrement dit, Ces polymères sont de grands groupes de monomères liés par un procédé chimique appelé polymérisation.

Les polymères jouent un rôle très intéressant grâce à leurs:

- Propriétés, thermiques, optiques, électriques et chimiques remarquables.
- Propriétés mécaniques et élastiques intéressantes.
- Abondance et disponibilité à coût réduit.
- Possibilité d'avoir des matériaux de toute forme, de toute épaisseur.
- Taux de vieillissement faible en fonction du temps.
- Flexibilité et légèreté.



**Figure I.1** : exemples des polymères avec leurs monomères respectifs

## I.2. Applications des polymères

Les polymères sont fortement utilisés dans plusieurs domaines :

### ➤ Electriques

- ✓ Les connecteurs pour puits de forage
- ✓ Gainage des câbles
- ✓ Fibre optique
- ✓ Cellules photovoltaïques

### ➤ Automobiles

- ✓ Les segments
- ✓ Les tiges de soupapes
- ✓ Réservoirs d'essence
- ✓ Pneu en caoutchouc

### ➤ Ingénierie

- ✓ Les joints hydrauliques
- ✓ Les brides de tubes
- ✓ Les plaques de valve de compresseur
- ✓ Verre de lunette

### ➤ Aéronautique

- ✓ Les connecteurs
- ✓ Les turbines
- ✓ Les roulements à bille
- ✓ Les bagues

### ➤ Bâtiment - Travaux publics

- ✓ Peinture
- ✓ Isolation
- ✓ Revêtement de sol
- ✓ Tuyauterie

- **L'emballage des produits alimentaires, cosmétiques et détergents**
  - ✓ Bouteille en plastique
  - ✓ Boite de conservation
  - ✓ sacs poubelles
- **L'industrie de l'électroménager, du textile, et de l'agriculture [3].**

### **I.3. Famille de polymères**

Les polymères sont classés en trois familles :

#### **I.3.1. Les matières thermoplastiques**

Elles sont appelées simplement thermoplastiques, elles sont constituées de macromolécules linéaires ou ramifiées [4], liées entre elles par des forces de Van Der Waals [5]. Ces matières sont solides à température ambiante, elles se ramollissent à la chaleur jusqu'à un état plastique dans lequel elles se déforment facilement. Ces plastiques fondent, se vaporisent et brûlent. Mais elles se durcissent avec le refroidissement [1].

#### **I.3.2. Les élastomères**

Sont des matériaux amorphes [5]. Ils sont constitués de macromolécules réticulées, liées chimiquement entre elles. Les élastomères peuvent toutefois fondre sous l'action de la chaleur et ils se déforment plus ou moins facilement, ils subissent de très grandes déformations sous l'action des contraintes mécaniques puis ils reviennent à leur forme initiale lorsque l'action mécanique cesse [1].

#### **I.3.3. Les matières thermodurcissables**

Sont des matériaux amorphes [5]. Sous l'effet de la chaleur, elles deviennent dures et ne peuvent plus fondre. Les polymères thermodurcissables sont réticulés, ils sont obtenus par réaction chimique, les thermodurcissables présentent une résistance mécanique, chimique et thermique plus élevée que les thermoplastiques [6].

### **I.4. Liaisons moléculaires**

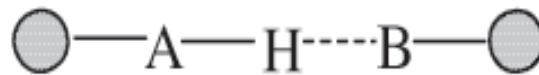
Trois types d'interactions peuvent servir pour donner de la cohésion aux polymères.

#### **I.4.1. Liaison covalente**

Elles sont des liaisons chimiques fortes qui associent les atomes individuels dans les macromolécules, que se soient les liaisons appartenant aux monomères d'origine ou celles qui se forment entre les monomères lors de la polymérisation. La rupture des liaisons covalentes, à la suite de laquelle la chaîne macromoléculaire se décompose, peut se produire sous l'influence d'une contrainte thermique, sous l'effet d'une oxydation ou d'une radiation.

### I.4.2. Liaison hydrogène

Appelé aussi pont hydrogène, c'est une liaison physique non covalente, de type dipôle-dipôle. Elle relie des molécules en impliquant un atome d'hydrogène, on peut leur attribuer une origine électrostatique ou ionique. Les liaisons hydrogène se différencient des interactions de van der Waals par leur intensité. Leurs énergies de liaison est supérieure a celle des force de van der Waals.



**Figure I.2 :** Liaison hydrogène

A et B sont des éléments fortement négatifs

### I.4.3. Liaison de van der Waals

Appelé force de van der Waals ou interaction de van der Waals. Ce sont des forces d'attraction entre dipôles qui peuvent avoir différentes origines [7]. C'est une interaction électrique de faible intensité entre deux atomes ou molécules.

## I.5. Classification

Les polymères peuvent être classés selon plusieurs critères qui ne s'excluent pas les uns des autres.

### I.5.1. Selon l'origine

- **Les polymères naturels :** appelés aussi bio-polymère, sont des polymères formés par les organismes vivants soit végétal ou bien animal (cellulose amidon caoutchouc ...etc.).
- **Les polymères artificiels :** sont obtenus par modification chimique des polymères naturels, autrement dit ce sont des dérivés des polymères naturels (nitrocellulose...etc.) [2].
- **Les polyméries synthétiques :** sont obtenus par polymérisation de molécules monomères [4].

### I.6.2 Selon leur domaine d'application

- **Les polymères de grande diffusion :** dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes. Le polyéthylène, le polystyrène, le poly (chlorure de vinyle) et quelques autres sont à classer dans cette catégorie, ils présentent une importance économique considérable [3].

- **Les polymères techniques** : ont des caractéristiques mécaniques qui leur permettent de se substituer aux matériaux traditionnels (métaux, céramiques...etc.) dans de nombreuses applications, les polyamides font partie de cette famille [6].
- **Les polymères spéciaux** : présentent généralement une propriété spécifique qui induit leur utilisation pour une application particulière [6]. C'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, thermostables... [3].

### I.6.3. Selon leur dimensionnalité

- **Les polymères linéaires (ou monodimensionnels)** : Pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères [7].



Figure I.3 : La chaîne d'un polymère linéaire

- **Les polymères bidimensionnels** : Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels d'épaisseur comparable à celle des molécules simples [2].

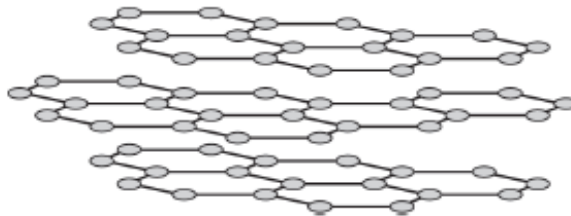


Figure I.4 : La chaîne d'un polymère bidimensionnel

- **Les polymères tridimensionnels** : Qui résultent de la polymérisation de monomère dont la valence moyenne est supérieure à deux ou de la réticulation, Leur dimension moléculaire peut être considérée comme infinie [8].

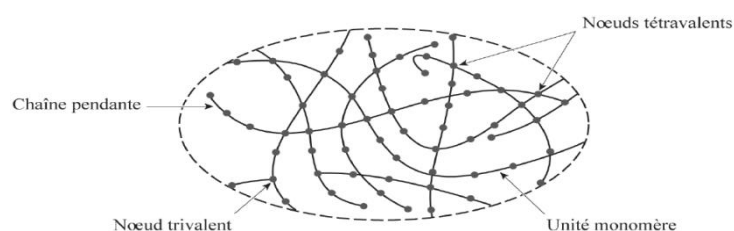


Figure I.5 : Représentation schématique d'un polymère tridimensionnel

#### I.5.4. Selon leur comportement thermique

- **Les thermoplastiques** : Sont des polymères qui peuvent être moulés par chauffage et durcis par refroidissement [3]. On peut citer :
  - Le polyéthylène (PE) : utilisé dans la Câblerie, corps creux, articles ménagers, feuilles, tuyaux, films minces, sacs, mousses ...etc.
  - Le polychlorure de vinyle (PVC) : utilisé dans la fabrication des Bouteilles, articles ménagers, feuilles, câbles, plaques, tuyaux, films minces, sacs, gants, jouets, gouttières, volets, ...etc.
  - Le polypropylène (PP) : utilisé dans la fabrication des emballages alimentaires, pièces techniques pour l'automobile (pare-chocs, batteries, ...etc.), vaisselle pour four micro-ondes, tapis, moquettes, cordes, ficelles...etc.
  - Le polystyrène (PS) : utilisé dans la fabrication des : emballages alimentaires, pièces techniques pour l'automobile et vaisselle pour four micro-ondes.
  
- **Les thermodurcissables** : Sont durs à la chaleur, ils se transforment de façon irréversible [3]. On peut citer :
  - Le phénoplaste (PF) : utilisé dans les domaines scientifiques et réalisation d'objets comme téléphones, postes de radio, pour fabriquer les poignées de casserole, de fer à repasser et des plaques de revêtement.
  - L'aminoplaste (MF) : utilisé dans la fabrication de nappe décorative, mobilier de cuisine...etc.
  - Le polyester insaturé : utilisé dans la fabrication des pales d'éoliennes, coques et cabines de bateaux, piscines, carrosseries d'automobiles,...etc.
  - Le polyuréthane (PUR) : utilisé dans la fabrication des Chaussure de ski, revêtement de sol, siège de voiture... etc.
  
- **Les élastomères** : Ils subissent de très grandes déformations sous l'action de contraintes mécaniques, [3]. On peut citer comme exemple :
  - Le caoutchouc : est destinée à l'industrie du pneumatique.
  - Le silicone : est utilisé dans l'isolation des câbles, la réalisation de tube et flexibles, de moules de cuisine, ...etc.

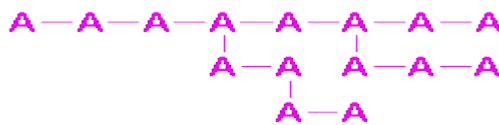
### I.5.5. Selon le nombre de monomère

- **Homopolymères** : Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité autrement dit un seul monomère utilisé. ces homopolymères sont des longues chaînes formées par la répétition d'un monomère [9]. Parmi ces derniers, on peut citer le polyéthylène. Il existe, au sein des homopolymères plusieurs familles.

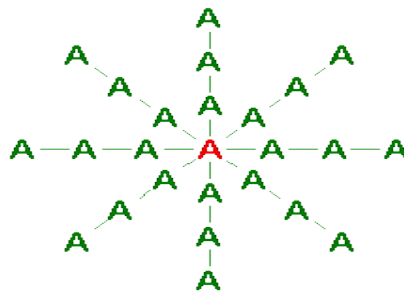
Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons :



**Figure I.6** : Les homopolymères linéaires.



**Figure I.7** : Les homopolymères branchés.



**Figure I.8** : Les homopolymères étoilés.

A et B seront deux unités différentes du copolymère

- **Copolymères** : Les copolymères sont des polymères qui possèdent plusieurs unités. C'est à dire deux ou plus de monomères utilisés [10\*].

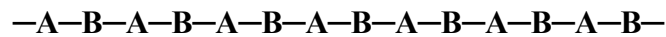
Parmi les différents copolymères, nous trouvons :

- **Le mode statistique** : Les unités constitutives A et B se répartissent le long de la chaîne en suivant une statistique. Les copolymères complètement désordonnés font partie de cette famille. Dans ce cas particulier, les unités constitutives sont réparties de façon aléatoire [11].



**Figure I.9** : Le mode statistique de copolymère.

- **Le mode alterné** : Les unités constitutives A et B sont disposées en alternance le long de la chaîne [11].

