

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE
Domaine : **Sciences et Technologie**
Filière : **Génie Electrique**
Spécialité : **Réseaux Electriques**

Présenté par
Mahdi DJELIL
Omar FERHAOUI

Thème
**Influence des rayonnements ultraviolets
sur les caractéristiques du polycarbonate
et du polystyrène**

Mémoire soutenu publiquement le 13 juillet 2017 devant le jury composé de :

M Belkacem MOULA

MCB, UMMTO, Président

M Mustapha MOUDOUD

MCA, UMMTO, Encadreur

M Abdallah HEDIR

Docteur, UMMTO, CO-Encadreur

M Slimane REZGUI

MAA, UMMTO, Examineur

M Farid NAMANI

MAA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nos remerciements avant tout le grand Dieu qui nous a donné la force, le courage et la patience de faire ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à notre promoteur, Monsieur **M. MOUDOUD**, pour ses encouragements et ses précieuses orientations durant notre travail.

Nos plus vifs remerciements s'adressent à notre co-encadreur, Monsieur **A. HEDIR**, pour son accueil, sa confiance, ses encouragements, son suivi et ses précieux conseils. Sa grande qualité scientifique et son entière disponibilité ont fortement contribué à l'accomplissement de ce travail. A l'occasion nous tenons à le féliciter pour l'obtention de son diplôme de Doctorat cette année.

Nous remercions très vivement Monsieur **F. BELLABAS**, Ingénieur au laboratoire de physique pour ses qualités humaines et pour l'aide précieuse qu'il nous a apporté durant notre période de stage à l'entreprise Electro-Industries d'Azazga.

Nous tenons plus largement à exprimer notre reconnaissance à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de notre travail. Particulièrement : **Ougache Younes, Mokdad Sofiane, Hammouche Nouara, Nouri Ouardia, Salmi Amira, Ammouche Ghani, Dekkar Samir, Sad Chaouche Said, Arab Said Arezki, Ait Aider Zahra, Ferhaoui Lounes, Merbouti Kahina.**

Que les membres du jury trouvent ici l'expression de notre gratitude et nos vifs remerciements pour avoir accepté d'examiner et évaluer ce travail.

Dédicaces

A la mémoire de Khali Saïd

A mes très chers parents

A mon frère Kamel

A ma sœur Nadia et son époux

A ma chère petite nièce Théziri

A toute ma famille

A mon binôme Mahdi et sa famille

A tous mes amis(es)

Djamel Ferhaoui

Dédicaces

A la mémoire de mon oncle Ali

A mes très chers parents

A mes frères Kamel et Saïd

A mes sœurs et leurs époux

A mes chers neveux et nièces

A toute ma famille

A mon binôme Djamel et sa famille

A tous mes amis(es)

Mahdi Djelil

Table des matières

Table des matières	1
Introduction générale	5
Chapitre I : Généralités sur les polymères	8
I Introduction	10
II Généralités sur les polymères.	10
II.1 Un isolant.	10
II.2 Un diélectrique	10
III Caractérisation des matériaux isolants.....	11
III.1 Leurs résistivités	11
III.2 Leurs permittivités	11
III.3 Leurs facteur des pertes diélectrique	12
III.4 Leurs rigidités diélectriques.	12
III.5 Leurs résistances à l'arc.	12
III.6 Leurs températures admissibles.	12
IV Définition d'un polymère	13
V Architecteur des polymères	13
V.1 Polymères à molécules linéaires	13
V.2 Polymères à molécules ramifiées	14
V.3 Polymères à molécules réticules	14
VI Familles des polymères	15

VI.1 Les thermoplastiques	15
VI.2 Les élastomères.....	15
VI.3 Les thermodurcissables.....	15
VII Classifications des polymères.....	16
VII.1 Selon l'origine.....	16
VII.2 Les leurs domaine d'application.....	16
VII.3 Selon les propriétés électriques.....	16
VII.4 Selon la structure chimique.....	17
VIII Propriétés des polymères.....	17
VIII.1 Propriétés mécaniques	17
VIII.2 Propriétés physiques	18
VIII.3 Propriétés optiques.....	18
VIII.4 Propriétés thermiques.....	19
VIII.5 Propriétés électriques	19
VIII.6 Propriétés chimiques	19
IX Conclusion	19
Bibliographie du chapitre I.....	20
Chapitre II : Photo-dégradation des polymères	22
I Introduction	24
II Généralités sur le vieillissement des polymères	24
II.1 Les vieillissements physiques avec transfert de masse.....	24
II.2 Les vieillissements physiques sans transfert de masse.....	24
II.3 Vieillissement chimique.	24
III Vieillissement sous rayonnement ultraviolet	24
III.1 Les rayons ultraviolets.....	24
III.2 Sources de rayonnement UV.....	25
III.2.1 Les rayons solaires.....	25
III.2.2 Autres sources de rayonnement UV.....	25
III.5 Effet des rayons ultraviolet sur les polyméries	26
IV Photo-dégradation.....	26
IV.1 Définition.....	26
IV.2 Facteurs provoquant la photo-dégradation.....	27
IV.2.1 Les impuretés internes.....	27
IV.2.2 Les impuretés externes.....	27
V Photo-oxydation.....	27
V.1 Processus de la photo-oxydation.....	27
V.1.1 Principe fondamental.....	27
V.1.2 Mécanisme de coupure de chaîne.....	29
V.1.3 Réticulation.....	30
V.1.4 Effet de la photo-oxydation sur les propriétés polymères.....	30
IV Conclusion	31
Bibliographie du chapitre II	32

Chapitre III : Techniques expérimentales	35
I Introduction	37
II Préparation des polymères étudiés	37
II.1 Le Polycarbonate.	37
II.1.1 Définition.	37
II.1.2 Formule moléculaire.	37
II.1.3 Les propriétés du Polycarbonate.	37
II.1.3.1 Les propriétés électriques.	37
II.1.3.2 Les propriétés mécaniques.	38
II.1.3.3 Les propriétés thermiques.	38
II.1.3.4 Les propriétés chimiques.	38
II.1.4 Utilisation de PC en électrotechnique.	38
II.2 Le Polystyrène.	38
II.2.1 Définition.	38
II.2.2 Formule moléculaire.	39
II.2.3 Types de Polystyrènes.	40
II.2.3.1 Le Polystyrène cristal ou dense.	40
II.2.3.2 Le Polystyrène choc ou haut impact.	40
II.2.3.3 Le Polystyrène expansé ou PSE.	40
II.2.4 Les propriétés de Polystyrène.	40
II.2.4.1 Les propriétés électriques.	40
II.2.4.2 Les propriétés mécaniques.	40
II.2.4.3 Les propriétés thermiques.	41
II.2.4.4 Les propriétés chimiques.	41
II.2.5 Utilisation de PS en électrotechnique.	41
III Préparation des échantillons.	41
IV Dispositifs expérimentaux.	42
IV.1 Chambre de vieillissement sous rayonnement UV.	42
IV.2 Conditionnement des éprouvettes	42
V Propriétés diélectriques	43
IV.1 Permittivité relative.	43
IV.2 Indice de pertes diélectriques.	44
IV.3 Résistivité transversale.	44
VI Propriétés mécaniques.	44
VI.1. Allongement à la rupture et résistance à la traction.	44
VII Propriétés physiques.	46
VII.1 Evaluation de l'hydrophobicité et de travail d'adhésion.	46
VII.1.1 Angle de contact.	46
VII.1.2 Travail d'adhésion.	46
VIII Microscopie Electronique à Balayage (MEB).	47
IX Conclusion	47
Bibliographie du chapitre III.	48
Chapitre IV : Résultats et interprétations	49
I Introduction	51
II Caractérisations diélectrique	51

II.1 Le Polycarbonate.....	51
II.1.1 Variations de la Permittivité relative.....	51
II.1.1.1 Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement. . .	51
II.1.1.2 Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	52
II.1.2 Variation de l'indice de pertes diélectriques.....	53
II.1.2.1 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	53
II.1.2.2 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence	53
II.1.3 Variations de la résistivité transversale.....	54
II.1.3.1 Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement.....	54
II.1.3.2 Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence.....	55
II.2 Le Polystyrènes.....	55
II.2.1 Variations de la permittivité relative.....	55
II.2.1.1 Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement.....	55
II.2.1.2 Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	56
II.2.2 Variations de l'indice de pertes diélectriques.....	56
II.2.2.1 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	56
II.2.2.2 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.....	57
II.2.3 Variations de la résistivité transversale.....	58
II.2.3.1 Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement....	58
II.2.3.2 Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence.....	58
III Caractérisation mécanique	59
III.1 Le Polycarbonate.....	59
III.1.1 Variation de l'allongement à la rupture	59
III.1.2 Variation de la résistance à la traction.....	60
III.2 Le Polystyrène.....	61
III.2.1 Variation de l'allongement a la rupture	61
III.2.2 Variation de la résistance à la traction	61
IV Caractérisations physiques.....	62
IV.1 Le Polycarbonate.....	62
IV.1.1 Variation de l'angle de contact	62
IV.1.2 Variation du travail d'adhésion de l'eau	63
IV.2 Le Polystyrène.....	64
IV.2.1 Variation de l'angle de contact	64
IV.2.2 Variation du travail d'adhésion	64
V Microscopie Electrique à Balayage(MEB).....	65
V.1 Le Polycarbonate	65
V.1 Le Polystyrène	66
VI Conclusion	66
Bibliographie du chapitre VI.....	67
Conclusion générale	70

Introduction générale

Depuis leur découverte au début du siècle dernier, les isolants organiques solides ou polymères n'ont cessé d'évoluer. Ces matériaux peu onéreux et facilement recyclables [1] sont utilisés dans plusieurs domaines qui s'étendent de la microélectronique à l'industrie aéronautique et spatiale en passant par la médecine. Vu leurs excellentes propriétés isolantes, leur grande résistance aux attaques chimiques et leurs bonnes caractéristiques mécaniques [2], le domaine du génie électrique leur accorde actuellement de plus en plus d'investigation. En effet, la plupart des technologies dépendantes de l'énergie électrique sont soumises à des contraintes de vieillissement qui conditionnent la fiabilité des systèmes électriques.

L'isolation électrique est un élément critique dans les appareils fonctionnant sous haute tension, la durée de vie d'un matériel étant souvent liée à la durée de vie de son isolation, beaucoup de travaux ont pour objet la compréhension des mécanismes de vieillissement des matériaux utilisés comme isolants électriques.

Un grand nombre de facteurs agissent plus au moins directement sur la durée de vie des polymères. On distingue habituellement le vieillissement qui est lié essentiellement à l'instabilité des états thermodynamique du matériau polymères. Les phénomènes de vieillissement ont des origines très diverses. Nous pouvons recenser des contraintes « classique » de type électrique, thermique, ou mécanique, mais également des contraintes plus difficile à cerner comme l'humidité, la présence anormale d'un type de molécules (impuretés) ou encore l'existence de radiations. Le vieillissement thermique peut avoir comme conséquences une dégradation des propriétés mécaniques, des propriétés électriques ainsi qu'une influence sur les propriétés physiques comme par exemple rétrécissement du matériau ou un changement de couleurs et pertes de masse [3].

Généralement, les matériaux isolants soumis à une contrainte thermique ou électrique vieillissent lentement. En effet, pour pouvoir analyser ce comportement au laboratoire, on accélère le vieillissement. Les paramètres expérimentaux sont choisis en fonction des conditions de service sous lesquelles l'isolant sera exposé. En effet, l'expérimentation doit être la plus représentative possible du cas réel [4], [5] et pour éviter la dispersion des résultats, il est impératif de procéder à plusieurs séries de mesures.

Dans cette étude, on s'intéresse principalement à l'influence de vieillissement sous rayonnements ultraviolets sur les caractéristiques du polycarbonate et du polystyrène.

Le présent mémoire comporte quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré aux rappels sur les diélectriques et les isolants, ainsi des généralités sur les polymères sont présentées. Le deuxième chapitre a pour objectif l'étude de la photo-dégradation et de la photo-oxydation, et leurs effets sur les polymères.

Dans le troisième chapitre, nous expliquons les techniques expérimentales ainsi les dispositifs utilisés dans le cadre de ce travail, et la présentation des matériaux polymères étudiés à savoir le Polycarbonate (PC) et le polystyrène (PS).

Au quatrième chapitre, nous présentons les résultats de caractérisation du PC et du PS vieillis sous rayonnements ultraviolets (UV), suivis par des interprétations et discussions.

Nous allons achever ce mémoire par une conclusion générale résumant les résultats obtenus.

Bibliographie

- [1] M.M. Ueki, J.H. Vilckas, L.G. Albiero, M. Zanin, « DC Electrical Conductivity of Recycled PP and PS form Post Consumer Packagine », 7 th Int. Conf. on properties and Appl. Of Diel. Materials, June 1-5, pp 717-713.
- [2] M.A. Sussi, G.R. Govinda Raju « Electrical conduction current in polytetrafluoethylene », Elect. Insul. And Dial. Phenomena, 1990, Conf. on 28-31 Oct. 1990, pp. 196-201.
- [3] F. Lounis et S. Rabhi, « Etude des propriétés de l'EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère) sous la contrainte thermique» mémoire de fin d'études de Master Professionnel, 2014.
- [4] M.C Lança al « Comparative study of dielectric relaxation spectra of electrically and thermally aged low density polythylene».
- [5] G. Yinakopoulos, J. Vanderschueren and J. Niezette «Influence of Physical Aging Processes on Electrical Properties of Polymers» IEEE Trans. On Diel. andElect.Insul. Vol. 25, Issue 4 August 1990, pp 1997-201.

Chapitre I

Généralités sur les polymères

Résumé : Ce chapitre est consacré aux généralités sur les polymères. Dans un premier temps, nous présentons des rappels sur les matériaux diélectriques et isolants, ainsi leurs propriétés. Par la suite, nous donnons la définition des polymères et leurs formules moléculaires, ainsi leurs familles. En fin, nous présentons les propriétés des polymères.

Sommaire

I	Introduction.....	10
II	Généralités sur les polymères	10
	II.1 Un isolant	10
	II.2 Un diélectrique	10
III	Caractérisation des matériaux isolants	11
	III.1 Leurs résistivités.....	11
	III.2 Leurs permittivités	11
	III.3 Leurs facteur des pertes diélectrique	12
	III.4 Leurs rigidités diélectriques	12
	III.5 Leurs résistances à l'arc	12
	III.6 Leurs températures admissibles.....	12
IV	Définition d'un polymère	13
V	Architecteur des polymères	13
	V.1 Polymères à molécules linéaires	13
	V.2 Polymères à molécules ramifiées	14
	V.3 Polymères à molécules réticules	14
VI	Familles des polymères	15
	VI.1 Les thermoplastique	15
	VI.2 Les élastomères	15
	VI.3 Les thermodurcissables.....	15
VII	Classifications des polymères	16
	VII.1 Selon l'origine	16
	VII.2 Selon leurs domaines d'application	16
	VII.3 Selon les propriétés	16
	VII.4 Selon la structure chimique	17
VIII	Propriétés des polymères	17
	VIII.1 Propriétés mécaniques	17
	VIII.2 Propriétés physiques	18
	VIII.3 Propriétés optiques	18
	VIII.4 Propriétés thermiques	19
	VIII.5 Propriétés électriques	19
	VIII.6 Propriétés chimiques	19
IX	Conclusion.....	19

I. Introduction

De nos jours, les matériaux polymères sont de plus en plus utilisés dans l'isolation électrique grâce à leurs bonnes caractéristiques électriques et mécaniques [1], [2]. Au cours de leurs utilisations, ces polymères, sont exposés à diverses agressions émanant de leurs milieux environnants, à savoir les agressions climatiques et électriques. Les actions seules ou conjuguées de ces paramètres peuvent conduire au vieillissement de ces polymères ainsi qu'à la réduction de leurs performances globales.

Ce premier chapitre nous permettra de donner quelques rappels sur les isolants et les diélectriques, ainsi des généralités sur les polymères.

II. Généralités

Lorsque l'on observe les matériaux sous l'angle de leur réponse à une sollicitation électrique on est appelé à parler soit de diélectrique soit d'isolant. Afin d'éviter toute incompréhension nous donnons les définitions suivantes :

II.1. Un isolant

Est un matériau qui ne conduit pas l'électricité. Sa destination première est d'empêcher tout contact entre des pièces métalliques portées à des potentiels différents [3]. Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée. A l'opposé de celle des métaux, la résistivité de ces matériaux décroît lorsque leur température augmente [4].

II.2. Un diélectrique

Un diélectrique est un matériau plus ou moins isolant (résistivité élevée, bande d'énergie interdite de quelques eV), polarisable, c'est-à-dire dans lequel des dipôles électrostatiques existent (diélectrique polaire) ou se forment sous l'effet d'un champ électrique (dipôles induits) [4]. En d'autres termes un diélectrique peut être défini comme un milieu matériel dans lequel la bande de conduction est séparée de la bande de valence par une énergie supérieure à 5 eV [5]. Dans la pratique technologique la différence entre isolant et diélectrique ne découle pas de propriétés différentes mais de l'angle sous lequel est vu le problème. C'est ainsi que lorsque le souci d'empêcher un contact galvanique est important nous parlerons d'isolant, par contre lorsque notre intérêt est focalisé sur les propriétés découlant de la polarisation ou de la permittivité plus ou moins accentuée nous invoquons le terme diélectrique.

Enfin, compte tenu de ce qui vient d'être dit, les mots isolant et diélectrique peuvent être considérés comme étant des synonymes [6].

III. Caractérisation des matériaux isolants

Les matériaux isolants sont caractérisés pas :

III.1. Leur résistivité

Celle-ci s'exprime en ohm. Mètre [$\Omega \cdot m$] dans le système international d'unités. Sur la figure I.1 nous donnons à titre d'information l'échelle des résistivités pour quelques matériaux d'usage courant en électrotechnique. Sur cette figure les matériaux isolants correspondent à la région grise.