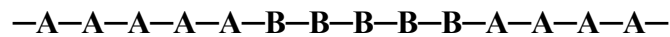


**Figure I.10** : Le mode alterné de copolymère.

- **Le mode séquencé** : Ce sont des molécules où chaque unité constitutive est répétée plusieurs fois de suite (block) pour former de longues séquences. par exemple :

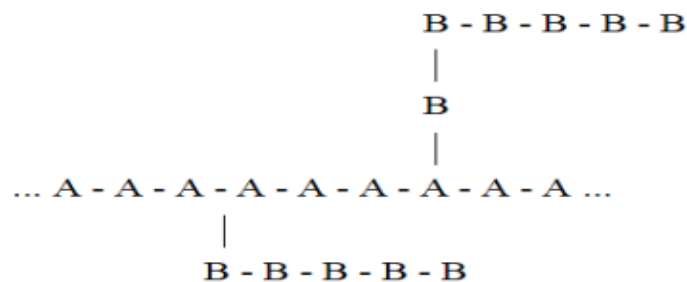


**Figure I.11** : Le mode séquencé de Copolymère « dibloc » [AB]



**Figure I.12** : Le mode séquencé de Copolymère « tribloc » [ABA]

- **Le mode greffé** : L'exemple le plus simple est celui d'une chaîne d'un homopolymère principal sur lequel des chaînes secondaires d'un autre polymère sont greffées. Par exemple :



**Figure I.13** : Le mode greffé de Copolymère

### I.5.6. Selon l'ordre moléculaire

Il existe trois types d'ordre moléculaire :

- **Les polymères amorphes** : Dans ce cas les chaînes macromoléculaires ne sont pas arrangées, il y'a un désordre total.
- **Les polymères cristallins** : Il existe dans ce cas les zones cristallines dont les chaînes sont ordonnées.
- **Les polymères semi-cristallins** : Ils se composent d'une phase cristalline (l'ordre) et une phase amorphe (désordre) [3].

## I.6. Architecture des polymères

Les polymères peuvent présenter des architectures extrêmement variables. Ils peuvent être linéaires, ramifiés ou réticulés.

### I.6.1. Polymères linéaires

Les polymères linéaires sont constitués de grandes chaînes de monomères reliés entre eux par des liaisons covalentes. Ces macromolécules sont liées entre elles par des liaisons secondaires qui assurent la stabilité du polymère. Ces liaisons secondaires sont des liaisons ou ponts hydrogène ou des liaisons de Van der Waals. Lorsque ces liaisons existent, le matériau devient rigide et présente un comportement de solide.

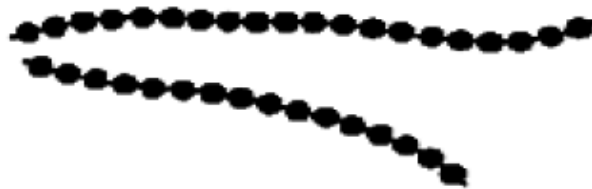


Figure I.14 : Polymère linéaire

### I.6.2. Polymères ramifiés

Les petites molécules identiques sont branchées latéralement sur la chaîne principale, ce sont les ramifications [12].

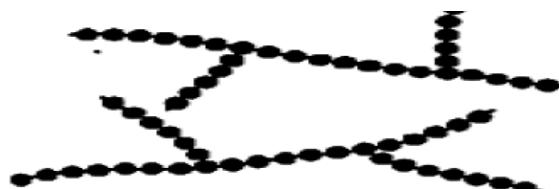


Figure I.14 : Polymère ramifié

### I.6.3. Polymères réticulés :

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

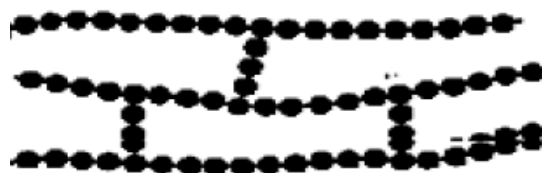


Figure I.15 : Polymère réticulé

## I.7. Caractéristiques des polymères

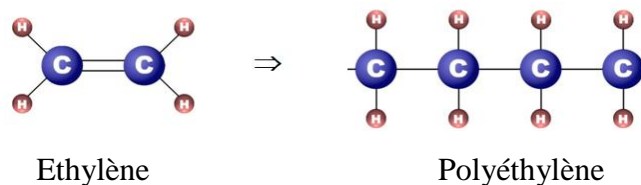
Dans la plupart des matières plastiques (mais pas toujours respectée dans certaines matières plastiques spéciales) sont les suivantes :

- Ont un faible coût de production;
- Possèdent une faible densité;
- Ont tendance à être imperméable à l'eau;
- bons isolants électriques;
- Isolation acoustique acceptable;
- Une bonne isolation thermique, mais la plupart ne peuvent pas résister à des températures très élevées;
- Résistant à la corrosion et de nombreux facteurs chimiques;
- Certains ne sont pas biodégradables ou facilement recyclables, et si ils brûlent, sont très polluants [3].

## I.8. Synthèse des polymères

### I.8.1. La polymérisation :

La polymérisation est une réaction chimique qui assemble les monomères en macromolécules [10]. C'est à dire qui permet la synthèse des polymères. Par exemple :



**Figure I.16 :** Polymérisation de Polyéthylène

Il existe deux types de réaction chimique qui permettent la polymérisation qui sont :

La polymérisation en chaîne et la polymérisation radicalaire.

#### I.8.1.1. La polymérisation en chaîne

C'est une réaction qui conduit à la formation de polymère par additions successives de monomère sur une extrémité active de la chaîne macromoléculaire.

#### I.8.1.2. Polymérisation radicalaire

C'est une réaction en chaîne où l'espèce réactive est un radical libre qui participe aux trois processus élémentaires qui sont :

**a) L'amorçage:**

Appelé aussi l'initiation, l'étape d'amorçage est l'étape la plus importante dans le processus de la polymérisation, dans cette réaction il y'a formation des radicaux libres par rupture de la molécule de l'initiateur qui comporte une liaison faible qui se rompt sous l'effet de la chaleur et les ultraviolets. Cette réaction est lente et se produit pendant toute la polymérisation [13].

**b) Propagation**

La propagation est la principale étape de la polymérisation radicalaire, c'est au cours de cette étape que la chaîne macromoléculaire se forme par addition successive de monomère M sur le centre active RM. C'est l'étape où les macromolécules croissent [13].

**c) Terminaison**

C'est une réaction qui conduit à la destruction des centres actifs, elle correspond à l'arrêt de la croissance de chaîne [13].

**I.8.2 La polycondensation**

La polycondensation est également désignée par le terme « polymérisation par étapes ». La formation de la macromolécule se fait par des réactions de condensation ou de réaction par étape successives entre les fonctions chimiques des monomères.

Ce mécanisme est à distinguer de la polymérisation en chaîne, qui procède plutôt par l'addition successive et rapide de molécules sur un centre actif.

La plupart des polymérisations par étapes sont des polycondensations : chaque étape est une réaction de condensation qui s'accompagne généralement de l'élimination de petites molécules telles que H<sub>2</sub>O, HCL....etc.

Certaines polymérisations par étapes sont des polyadditions : chaque étape est une réaction d'addition qui se fait sans aucune élimination de petite molécule [13].

### I.8.3. Cristallinité des polymères

L'état cristallin est caractérisé par l'existence d'un ordre à grande distance de molécules ou d'atome. La présence inévitable des irrégularités, telles que la ramification, empêche le polymère de se cristalliser complètement, il est dit semi-cristallin. Le polymère semi-cristallin comprend deux phases, une cristalline, très ordonnée et une amorphe sans aucun arrangement.

Les impuretés chimiques altèrent aussi la structure physique du polymère en distordant la maille cristallographique. Ces distorsions de structure physique entraînent un désordre dans la matrice polymère solide appelée désordre physique.

## I.9. Propriétés de polymère

### I.9.1. Rigidité diélectrique

C'est la capacité de résister à une contrainte électrique sans s'endommager. Elle est très importante dans un matériau isolant, elle s'exprime en  $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

La rigidité  $G$  d'un matériau est définie comme étant le rapport de la tension  $U$  pour laquelle se produit de claquage à l'épaisseur du matériau.

$$G = \frac{U}{E} \quad (\text{I.4})$$

La rigidité diélectrique dépend de :

- ✓ La fréquence, la forme et la durée d'application.
- ✓ La température, la pression et l'humidité de l'atmosphère.
- ✓ La présence d'impuretés dans l'isolant (bulles d'air, humidité, ...etc.) [12].

### I.9.2. Résistivité

Elle s'exprime en Ohm mètre ( $\Omega \cdot \text{m}$ ), selon l'échelle de résistivité, chaque matériaux isolant possède une résistance selon leur usage, la résistivité des polymères isolant est comprise entre  $10^6 \Omega \cdot \text{m}$  et  $10^{16} \Omega \cdot \text{m}$  [12].

### I.9.3. Permittivité

La permittivité est une propriété physique qui décrit la réponse d'un milieu donné sous l'action d'un champ électrique. Elle peut être exprimée par une quantité adimensionnelle : la permittivité relative  $\epsilon_r$  normalisée par rapport à la permittivité dans le vide  $\epsilon_0$ .

$$\epsilon = \epsilon_r \times \epsilon_0 \quad (\text{I.5})$$

Avec :

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

Dans le cas d'un diélectrique parfait,  $\epsilon_r$  est facile à mesurer en termes de capacité, de sorte qu'elle est habituellement définie comme le rapport entre la capacité d'un condensateur donné avec le matériau diélectrique  $C_x$  et la capacité du même condensateur à vide  $C_v$ .

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_v} \quad (\text{I.6})$$

$\epsilon_r$  est toujours supérieur à 1 'unité ( $> 1$ ) [14].

#### I.9.4. Facteur de pertes diélectriques

L'angle de pertes  $\delta$  est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension  $U$  entre les conducteurs et le courant de fuite  $I$  traversant l'isolant.

Les pertes diélectriques sont représentées par le facteur de pertes  $\tan \delta$ .

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (\text{I.7})$$

L'angle de pertes caractérise la qualité d'un isolant. En pratique, le facteur de pertes  $\tan \delta$  varie entre  $10^{-2}$  et  $10^{-4}$ .

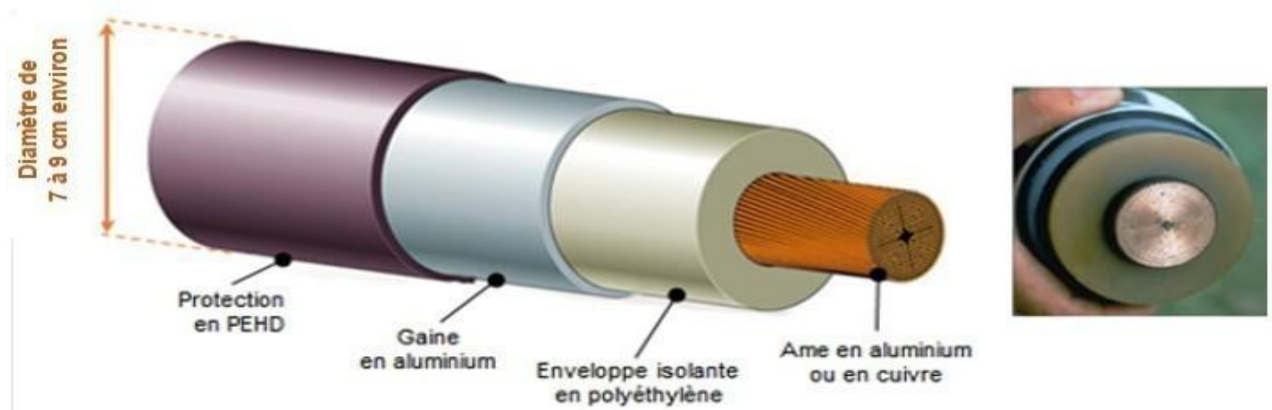
### I.10. Utilisation des polymères dans le transport d'électricité

#### I.10.1. Câbles électriques

La technique d'isolation des câbles de puissance à base de papier imprégné d'huile sous pression, a permis à partir des années soixante dix de transporter de l'électricité sous haute tension.