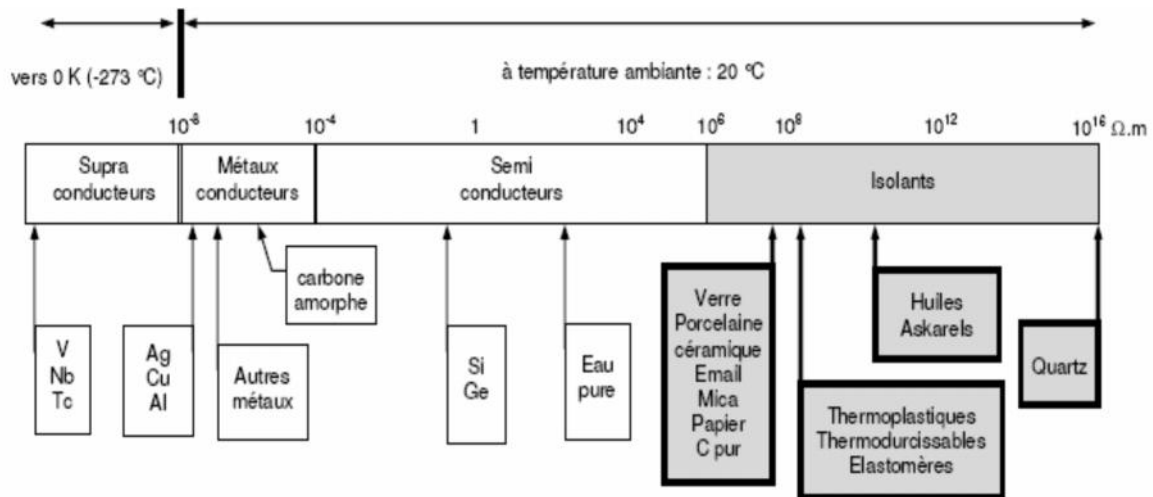


Figure I.1 : Echelle des résistivités pour quelques matériaux d'usage courant en électrotechnique.

III.2. Leur permittivité

Cette grandeur s'exprime en farad par mètre [F/m] dans le système international d'unités. Cette grandeur est également désignée parfois par le terme pouvoir inducteur spécifique ou constante diélectrique. Toutefois dans la pratique on utilise de façon quasi exclusive la permittivité relative ϵ_r représentant le rapport de la permittivité absolue à la permittivité du vide ϵ_0 . La permittivité relative représente aussi le rapport de la capacité d'un condensateur ayant le matériau comme diélectrique à la capacité du même condensateur, mais avec le vide à la place du diélectrique. Ceci est donné par la formule (I.1).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (\text{I.1})$$

III.3. Leur facteur de pertes diélectriques

Ce facteur revêt une grande importance puisqu'il rend compte de la puissance dissipée dans le matériau lorsqu'un champ électrique variable lui est appliqué. Il est donné par la tangente de l'angle appelé angle de pertes. En fait l'angle de pertes représente l'écart à la quadrature entre le courant et la tension d'un condensateur ayant le matériau considéré comme diélectrique. Il est utile de noter à ce niveau que l'importance du facteur de pertes n'est pas tellement liée à la perte de puissance en termes de coût bien que cela ne soit pas toujours négligeable. L'intérêt accordé à ce facteur réside plutôt dans le fait que la puissance est perdue dans un milieu diélectrique très mauvais conducteur de la chaleur. C'est pour cela que les pertes diélectriques peuvent conduire à des échauffements prohibitifs des matériels.

III.4. Leur rigidité diélectrique

Elle représente l'une des caractéristiques les plus importantes d'un isolant puisqu'elle traduit son aptitude à résister à une contrainte électrique sans se détériorer. Elle s'exprime habituellement en kilovolts par millimètre [$\text{kV}\cdot\text{mm}^{-1}$]. La rigidité diélectrique d'un matériau, dépend de la fréquence mais aussi de la durée d'application de la tension ainsi que de la façon avec laquelle la contrainte est appliquée (rampe, créneau, choc). La rigidité diélectrique G d'un matériau est définie par le rapport de la tension U pour laquelle se produit le claquage à la distance L séparant des électrodes normalisées aux quelles est appliquée la tension :

$$G = \frac{U}{L} \quad (\text{I.2})$$

III.5. Leur résistance à l'arc

C'est la durée maximale d'application d'une tension supérieure à la tension de claquage d'un isolant avant l'apparition d'un arc électrique. Elle se mesure en secondes.

III.6. Leur température admissible.

C'est un paramètre significatif pour tous les matériaux isolants et il détermine leur classification. Au-delà de cette température caractéristique de la classe, il est fortement déconseillé de travailler sous peine de réduire de façon sévère la durée de vie de l'équipement. Il est avéré que dans tous les cas, les matériaux isolants voient leurs propriétés se détériorer très vite aux températures élevées et la détérioration peut atteindre un niveau tel que l'isolation cesse de jouer convenablement son rôle. Ce processus est désigné sous le terme de vieillissement thermique [4].

IV. Définition d'un polymère

Un polymère est un matériau composé de longues chaînes macromoléculaires issues de l'assemblage de n molécules simples répétitives appelées « monomères », lors d'une réaction chimique dite « polymérisation ». Les atomes sont liés par des liaisons fortes covalentes ou ioniques. Tandis que les chaînes sont faiblement liées entre elles par des liaisons de Van der Waals. Le degré de polymérisation est défini par le nombre moyen de monomères constituant la macromolécule. Ces matériaux possèdent des très bonnes propriétés diélectriques ainsi qu'une résistance améliorée à la température et à l'humidité [7]. Le caoutchouc naturel, les résines, les vernis, la bakélite ainsi que tous les isolants synthétiques sont des polymères.

V. Architecture des polymères

Les polymères peuvent être soit à molécules linéaires, à molécules ramifiées ou à molécules réticulées [8].

V.1. Polymères à molécules linéaires

Ils sont formés de molécules dites linéaires dont le squelette principale de la chaîne est constitué par des atomes de carbone ou par d'autres groupes d'atomes (groupement phényle).

Les molécules linéaires peuvent être flexibles et souples, et ne forment pas des réseaux tridimensionnels stables ; elles sont souvent enchevêtrées et forment des nœuds physiques de réticulation qui peuvent disparaître soit par élévation de la température soit sous contrainte mécanique.



Figure I.2 : Polymère à molécule linéaires

V.2. Polymères à molécules ramifiées

Le squelette d'une molécule linéaire peut comporter des branches latérales, c'est-à-dire d'autres petites molécules identiques branchées latéralement sur le squelette de la chaîne principale ; ce sont les ramifications. Dans ce cas la macromolécule comporte plusieurs extrémités (2). Ces molécules ne forment pas de réseau tridimensionnel

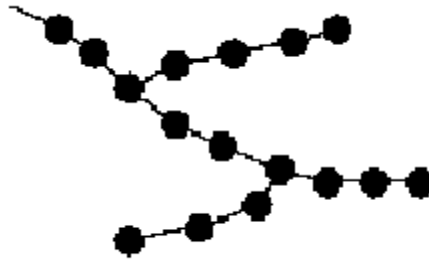


Figure I.3 : Polymère à molécules ramifiées

V.3. Polymères à molécules réticulés

On peut construire un réseau tridimensionnel de macromolécules en les reliant chimiquement entre elles. Le point de jonction entre deux chaînes est appelé le nœud de réticulation (nœud chimique) ; ces polymères sont dit réticulés, ce sont en générale les élastomères et les thermodurcissables

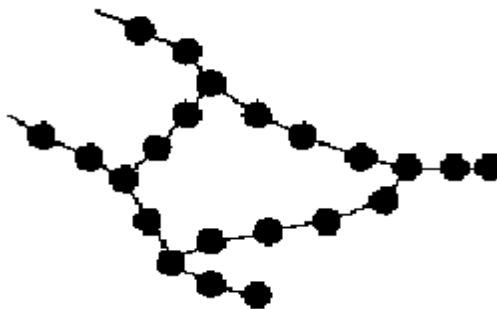


Figure I.4 : Polymère à molécules réticulés

VI. Familles des polymères

Il existe une grande variété de polymères utilisés dans l'industrie ; comme les peintures, les caoutchoucs, les plastiques, les fibres de synthèse, le papier,...etc. ils sont souvent classés selon leurs propriétés thermomécaniques, et on distingue :

VI.1. Les thermoplastiques

Les thermoplastiques ou thermoplastes sont des solides généralement solubles, formés de chaînes plus ou moins linéaires liées entre elles par des liaisons secondaires et mis en forme par chauffage et refroidissement. Selon la régularité de leurs chaînes, ces polymères peuvent être cristalliser (thermoplastes semi cristallins) ou non (thermoplaste amorphe). La majorité des thermoplastes ramollissent ou fondent dans une plage de température sise entre 80°C et 225°C [9].

VI.2. Les élastomères

Les matériaux en caoutchouc ou élastomères sont des solides souples et gonflables formés de chaînes peu compactées et très mobiles (à températures ambiante). Pour assurer une stabilité de forme indispensable, diminuer leur propension au fluage et prévenir une souplesse excessive, les caoutchoucs sont généralement réticulés, c'est-à-dire que leurs chaînes sont liées entre elle par des liaisons primaires et stables [9].

VI.3. Les thermodurcissables.

Les thermodurcissables sont des solides infusibles et insolubles qui forment un réseau tridimensionnel à partir de segments moléculaires liés entre eux par une densité élevée de liaisons primaires. Les thermodurcissables sont mis en forme de façon irréversible par réaction chimique des molécules d'un durcisseur avec les petites molécules d'une résine et/ou avec des chaînes linéaires. La structure chimique de la résine de départ, le choix du durcisseur et le degré de réticulation influencent l'ensemble des propriétés thermomécaniques des thermodurcissables (module d'élasticité, température de transition vitreuse, résistance mécanique). Vu leur faible viscosité avant durcissement et les propriétés chimiques et mécaniques finales favorables, les thermodurcissables sont largement employés comme matrice dans les matériaux composites structuraux. Ils sont utilisés généralement pour l'appareillage électrique [9]

VII. Classification des polymères

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

VII.1. Selon l'origine

On peut classer les polymères en trois groupes :

- **Les polymères naturels** : on est entouré de polymères naturels, tel que la cellulose, le caoutchouc et les résines ;
- **Les polymères artificiels** : dérivés des polymères naturels : nitrate et acétate de cellulose, ébonite (caoutchouc fortement réticulé par le soufre) [10].
- **Les polymères synthétiques** : produits dans des réactions de polymérisation en chaîne ou de polycondensation [10].

VII.2. Selon leur domaine d'application

- **Les polymères de grande diffusion** : dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes (polyéthylène, le polystyrène).
- **Les polymères techniques** : ont des caractéristiques mécaniques qui leur permettent de se substituer aux matériaux traditionnels ex : polyamides.
- **Les polymères spéciaux** : c'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, thermostables...

VII.3. Selon les propriétés

Une des propriétés mises en cause est l'influence d'une élévation de température. Une autre est le comportement élastique. Comme cité la section VI. Il en résulte qu'on distingue trois grandes familles [10] : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

- **Les thermoplastiques** : sont malléables et fusibles à températures élevées. Les plus courants sont le polyéthylène, le plexiglas, les textiles de type nylon. Chauffés, ces plastiques fondent, se vaporisent et brûlent [11].
- **Les thermodurcissables** : se solidifient à température élevée et gardent leur forme lorsque celle-ci décroît. Les plus utilisés sont le polyuréthane, les résines phénoliques. Exposé à la chaleur, ces plastiques, ne fondent pas ; ils se

décomposent en dégageant des produits volatiles accompagnés de résidus carbonisés [11].

- **Les élastomères :** ils comprennent, le caoutchouc naturel, le caoutchouc synthétique et le caoutchouc de silicones. Tous doivent subir dans leur préparation une vulcanisation qui a pour but de diminuer leur plasticité et d'augmenter leurs élasticités. Les caoutchoucs synthétiques sont, en générale, plus résistants au vieillissement et plus imperméables aux gaz et à la vapeur d'eau. Ils résistent mieux aux solvants et leur composition est plus constante [12].

VII.4. Selon la structure chimique

On peut classer les polymères, d'après leur structure chimique et d'après l'évolution de leur permittivité en fonction de la température et de la fréquence, en polymères apolaire et en polymères polaire.

- **Polymères apolaire.** Ils sont généralement de très bons isolants avec un indice de pertes faible, de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-3} et une permittivité quasi constante (2.5 à 3) dans un large domaine de températures et de fréquences. Ils contiennent, en générale, que de carbone et de l'hydrogène ou bien ils contiennent des atomes électronégatifs tels que le fluor ou le chlore placés symétriquement le long de la chaîne carbonée. Parmi ces polymères on trouve le polypropylène, polyisobutylène, polyéthylène et polystyrène [13].
- **Polymères polaire.** Ils possèdent dans leurs molécules des atomes (généralement électronégatifs tels que F, Cl, O, N) qui fournissent des dipôles. Ils ont une permittivité élevée (3,5 à 10) et un indice de pertes élevé 10^{-2} à 10. On trouve, le polychlorure de vinyle, poly fluorure de vinylidène, le poly méthacrylate de méthyle, les polycondensats tels que les polyamides ou les polyesters thermoplastiques polyéthylène téréphtalate [13].

VIII. Propriétés des polymères

Les polymères présentent plusieurs propriétés intéressantes pour cela leur domaine d'utilisation est très large et très varié.

VIII.1. Propriétés mécaniques

La rigidité des polymères n'est pas due à la cohésion qui existe entre tous les atomes constitutifs du matériau ; elle résulte plutôt des interactions secondaires entre les

macromolécules que sont les chaînes. Par conséquent, on ne peut plus relier directement le module d'élasticité des polymères à l'énergie de cohésion du matériau, à moins de considérer cette dernière comme l'énergie qui existe dans un ensemble de macromolécules et non plus dans un ensemble d'ions ou d'atomes [14]. Les propriétés mécaniques des polymères dépendent éventuellement de la masse molaire et de la cristallinité, parmi lesquelles nous pouvons citer [14].

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

VIII.2. Propriétés physiques.

Les propriétés physiques des matériaux polymères sont une moyenne de celles des composants quand il s'agit de la masse volumique. Pour le reste, ces matériaux sont souvent inhomogènes et il n'y a pas de règle d'addition pour prévoir les propriétés à partir de celles des composants [14].

VIII.3. Propriétés optiques.

La propriété optique d'intérêt pour la lumière visible est la transparence, c'est-à-dire l'absence de diffusion et d'absorption dans le visible. Certains groupes chimiques absorbent la lumière et une coloration apparaît. Elle passe du jaune au rouge à mesure que la longueur d'onde absorbée croît. L'indice de réfraction dépend de la nature des atomes et des liaisons qui les relient. Comme pour tous les produits organiques, on peut calculer par addition d'incrément la réfraction moléculaire R [14].

$$R = \frac{n^2 - M}{n^2 - 2D} \quad (\text{I.3})$$

Ou :

n : indice de réfraction.

M : la masse molaire (de l'ensemble).

D : la masse volumique.

VIII.4. Propriétés thermiques

Les propriétés thermiques des polymères sont reliées au coefficient de dilatation linéique et la conductivité thermique. Le coefficient de dilatation linéique est fonction de type de liaison qui assurent la cohésion de l'ensemble des atomes ou des molécules du matériau, et il est autant plus élevé que l'intensité des liaisons est plus faible. Cette caractéristique rend les matières plastiques intéressantes quand on les utilise comme isolants thermiques (notamment sous forme de mousse) [15].

VIII.5. Propriétés électriques

Les matières plastiques ont une résistivité très élevée (entre 10^{15} et 10^{18} . cm) et constituent par conséquent d'excellents isolants électriques. Cette résistivité peut varier, en surface surtout, avec la prise d'humidité [15]. Les variations du champ électrique alternatif provoquent des mouvements moléculaires et une consommation d'énergie transformée en chaleur et qui se traduit par une perte diélectrique qui dépend de la fréquence [14]. La rigidité diélectrique caractérise l'aptitude du matériau à supporter des tension élevées sans perforation (claquage) [16].

VIII.6. Propriétés chimiques

Le comportement chimique des polymères dépend de leur accessibilité aux agents extérieurs. Sous la chaleur, les thermoplastiques fondent et thermodurcissables peuvent se décomposer sans fondre mais en émettant des vapeurs ou des liquides inflammables [14]. C'est la nature chimique du polymère et sa réticulation qui prédominent pour la résistance aux agressions chimiques à la température et au gonflement par les solvants.

IX. CONCLUSION

Dans la première partie de ce chapitre nous avons donné quelques rappels sur les isolants et les diélectriques. En effet, nous avons donné leurs définitions et leur caractérisation.

Dans la deuxième partie, nous avons parlé sur les des polymères et leurs structures ainsi leurs caractérisations. Aussi nous avons parlé de la classification de ces derniers et de leurs propriétés.

Bibliographie du chapitre I

- [1] M. Ieda, Carrier Injection, Space Charge and Electrical breakdown in Insulating polymers, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. EI-22, No. 3, June 1987.
- [2] C. Laurent, Diélectriques solides et charge d'espace, Techniques de l'ingénieur, Pack Génie Electrique, D 2305, pp. 1-13, 1999
- [3] J. Martinez-Vega «Matériaux diélectriques pour le génie électrique». Lavoisier 2007.
- [4] D.F.Warne «Génie électrotechnique». Édition 2007.
- [5] M. Aguet et M. Lanoz «Traité d'électricité : Haute Tension», vol XXII 2ème Edition
- [6] R. Fournié «Diélectriques : bases théoriques». Technique de l'ingénieur D 2 300. pression atmosphérique. Animation de surface et dépôt de couches minces par un procédé de décharge par barrière diélectrique». Thèse de doctorat l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, novembre 2009.
- [7] M. A. Handala « Etude de la décharge de surface sous tension alternative 50HZ », thèse doctorat en électrotechnique de l'université de Tizi-Ouzou, 2007.
- [8] « Physique des polymères, I. Structure, Fabrication », Emploi Patrick Combette, Isabelle Emoult, 2005, Hermann Editeurs.
- [9] Trait des matériaux V14 matériaux polymériques : propriétés mécaniques et physique''.
- [10] A-F. Groupes-Lorenzo et J-M.Haudin Matériaux pour l'ingénieur.2006.

- [11] J-C Martin « Incendies et explosions d’atmosphère ; traité de sécurité intérieure » Presses polytechniques et universitaires romandes, 2008.
- [12] A. le Hir, J-C. Chaumeil, D. Brossard « Pharmacie galénique, bonne pratique de fabrication des médicaments » 9^{ème} édition. 2009-Elsevier Masson SAS.
- [13] Y. Agouar, A. Hideur, K. Mokri, « Contribution à la caractérisation des polymères soumis à des décharges couronne », mémoire d’ingénieur en Electrotechnique, 2013
- [14] M. Carrega et Coll, « Matériaux industriels », DUNOD, Paris, 2000
- [15] J-P Bilon, J-M Dorlot « Des matériaux », troisième édition. Ecole polytechnique de Montréal, 2000. Sciences Exactes, Département de Chimie, 2009.
- [16] J. P. Trotignon, J. Verdu, M.P Ipraud, A. Dobraczyrski, « Précis de matières plastiques, structure, propriétés, mise en œuvre et normalisations » AFNOR Edition.

Chapitre II

Photo-dégradation des polymères

Résumé : Dans ce chapitre nous étudions la photo-dégradation des polymères. Nous présentons en premier lieu des généralités sur le vieillissement des polymères. Par la suite, nous présentons le phénomène de la photo-dégradation et la photo-oxydation des polymères.

Sommaire

I	Introduction.....	24
II	Généralités sur le vieillissement des polymères	24
	II.1 Vieillissement physique.....	24
	II.1.1 Les vieillissements physiques avec transfert de masse.....	24
	II.1.2 Les vieillissements physiques sans transfert de masse.....	24
	II.2 Vieillissement chimique.....	24
III	Vieillissement sous rayonnement ultraviolet.....	24
	III.1. Les rayons ultraviolets.....	24
	III.2. Sources de rayonnement UV.....	25
	III.2.1 Les rayons solaires	25
	III.2.2 Autres sources de rayonnement UV.....	25
	III.3 Effet des rayons ultraviolet sur les polyméries.....	26
IV	Photo-dégradation.....	26
	IV.1 Définition.....	26
	IV.2 Facteurs provoquant la photo-dégradation	27
	IV.2.1 Les impuretés internes.....	27
	IV.2.2 Les impuretés externes.....	27
V	Photo-oxydation.....	27
	V.1 Processus de la photo-oxydation.....	27
	V.1.1 Principe fondamental.....	27
	V.1.2 Mécanisme de coupure de chaîne.....	29
	V.1.3 Réticulation.....	30
	V.1.4 Effet de la photo-oxydation sur les propriétés polymères.....	30
VI	Conclusion.....	31

I. Introduction

L'exposition aux rayons ultraviolets (UV) peut causer une dégradation importante de nombreux matériaux. Le rayonnement UV provoque une dégradation photo-oxydante qui entraîne la rupture des chaînes polymères, produit des radicaux et réduit la masse moléculaire, provoquant une détérioration des propriétés mécaniques et conduisant à des matériaux inutiles, après un temps imprévisible.

II. Généralités sur le vieillissement des polymères

Le vieillissement des polymères se manifeste par une dégradation souvent irréversible de leurs propriétés physiques, chimiques ou mécaniques. Ce phénomène de dégradation entraîne la notion de « durée de vie » du matériau, c'est-à-dire le temps nécessaire pour qu'une propriété atteigne un seuil critique en dessous duquel le matériau n'a plus les propriétés attendues.

Les différents mécanismes responsables de la dégradation des polymères peuvent être classés dans deux grandes catégories telles que les vieillissements physiques et chimiques.

II.1. Vieillissement physique

Par convention, on appelle vieillissement physique tout phénomène de vieillissement n'impliquant pas une altération chimique des macromolécules ou des additifs. On distingue :

II.1.1. Les vieillissements physiques avec transfert de masse

Consistant en une absorption ou désorption de matière par le matériau (pénétration de solvants, migration d'adjuvant,...).

II.1.2. Les vieillissements physiques sans transfert de masse

C'est tout ce qui concerne en particulier les vieillissements sous contrainte mécanique et les phénomènes de relaxation.

II.2. Vieillissement chimique

Le vieillissement chimique concerne quant à lui tous les phénomènes conduisant à une modification chimique du matériau. Dans la pratique, il s'agit le plus souvent d'un vieillissement entraîné par l'attaque d'un réactif chimique. On rencontre donc différents modes de dégradation, tels que thermochimique, radiochimique, hydrolytique ou photochimique. Dans le cadre de cette étude, c'est plus particulièrement le vieillissement photochimique qui nous intéresse.

III. Vieillissement sous rayonnement ultraviolets

III.1 Les rayons ultraviolets

Couramment les UV sont des rayonnements électromagnétique de même nature que la lumière visible mais dont les longueurs d'onde sont inférieures et donc non perceptible par l'œil. Leurs faible longueur d'onde leur confère une plus forte énergie que la lumière allant jusqu'à provoquer des brûlures sur le corps humain. Le spectre des UV est subdivisé en trois

bandes appelée UVA, UVB et UVC. La tranche 200 - 320 nm, utilisée dans le domaine de la photogravure, est appelée UV actiniques.

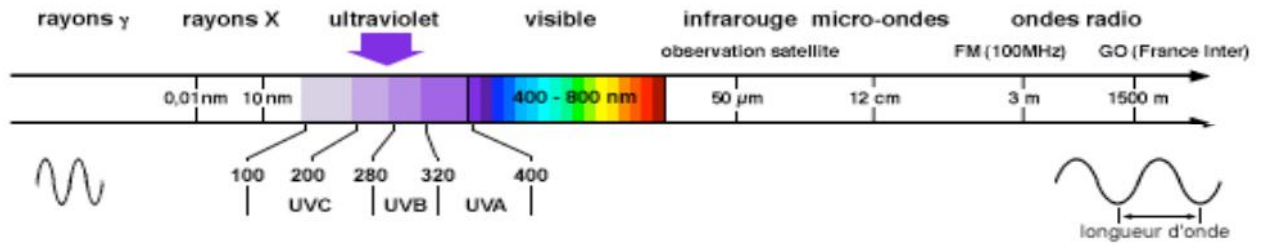


Figure II.1 : Spectre de la lumière

nom	Longueur d'onde	Energie du photon
UVA	320 - 400 nm	3.10 - 3.94 eV
UVB	290 - 320 nm	3.94 - 4.43 eV
UVC	100 - 280 nm	4.43 - 12.4 eV

Tableau1 : Longueurs d'ondes et énergies des photons pour chaque bande UV

III.2. Source de rayonnement UV

III.2.1. Les rayons solaires

Au sol, nous recevons du soleil un rayonnement composé de 5% d'UV, 39% de rayonnement visible et 56% d'infrarouge. Les UV ont subi une atténuation importante par l'atmosphère avant d'arriver sur terre.

Les UVC sont filtrés par la couche d'ozone et n'atteignent pas la terre. Les UVA et UVB atténués par l'atmosphère et les particules en suspension, frappent malgré tout notre planète dans une proportion respective de 98% et 2%.

Les nuages hauts n'arrêtent que 5 à 10% des UV. Ceux d'altitude moyenne en arrêtent 30 à 70%. Seuls les gros nuages sombres, très bas, arrêtent tous les UV.

III.2.2. Autres sources de rayonnement UV

Les sources d'UV se doivent avoir des enveloppes en quartz car le verre ne laisse pas passer les UV. Parmi ces sources on distingue :

➤ Les arcs à souder

La soudure électrique à l'arc provoque l'émission d'une quantité d'UV très importante d'où la nécessité de porter un masque de protection des yeux et du visage.

➤ **Les tubes fluorescents bas pression pour cabine de bronzage**

Les tubes contiennent de l'argon et du mercure (très faible quantité) placé dans un champ électrique. Les électrons en se déplaçant percutent et cèdent leur énergie aux atomes de mercure qui passent à l'état excité. Le retour à l'état fondamental se fait en émettant un photon dans l'UVC (185 et 254 nm). La paroi interne des tubes est enduite d'un produit qui fluoresce sous l'action des UVC dans la gamme des UVA.

➤ **Les lampes hautes pression**

Ces lampes ont un principe identique aux basses pressions sauf que la pression (> 1 bar) engendre un plasma plus chaud et plus intense entraînant la nécessité d'avoir une ampoule en quartz.

➤ **Les diodes UV**

La première diode UV a été créée au Japon en mai 2006. Avec une longueur d'onde de 210 nm, elle permettra d'améliorer la finesse de gravure des circuits intégrés et de concevoir des DVD dont la quantité d'information stockée sera très élevée.

III.3. Effet des rayons Ultraviolets sur les polymères

L'exposition des polymères aux ultraviolets pendant une durée relativement longue induit des photo-dégradations de la surface du matériau qui se manifeste par la formation de nouveaux produits chimiques [1.2]. L'un des effets les plus marquants des UV sur les polymères est la coloration et la rugosité de la surface.

IV. La Photo-dégradation

IV.1. Définition

La photo-dégradation est assimilée à 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. Cependant, d'autres formes de rayonnement électromagnétique peuvent provoquer une photo-dégradation.

La photo-dégradation comprend la photodissociation, la dissolution des molécules en petits fragments par des photons. Il inclut également le changement de la forme d'une molécule pour la rendre irréversiblement modifiée.

La photo-dégradation des polymères comprend les changements physiques et chimiques causés par les irradiations ultraviolettes ou la lumière visible. Afin d'être efficace, la lumière doit être absorbée par le substrat. Ainsi, l'existence de groupes chromophores dans les macromolécules est une condition préalable pour l'initiation d'une réaction photochimique [3].

IV.2. Facteurs provoquant la photo-dégradation

Généralement, de nombreux facteurs sont responsables de la photo-dégradation des matériaux polymères. Ils peuvent être divisés en deux catégories [3]:

IV.2.1. Les impuretés internes

Ces dernières peuvent contenir des groupes chromophores, qui sont introduits dans des macromolécules pendant le traitement et le stockage polymérisation; ils comprennent:

- a. Hydro peroxydes.
- b. Carbonyles.
- c. Liaisons insaturées (C = C).
- d. Résidus de catalyseur.
- e. Complexes de transfert de charge avec de l'oxygène.

IV.2.2. Les impuretés externes

Qui peuvent contenir des groupes chromophores, à savoir les :

- a. Traces de solvants, catalyseurs, ...etc.
- b. Composés d'une atmosphère urbaine polluée et résidus chimiques, par exemple les hydrocarbures polycycliques tels que le naphthalène et l'anthracène en polypropylène et le polybutadiène.
- c. Traces de métaux et d'oxydes métalliques à partir des équipements de traitement et des récipients, tels que Fe, Ni ou Cr.

V. La Photo-oxydation

V.1. Processus de la photo-oxydation

V.1.1. Principe fondamental

Le processus de photo-oxydation fait intervenir deux facteurs : l'énergie lumineuse dans l'UV ou dans le visible et l'oxygène. Ce mécanisme n'est amorcé qu'en présence d'espèces ou plutôt de chromophores présents au sien du matériau absorbant ces rayonnements [4].

Le chromophore est alors porté en un temps très court dans un état excité dont l'énergie potentielle peut atteindre une valeur très élevée. Ainsi, l'initiation de la photo-oxydation est obtenue par la promotion de chromophores à des états excités à énergies élevée (figure II.2).

L'énergie potentielle de cet état excité peut atteindre une valeur très élevée de l'ordre de 400 kJ/mol (en comparaison, une élévation de température permet seulement d'atteindre une énergie potentielle inférieure à 100 kJ/mol). Ainsi la photo-oxydation autorise certains processus inexistant en thermo-oxydation [5].

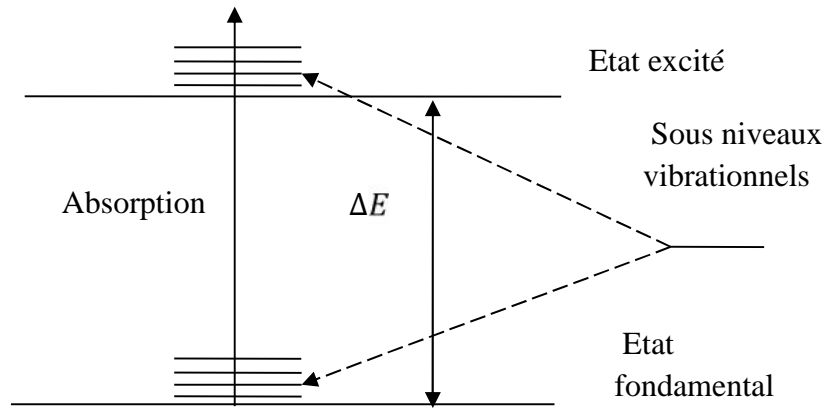


Figure II.2. : Promotion d'une molécule à l'état excité par l'absorption d'un photon.

D'après la loi de Planck :

$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \tag{II.1}$$

Avec :

E : l'énergie

h : la constante de Planck

ν : la fréquence

c : la vitesse de la lumière (3.10^8 m/s^{-1})

λ : la longueur d'onde du photon incident soit telle que :

Dans certains cas, l'énergie de l'état excité peut être transférée d'une espèce absorbante à une autre espèce éventuellement non absorbante et lui donner la possibilité de réagir à partir de son état excité (Figure II.3). Cette réaction aurait été impossible si l'espèce non absorbante était isolée. Si D est la molécule donneuse et A la molécule accepteuse, la réaction peut être écrite comme ceci : $D_0 + h\nu \rightarrow D^*$ et $D^* + A_0 \rightarrow D_0 + A^*$.

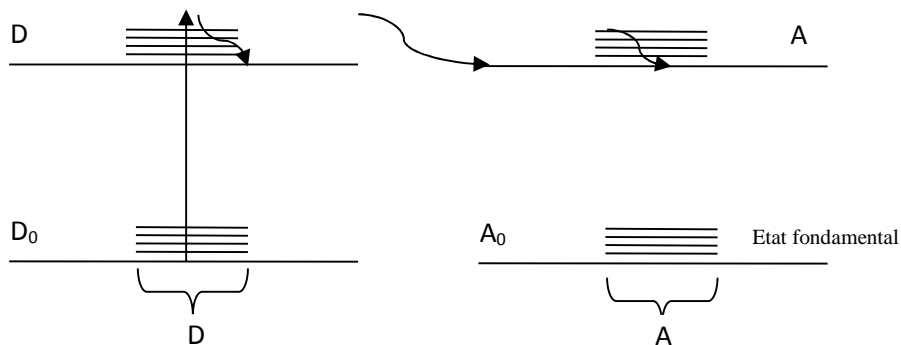
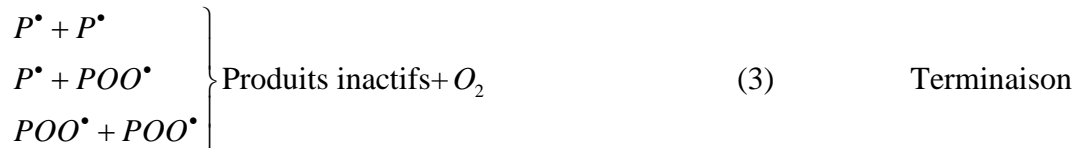


Figure II.3. : Principe d'un transfert d'énergie.

Par définition, le vieillissement par photo-oxydation se développe sous l'action conjointe des ultraviolets et de l'oxygène, ce qui en fait une des principales causes du vieillissement des polymères. Il appartient à la classe des vieillissements chimiques associés aux phénomènes d'oxydation. Contrairement au vieillissement physique, il entraîne des modifications chimiques des chaînes macromoléculaires, de façon préférentielle en surface des échantillons, le facteur limitant de ce processus est donc la capacité de l'oxygène à diffuser dans le matériau [6, 7].

Pour décrire les réactions mises en jeu lors de la photo-oxydation, il est possible de se baser sur un schéma composé essentiellement de trois étapes : l'initiation, la propagation et la terminaison



Avec : PH=polymère, P[•]= radical alkyle de la chaîne polymérique, PO[•]= radical alkoxyde, POO[•]= radical peroxyde, POOH = hydroperoxyde, HO[•] = radical hydroxyle.

Les phénomènes de dégradation mis en jeux lors de la photo-dégradation sont communs à tous les autres vieillissements chimiques et regroupent principalement les mécanismes de rupture de chaîne et de réticulation [8].

V.1.2. Mécanisme de coupure de chaînes

Ce mécanisme de dégradation se traduit par une diminution de la masse moléculaire moyenne du polymère, il peut être schématisé par la (Figure 4) :

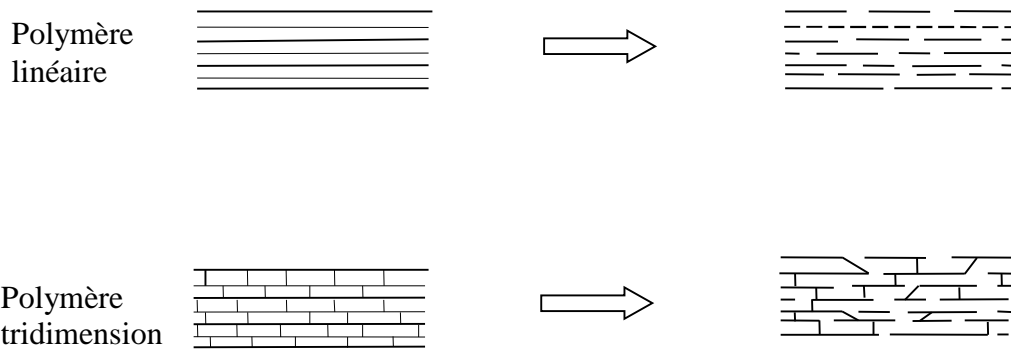


Figure II.4 : Processus de coupures de chaînes macromoléculaires.