Cependant des inconvénients propres au matériel employé, comme le coût d'entretien et la surveillance des lignes, a toujours entravé son utilisation à grande échelle. Les progrès dans la fabrication des polymères, pouvant supporter des champs électriques intenses associés à une méthode d'extrusion des câbles par une combinaison de polymère et d'écran semi-conducteur, a permis de remplacer définitivement le procédé à papier imprégné.

Dans ce qui suit, nous présentons succinctement les types des polymères les plus utilisés dans la fabrication des câbles basse, moyenne et haute tension surtout en Algérie : le polychlorure de vinyle et le polyéthylène, Les caoutchoucs éthylène-propylène et le polyéthylène réticulé chimiquement (PRC).



**Figure I.17 :** Composants de câbles hauts tension

Les matériaux les plus couramment utilisés sont le polyéthylène, basse et haute densité (PEBD et PEHD), mais surtout sous sa forme réticulée (PRC). On trouve également des isolations à base de polychlorure de vinyle (PVC) ou de caoutchouc (EPR, EVA ou EPDM). Le matériau d'isolation doit présenter, outre des spécifications diélectriques (résistivité et rigidité diélectrique élevée, permittivité diélectrique et pertes diélectriques faibles), des caractéristiques liées à son utilisation dans le câble (insensibilité aux chocs, aux vibrations et aux attaques chimiques, résistance au feu et tenue au vieillissement) [15]. Ces matériaux ont une fonction bien particulière qui détermine leur utilisation :

- ❖ Le polychlorure de vinyle (PVC) est surtout utilisé dans les câbles MT (moyenne tension) du fait de ses pertes diélectriques relativement élevées. L'ajout d'un plastifiant, pour diminuer la rigidité mécanique et ainsi pouvoir augmenter la souplesse du câble, diminue également les performances d'isolation du PVC.
- ❖ Le polyéthylène (PE) est principalement utilisé pour les câbles moyenne et haute tension en raison de ses excellentes propriétés diélectriques. Il existe sous deux formes : le polyéthylène basse densité (PEBD) et le polyéthylène haute densité (PEHD) qui est utilisé dans les réseaux de transport où la tension peut atteindre 500 kV.
- ❖ Le polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) est obtenu en créant des liaisons chimiques entre les chaînes macromoléculaires, grâce à un agent réticulant (péroxyde de dicumyle), dans le but d'améliorer les caractéristiques thermiques et mécaniques du polyéthylène. La moins bonne pureté du PRC comparée aux PEBD et PEHD a fait qu'il était utilisé majoritairement dans la fabrication des câbles de 90 kV à 275 kV.

- ❖ Les caoutchoucs éthylène-propylène tels que l'EPR (Ethylene-Propylene-Rubber), et EPDM (Ethylène-Propylène Diène Monomère) sont des copolymères dont l'avantage principal est la souplesse obtenue. Ils sont employés dans les câbles basse et moyenne tension, et n'offrent qu'une résistance aux attaques chimiques (huile) et une résistance à la propagation des flammes médiocres [15].

### I.10.2. Accessoires pour câbles

Pour assurer la fiabilité du réseau de transport d'électricité et afin de garantir une bonne isolation entre des pièces qui sont sous différents potentiels, l'emploi d'accessoires tels que les isolateurs comme support de câbles électriques ou les connecteurs électriques à perforation d'isolant pour la transmission d'énergie entre deux câbles nus ou gainés, s'avère nécessaire et indispensable [4].



**Figure I.18 :** Berceau fabriqué en polymère

### I.11 Conclusion

Dans la première partie de ce premier chapitre nous avons jugé utile de donner un aperçu général sur les polymères. Nous avons présenté une étude sur la structure, ainsi que les différents types de polymères, leur classification, leur domaine d'utilisation et enfin leur caractéristiques.

Dans la deuxième partie nous avons parlé sur l'utilisation des polymères dans le transport d'électricité, et les différents polymères utilisés.



# Chapitre II

Vieillessement des polymères soumis aux  
irradiations ultraviolettes

Au cours du temps et selon les modes d'utilisation des matières plastiques, on observe souvent une altération des propriétés des polymères, altération qui peut entraîner la mise hors service de ces produits.

Le vieillissement des matières plastiques se manifeste par une dégradation, souvent lente mais toujours irréversible de leurs propriétés. Des effets de cette dégradation découlent la notion de « durée de vie » du matériau c'est à dire le temps nécessaire pour qu'une propriété (physique, chimique, ou électrique) atteigne un seuil au – dessus duquel le matériau devient inutilisable.

### I.1. Définition

Le terme vieillissement définit l'ensemble des processus chimiques et physiques irréversibles se produisant au cours du temps dans un matériau pour des conditions extérieures connues comme la température, agents chimique, sollicitations mécaniques...etc.[1].

Les principaux paramètres environnementaux influençant le vieillissement et la dégradation du matériau sont :

- ❖ La température;
- ❖ L'humidité;
- ❖ L'air (oxygène);
- ❖ Le rayonnement solaire (ultraviolet).

On distingue habituellement le vieillissement interne et le vieillissement externe.

**a) Vieillessement interne :** est lié à l'instabilité des états thermodynamiques du matériau polymère. Parmi les phénomènes les plus rencontrés, on peut citer la relaxation des contraintes internes, la postcristallisation, la séparation de phases dans les systèmes à plusieurs composants et la migration des plastifiants. [1]

**b) Vieillessement externe :** les phénomènes de vieillissement externe comme la fissuration sous contrainte ou de fatigue.

## II. Type de vieillissement

La dégradation des polymères est due aux deux mécanismes différents qui sont : vieillissement physique et le vieillissement chimique.

### II.1. Vieillessement physique :

On peut définir le vieillissement physique comme étant tout phénomène qui n'implique pas une altération chimique des macromolécules. Il est dû à des fissurations, des gonflements, une pénétration d'eau, une apparition d'hétérogénéités par migration de composants [12].

Le vieillissement physique est classé en deux catégories:

### **II.1.1. Vieillessement physique avec transfert de masse**

Consistant à une absorption ou désorption de la matière par le matériau (pénétration de solvants) [12].

### **II.1.2. Vieillessement physique sans transfert de masse**

Il s'agit de tout ce qui concerne les vieillissements sous contrainte mécanique et phénomène de relaxation [12].

## **II.2. Vieillessement chimique**

Il résulte des contraintes thermiques (avec ou sans l'influence de l'oxygène), de l'action d'agents chimiques agressifs ou des radiations (rayonnements UV en particulier), entraîne une modification de la structure chimique du polymère [1].

Il est du a des phénomènes d'oxydation, des ruptures de chaînes de polymères, des réticulations, la formation de sous-produits,...etc.

## **III. Vieillessement sous rayonnement ultraviolet**

Tout le monde est exposé au rayonnement UV, celui du soleil et celui de nombreuses sources artificielles utilisées dans l'industrie, le commerce et les loisirs. Le soleil émet de la lumière, de la chaleur et des rayons UV

### **III.1. Les rayonnements ultraviolets (UV)**

Les rayons ultraviolets ou UV sont des rayonnements électromagnétiques dont la longueur d'onde se situe entre celle de la lumière visible et celle des rayons X.

Sont des rayonnements électromagnétiques de même nature que la lumière visible mais dont les longueurs d'ondes sont inférieures et donc non perceptibles par l'œil. Celle-ci varie entre 100 et 400 nm.

La région ultraviolette du spectre solaire correspond aux longueurs d'onde 100-400 nm, elle est divisée en trois bandes seuls deux types de rayonnements franchissent la couche:

UV-A : ont une longueur d'onde de 315 à 400 nm, leurs énergies est inférieure à celle des UV-B, représentent plus de 98 % des ultra-violets solaires parvenant à la surface de la terre;

- ✓ UV-B : ont une longueur d'onde de 290 à 320 nm, représentent 2% restant;

- ✓ UV-C : ont une longueur d'onde de 100 à 280 nm, sont les rayons UV qui ont le plus d'énergies, ils ne traversent pas la couche d'ozone [12].

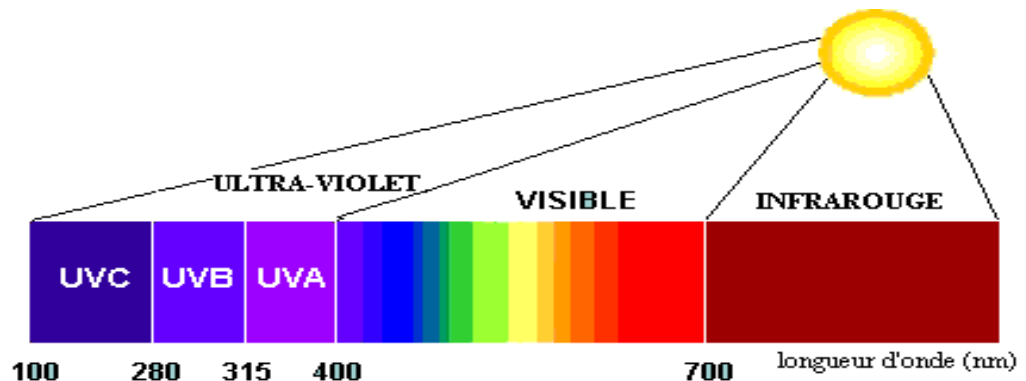


Figure II.1 : Spectre de lumière

### III.2. Les source des rayonnement UV

#### III.2.1. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible, mais également d'ondes radio en plus de rayons cosmiques.

Le rayonnement solaire est constitué de 39 % de rayon visible, de 5 % d'ultra-violet et de 56 % d'infrarouge [12].

#### III.2.2. Les arcs à souder

La soudure électrique provoque l'émission de quantités d'UV importante, d'où la nécessité de se protéger le visage et les yeux à laide d'un masque [12].

#### III.2.3. Les diodes UV

Leurs longueurs d'onde est de 210 nm, elle permet l'amélioration de la finesse de gravure des circuits intégrés et de concevoir des DVD dans la quantité d'information stockée très élevée.

### III.3. Effet du vieillissement sur les propriétés des polymères

#### III.3.1. Propriétés mécaniques

En général, il est reconnu que les processus de dégradation chimique qui entraînent une diminution de la masse molaire, tels que la coupure de chaîne, se traduisent par une perte de propriétés mécaniques.

### III.3.2. Propriétés électriques

Les produits des réactions de dégradation chimique, notamment les réactions d'oxydation, sont souvent des groupements polaires qui peuvent modifier le comportement diélectrique du matériau en introduisant des nouvelles bandes de dissipation. De même, les groupements oxydés peuvent entraîner une diminution de la rigidité diélectrique.

### III.3.3. Propriétés optiques

Cette propriété peut se manifester par le changement de couleur du polyéthylène soumis aux rayonnements ultraviolets, comme la figure ci-dessus le montre [12].



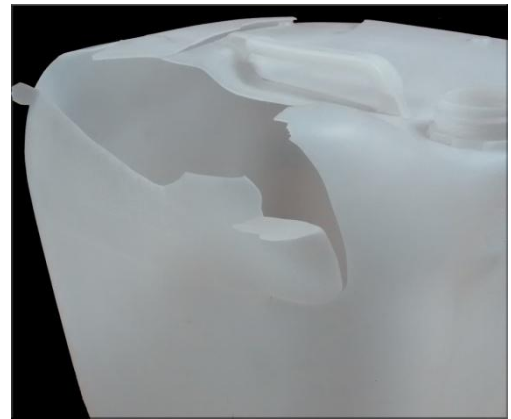
**Figure II.2 :** Avant le vieillissement sous UV. **Figure II.3 :** Après le vieillissement sous UV.

## IV. Photo-dégradation

La photo-dégradation est la dégradation d'une molécule photodégradable causée par l'absorption de photons, en particulier les longueurs d'onde trouvées dans la lumière du soleil, telles que le rayonnement infrarouge, la lumière visible et la lumière ultraviolette.