V.1.3.Réticulation

C'est le processus inverse de la coupure de chaînes. Il se traduit par la formation de ponts les segments voisins de macromolécules (figure 5).

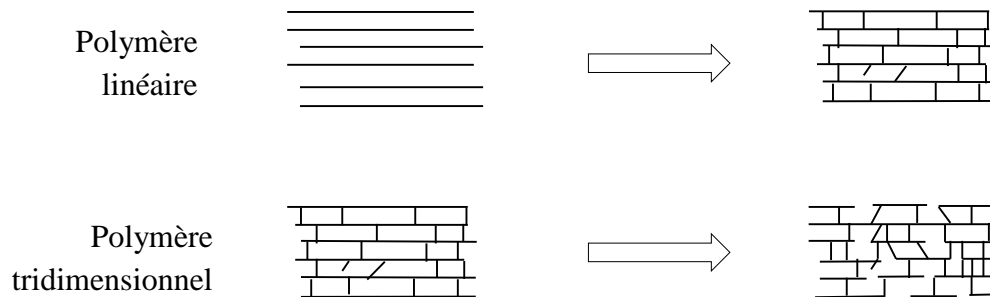


Figure II.5 : Processus de réticulation de chaînes

Ce mécanisme de dégradation se traduit par une augmentation dans la masse moléculaire moyenne à cause de l'association des différentes chaînes.

Cependant ces deux mécanismes interviennent dans la plupart des cas simultanément [9,10].

V.1.4. Effet de la photo-oxydation sur les propriétés des polymères

L'influence du processus de photo-dégradation sur la durée de vie des polymères a eu un grand intérêt dans les dernières décennies [11, 12,13]. Les résultats reportés dans la littérature ont montré que l'exposition de ces derniers aux rayonnements UV engendre de façon systématique une évolution dans leurs structures, cette évolution est caractérisée par la libération de radicaux, réduction du poids moléculaire et la formation d'une couche oxydée à sa surface, liée à la diffusion de l'oxygène et la pénétration des rayonnements UV. Ces altérations conduisent à l'atténuation des performances diélectrique et mécanique du matériau [14, 15,16]. Toutes ces modifications sont la conséquence directe d'une évolution chimique du matériau quand il est soumis au vieillissement, dans ce contexte, deux phénomènes peuvent prendre place à savoir : la rupture de la chaîne macromoléculaire et la réticulation [17]. De même, de nombreuses études récentes ont montré que la photo-oxydation peut

généralement provoquer des changements dans les propriétés physiques du matériau, comme la fissuration (microfissures) et la perte des propriétés mécaniques [13, 18,19].

Concernant l'évolution de l'état de surface des polymères, beaucoup d'études ont été faites dans le but de comprendre l'effet des rayonnements UV sur l'usure de surface des polymères et aussi estimer le degré de dégradation de ces derniers [20, 21,22]. Ont conclu que la résistance à l'usure dépend de la quantité d'oxygène responsable de l'oxydation et de degré de réticulation [23]. Ont remarqué une amélioration de la résistance à l'usure de certains matériaux après exposition aux UV [22].

VI. Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur le vieillissement des polymères dont nous avons vu le vieillissement physique qui est caractérisé par une modification de la morphologie liée à la mobilité moléculaire, par des fissurations sous contrainte en milieu tensioactif, par les chocs thermiques et par les phénomènes de transfert de masse. Quant au vieillissement chimique, il met en évidence les phénomènes d'oxydation, de réticulation, de dépolymérisation et de scission chaines.

Dans la seconde partie, nous avons fait une étude bibliographique sur le phénomène photo-dégradation. Cette étude a été consacrée principalement à la présentation de généralités sur ce mécanisme ainsi que de ses principaux inducteurs. Nous avons parlé aussi de la photo-oxydation des polymères qui représente un cas particulier du phénomène de photo-dégradation, elle fait intervenir deux facteurs connus comme étant prépondérants, il s'agit de l'oxygène issu de l'atmosphère et des UV émanant du soleil.

Bibliographie du chapitre II

- [1] C.Jin, P.A.Christensen, T.A. Egerton, E.J. Lawson, J.R. White, “Rapid measurement of polymer photo-degradation by FTIR spectrometry of evolved carbon dioxide”, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 91, No. 5, pp. 1086-1096, May 2006.
- [2] N. Grassie, M.I. Guy, N.H. Tennent, «Degradation of epoxy polymers: Photodegradation of bisphenol-A diglycidyl ether», *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 13, No. 3, pp. 249-259, 1985.
- [3] E.Yousif, R.Haddad, photodégradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review, Springer-Plus, vol. 2, No. 1, pp. 398-430,2013.
- [4] G. Mertz, Evolution des propriétés physico-chimiques et mécaniques de composites à base caoutchoucs lors du photo-vieillessement, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 2010.
- [5] Yakimets-Pilot, Elaboration d'un modèle viscoélastique et son application au comportement d'un polypropylène sous sollicitations mécaniques complexes et physico-chimiques, 2004.
- [6] A.V. Shyichuk, Comparison of UV-degradation depth-profiles in polyethylene, polypropylene and an ethylene-propylene copolymer.*Polymer Degradation and Stability*, 2005. 88(3): p. 415-419.
- [7] J.R. White, et A.V. Shyichuk, Effect of stabilizer on scission and crosslinking rate changes during photo-oxidation of polypropylene.*Polymer Degradation and Stability*, 2007. 92(11): p. 2095-2101.
- [8] A. Rivaton, Investigation of the photophysical processes and photochemical reactions involved in PVK films irradiated at $\lambda > 300$ nm.*Macromolecules*, 2003. 36(15): p. 5815-5824.
- [9] A. Lahoen, et J.Arman, Etude de mélanges de polyéthylène et de polystyrène par diffraction de rayons X et par densimétrie. *European Polymer Journal*.1995.31(4): P347-352.

-
- [10] S. Wu, study on ultraviolet irradiation modification of high-density polyethylene and its effect in the compatibility of HDPE/PVA fibre composites. *Materials letters*.2003.57 (18):P2647-2650.
- [11] 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.
- [12] N. Nagai, T. Matsunobe, T. Imai, Infrared analysis of depth profiles in UV photochemical degradation of polymers, *polymer Degradation and stability*, Vol. 88, No. 2, pp. 224-233, May 2005.
- [13] S. Oprea, V. Oprea, Mechanical behavior during different weathering tests of the polyurethane elastomers films, *European Polymer Journal*, Vol. 38, No. 6, pp. 1205-1210, June 2002.
- [14] J. Tóthček, Z. Vrátníková, polymer life-time prediction: The role of temperature in UV accelerated ageing of polypropylene and its copolymers, Vol. 36, pp. 82-87, June 2014.
- [15] T. Kurihara, T. Takahachi, H.Homma, T. Okamoto, Oxidation of cross-linked Polyethylene due to Radiation-thermal Deterioration, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 18, No. 3, pp. 878-887, June 2011.
- [16] K. Anandakumaran, Aging and Condition Monitoring Studies of Composite Insulation Cables Used in Nuclear Power Plants, *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 14, No. 1, pp. 227-237, February 2007.
- [17] L. Doumingue, S. Mallarino, S. Cohendoz, X. Feugas, J. Bernard, Extrinsic fluorescence as a sensitive method for studying photo-degradation of high density polyethylene: Part I, *current Applied Physics*, Vol. 10, No. 4, pp. 1211-1215, July 2010.
- [18] B.U. Ahn, S.K. Lee, J.H. Park, B.K. Kim, UV curable polyurethane dispersions from polyisocyanate and organosilane, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 62, No. 3, pp. 258-264, May 2008.
- [19] Z.F. Wang, B. Wang, X. M. Ding, M. Zhang, L.M. Liu, N. Qi, J.L. Hub, Effect of temperature and structure on the free volume and water vapor permeability in hydrophilic polyurethanes, *Journal of Membrane Science*, Vol. 241, No. 2, pp. 355-361, October 2004.
- [20] S. Baxamusa, T. Laurence, M. Worthington, P.Ehrmann, Photo-oxidation of polymer-like amorphous hydrogenated carbon under visible light illumination, *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 122, pp. 133-138, December 2015.
- [21] K. S. Toohey, T.A. blanchet, D.D. Heckelman, Effect of accelerated aging conditions on resultant depth-dependent oxidation and wear resistance of UHMWPE joint

- replacement bearing materials, *Wear*, Vol. 255, No. 7-12, pp. 1076-1084, August-September 2003.
- [22] B. Menzel, T.A. Blachet, Enhanced wear resistance of gamma-irradiated PTFE and FEP polymers and the effect of post-irradiation environmental handling, *Wear*, Vol. 258, No. 5-6, pp. 935-941, February 2005.
- [23] M. Ramanujam, V. Wachtendorf, P.J. Purohit, R. Mix, A. Schonhals, J.F. Friedrich, A detailed dielectric relaxation spectroscopy study of artificial UV weathered low density polyethylene, *ThermochimicaActa*, Vol. 530, pp. 73-78, February 2012.

Chapitre III

Techniques expérimentales

Résumé : Dans ce chapitre nous présenterons en premier lieu les polymères étudiés .Nous détaillerons par la suite le protocole de vieillissement des matériaux sous rayonnements UV. Enfin, nous aborderons les différentes techniques expérimentales utilisées pour la caractérisation diélectrique, mécanique, physique et physico-chimique des matériaux.

Sommaire

I	Introduction.....	37
II	Présentation des polymères étudiés.....	37
	II.1 Le Polycarbonate.....	37
	II.1.1 Définition.....	37
	II.1.2 Formule moléculaire.....	37
	II.1.3 Les propriétés du Polycarbonate.....	37
	II.1.3.1 Les propriétés électriques.....	37
	II.1.3.2 Les propriétés mécaniques.....	38
	II.1.3.3 Les propriétés thermiques.....	38
	II.1.3.4 Les propriétés chimiques.....	38
	II.1.4 Utilisation de PC en électrotechnique	38
	II.2 Le Polystyrène	38
	II.2.1 Définition.....	38
	II.2.2 Formule moléculaire.....	39
	II.2.3 Types de Polystyrènes.....	40
	II.2.3.1 Le Polystyrène cristal ou dense.....	40
	II.2.3.2 Le Polystyrène choc ou haut impact.....	40
	II.2.3.3 Le Polystyrène expansé ou PSE.....	40
	II.2.4 Les propriétés de Polystyrène	40
	II.2.4.1 Les propriétés électriques.....	40
	II.2.4.2 Les propriétés mécaniques.....	40
	II.2.4.3 Les propriétés thermiques.....	41
	II.2.4.4 Les propriétés chimiques	41
	II.2.5 Utilisation de PS en électrotechnique.....	41
III	Préparation des échantillons.....	41
IV	Dispositifs expérimentaux.....	42
	IV.1 Chambre de vieillissement sous rayonnement UV.....	42
	IV.2 Conditionnement des éprouvettes.....	42
V	Propriétés diélectriques.....	43
	IV.1 Permittivité relative.....	43
	IV.2 Indice de pertes diélectriques	44
	IV.3 Résistivité transversale	44
VI	Propriétés mécaniques.....	44
	VI.1. Allongement à la rupture et résistance à la traction	44
VII	Propriétés physiques.....	46
	VII.1 Evaluation de l'hydrophobicité et de travail d'adhésion.....	46
	VII.1. Angle de contact.....	46
	VII.1.2 Travail d'adhésion.....	46
VIII	Microscopie Electronique à Balayage (MEB).....	47
IX	Conclusion.....	47

I. Introduction

Les travaux abordés dans ce mémoire se rapportent à l'effet des rayonnements ultraviolets sur les propriétés électriques, mécaniques et physico-chimique du Polycarbonate (PC) et du Polystyrène (PS). L'objectif de ce chapitre est la présentation des polymères étudiés et la description des techniques expérimentales utilisées pour les différentes mesures.

II. Présentation des polymères étudiés

II.1. Le polycarbonate (Pc)

II.1.1. Définition

Le polycarbonate est un polymère thermoplastique largement utilisé dans de nombreux domaines d'application, du fait de ses diverses propriétés telles que sa transparence, sa stabilité thermique et sa résistance à l'impact.

II.1.2. Formule moléculaire

La formule moléculaire du PC est donnée sur la figure III.1.

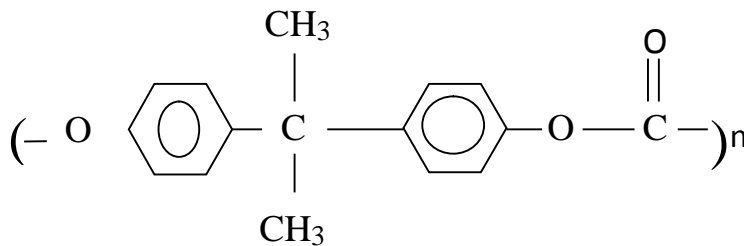


Figure III.1 : La formule moléculaire de polycarbonate.

II.1.3. Les propriétés du polycarbonate

II.1.3.1. Les propriétés électriques

- La permittivité relative de PC reste quasi inchangée entre -20°C et +140°C, dans tout cette intervalle des températures d'utilisation des polycarbonates. Cependant, la permittivité relative baisse légèrement lorsque la fréquence augmente.
- La résistance transversale, déterminée suivant la norme CEI 93 ou VDE 0303 est fonction de la température : les polycarbonates sont d'excellents isolants dans tout l'intervalle de température.
- La résistance superficielle, déterminée suivant la norme CEI 93 ou VDE 0303, atteint plus de 10¹⁵ est aussi élève que la résistance d'isolement, elle également fonction du taux d'humidité des polycarbonates et des conditions ambiantes.
- La rigidité diélectrique, déterminée suivante la norme DIN 53 481/4.2.2 ou VDE 0303, sur des éprouvettes de 1 mm d'épaisseur dans de l'huile de transformateur, est compris entre 30 et 35 kV/mm

II.1.3.2. Les propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du PC sont fonction de la structure moléculaire, de la masse molaire, des groupes terminaux, des méthodes de fabrication et du vieillissement physique. La contrainte et l'allongement à la rupture

II.1.3.3. Les propriétés thermiques

Le polycarbonate présente trois transitions thermiques :

- La transition α associée à des mouvements de longue ampleur des molécules.
- La transition β à environ 60°C qui est due à la présence de contraintes résiduelles dans l'échantillon.
- La transition γ associée aux mouvements interne des motifs PC, se situant vers -100°C.
- La température de transition vitreuse T_g , se trouve dans le domaine de température : 140 à 150°C.

II.1.3.4. Les propriétés chimiques

Le PC est sensible à l'hydrolyse, et résistant à l'eau à 60 °C, les composantes chimiques qui dégradent le pc sont les cétones, les acides concentrés, les hydrocarbures aromatiques et halogénés, et les bases fortes, le polycarbonate est insensible aux acides dilués, aux alcools, aux graisses, aux huiles, et aux hydrocarbures aliphatiques.

II.1.4. Utilisations de PC en électrotechnique

Les rubans de polycarbonate thermo rétractable sont fréquemment utilisés pour isoler les bobinages. Des feuilles très minces, jusqu'à 2 micromètres d'épaisseur constante et se prêtant bien à la métallisation peuvent être obtenues, d'où l'intérêt du polycarbonate pour les condensateurs de dimensions réduites.

II.2. Le Polystyrène (PS)

II.2.1. Définition

Le polystyrène a été découvert en 1930. Le polystyrène est un plastique dur cassant et transparent. C'est un produit industriel courant largement diffusé. Offrant de très nombreux usages.

Le polystyrène est un polymère dont le monomère (élément moléculaire répété) est le styrène, formé d'un cycle de benzène accroché sur une chaîne (CH-CH₂). On l'obtient à partir de produits issus du pétrole [1].

II.2.2. Formule moléculaire

La formule moléculaire de polystyrène est donnée sur la figure III.2.

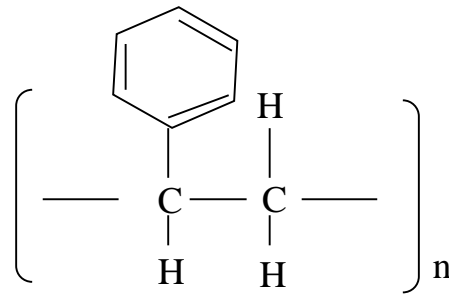


Figure III.2 : La formule moléculaire de polystyrène

Le polystyrène se présente sous deux formes selon le positionnement des groupes phényles :

- La forme syndiotactique, illustrée sur la figure III.3.A, dans laquelle les groupes phényles se situent alternativement d'un cote et de l'autre de la chaîne.
- La forme atactique donnée sur la figure III.3.B, dans laquelle les groupes phényles sont attachés de façon aléatoire d'un cote ou de l'autre de la chaîne.

Le polystyrène syndiotactique, de structure régulière est cristallin, pas contre le polystyrène atactique, irrégulier est amorphe [2].