La photo-dégradation a lieu lorsque le rayonnement UV ou vis se décompose les liaisons chimiques dans un polymère, provoquant finalement fissuration, farinage, changements de couleur et la perte de propriétés physiques.

La photo-dégradation des polymères comprend les changements physiques et chimiques causés par les irradiations ultraviolettes ou la lumière visible [16].



**Figure II.4 :** Images correspondant à la dégradation de quelques polymères

#### IV.1. Conséquence des dégradations (vieillissements)

Différents paramètres caractéristiques du comportement électrique d'un isolant traduisent un vieillissement du matériau :

- La résistance d'isolement diminue (pollution de surface, pénétration d'eau dans les solides, augmentation de la concentration d'humidité dans les huiles).
- La capacité diminue et le facteur de pertes augmente (dans les isolations en couches: certaines couches ne sont plus isolantes).
- L'indice de polarisation diminue (le courant de conduction devient prépondérant par rapport au courant d'absorption).
- La rigidité diélectrique diminue (apparition de pointes par corrosion, décollement entre l'isolant et les électrodes, bulles, etc.)
- Le taux de décharges partielles augmente (la taille des cavités augmente).

#### IV.2. Facteur provoquant la photo-dégradation

##### IV.2.1. Impuretés internes

- Hydro-péroxyde;
- Carbonyle;
- Liaisons insaturées;
- Changer les complexes de transfert (CT) avec l'oxygène [8].

##### IV.2.2. Impuretés externes

- Traces de solvant, catalyseur;

- Composés de l'atmosphère urbaine polluée et du smog;
- Additifs;
- Traces d'oxydes métalliques et métalliques provenant d'équipements de traitement et de récipients, tels que Fe, Ni ou Cr [8].

## V. Photo-oxydation

Il fait parti de vieillissement chimique associé aux phénomènes d'oxydation, contrairement au vieillissement physique. Ce vieillissement est la cause de dégradation des polymères, il se développe sous l'action d'un duo d'ultraviolet et d'oxygène. Il entraîne une modification de la structure chimique du polymère [8].

### V.1. Effet de la photo-oxydation sur les propriétés des polymères

L'influence du processus de photo-oxydation sur la durée de vie des polymères a eu un grand intérêt dans les dernières décennies [17,18 ,19], l'exposition aux rayonnements ultraviolets engendre la libération des radicaux et la réduction des poids macromoléculaires ainsi que la formation d'une couche oxydée a sa surface liée à la diffusion d'oxygène et la pénétration de rayonnement ultraviolet.

Toutes ces modifications au niveau de la structure chimique du polymère conduisent à la diminution des performances diélectriques et mécaniques des matériaux. Le processus de photo-oxydation peut provoquer des changements dans la propriété physique du matériau comme la fissuration ...etc [12].

## VI. Mécanisme de coupure de chaîne

La coupure de chaîne est causée par la diminution de la masse moléculaire moyenne du polymère [12]. Une coupure de chaîne crée un site actif qui déstabilise la liaison monomère voisine et entraîne l'élimination séquentielle de molécules du monomère

### VI.1. Réticulation

La réticulation est la réaction conduisant à la formation de ponts covalents entre les segments de chaînes voisines, la réticulation se traduit par l'augmentation de la masse moléculaire moyenne du polymère, et il se traduit par une formation de ponts. C'est un processus inverse de la coupure de chaîne

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté le mécanisme de vieillissement des polymères sous rayonnements ultraviolets, ainsi que les types de vieillissement à limage de vieillissement physique qui est dû à des fissurations ou à la pénétration d'eau, et le vieillissement chimique qui est dû à des phénomènes d'oxydation, des ruptures des chaînes de polymères...etc.

On a aussi donné une présentation sur le phénomène de photo-dégradation qui est causé par l'absorption des photons, ainsi que la photo-oxydation qui est causé par l'action combinée des rayonnements ultraviolets avec l'oxygène.

# Chapitre III

## Techniques expérimentales

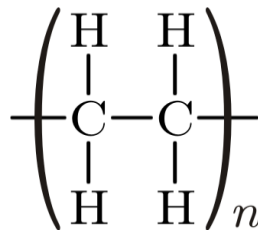
Le polyéthylène est l'un des thermoplastiques les plus utilisés grâce à ses bonnes propriétés à l'état solide, son inertie chimique et son faible coût. Ils sont utilisés dans une grande variété d'applications, ainsi qu'ils sont devenus inséparables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le polyéthylène basse densité, ensuite nous exposerons les différents dispositifs expérimentaux utilisés dans la partie expérimentale réalisée à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA), ainsi que les méthodes utilisées pour la mesure des propriétés diélectriques et mécaniques du PEBD.

## I. Présentation du polyéthylène

### I.1. Définition du polyéthylène

C'est un polymère thermoplastique obtenu par la polymérisation des monomères d'éthylène ( $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ ). Le polyéthylène est translucide, facile à manier et résistant au froid. Cette matière plastique représente à elle seule environ un tiers de la production totale des matières synthétiques et constitue la moitié des emballages plastiques. Le recyclage des produits usés en PE a pris de plus en plus d'importance, 50% du PE constituant les sacs poubelle sont recyclés [20].



**Figure III.1** : la forme chimique du polyéthylène



**Figure III.2** : Schéma représentatif du polyéthylène

Il existe différents polyéthylènes classés en fonction de leur densité. Celle-ci dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau :

- ❖ Le PEHD, polyéthylène haute densité;
- ❖ Le PEBD, polyéthylène basse densité;
- ❖ Le polyéthylène de basse densité linéaire;

## I.2. Procédés de fabrication des polyéthylènes

Deux technologies de polymérisation de l'éthylène ont été mises en évidence :

- ✓ La polymérisation par voie radicalaire, par Imperiel Chemical Industries(I.C.I). Ce procédé donne naissance au polyéthylène basse densité [21].
- ✓ La polymérisation par voie ionique, opérant à basse pression qui conduit à un polyéthylène de haute densité ou à un polyéthylène de basse densité linéaire [21].

## I.3. Domaines d'utilisation du Polyéthylène (PE)

Le polyéthylène est utilisé dans plusieurs domaines tel que:

- L'isolation et la protection des câbles électriques
- La Tuyauterie : pipe à gaz naturel et eaux...etc.
- L'industrie alimentaire : bidon d'huile...etc.
- Les équipements de navire et de voiture...etc.

## I.4. Polyéthylène basse densité (PEBD)

Le polyéthylène à basse densité a été inventé en 1933 par E.W. Fawcett et R.O. Gibson, le polyéthylène basse densité (PEBD) est produit par polymérisation radicalaire de l'éthylène, sous haute pression (100 à 350 MPa) et à des températures de 150 à 350°C.

Le PEBD est plus ramifié que le PEHD, ce qui signifie que les chaînes ne s'assemblent pas bien entre elles. Les forces intermoléculaires de type force de Van der Waals sont donc plus faibles. Il en résulte une plus faible densité, une plus grande malléabilité et une biodégradabilité plus rapide [22]. Le polyéthylène basse densité (PEBD) est ramifié, et semi-cristallin. Il est utilisé dans les domaines les plus divers. Sa densité est inférieure à celle de l'eau, il présente une bonne résistance chimique, il est chimiquement neutre pour les denrées alimentaires. Il est transparent et peut être facilement transformé car il se prête très bien au soudage. Sa durée de vie est très longue à cause de sa grande stabilité mais il se recycle bien. Sa permittivité relative est de 2,25 [20].



**Figure III.3 :** Structure de polyéthylène basse densité (LDPE)

### I.5. Recyclage du polyéthylène à basse densité (PEBD)

Le PEBD est un plastique souple, résistant aux chocs, imperméable à l'eau. Il est utilisé pour la fabrication des sacs poubelles, sacs de congélation, sacs réutilisables...etc.

Le PEBD n'est pas recyclable dans nos poubelles de tri. Il doit être jeté dans la poubelle des déchets ménagers.

Le logo PELD avec le chiffre 4 permet d'identifier les emballages plastiques fabriqués avec le polyéthylène à basse densité.



Figure III.4 : Logo de recyclage de PEBD sur les emballages

### I.6. Le processus de réticulation

Afin d'améliorer les propriétés thermiques et mécaniques du polyéthylène, on procède à une opération dite de réticulation. Cette modification consiste à créer des "ponts" entre les macromolécules. Ceci est possible en particulier grâce à la chaleur combinée à des rayonnements ou des produits chimiques de réticulation qui peuvent être de nature organique ou inorganique. L'agent de réticulation le plus usuel est un agent organique : le peroxyde de dicumyl (DCP).

### I.7. Propriétés du polyéthylène basse densité (PEBD)

#### I.7.1. Propriétés physico-chimiques

Le polyéthylène basse densité PEBD est un polymère semi-cristallin, de densité située entre  $0.910$  et  $0.925 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . et sa température de fusion cristalline est située entre  $105^\circ\text{C}$  et  $115^\circ\text{C}$  [24].

En général, le PEBD présente une bonne résistance chimique, il est:

- ✓ Sa température de fusion cristalline est située entre  $105^\circ\text{C}$  et  $115^\circ\text{C}$ ;
- ✓ Son taux de cristallinité est d'environ 65-70%;
- ✓ Très résistant aux acides faibles;
- ✓ Résistant aux acides forts non oxydants;
- ✓ Très résistant aux bases faibles et fortes.

#### I.7.2. Propriétés thermiques

La température de fusion des polyéthylènes dépend fortement de la masse volumique et donc de la cristallinité. Elle est de l'ordre de  $105$  à  $115^\circ\text{C}$ .

### I.7.4. Propriétés chimiques

Les polyéthylènes possèdent une très bonne stabilité chimique:

- ✓ Très résistant à l'attaque par acides, bases et les solutions de sels (d'où leur utilisation en vaisselle de chimie).
- ✓ Insoluble dans l'eau même sous forme de films (emballage).
- ✓ Sensibles à la fissuration sous contraintes en présence de savon, alcools, détergents...etc.
- ✓ Les polyéthylènes sont à l'état naturel très sensible à l'action des rayons ultra-violet (UV) en présence d'oxygène (air) et pour résoudre cet inconvénient on ajoute des charges à base de carbonate [25].

### I.7.5. Propriétés électriques

Le PEBD est une substance non polaire [26], caractérisée par :

- ✓ une permittivité relative faible ( $\approx 2$  à  $3$ ) limitant ainsi le courant de déplacement;
- ✓ un facteur de pertes diélectriques relativement faible;
- ✓ une rigidité diélectrique élevée;

Le tableau ci-dessus montre les valeurs des propriétés électriques propriétés de polyéthylène à basse densité [27].

Propriétés	Unités	PE-BD
Masse volumique	$\text{g/cm}^3$	0.915 - 0.940
permittivité de relative	-	2 - 3
Facteur de perte diélectrique	-	$2 \cdot 10^4$
Rigidité diélectrique	$\text{kV/mm}$	$30 \geq$ pour épaisseur de 1 mm
Résistance transersale <sup>2</sup>	$\Omega \cdot \text{cm}$	$1 \cdot 10^{18}$

### I.7.7. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du PEBD dépendent essentiellement de sa masse molaire et de sa cristallinité. Nous pouvons citer entre autres [26] :

- ✓ La résistance à la traction variant de 9 à 23MPa;
- ✓ L'allongement à la rupture variant de 150% à 1000%;
- ✓ Le module d'élasticité en traction variant de 200 à 500MPa.

### I.8. Utilisation du PEBD en électricité

Le polyéthylène basse densité (PEBD) est le plus utilisé dans la fabrication des câbles de moyenne tension et de haute tension, car il est moins chère et pour sa rigidité diélectrique élevée ainsi que ses pertes électriques minimales.

### II. Préparation des échantillons

Pour effectuer les essais sur les éprouvettes de polyéthylène basse densité nous avons devant les découpées en deux formes : pour les essais diélectriques, les éprouvettes doivent être découpées sous forme carré de dimension 6 cm  $\times$  6 cm, et sous forme d'haltère de longueur de 5 cm pour les essais mécaniques [23].