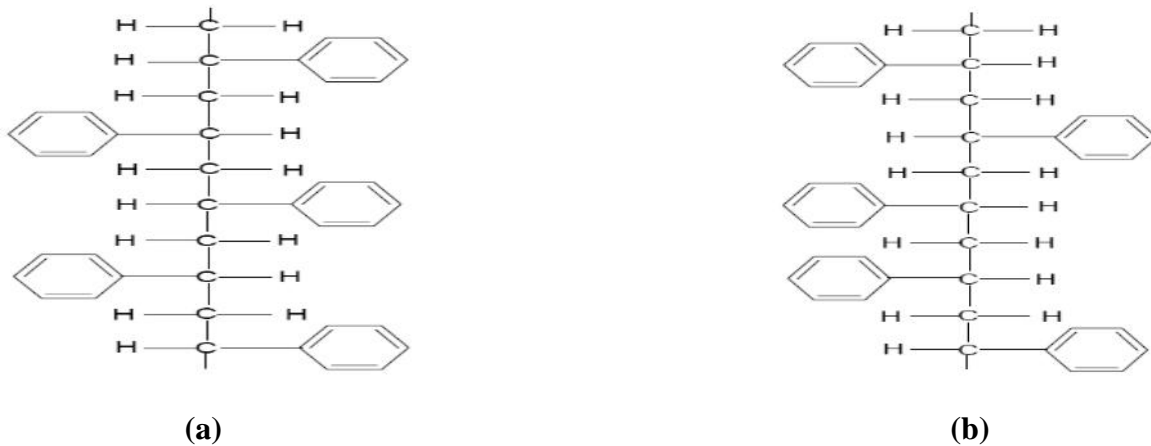


Figure III.3 : Représentation des deux formes de polystyrène

- **III.3. (a) :** Le polystyrène syndiotactique.
- **III.3. (b) :** Le polystyrène atactique [3].

II.2.3. Types de polystyrènes

On distingue trois types de polystyrène :

II.2.3.1. Le polystyrène cristal ou dense

Celui-ci regroupe par exemple les ustensiles ou les barquettes en plastique. Le polystyrène cristal n'a pas une structure cristalline mais porte ce nom en raison de son aspect transparent. Il polymérise sous forme des perles à haute température en présence d'un adjuvant plastifiant. C'est un plastique dur et cassant. Utilisé pour de nombreux types de boîtes [4.5.6].

II.2.3.2. Le polystyrène choc ou haut impact

Celui-ci est utilisé le plus souvent dans le domaine de l'industrie. Il s'agit d'ajouter, lors de la fabrication du polystyrène, un agent spécial permettant d'augmenter sa résistance aux chocs. Le polystyrène "choc" ou HIPS (High- impact polystyrène) ou acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et un copolymère formé par du styrène car il est résistant et capable de supporter des impacts plus fort que le polystyrène normal. Cet ABS est employé par l'industrie pour les produits rigides [6.7].

II.2.3.3. Le polystyrène expansé ou PSE

Le polystyrène expansé est produit pas la polymérisation en suspension du styrène en y ajoutant des gonflants. Les billes de polymère générées sont ensuite passées au tamis dans différentes tailles granulométriques. Il est possible d'utiliser différents revêtements en fonction de l'utilisation finale. Dans leur forme finale, les mousses PSE contiennent environ 95% d'air. Les propriétés les plus importantes des mousses PSE sont leur excellente isolation thermique et leur bonne absorption des chocs [7].

II.2.4. Les propriétés du polystyrène

II.2.4.1. Les propriétés électriques

Le polystyrène possède des bonnes propriétés.

- Le PS est polymère non polaire donc un excellent isolant dans une large gamme de fréquences.
- Le PS possède une résistivité volumique importante qui le rend très électrostatique.
- Le PS possède de faibles valeurs du facteur de pertes diélectrique.
- La permittivité relative du PS est de l'ordre de 26 sur une large gamme de fréquence.

II.2.4.2. Les propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques du PS se résument en :

- Bonne résistance aux chocs aux basses températures jusqu'à - 40°C.
- La présence de butadiène dans le PS choc limite la propagation des fissures.

II.2.4.3. Les propriétés thermiques

Les propriétés thermiques du PS sont rassemblées dans les points suivants :

- Bonne tenue au froid jusqu'à -40°C .
- Température d'utilisations en continu : 70°C .
- Température de transition vitreuse : 90°C à 100°C .
- Température de fusion : de l'ordre de 145°C .
- Température de décomposition : de l'ordre de 320°C .

II.2.4.4. Les propriétés chimiques

Le PS résiste bien aux acides dilués, aux solutions salines aqueuses et aux bases, il possède les propriétés chimiques suivantes :

- Il est attaqué par les acides oxydants ou nitriques.
- Il se fissure sous l'action d'agents chimiques tels que : acétone, isopropanol, benzène, toluène, chloroforme, chlorure de méthylène...etc.
- Le PS gonfle et se dissout dans de nombreux milieux organiques.
- Le PS résiste à la lumière

II.2.5. Utilisation de PS en électrotechnique

Le polystyrène à multiples actions notamment utilisé sous forme expansée pour l'isolation. Est aussi utilisé dans les condensateurs à film à base de matériaux synthétiques.

III. Préparation des échantillons

Pour nos essais, nous avons découpé des éprouvettes de forme carrée de $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$ pour les caractérisations diélectriques et propriétés physiques et d'autres sous forme d'haltères pour les essais mécaniques.



Figure III.4 : Eprouvette carrée et sous forme d'haltère

IV. Dispositifs expérimentaux

IV.1. Chambre de vieillissement sous rayonnement UV

Le vieillissement sous les rayonnements UV a été effectué dans une enceinte conçue spécialement. Elle est de forme parallélépipédique (80*60*60 cm) fabriquée en plexiglas et isolée de l'extérieur avec du polystyrène. La source de rayonnement UV est composée de huit lampes de marque Philips de puissance 36 W. Le spectre des sources est majoritairement situé dans la région UV-A, les longueurs émises se situent entre 350 nm et 400 nm. Les lampes émettent aussi une faible quantité de radiations dans la région UV-B. Les éprouvettes de PC et PS sont placées à une distance de 10 cm des sources UV. La durée de vieillissement est de 1 à 720 heures.

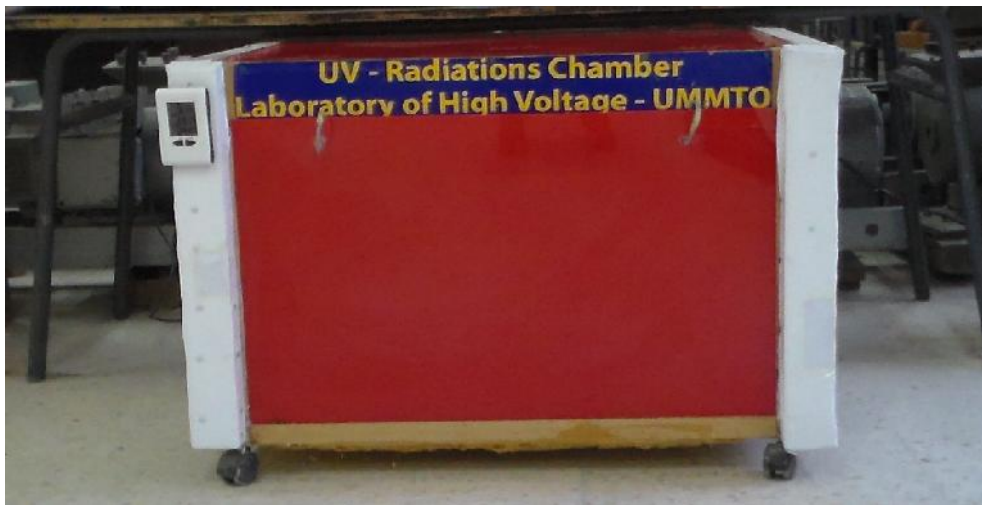


Figure III.5 : Chambre de vieillissement sous rayonnement UV

IV.2. Conditionnement des éprouvettes

Le conditionnement des éprouvettes se fait dans un dessiccateur pour une durée de 20 heures minimum pour chaque prélèvement, avant chaque test est essais.



Figure III.6 : Dessiccateur pour conditionnement des éprouvettes.

V. Propriétés diélectriques

La caractérisation diélectriques des éprouvettes est effectuée à l'aide d'un LCR mètre de type Instek –LCR 817. Cet appareil permet la mesure précise de la permittivité relative, du facteur de dissipation et de la résistance transversale, sous faible tension (excède pas 2V), sur une gamme de fréquence allant de 12 Hz à 10 kHz. Le LCR mètre reliée à une cellule de mesure qui comporte deux électrodes cylindriques et identiques en bronze. Les éprouvettes vierges et soumises aux rayons ultraviolets sont placées dans cette cellule connectée à l'appareil de mesure avec des câbles les plus courts possibles. Les propriétés diélectriques sont mesurées sous une tension de 1 V è des fréquences allant de 0.5 kHz à 10 kHz.



Figure III.7 : LCR mètre

IV.4.1. Permittivité relative

Généralement, la permittivité écrite sous sa forme complexe est donnée par :

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

La partie réelle ϵ' de la permittivité complexe ϵ^* , représente la permittivité relative ou la constante diélectrique, elle nous renseigne sur la capacité du diélectrique à stocker la charge en présence du champ électrique. La permittivité relative est fonction de l'épaisseur de l'éprouvette ainsi que de la géométrie des électrodes de mesure et a comme équation :

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

Avec :

C : la capacité de l'éprouvette placée en sandwich entre les électrodes de mesure

e : Epaisseur de l'éprouvette en cm.

S : la surface de l'électrode en cm^2

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ est la permittivité du vide

IV.4.2. Indice de pertes diélectriques

La partie imaginaire ϵ'' de la permittivité complexe représente les pertes diélectriques ou bien l'indice de pertes diélectriques. Ces pertes dépendent de la conductivité et des phénomènes de relaxation et de polarisation dipolaire, l'indice de perte est donné par :

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

Avec :

ϵ' : la permittivité relative

$\tan \delta$: facteur de pertes diélectriques.

IV.4.3. Résistivité transversale

Nous avons déterminé la résistance transversale à l'aide de la relation suivante :

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

Avec :

ρ : Résistance transversale en ohm.cm

R : Résistance d'isolement

S : Surface de l'électrode en cm²

L : Epaisseur de l'éprouvette en mm

VI. Propriétés mécaniques

Le suivi de l'évolution des propriétés mécaniques du PS et PC (allongement à la rupture, résistance à la traction) a été effectué au laboratoire Physique de l'entreprise ELECTRO-INDUSTRIES.

VI.1. Allongement à la rupture et résistance à la traction

L'appareil utilisé pour les essais mécaniques est de marque SCHNECK-TREBEL. Il permet de mesurer simultanément l'allongement à la rupture et la résistance à la traction sur la même éprouvette. La machine comprend un dynamomètre muni de deux mâchoires exerçant une force de traction croissante.



Figure III.8 : Machine de la traction.

L'essai consiste à soumettre l'éprouvette à la traction à une vitesse constante (500 mm/min) jusqu'à sa rupture. On mesure simultanément l'allongement à la rupture et la résistance à la traction sur la même éprouvette.

La résistance à la traction est le rapport de la charge à la rupture par la section droite de l'éprouvette, est donnée par la relation suivante.

$$R_T = \frac{F_T}{S} \quad (\text{III.5})$$

Avec :

R_T : La résistance à la traction en N/mm^2

F_T : La force de traction en N

S : La section droite de l'éprouvette en mm^2 (la largeur de l'éprouvette par son épaisseur).

L'allongement à la rupture est exprimé en pourcentage (%) et régit par la relation suivante :

$$A(\%) = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

Avec :

L_0 : longueur mesurée entre les deux repères avant la rupture de l'éprouvette ($L_0=10$ mm).

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

VII. Propriétés physiques

VII.1 Evaluation de l'hydrophobicité et de travail d'adhésion

Le degré d'hydrophobicité est caractérisé pas la mesure de l'angle de contact formé par une goutte de liquide (eau) déposée à la surface de l'éprouvette et le calcul de travail d'adhésion en fonction de la durée d'application de la contrainte.

Afin d'étudier l'effet des différentes contraintes sur l'hydrophobicité du PC et PS, nous avons utilisé un dispositif dont le principe de celui d'un goniomètre. Ce dispositif comporte une micro-seringue, une torche, un support pour éprouvette et une caméra.



Figure III.9 Dispositif utilisé pour la mesure de l'angle de contact.

VII.1.1 Angle de contact

Pour déterminer l'angle de contact, nous avons pris des photos des gouttes d'eau sur déposée l'éprouvette par la caméra numérique. Les photos ensuite sont traite par le logiciel Autocad afin de déterminer la valeur de cette angle

VII.1.2 Travail d'adhésion

La variation du travail d'adhésion W_{SL} est calculé en utilisant le modèle de Young-Dupré en fonction de temps de vieillissement est comme suite :

$$W_{SL} = \gamma_{SL} (1 + \cos \theta) \quad (\text{III.7})$$

γ_{SL} : Énergie superficielle correspondant à l'interface liquide-solide (pour l'eau : $\gamma_{SL}=72.8$ mJ/mm²).

θ : Angle de contact.

VIII. Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (figure III.10) effectuée au laboratoire de chimie de l'UMMTO, est basée sur le principe de l'interaction électrons avec la matière. Elle permet d'obtenir des images de la surface des échantillons avec une grande résolution et de fournir rapidement des informations sur la morphologie et la chimie d'un objet solide.



Figure III.10 : Microscope Electronique à Balayage.

IX. Conclusion

Ce chapitre est divisé essentiellement en deux parties :

Dans la première partie, nous avons présenté les matériaux étudiés, à savoir le Polycarbonate et le Polystyrène, pour lesquels on a donné les définitions, les formules moléculaires et les propriétés.

Dans la deuxième partie on a abordé, les dispositifs expérimentaux ainsi que les méthodes de mesure des propriétés du Polycarbonate et du Polystyrène soumis aux rayonnements UV.

Bibliographie du chapitre III

- [1] Phillipe. Robert « Traite d'électricité : Matériaux d'électrotechnique».
- [2] Abdoulaye SEYNI « Propriétés physico-chimiques et d'usage des matériaux composites à charge dégradable produits par Co-broyage». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, décembre 2008.
- [3] D.A Folatjar, K. Horn « polycarbonate PC » Technique de l'ingénieur, traite plastiques et composites.
- [4] R.Farhi, C. Morel, G Chéron « Matières plastiques & adjuvant hygiène et sécurité». INRS, ED638, octobre 2006.
- [5] C. Combeaud « Etude des instabilités volumiques en extrusion de polystyrène et polypropylène» Thèse de doctorat, l'Ecole des mines de Paris, Décembre 2004.
- [6] Commission Européenne Direction Générale CCR Centre Commun De Recherche. Institut de Prospective Technologique, « Fabrication des polymères», Octobre 2009.
- [7] V. Boucher, S. Duquesne, S. Bourbigot, «Etude de la dégradation de nano composites à matrice polycarbonate lors d'un procédé d'extrusion», Laboratoire des procédés d'Elaboration de Revêtements Fonctionnels (PERF) _ UMR-CNRS 8008/LSPES, Ecole Nationale supérieure de chimie de Lille (ENSCL) France.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

Résumé : Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats finaux cours de nos travaux. Nous présentons tout d'abord les résultats diélectriques, par la suite des résultats mécaniques et physiques sont évalués. Enfin nous discutons des résultats de la caractérisation physico-chimique.

Sommaire

I	Introduction	51
II	Caractérisations diélectriques.....	51
	II.1 Le Polycarbonate.....	51
	II.1.1 Variations de la Permittivité relative.....	51
	II.1.1.1 Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement.....	51
	II.1.1.2 Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	52
	II.1.2 Variations de l'indice de pertes diélectriques.....	53
	II.1.2.1 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	53
	II.1.2.2 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.....	53
	II.1.3 Variations de la résistivité transversale	54
	II.1.3.1 Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement.....	54
	II.1.3.2 Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence.....	55
	II.2 Le Polystyrènes.....	55
	II.2.1 Variations de la permittivité relative.....	55
	II.2.1.1 Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement.....	55
	II.2.1.2 Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence.....	56
	II.2.2 Variations de l'indice de pertes diélectriques.....	56
	II.2.2.1 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement.....	56
	II.2.2.2 Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence.....	57
	II.2.3 Variations de la résistivité transversale.....	58
	II.2.3.1 Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement.....	58
	II.2.3.2 Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence.....	58
III	Caractérisations mécaniques	59
	III.1 Le Polycarbonate	59
	III.1.1 Variation de l'allongement à la rupture	59
	III.1.2 Variation de la résistance à la traction	60
	III.2 Le Polystyrène.....	61
	III.2.1 Variation de l'allongement à la rupture	61
	III.2.2 Variation de la résistance à la traction	61
IV	Caractérisations physiques.....	62
	IV.1 Le Polycarbonate.....	62
	IV.1.1 Variation de l'angle de contact	62
	IV.1.2 Variation du travail d'adhésion de l'eau	63
	IV.2 Le Polystyrène.....	64
	IV.2.1 Variation de l'angle de contact	64
	IV.2.2 Variation du travail d'adhésion	64
V	Microscopie Electrique à Balayage (MEB).....	65
	V.1 Le Polycarbonate.....	65
	V.2 Le Polystyrène.....	66
VI	Conclusion.....	66

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats expérimentaux caractérisant l'influence du vieillissement sous rayonnement UV sur les propriétés du polycarbonate (PC) et du polystyrène (PS). Nous présentons d'abord les résultats relatifs à l'effet des rayonnements UV sur les propriétés diélectrique du PC et du PS. Ensuite les résultats obtenus lors des essais mécaniques, où nous traitons les variations de l'allongement à la rupture et de la résistance à la traction en fonction du temps de vieillissement. On présentera aussi les caractérisations physiques et physico-chimiques.

II. Caractérisation diélectrique

Dans cette partie, nous présentons les résultats relatifs à l'influence du vieillissement sous rayonnement UV sur les propriétés diélectriques du PC et du PS. Cette étude concerne les variations de la permittivité relative, de l'indice de pertes diélectriques et de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement et de la fréquence.