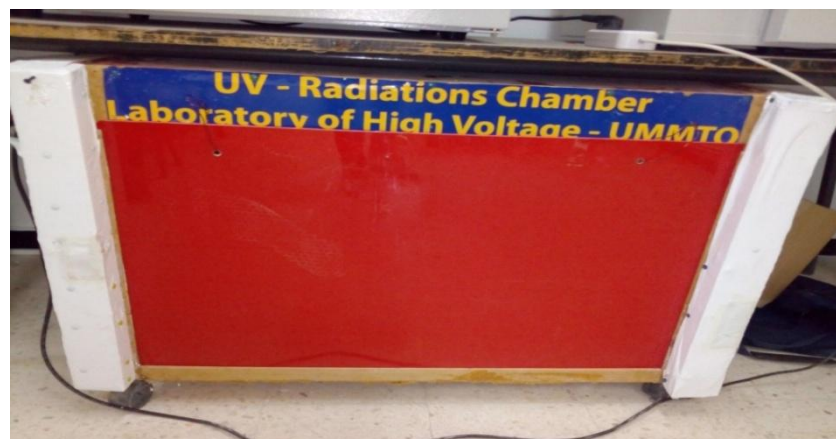


**Figure III.5 :** Eprouvette pour les essais mécaniques et diélectriques

### III. Dispositifs expérimentaux

#### III.1. La chambre de vieillissement sous rayonnement UV

C'est une chambre conçue pour effectuer les tests de vieillissement des matériaux plastiques sous rayonnement ultraviolet. Elle est de forme parallélépipédique, 80\*60\*60 cm de dimension, fabriquée en plexiglas et isolé de l'extérieur avec du polystyrène.



**Figure III.6 :** Vu d'extérieur de la chambre de vieillissement sous rayonnements ultraviolets

La source de rayonnement UV comporte huit lampes de 36W. Le spectre de la source UV (lampes) est situé dans région UV-A de longueur d'onde de 315 à 400 nm, et moins de radiation dans la région UV-B.

Les éprouvettes de polyéthylène basse densité (PEBD) sont placées à une distance de 10 cm des sources ultraviolettes.



**Figure III.7 :** Vu d'intérieur de la chambre de vieillissement sous rayonnements ultraviolets

### III.2. Conditionnement des éprouvettes

Le conditionnement des éprouvettes se fait dans un dessiccateur, qui est un équipement utilisé pour éliminer l'humidité présente dans des produits chimiques. Les éprouvettes sont conditionnées dans le dessiccateur pour une durée de 48h au minimum avant chaque teste.



**Figure III.8 :** Dessiccateur

#### IV. Propriétés diélectriques

Les essais diélectriques sur les éprouvettes sont effectués en utilisant un LCR mètre, appelé aussi un impédance-mètre qui est un appareil servant à mesure la résistance, l'inductance et la capacité d'un composant électronique. Cet appareil permet la mesure précise de la permittivité relative et le facteur de perte diélectrique simultanément.



**Figure III.9 :** LCR mètre.

L'essai consiste à mettre l'éprouvette entre deux électrodes de diamètres différents, l'électrode d'en bas est reliée à la masse tandis que celui d'haut est mis sous tension (1V).

Le LCR mètre est réglé en mode C/D pour relever les valeurs de la capacité en PF (C) et le facteur de perte diélectrique (D).

##### IV.1. Permittivité relative

La permittivité relative  $\epsilon'$  appelée aussi la constante diélectrique, c'est la partie réelle de la relation de la permittivité complexe qui s'écrit sous forme :

$$\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon'' \quad (\text{III.1})$$

La permittivité relative dépend de la capacité du diélectrique à stocker la charge en présence de champ électrique, et de l'épaisseur de l'éprouvette ainsi que la section des électrodes de mesure.

La relation de la permittivité diélectrique s'écrit:

$$\epsilon' = \frac{C e}{\epsilon_0 S} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

C : La capacité de l'éprouvette placée entre deux électrodes de mesure;

e : L'épaisseur de l'éprouvette en cm;

S : La surface de l'électrode en cm<sup>2</sup>;

$\epsilon_0$  : La permittivité absolue du vide qui vaut  $8.85 \times 10^{-12}$  F/m<sup>-1</sup>.

#### IV.2. Facteur de pertes diélectrique

L'indice de pertes diélectriques sont représentées par la partie imaginaire  $\epsilon''$  de la permittivité complexe  $\epsilon^*$ . Ces pertes dépendent de la conductivité et des phénomènes de relaxations ainsi que la polarisation dipolaire. L'équation de perte diélectrique s'écrit comme ci-dessus :

$$\epsilon'' = \tan \delta \epsilon' \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$\epsilon'$  : La permittivité relative.

$\tan \delta$  : Le facteur de perte diélectrique.

#### IV.3. Résistance transversale

La résistance transversale est déterminée on utilisant de la formule suivante :

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{III.4})$$

Avec :

$\rho$  : Résistance transversale en ohm.cm;

R : Résistance d'isolement en ohm;

S : Surface de l'électrode en cm<sup>2</sup>;

L : Epaisseur de l'éprouvette en mm.

#### IV.4. La rigidité diélectrique

Pour déterminer la rigidité diélectrique nous devons effectuer des essais sur un appareil nommé Spinter mètre qui est destiné à mesurer la tension de claquage des isolantes jusqu'à 100 kV.

L'essai consiste à mettre l'éprouvette entre les deux électrodes inondés dans l'huile minérale, puis en soumet l'isolant à une rompe de tension d'une vitesse de 2 kV/s jusqu'au claquage.



**Figure III.10 :** Spinter-mètre.

Et pour mesurer l'épaisseur des éprouvettes on utilise un comparateur, c'est un instrument permettant de mesurer les petites longueurs.



**Figure III.11 :** Comparateur à quadrant.

## V. Propriété mécanique :

Les essais mécaniques sont effectués au Laboratoire de physique de l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIE d'AZAZGA afin de déterminer les propriétés mécaniques du polyéthylène basse densité (PEBD).

### V.1. Allongement à la rupture et résistance à la traction

L'appareil utilisé pour effectuer les essais mécaniques est définis sous le nom de la machine à traction de marque SCHENCK-TREBEL. Appelée aussi machine d'essai universel. Elle permet de mesurer l'allongement à la rupture et la résistance à la traction au même temps sur la même éprouvette.



**Figure III.12 :** La machine à traction.

L'essai de la traction est réalisé sous la norme CEI 60811. Avant d'effectuer les essais sur cette appareil il faut d'abord tracer le  $L_0$  qui est la partie calibrée sur les haltères pour pouvoir déterminer l'allongement, puis on mesure l'épaisseur et la largeur des éprouvettes consacrées aux essais mécaniques. Pour mesurer l'épaisseur des haltères on utilise le comparateur, et la mesure des longueurs de ces derniers on utilise un micromètre, qui est un instrument servant à mesurer des petites longueurs, avec une tolérance de plus ou moins 1/100e de millimètre pour des mesures allant jusqu'à 1500 mm.



**Figure III.13 :** Micromètre.

L'essai consiste à soumettre l'éprouvette à la traction à une vitesse constante qui vaut 50mm/min jusqu'à sa rupture [23].

### V.1.1. Allongement à la rupture

La mesure de l'allongement à la rupture se fait au même temps avec la mesure de la résistance à la traction sur la même éprouvette.

L'allongement est déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$A(\%) = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100 \quad \text{(III.5)}$$

Avec :

A : Allongement, exprimé en pourcentage (%);

$L_0$  : longueur mesurée entre deux repères avant la rupture de l'éprouvette en mm ( $L_0=10\text{mm}$ );

L : longueur mesurée entre deux repères après la rupture de l'éprouvette en mm.

### V.1.2. La résistance a la traction

La résistance à la traction est définie comme étant le rapport de la force de traction à la section droite de l'éprouvette, elle est donnée par l'équation ci-dessus :

$$R_T = \frac{F_T}{S} \quad \text{(III.3)}$$

Avec :

$R_T$  : la résistance de traction en  $\text{N/mm}^2$ .

$F_T$  : La force de traction en N.

S : La section droite de l'éprouvette en  $\text{mm}^2$ .

### **Conclusion**

La première partie de ce chapitre est consacrée à la présentation de polyéthylène à basse densité PEBD

La deuxième partie comporte une présentation des dispositifs expérimentaux (chambre de vieillissement sous UV, ainsi que, les différents dispositifs et équipements utilisés dans la partie expérimentale à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA).

# **Chapitre IV**

## **Résultats et interprétations**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats caractérisant l'influence du vieillissement sous rayonnement ultraviolet sur les propriétés du polyéthylène basse densité, ces résultats sont obtenus lors de la partie expérimentale effectuée à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA, et au niveau de laboratoire de haute tension de l'Université UMMTO.

Dans la première partie, nous présenterons les résultats obtenus pour les propriétés diélectriques, dont la permittivité relative en fonction de la fréquence, et en fonction de temps de vieillissement. Après nous allons présenter les résultats obtenus pour la variation du facteur de dissipation diélectrique, ainsi que, la rigidité diélectrique en fonction de temps de vieillissement.

Dans la deuxième partie, nous exposerons les résultats de la propriété mécanique où nous traitons la variation de l'allongement à la rupture et la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement.