II.1. Le polycarbonate

II.1.1. Variations de la Permittivité relative (Constante diélectrique)

II.1.1.1. Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement

Les résultats relatifs à l'évolution de la constante diélectrique ϵ' en fonction du temps d'exposition aux rayons UV sont illustrés sur la figure IV.1. Nous constatons que cette propriété présente des variations non monotones en fonction du temps de vieillissement avec apparition de quelques pics, leur apparition serait due aux changements structurels induits par l'ultraviolet [1]. L'augmentation de la permittivité relative peut être attribuée à la formation de quelques défauts structurels dans le matériau [2, 3]. La diminution de ϵ' en fonction du temps de vieillissement peut être expliquée par le phénomène de réticulation [4].

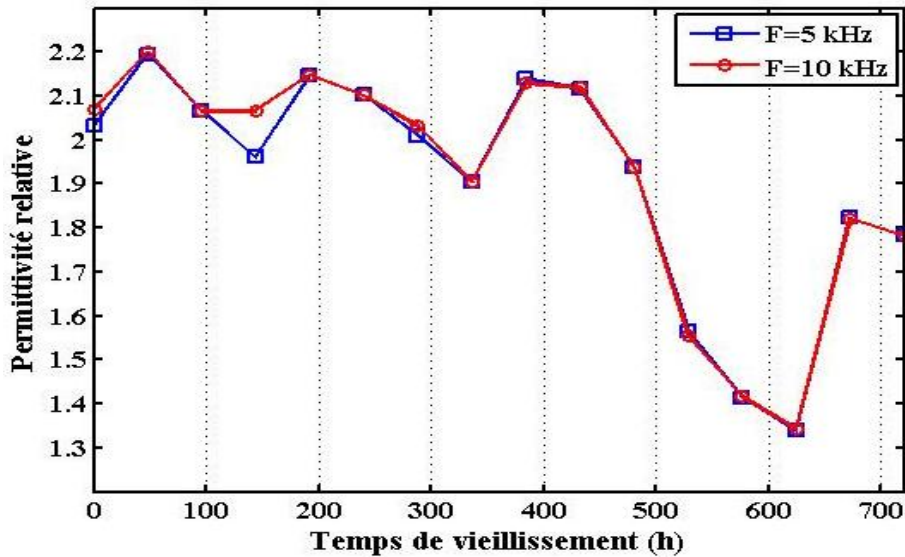


Figure IV.1 : Variations de la permittivité relative (constante diélectrique) en fonction du temps de vieillissement.

II.1.1.2. Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence

Les résultats de la variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence sont illustrés sur la figure VI.2.

La constante diélectrique est régie par la polarisation diélectrique et les mécanismes de relaxation intervenant dans le volume du matériau. La permittivité est gouvernée par le nombre de dipôles présents dans le matériau et leur capacité à s’orienter dans la direction du champ appliqué [5]. Nous remarquons que la constante diélectrique reste pratiquement constante en fonction de la fréquence. Cela est dû à la non disparition de la polarisation.

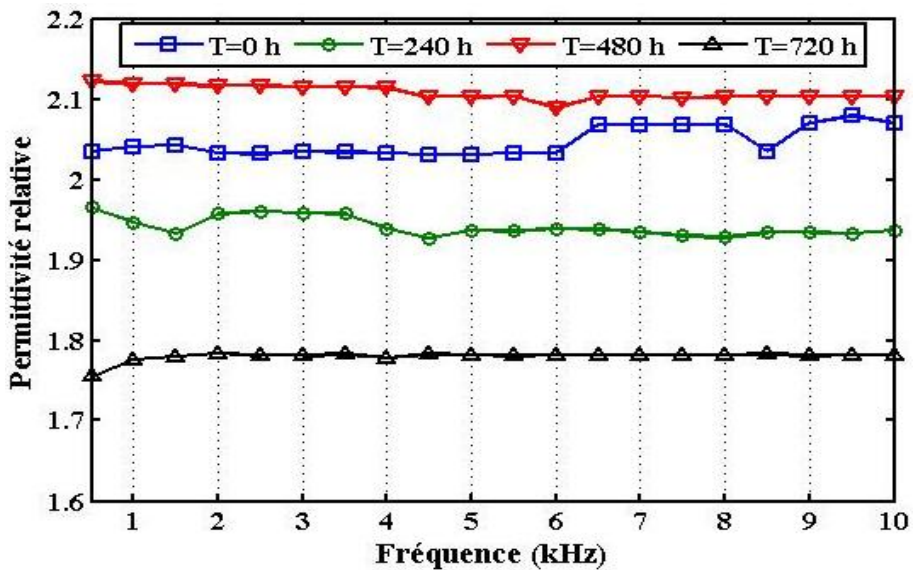


Figure IV.2 : Variations de la constante diélectrique en fonction de la fréquence

II.1.2. Variation de l'indice de pertes diélectriques

II.1.2.1. Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement

Les variations de l'indice de pertes diélectrique en fonction du temps de vieillissement sont exposées sur la figure IV.3.

Comme l'indice de pertes diélectrique est le produit de la permittivité relative et du facteur de pertes diélectriques, alors il présente pratiquement la même allure de variation que celle de la permittivité relative, l'évolution de l'indice de pertes diélectriques nous renseigne sur la puissance perdue dans le matériau, donc toute augmentation ou diminution de l'indice correspond à une augmentation ou diminution de la puissance perdue dans le matériau [6], [7], [8].

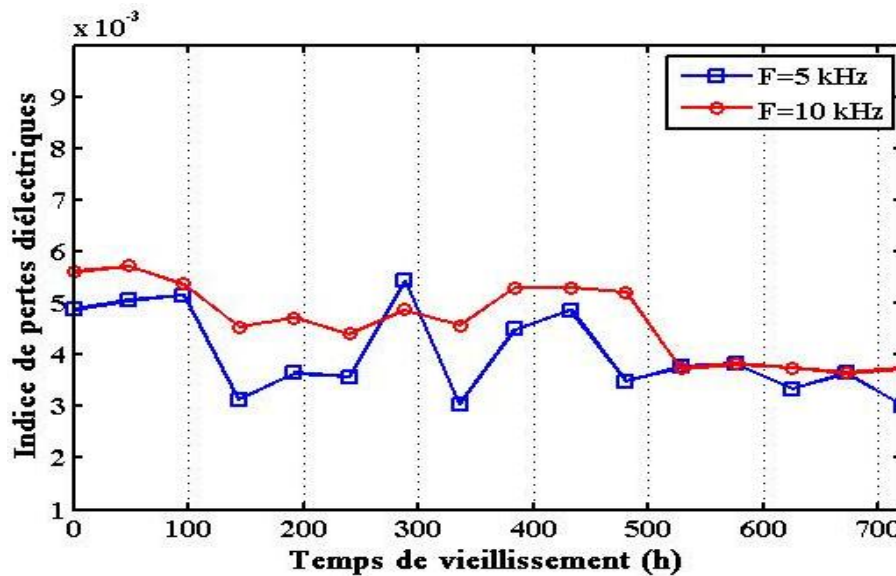


Figure IV.3 : Variations de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement

II.1.2.2. Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence

La variation de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence sont illustrés sur la figure IV.4

On note que ce dernier diminue avec l'augmentation de la fréquence. Ce comportement est dû au mécanisme de relaxation dipolaire [9].

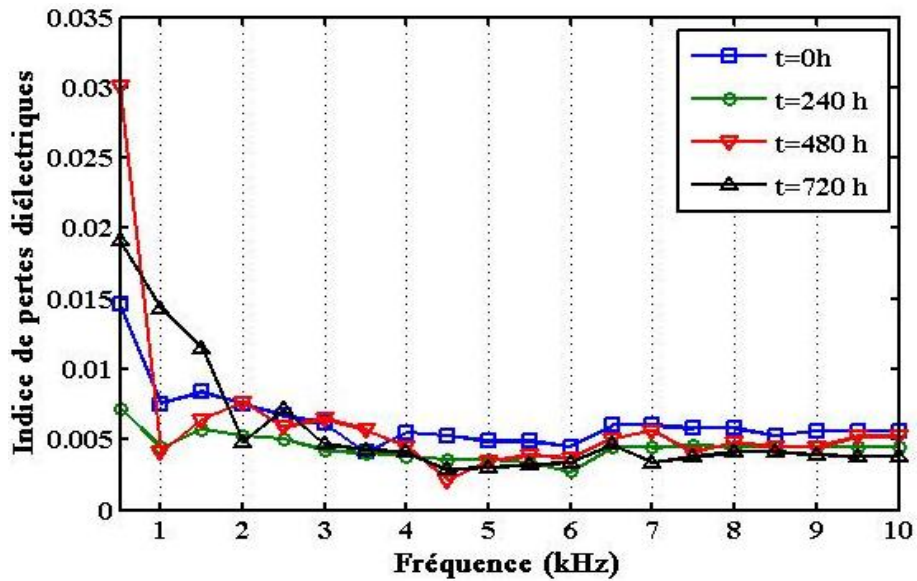


Figure IV.4 : Variations de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence

II.1.3. Variation de la résistivité transversale

II.1.3.1. Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement

Sous une tension de 1 V, nous mesurons les variations de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement pour deux différentes fréquences 5 kHz et 10 kHz. On constate que la valeur de la résistance transversale est non monotone au cours du temps de vieillissement, ce qui est illustré par l'apparition des pics. La croissance est due au phénomène de réticulation qui conduit à la diminution de la conductivité, par conséquent l'augmentation de la qualité d'isolant, et la diminution est due à la génération des porteurs de charge causée par la dégradation.

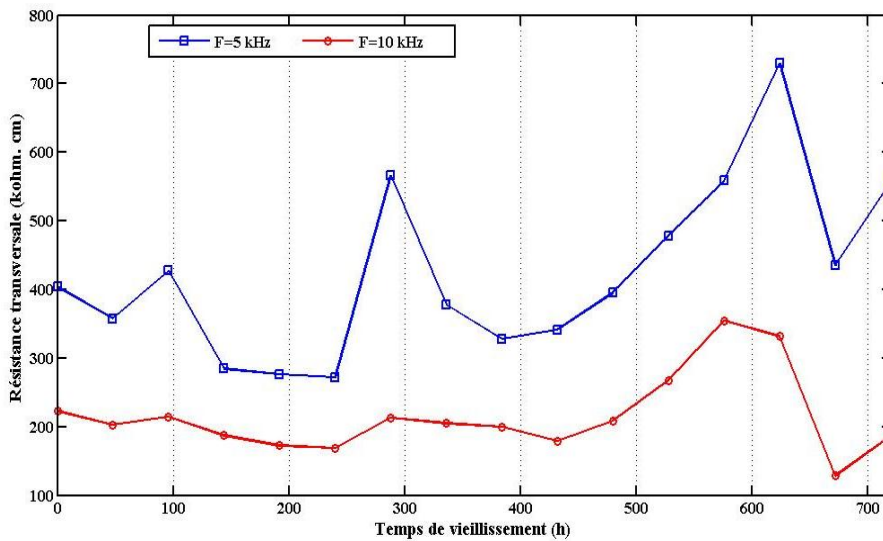


Figure IV.5 : Variations de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement

II.1.3.2. Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence

Les variations de la résistivité transversale en fonction de la fréquence sont illustrées sur la figure IV.6.

Sur cette figure nous remarquons que la résistivité transversale diminue au cours du temps de vieillissement, ce déclin est dû à l'atténuation du phénomène de polarisation par charge d'espace.

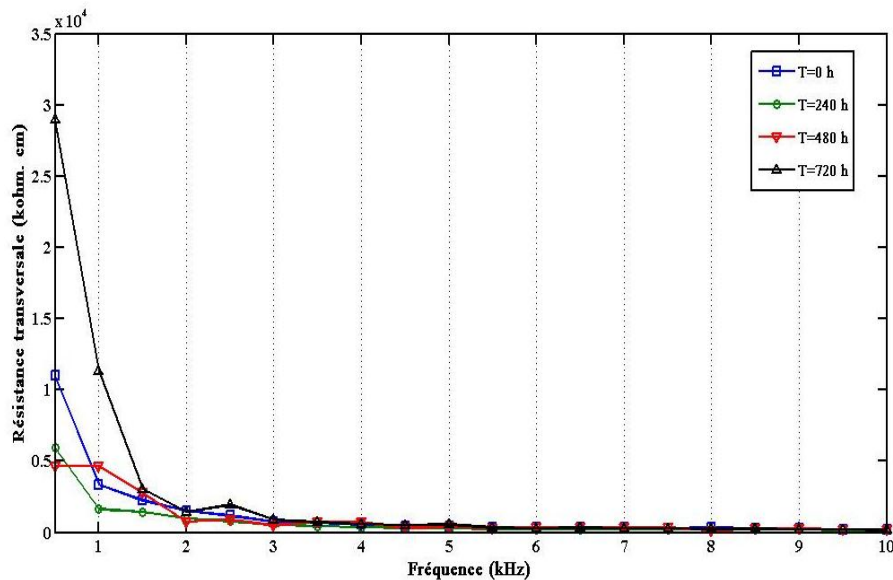


Figure IV.6 : Variation de la résistivité transversale en fonction de la fréquence

II.2 .Le polystyrène

II.2.1. Variations de la permittivité relative

II.2.1.1. Evolution de la permittivité relative en fonction du temps de vieillissement

L'évolution de la constante diélectrique en fonction du temps d'exposition aux UV est représentée sur la figure IV.7.

La figure montre que ϵ diminue au début du vieillissement puis elle est suivie par une légère augmentation puis se stabilise. Les variations observées sur la permittivité relative peuvent être attribuées aux changements structuraux induits par les rayonnements UV.

En effet, plusieurs réactions, tel que la réticulation et la scission de chaînes peuvent être induit simultanément sous irradiations [10, 11, 12]. La diminution de la constante diélectrique au début de vieillissement reliée au phénomène de réticulation [13]. Cette dernière conduit à la formation d'un réseau tridimensionnel entre les molécules et restreint l'orientation dipolaire, L'augmentation de ϵ peut être à la formation de quelques défauts structuraux dans le matériau à la suite de la scission de chaînes [14, 15].

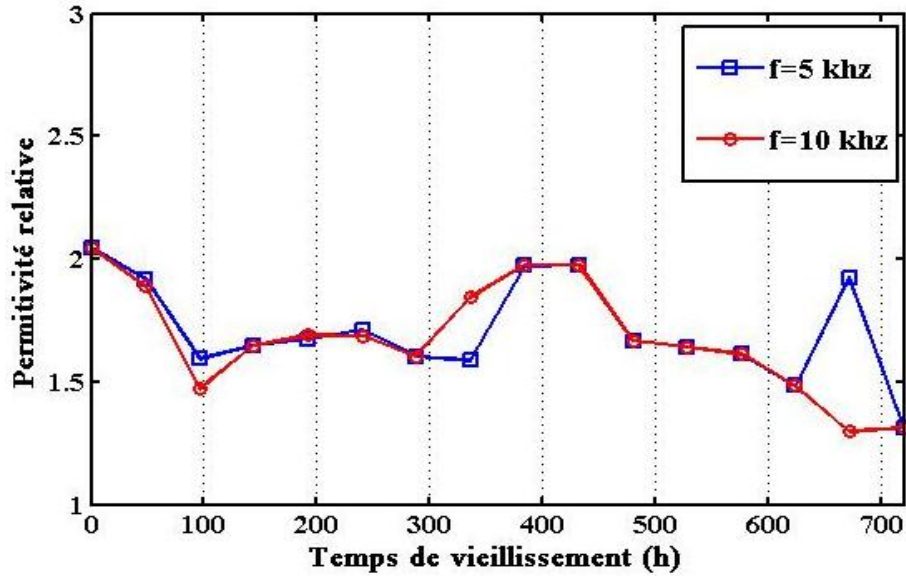


Figure IV.7 : Variation de la constante diélectrique en fonction de temps de vieillissement

II.2.1.2. Evolution de la permittivité relative en fonction de la fréquence

L'évolution de la constante diélectrique en fonction de la fréquence est représentée sur la figure IV.8. Nous remarquons que la constante diélectrique reste pratiquement constante en fonction de la fréquence. ce résultat est attribué à l'absence de la polarisation.

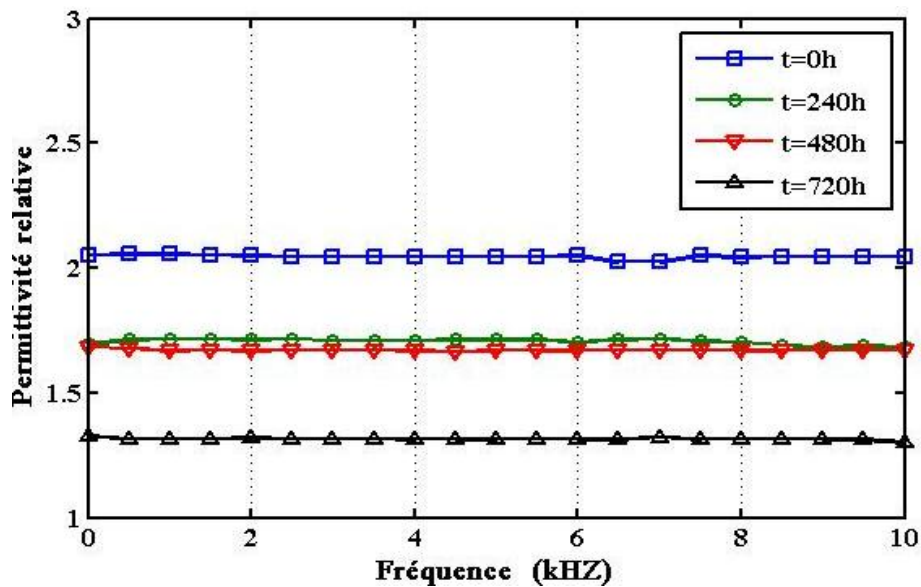


Figure IV.8 : Variations de la permittivité relative en fonction de la fréquence

II.2.2. Variation de l'indice de perte diélectrique

II.2.2.1. Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction du temps de vieillissement

Les résultats de la variation de l'indice de pertes diélectriques en fonction de temps sont illustrés sur la figure VI.9.

La figure montre que ϵ'' présente des variations non monotones en fonction du temps d'exposition aux rayonnements ultraviolets. Aussi, on constate une apparition des pics. L'augmentation ou la diminution de l'indice de pertes est proportionnelle à la puissance perdue dans le matériau.

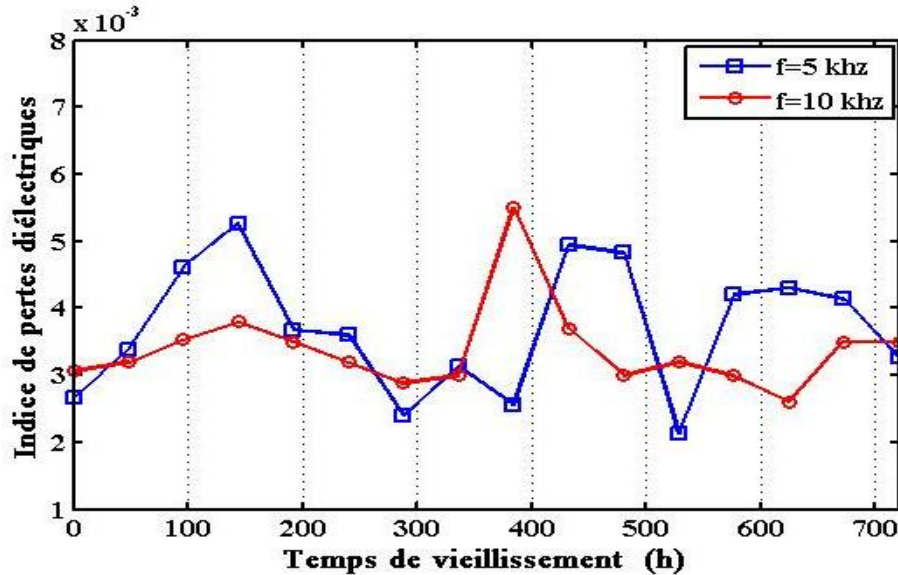


Figure VI. 10 : Variations de l'indice de perte diélectrique en fonction de temps de vieillissement.

II.2.2.2. Evolution de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence

Les résultats de la variation de l'indice de pertes diélectriques en fonction de la fréquence sont illustrés sur la figure IV.11. Cette dernière nous montre que l'indice de pertes diélectriques diminue progressivement en fonction de la fréquence. Cette diminution est due au phénomène de relaxation dipolaire qui prend naissance dans le matériau. [16][17].

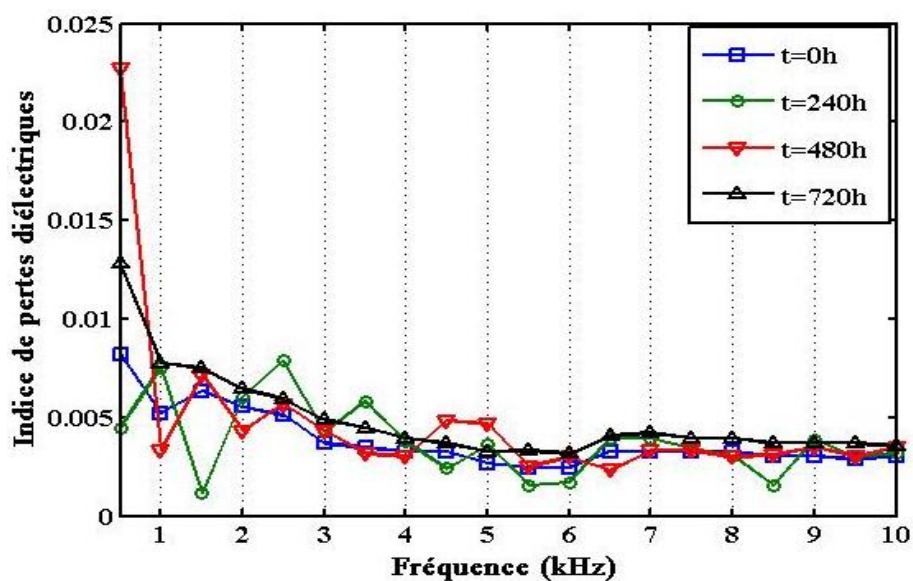


Figure IV.11 : Variations de l'indice de perte en fonction de la fréquence

II.2.3. Variation de la résistivité transversale

II.2.3.1. Evolution de la résistivité transversale en fonction du temps de vieillissement

L'évolution de la résistance transversale en fonction de temps est représentée sur la figure IV.12.

Nous constatons que la résistance transversale augmente à la fin du vieillissement par rapport à l'état initial. L'augmentation est due au phénomène réticulation qui engendre l'augmentation de la qualité de l'isolant ainsi la diminution de la conductivité.

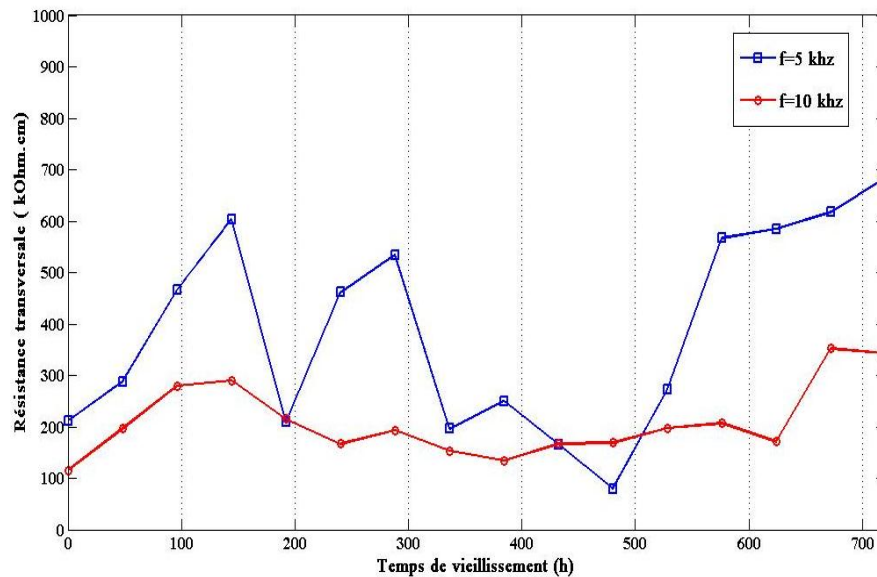


Figure IV.12 : Variations de la résistivité transversale en fonction de temps de vieillissement.

II.2.3.2. Evolution de la résistivité transversale en fonction de la fréquence

L'évolution de la résistance transversale en fonction de la fréquence est représentée sur la figure IV.13.

La figure nos montre que la résistance transversale décroît au cours du vieillissement en fonction de la fréquence, cette diminution est due à la diminution du phénomène de polarisation par charge d'espace du matériau.

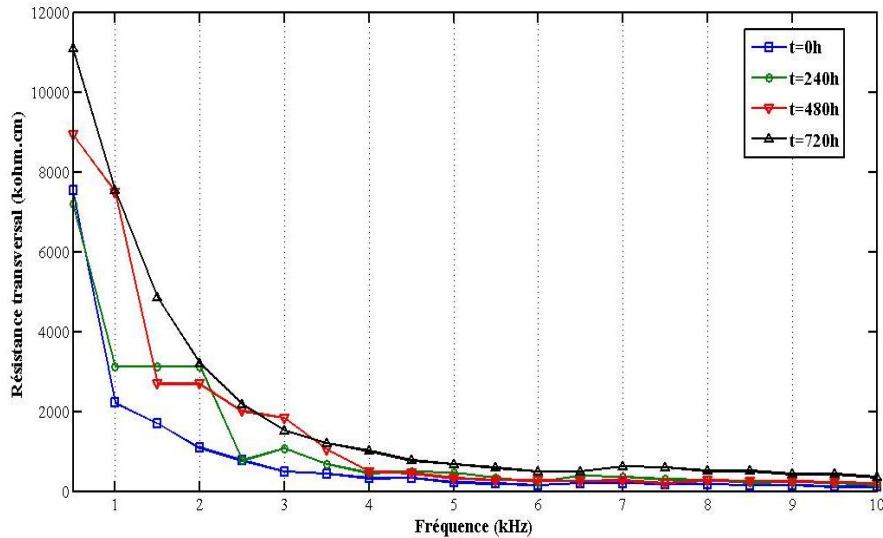


Figure IV.13 : Variations de la résistivité transversale en fonction de la fréquence

III. Caractérisation mécanique

Dans cette partie, nous présentons les résultats à l'effet des rayonnements UV sur les propriétés mécaniques du PC et de PS.

La caractérisation mécanique est réalisée avec un pas de 48 h sur des prélèvements des échantillons de 4 éprouvettes, ces dernières sont destinées pour les essais de l'allongement à la rupture et de la résistance à la traction.

III.1. Le polycarbonate

III.1.1. Variation de l'allongement à la rupture

La variation de l'allongement à la rupture en fonction de temps de vieillissement est illustrée sur la figure IV.14.

L'augmentation de l'allongement à la rupture est attribuée à l'amélioration de la qualité de l'isolant due à la réticulation, quant à la diminution elle est due probablement aux coupures de chaînes [18, 19].

La valeur de l'allongement à la rupture pour l'état final est supérieure à celle initiale. Donc le polycarbonate a subi des réticulations.

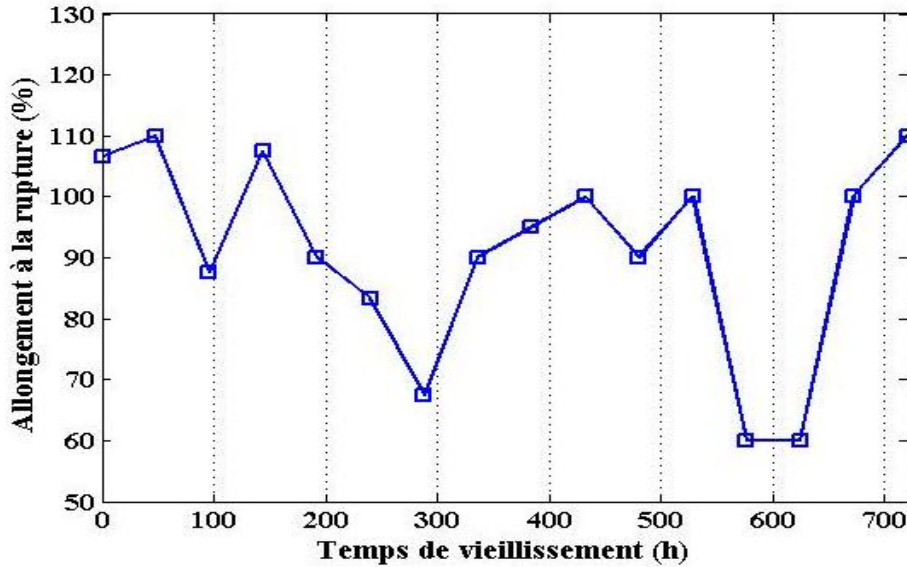


Figure IV.14 : Evaluation de l'allongement à la rupture en fonction de temps de vieillissement de polycarbonates sous les UV.

III.1.2. Variation de la résistance à la traction

La variation de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement est illustrée sur la figure IV.15. Au cours du vieillissement nous observons une diminution et une augmentation pour certaine valeur. Ce comportement est dû à la dégradation de matériaux, la diminution s'explique par la coupure de chaînes et l'augmentation s'explique par la réticulation.

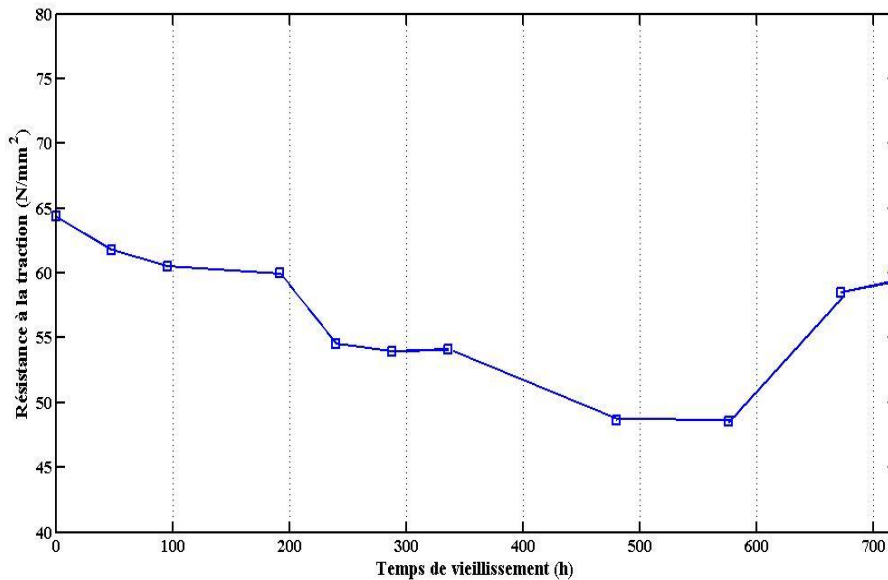


Figure IV.15 : Evolution de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement du polycarbonate sous les UV

III.2. Le polystyrène

III.2.1. Variation de l'allongement à la rupture

Après au moins 20h de conditionnement dans un dessiccateur et avant chaque essai de traction, nous mesurons la section droite de chaque éprouvette. L'allongement, exprimé en pourcentage, est mesuré entre deux repères avant l'étirement de l'éprouvette à une longueur donnée.

La variation de l'allongement à la rupture en fonction de temps de vieillissement est illustrée sur la figure IV.16. Nous constatons que l'allongement à la rupture diminue en fonction du temps de vieillissement. Cette diminution est causée par des coupures de chaînes qui provoquent à leurs tours une diminution de la masse moléculaire moyenne et du taux de réticulation, engendrant ainsi une fragilisation du matériau [20].

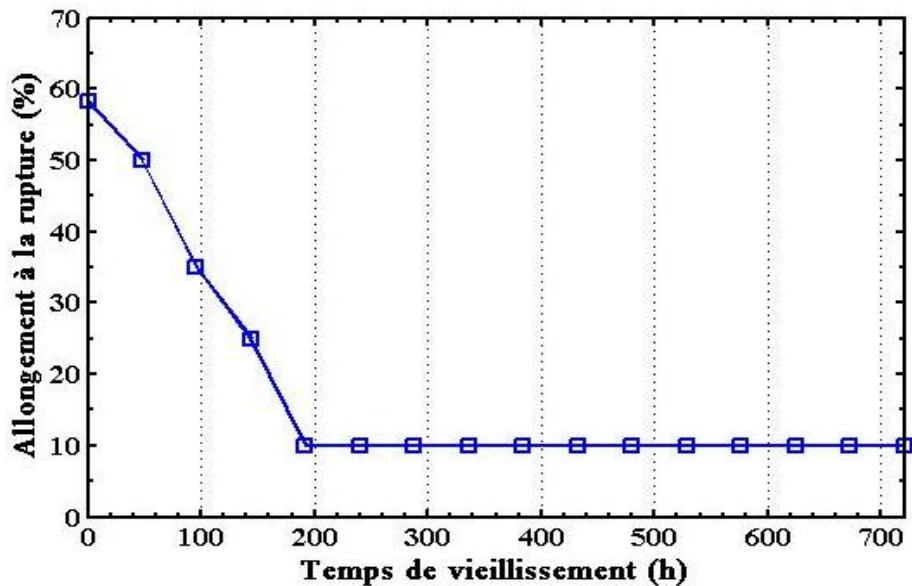


Figure IV.16 : Evolution de l'allongement à la rupture en fonction de temps de vieillissement de polystyrène sous les UV.

III.2.2. Variation de la résistance à la traction

La résistance à la traction est mesurée simultanément avec l'allongement à rupture. Elle est obtenue par le rapport entre la force de traction mesurée à la rupture et la section droite de l'éprouvette. Et sa variation en fonction de temps de vieillissement, est illustrée sur la figure IV.17.

Avant vieillissement, la valeur de la résistance à la traction était 20.263 N/mm^2 , après une exposition prolongée aux ultraviolets, nous constatons une diminution de cette dernière. Ce comportement est lié à la dégradation du matériau sous les rayonnements UV. La diminution s'explique par une coupure de chaînes. La valeur de la résistance à la traction pour 720 heures est égale à 17.34 N/mm^2 et elle est inférieure à celle du point initial. Donc le PS subi à des coupures de chaînes.

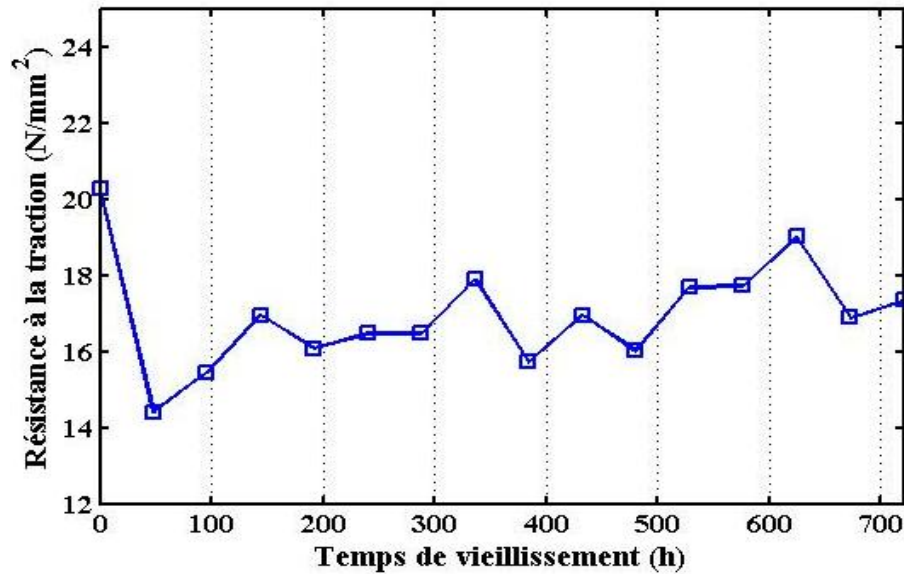


Figure IV.17 : Evolution de la résistance à la traction en fonction de temps de vieillissement de polystyrène sous les UV.