## I. Propriétés diélectriques

### I.1. Variation de la permittivité relative

#### I.1.1. Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence

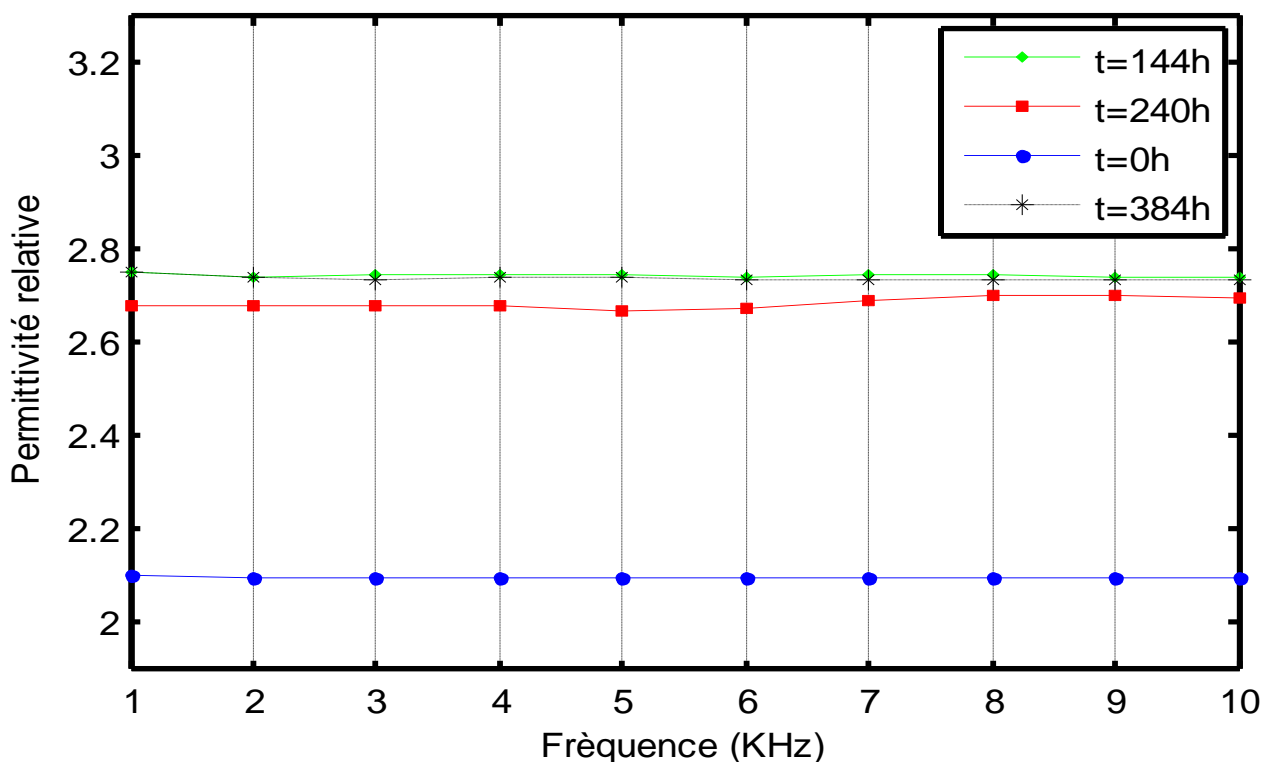
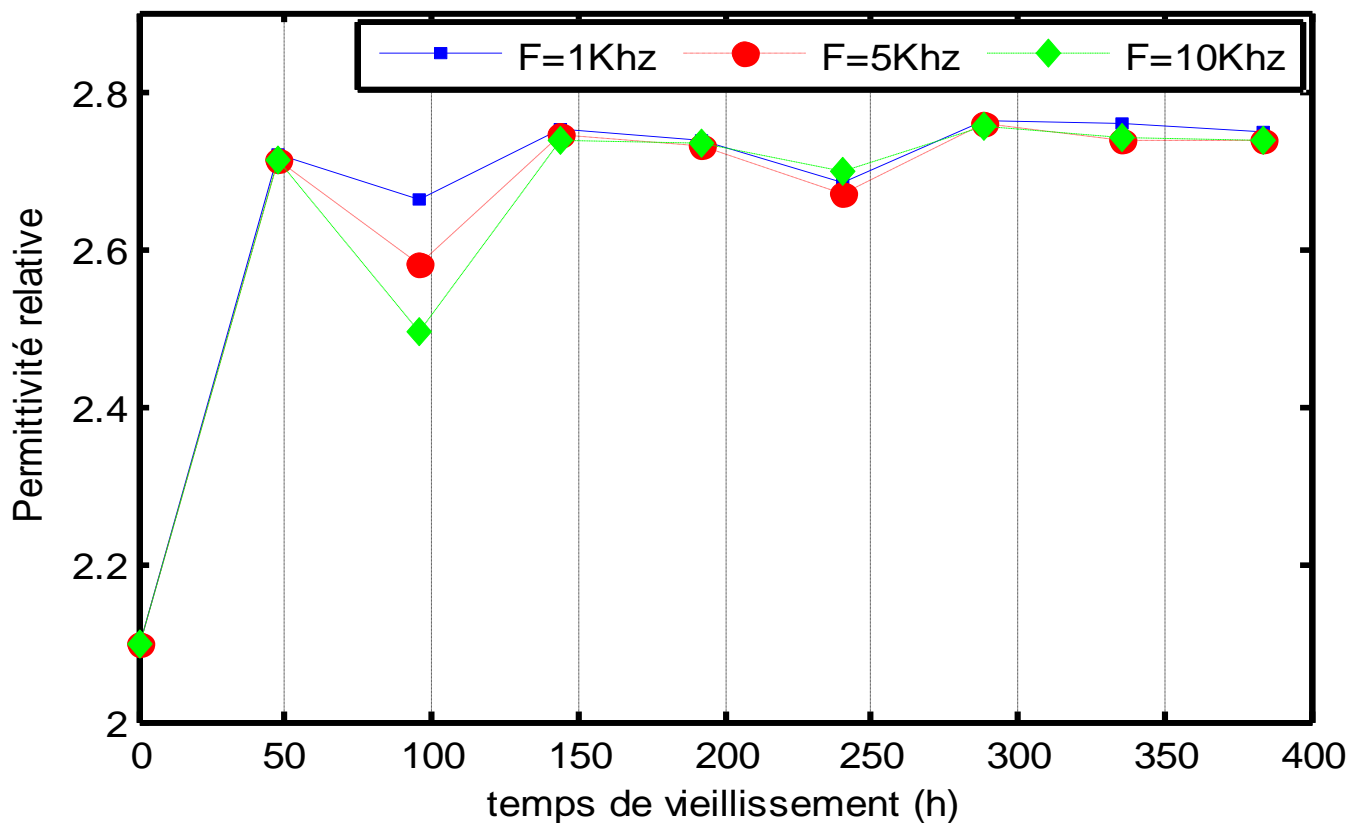


Figure IV.1 : Variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence.

La figure IV.1 représente l'évolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence. On remarque que l'évolution de la constante diélectrique pendant 144 heures d'exposition aux UV est approximativement identique à celle de 384 heures d'exposition aux UV. La permittivité relative est approximativement stable pour tous les temps de vieillissement sous UV, cette stabilité est due à l'absence de la polarisation.

La permittivité relative aura sa valeur maximale quand la durée d'exposition aux UV égale à 144 heures, par contre la permittivité relative atteindra sa valeur minimale quand la durée de vieillissement sous UV est de 240 heures.

### I.1.2. Evolution de la permittivité relative en fonction du temps



**Figure IV.2 :** Variation de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement.

La figure VI.2 illustre la variation de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement. On observe que cette propriété présente une variation non monotone avec l'apparition de quelques pics lorsque le vieillissement atteint les 92 heures, Ces pics sont dus aux changements structuraux induits par les rayons ultraviolets [28].

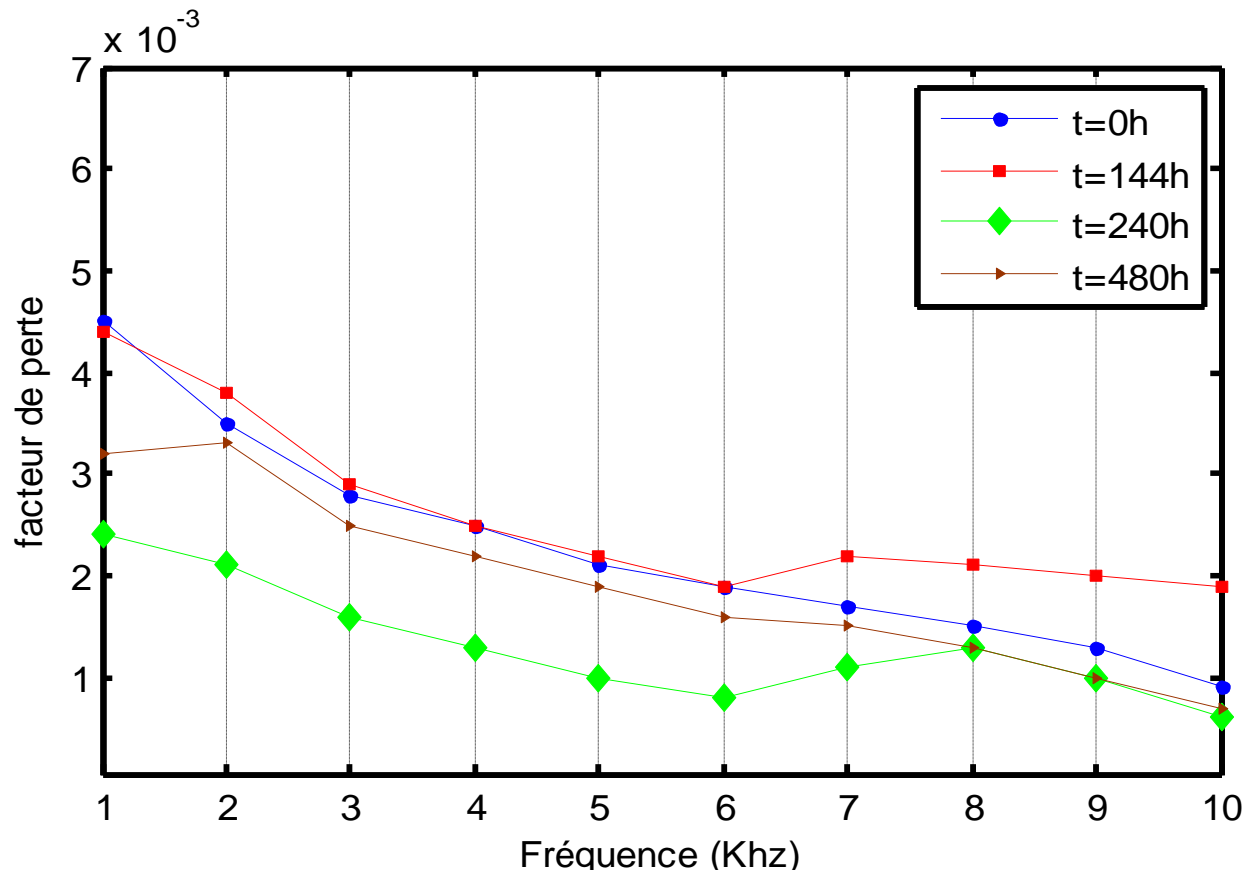
La permittivité diélectrique augmente brusquement et atteint une valeur élevée pendant les premières 48h de vieillissement sous UV, cette augmentation est suivie par une diminution. On

remarque l'apparition des pics après 96 heures, à partir de 144h la constante diélectrique est approximativement stable.

L'augmentation de la permittivité relative en fonction du temps serait due à la formation de quelques défauts structuraux dans le matériau causé par les UV, et sa diminution peut être expliquée par le phénomène de réticulation [29].

## I.2. Variation du facteur de pertes diélectriques

### I.2.1. Evolution du facteur de perte diélectriques en fonction de la fréquence

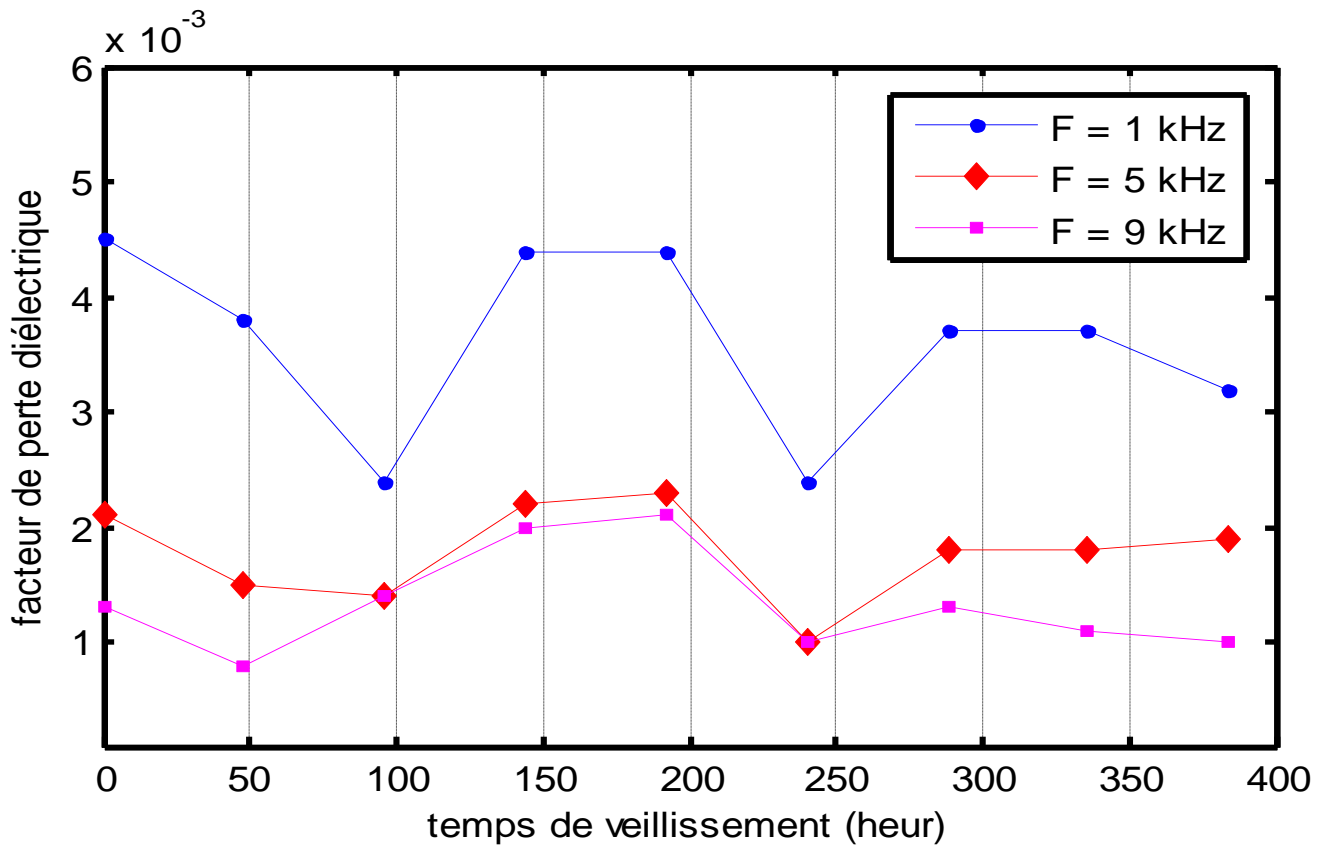


**Figure IV.3 :** Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.

La figure VI.3 illustre la variation du facteur de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.

On observe que cette propriété présente une évolution décroissante jusqu'à 6 kHz pour les 3 temps du vieillissement, à partir de 6 kHz on remarque une augmentation pour les deux temps de vieillissement 144h et 240h jusqu'à 8kHz, cette augmentation est suivie par une diminution. Ce comportement serait dû au phénomène de polarisation, en basse fréquence, la polarisation des dipôles est d'autant plus forte, ce qui conduit à une augmentation de facteur de pertes diélectriques [30][31].

## I.2.2. Evolution du facteur de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement



**Figure IV.4:** Variation du facteur de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.

La figure IV.4 montre la variation du facteur de perte diélectrique en fonction du temps de vieillissement pour les trois différentes fréquences 1 kHz, 5 kHz et 10 kHz. On constate que l'allure de la courbe présente plusieurs pics, avec apparition des pics au niveau de 96h et 240h.

L'augmentation est liée au phénomène d'oxydation qui conduit à la formation de groupes carbonyles qui provoque une augmentation de la polarité est par conséquent le facteur de pertes diélectriques [29].

La diminution serait due au phénomène de réticulation qui empêche le mouvement des chaînes et limité la relaxation dipolaire [29].

### I.3.Variation de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement

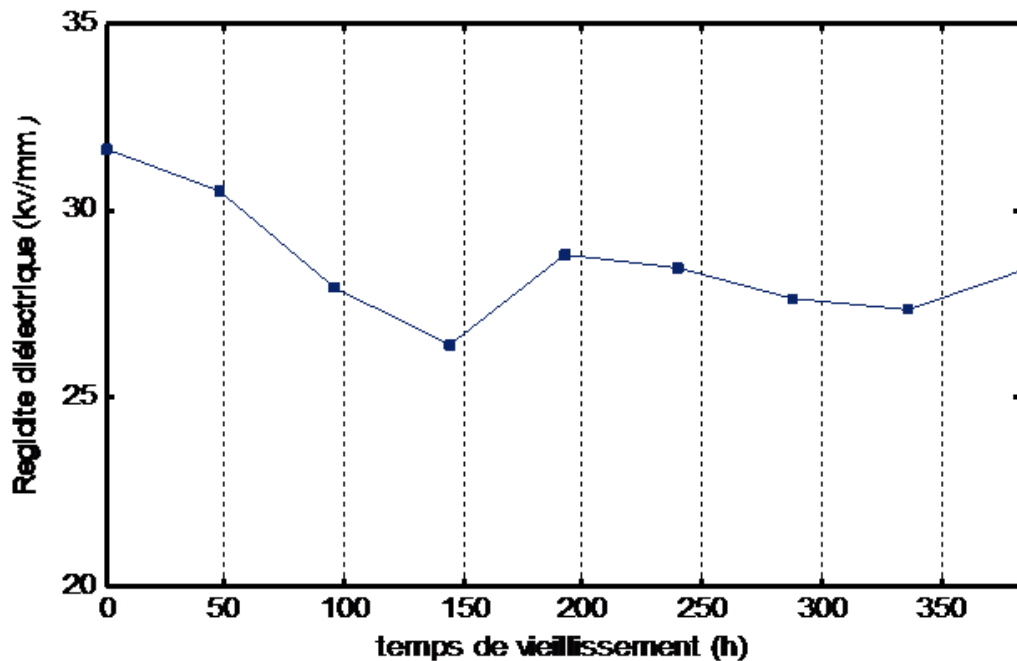


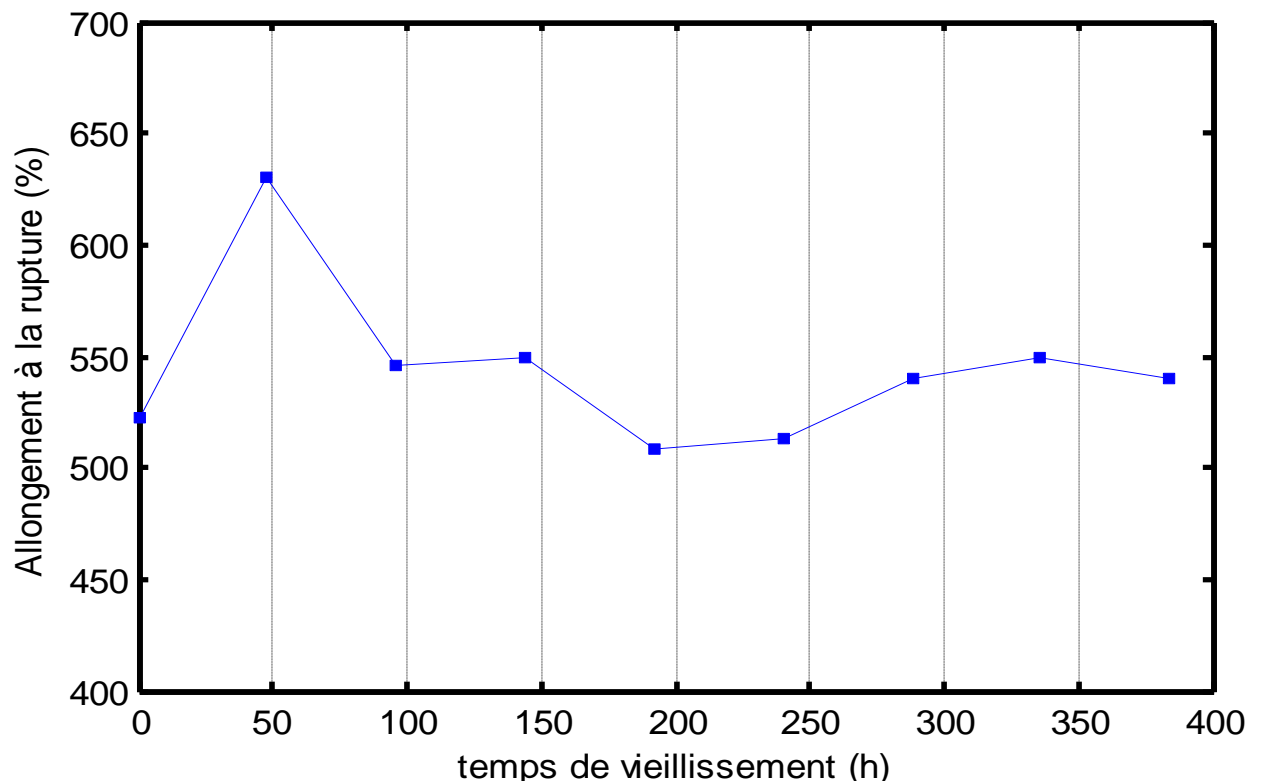
Figure IV.5: Variation de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement.

La figure IV.5 montre l'évolution de la rigidité diélectrique en fonction du temps de vieillissement. On remarque que cette caractéristique représente une variation décroissante jusqu'à un temps de vieillissement qui est égale à 144h, correspond à 26.43 kV/mm, suivie par une augmentation de la rigidité diélectrique jusqu'à une valeur de 28.82 kV/mm. A partir de 192 h la rigidité diélectrique commence à diminuer jusqu'à 336h de vieillissement qui correspond à 27.37 kV/mm, ensuite cette dernière commence à augmenter.

La diminution de la rigidité diélectrique peut s'expliquer par le commencement de la perte du matériau de ces caractéristiques d'isolations.

## II. Propriétés mécaniques

### II.1. Variation de l'allongement à la rupture en fonction du temps de vieillissement



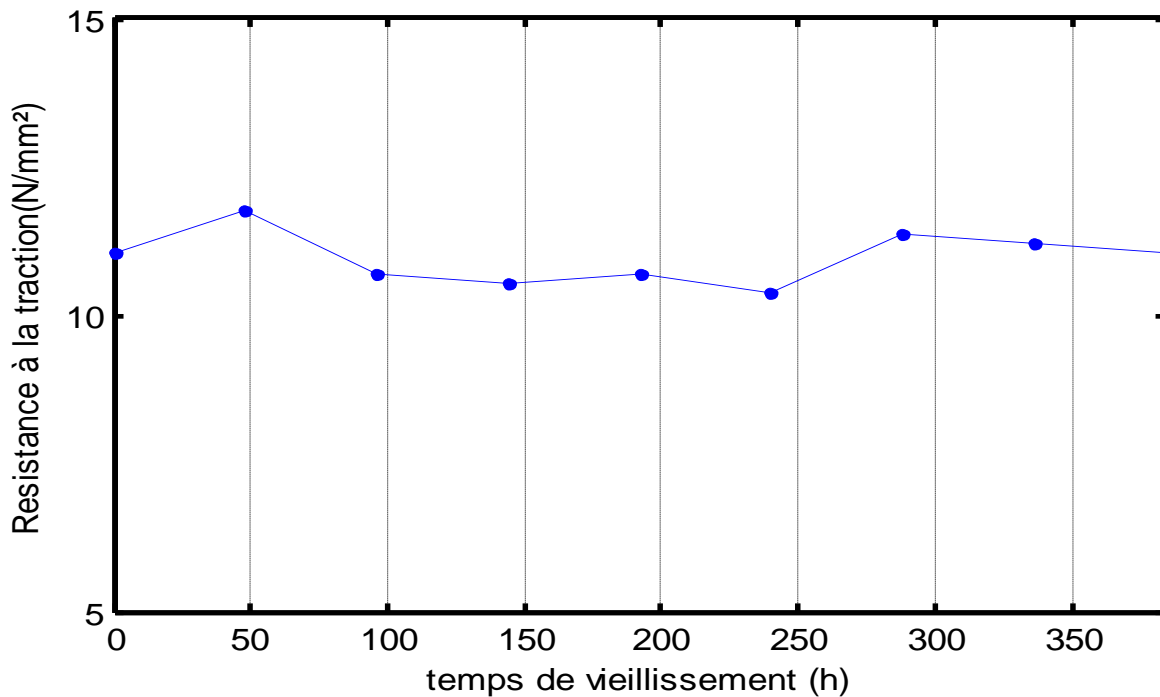
**Figure IV.6:** Variation de la l'allongement à la rupture en fonction du temps de vieillissement.

La figure IV.6 présente l'évolution de la l'allongement à la rupture en fonction du temps de vieillissement. On observe que cette propriété présente une variation non monotone. On remarque qu'avant l'exposition aux UV, l'allongement à la rupture augmente jusqu'à 620% ou il atteint sa valeur maximale avec l'apparition d'un pic lorsque le vieillissement atteint les 48 heures, ensuite la valeur de l'allongement diminue jusqu'à 546.25% pendant 96h.

A partir de 144h l'allongement à la rupture commence à diminué jusqu'a 192 h ou il atteint 508% puis il augmente une nouvelle fois.

L'augmentation de l'allongement à la rupture peut être dû au phénomène de la réticulation, et sa diminution est peut être expliqué par la coupure de chaîne [32] [33].

## II.2. Variation de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement



**Figure IV.7:** Variation de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement.

La figure IV.7 présente l'évolution de la résistance à la traction en fonction du temps de vieillissement sous UV. On remarque qu'avant l'exposition aux UV, la résistance à la traction est de 11,06 N/mm<sup>2</sup>. A partir du moment où le matériau est soumis aux UV, la résistance augmente jusqu'à 11,75 N/mm<sup>2</sup> où elle atteint sa valeur maximale avec l'apparition d'un pic lorsque le vieillissement atteint les 48 heures, ensuite la valeur de la résistance diminue jusqu'à 10,69 N/mm<sup>2</sup> pendant 96 h.

A partir de 144 h, la résistance à la traction est approximativement constante jusqu'à 240 h où il atteint 10,39 N/mm<sup>2</sup> puis il augmente une nouvelle fois.

L'augmentation de la résistance à la traction est peut être dû au phénomène de la réticulation, et sa diminution est peut être expliqué par la coupure de chaîne [34].

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats qui caractérisent l'influence du vieillissement sous rayonnement ultraviolet sur les propriétés de matériau étudié. Dans la première partie, nous avons exposé l'effet des UV sur la caractéristique électrique de polyéthylène à basse densité puis, on a fait une tentative d'interprétation des résultats obtenus, et dans la deuxième partie, nous avons étudié l'influence de ces rayonnements UV sur la propriété mécanique de ce matériau étudié.

# **Conclusion générale**

Dans ce mémoire on s'est fixé comme objectif l'étude de l'influence des rayonnements ultraviolets sur le polyéthylène basse densité. On s'est intéressé à l'influence du vieillissement sous rayonnement UV sur les propriétés diélectriques du PEBD (la permittivité relative, le facteur de pertes diélectriques, la rigidité diélectrique), ainsi que les propriétés mécaniques (la résistance à la traction et l'allongement à la rupture).

Dans le premier chapitre, nous avons jugé utile de donner un aperçu général sur les polymères. Nous avons présenté une étude sur la structure, ainsi que les différents types de polymères, leur classification, leur domaine d'utilisation et enfin leur caractéristiques. Ensuite, nous avons discuté l'utilisation des polymères dans le transport d'électricité, et les différents polymères utilisés.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le vieillissement sous rayonnements ultraviolets en parlant de la photo-dégradation, la photo-oxydation, puis on a abordé les facteurs qui les provoquent.

La première partie du troisième chapitre est consacrée à la présentation du matériau étudié où nous avons vu ses différentes propriétés. Dans la deuxième partie, on a fait une présentation des dispositifs expérimentaux (chambre de vieillissement sous UV ainsi que les différents dispositifs et équipements utilisés dans la partie expérimentale réalisée à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA), ainsi que les méthodes utilisées pour la mesure des propriétés diélectriques et mécaniques du PEBD.

Dans le quatrième chapitre, nous avons présenté les résultats caractérisant l'influence du vieillissement sous rayonnement ultraviolet sur les propriétés des polyéthylènes à basse densité, qui sont obtenus dans la partie expérimentales effectuée à l'entreprise Electro-Industries d'AZAZGA. Dans la première partie, nous avons présenté les résultats des propriétés diélectriques, où l'allure de la permittivité relative est approximativement stable en fonction de la fréquence. Concernant la variation de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement, nous avons constaté que l'augmentation de cette dernière serait due à la formation de quelques défauts structurels dans le matériau. Le facteur de pertes diélectriques diminue en fonction de la fréquence.

La rigidité diélectrique présente une variation commence à diminuée en fonction du temps de vieillissement, et cela est peut être expliqué par la perte des caractéristiques d'isolations.

L'augmentation de la résistance à la traction est peut être dû au phénomène de la réticulation, et sa diminution est peut être expliqué par la coupure de chaîne.

# **Bibliographie**

- [1] Gottfried W. Ehrenstein et Fabienne Montagne, "Matériaux polymères (structure, propriétés et applications)". imprimé en France, Octobre 2000
- [2] GHORZI Wissam, "Etude de la diffusion des molécules de bas poids moléculaire dans des réseaux de polymères acryliques", mémoire Pour obtenir le grade de licence en physique. Université Abou BekrBelkaid Tlemcen. 02 juillet 2017.
- [3] ZOUBIR Ibtissam, "Elaboration et caractérisation d'un matériau composite polymère-ZnO", mémoire de master, "Matériaux Polymères Composites Avancés à base de Polymères", Université de TLEMEN. juillet 2017.
- [4] S. MOKDAD, Y. OUGACHE, "Caractérisation électrique et physico-chimique d'un élastomère silicone utilisé dans une chaîne d'isolateurs", mémoire de fin d'étude de Master académique, 13 juillet 2017.
- [5] P. BUTAUD, "Contribution à l'utilisation des polymères à mémoire de forme pour les structures à amortissement contrôlé". Thèse de doctorat, Université de FRANCHE-COMTÉ, école doctorale sciences pour l'ingénieur et microtechniques, 01 décembre 2015.
- [6] Gubanski S.M, "Modern Outdoor Electrical Insulation", Guest Editor, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1999, Vol.6, No.5, pp.517-518.
- [7] M. FONTANILLE, Y.GNANOU, "Chimie et physico-chimie des polymères", 3ème édition, Dunod, Paris, 2002, 2005, 2010, 2013 ISBN 978-2-10-058915-9.
- [8] L.Carette, J.M. Pouchol, Silicone, dans : Traité plastiques et composites : Technique de l'ingénieur, 2001, A3475, pp.1-18.
- [9] S. Jouenne, "option chimie et physicochimie des polymères", Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2005.
- [10] L.CHELLI, "Effet du champ électrique sur les propriétés du polyéthylène réticulé chimiquement", mémoire de Master, 20/07/2016.
- [11] Gauthier JARROUSSE, "adhésion des polymères semi-cristallins entre leur température de transition vitreuse et leur température de fusion", Thèse de Doctorat de l'Université Paris VI, 2004.
- [12] M. DJELIL, O. FERHAOUI, "Influence des rayonnements ultraviolets sur les caractéristiques du PS et du PC", mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master, Université de Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2017.
- [13] Y.AGOUAR, A.HIDEUR, K.MOKRI, "Contribution à la caractérisation des polymères soumis à des décharges couronne", mémoire de fin d'études. Université de Mouloud MAMMERI de Tizi Ouzou. Promotion 2012/2013.

- [14] I.ELLOUMI, "caractérisation des propriétés diélectriques du bois et des composites bois-polymères", Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en ingénierie, université du Québec en ABITIBI-TÉMISCAMINGUE, octobre 2016.
- [15] M.Pays, "Câbles de transport d'énergie-Technologies .Caractéristiques", Technique de l'ingénieur, rubrique Réseaux Electriques Mixtes-ingénierie des réseaux, D 4220, décembre 1994.
- [16] E.YOUSIF, R.HEDDAD, photodégradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene : review, Springer-Plus, Vol.2, No. 1, pp 398-430, 2013.
- [17] M.J.Melo, S.Bracci, O.Chiantore, F.Piacenti,"photodegradation of acrylic resins used in the conservation of stone, polymer Degradation and stability". Vol. 66, No. 1, pp. 23-30, October 1999
- [18] N.Nagai, T.Matsusobe, T.Imai, "Infrared analysis of depth profiles in UV photochemical degradation of polymers Degradation and stability, Vol. 88, No. 2,pp. 224-233, Mai 2005.
- [19] S. Oprea, V. Mechanical behavior during different weathering tests of the polyurethane elastomers films, European polymer journal, Vol. 38, No. 6, pp. 1205-1210, June 2002
- [20] A, Nechad. "Elaboration d'une membrane de filtration d'eau à base de polyéthylène à basse densité et de gypse de Bouzgaïa" , mémoire de magister, Université Hassiba Benbouali ,Chlef, 2008/2009.
- [21] J.P, Arlie. "Les thermoplastiques de grand tonnage", pp27-34, 2ième édition, Editions Technip, 1987.
- [22] S, Füzesséry." Polyéthylène basse densité", Techniques de l'ingénieur, A 3310,1-34.
- [23] CEI 60811, norme européenne.
- [24] S. Fusesserry, "Polyéthylènes basse densité", Techniques de l'Ingénieur, Publication A3310, 1996.
- [25] J.P, Tratignon., P, Verdu et A .J. M, Dobraczynki. "Matières plastiques", PP 40-44, Nathan, 4ième édition, Paris, 1989.
- [26] L. Boukezzi. "Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de polyéthylène Réticulé Chimiquement utilisé dans l'isolation des câbles de haute tension", thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique, 2007.
- [27] M, Carrega. "Matériaux polymères", pp 145-160, Dunod, Paris, 2000

- [28] E.Belhiteche, M.A. Handala, N.Kireche, F.ZEBOUJ, H.Goujil, "Caractérisation de polymères soumis à une décharge couronne", Laboratoire Haute Tension, Université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou.
- [29] A.HEDIR, "Effets des contraintes électriques et des paramètres environnementaux sur les propriétés diélectriques des isolants", Thèse de Doctorat, Université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou, 29/06/2017.
- [30] S. Shah, N.L Singh, A. Qureshi, D. Singh, K.P Singh, V. Shrinet, A. Tripathi, "Dielectric and structural modification of proton beam irradiated polymer composite, Nuclear Instruments and methods in Physics Research section B : materials and atoms", Vol. 266, No. 8, pp. 1768-1774, April 2008.
- [31] V.Langlois, L.Auduin, J.Verdu, Meyer, "Vieillissement thermique du polyéthylène réticulé", Journée d'études des polymères JEPO 18, Groupe français d'études et application des polymères, 1990.
- [32] A.F. Younan, A.M Choniem, A. A. A. Tawfik, K. N .Abd-EL-Nour, "Electrical and physical properties of ethylène-propylène -dienemonomer (EPDM), rubber loded with semi-reinforcing furnace black", Polymère degradattionans Stabiliy, Vol. 49, pp. 215-222, 1995.
- [33] R. Assink, K. T. Gillen, B. Sanderson, "Monitoring the degradation of a thermally aged EPDM thermopolymère by H. NMR relaxation measurements of solvent swelled samples", Polymèren Vol. 43, pp. 1349-1355, 2002.
- [34] P. Luo, Y. Xu, X. Gu, Y. Lao, J. Cui, Z. Lu, Z. Ren, "Thermal and mechanical properties analysis for EHV XLPE cables with different operating years, 2013 annual Raport Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena", Shenzhen, Oct 2013.

## Résumé

Grace à ses excellentes propriétés, le polyéthylène basse densité (PEBD) est largement utilisé dans l'isolation de câbles moyenne (MT) et haute tension (HT). L'utilisation du PEBD dans le transport de l'énergie électrique peut subir des dégradations cruciales lorsqu'il est exposé aux rayonnements ultraviolets (UV).

L'objectif de ce mémoire est l'étude de l'influence des rayonnements ultraviolets (UV) sur le polyéthylène basse densité (PEBD). En effet, une caractérisation électrique a été effectuée et concerne le suivi de l'évolution du facteur de pertes diélectriques, de la permittivité diélectrique et de la rigidité diélectrique. Concernant les caractéristiques mécaniques, dont l'allongement à la rupture et la résistance à la traction sont mesurées.

Les résultats expérimentaux ont montré les rayonnements ultraviolets affectent à des degrés différents sur les propriétés du polyéthylène basse densité.

**Mots-clés :** Polyéthylène basse densité (PEBD), Isolation, vieillissement sous UV, caractéristiques mécaniques, caractéristiques électriques.