IV. Caractérisation physiques

L'objectif principal de cette partie est de présenter l'analyse des propriétés physiques des matériaux étudiés, pour cela on a évalué le degré d'hydrophobicité à travers de la mesure de l'angle de contact et du travail d'adhésion de l'eau pour le PC et le PS.

IV.1. Le Polycarbonate

IV.1.1. Variation de l'angle de contact

L'hydrophobicité de tout matériau représente sa résistance à l'écoulement de l'eau sur sa surface. Une surface est hydrophobe c'est celle qui résiste à la dispersion de l'eau sur sa dépose surface, et celle moins hydrophobe si des gouttelettes d'eau arrivent à s'écouler en suivant des pistes.

La variation de l'angle de contact en fonction de temps pour le Polycarbonate est illustrée sur la figure IV.18. On constate une augmentation de l'angle de contact au début de vieillissement suivie par une décroissance, à la fin de vieillissement l'angle de contact prend la même valeur que celle de l'état initial. L'augmentation de l'hydrophile peut être due à l'augmentation des groupes fonctionnels de l'oxygène [21]. De plus la diminution de l'angle de contact peut être attribuée aux changements subis pas la surface au cours du vieillissement.

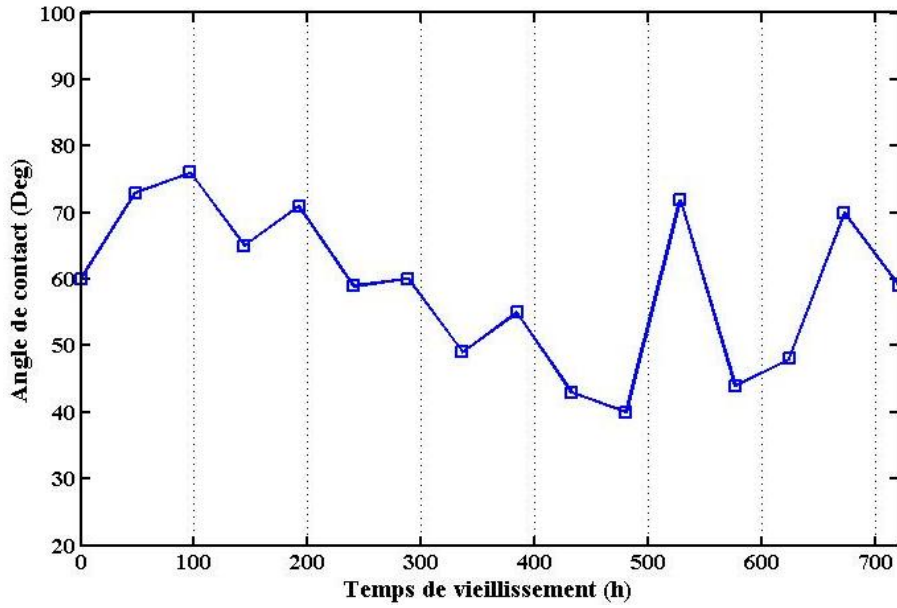


Figure IV.18 : Variations de l'angle de contact en fonction du temps de vieillissement.

IV.1.2. Variation du travail d'adhésion de l'eau

Le travail d'adhésion de l'eau sur un solide W_{sl} est le travail nécessaire pour séparer le liquide du solide.

La variation du travail d'adhésion en fonction de temps de vieillissement pour le polycarbonate est illustrée sur la figure VI.19. Cette variation nous montre que le travail d'adhésion diminue au début de vieillissement, cela est dûe aux changements subis par la surface, puis suivie par une augmentation qui est due au phénomène de photo-oxydation qui conduit à l'augmentation de l'énergie libre de la surface ainsi que du contenu polaire [22].

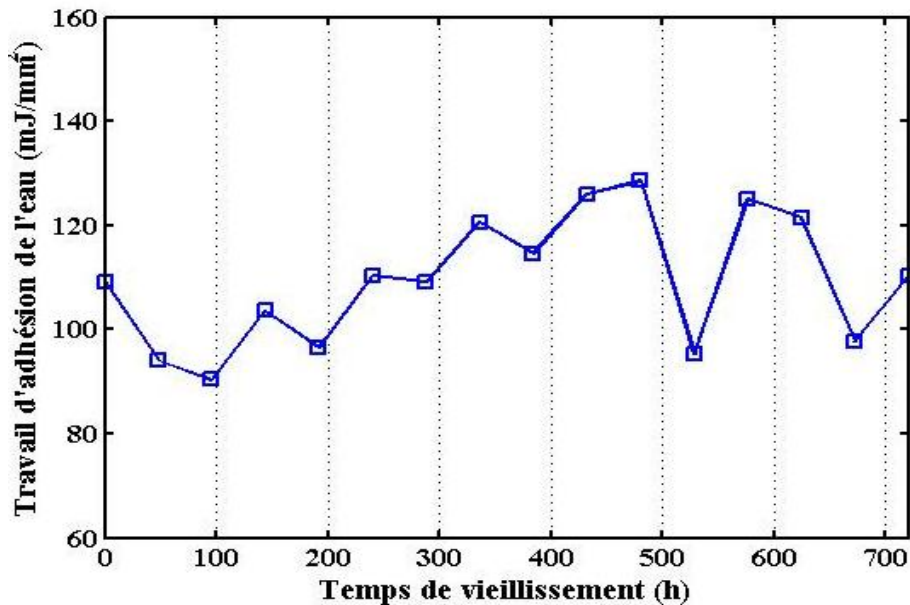


Figure IV.19 : Variations du travail d'adhésion en fonction de temps de vieillissement

IV.2. Le polystyrène

IV.2.1. Variation de l'angle de contact

La variation de l'angle de contact en fonction du temps de vieillissement sous les rayonnements ultraviolets est illustrée sur la figure IV.20. On constate l'angle de contact du polystyrène augmente au début de vieillissement suivi par une diminution jusqu'à 288 heures ou il augmente pour qu'elle se stabilise. Cette diminution peut être attribuée à la création de nouveaux groupes polaires et l'augmentation de la rugosité de la surface [23].

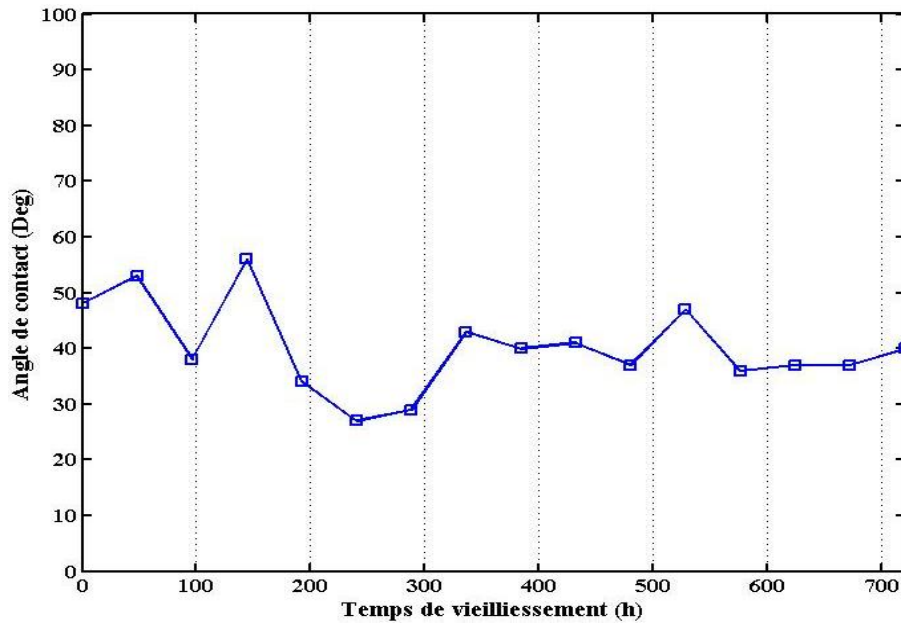


Figure IV.20 : Variations de l'angle de contact en fonction de temps de vieillissement pour le Polystyrène.

IV.2.2. Variation du travail d'adhésion

La variation du travail d'adhésion en fonction du temps de vieillissement sous les rayons UV est illustrée sur la figure IV.21. On constate que le travail d'adhésion diminue au début du vieillissement puis augmente directement jusqu'à ce qu'il atteigne une valeur asymptotique.

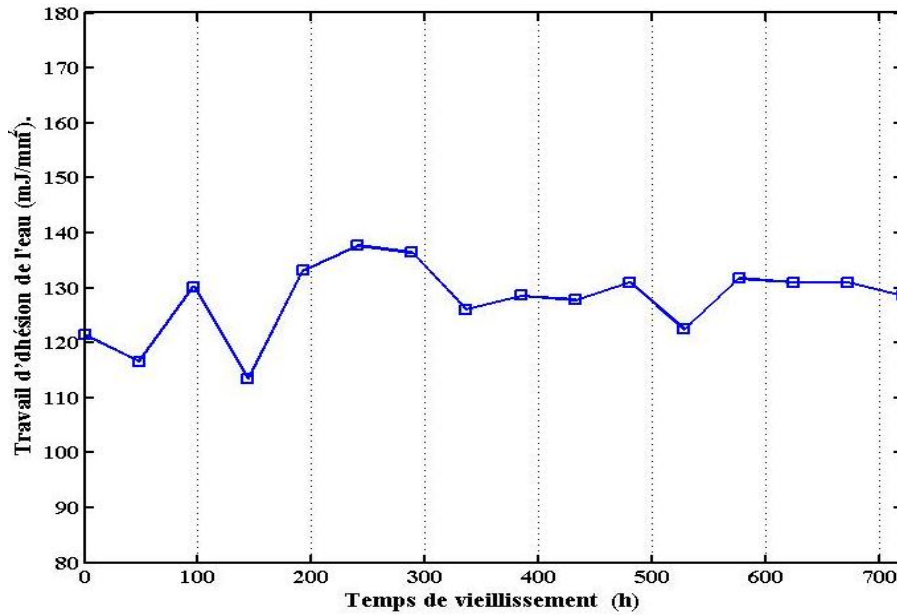


Figure IV.21 : la variation de travail d'adhésion de fonction de temps de vieillissement pour le polystyrène.

V. Microscopie Electrique à Balayage (MEB)

V.1. Polycarbonate

La figure IV.22 nous montre la microscopie MEB de la surface d'un échantillon de polycarbonate pour les états vierge et final (720 h sous rayonnement ultraviolet). La surface de l'échantillon vierge est lisse et homogène, et à l'état final la surface ne connaît pas de conséquente modification.

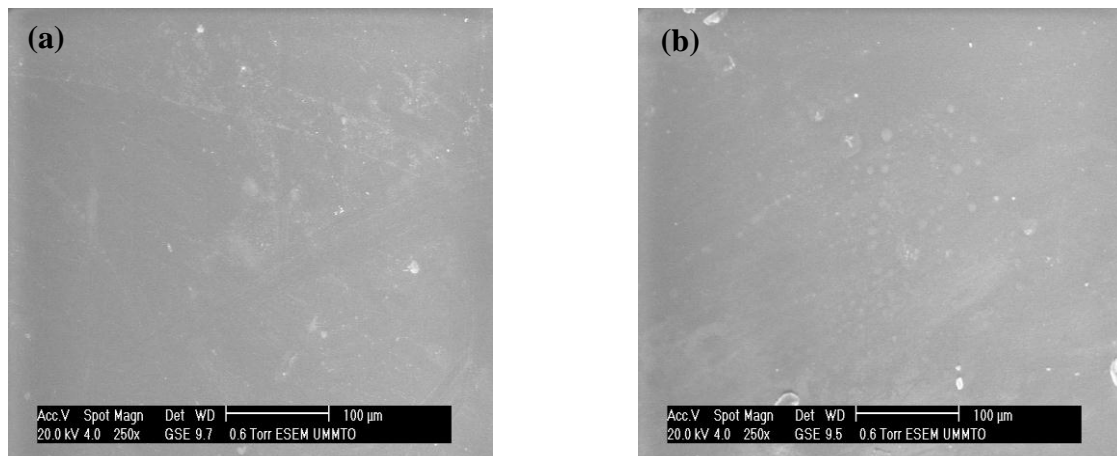


Figure IV.22 : résultats d'analyse MEB pour le Polycarbonate. a-avant vieillissement, b- après 720 heures sous rayonnement UV.

V.2. Polystyrène

La figure IV.23 illustre la microscopie MEB de la surface d'un échantillon de polystyrène pour les états vierge et final (720 h sous rayonnement ultraviolet).

Avant vieillissement, la surface du PC est homogène et lisse. Après 720 heures d'exposition aux rayons UV, des défauts commencent à prendre naissance, la surface devient ainsi plus rugueuse avec apparition de quelques trous, signifiant que la surface a subi une dégradation.

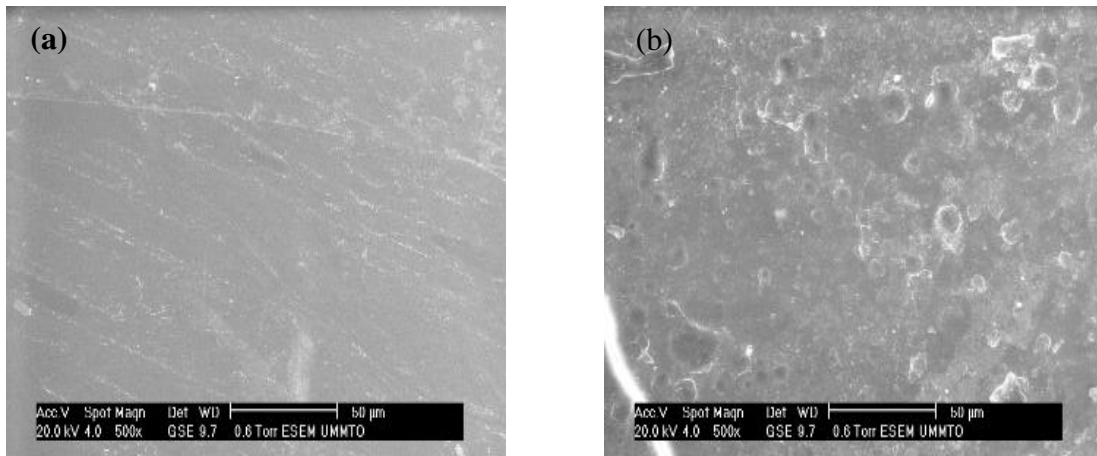


Figure V.23 : Résultats d'analyse MEB pour le Polycarbonate. a-avant vieillissement, b-après 720 heures sous rayonnement UV.

VI Conclusion

Ce chapitre nous a permis de bien comprendre le mécanisme du photo-vieillissement du polycarbonate et de polystyrène. Dans la première partie nous avons étudié l'effet de ce phénomène sur les propriétés électriques des matériaux étudiés. Dans la seconde partie nous nous sommes intéressés à l'étude de son influence sur les propriétés mécaniques de PC et PS. Dans la troisième partie nous avons suivi l'évolution des propriétés physiques. Dans la dernière partie on a discuté des résultats de l'analyse MEB.

Bibliographie du chapitre IV

- [1] A. Hedir, M. Moudoud, N. Benamrouche, F. Bellabas Dielectric characterization of thermally aged XLPE high voltage cable insulation, 7th African conference on Non Destructive Testing (ACNDT 2016) & 5th International Conference on Welding, Non Destructive Testing and Materials and Alloys Industry (ICWNDT-MI 16), 26-28 Novembre 2016, Oran, Algeria.
- [2] S. Raghu, K. Archana, C. Sharanappa, S. Ganesh, H. Devendrappa, *Electron beam and gamma ray irradiated polymer electrolyte films: Dielectric properties*, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 9, No. 2, pp. 117-124, April 2016.
- [3] N.L. Singh, A. Qureshi, F. Singh, D.K. Avasthi, *Effect of swift heavy ion irradiation on dielectrics properties of polymer composite films*, Materials Science and Engineering: B, Vol. 137, No. 1-3, pp. 85-92, February 2007.
- [4] D. Bouguedad, O. Jbara, S.Rondot, A. Mekhaldi, A.Hadjadj, Inverstigation of accelerated thermal aging of EPDM polymer by electric tests in air and by means of a SEM technique in high vacuum, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 19 , No. 3, pp. 981-989, June 2012.
- [5] A. Livi, V. Levita, P .A. Rolla, Dielectric Behavior at Microwave frequencies of an epoxy resin during crosslinking, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 50, No. 9, pp. 1583-1590, December 1993.
- [6] Y. Gao, B.X. Du, *Effect of Gamma-ray Irradiation on Permittivity and Dielectric Loss of Polymer Insulating Materials*, 2012 International Conference on High Voltage Engineering and Application, 17-20 September 2012, Shanghai, China.
- [7] S. Raghu, K. Archana, C. Sharanappa, S. Ganesh, H. Devendrappa, *Electron beam and gamma ray irradiated polymer electrolyte films: Dielectric properties*, Radiation Physics and Chemistry, Vol. 9, No. 2, pp. 117-124, April 2016.
- [8] N.L. Singh, A. Qureshi, F. Singh, D.K. Avasthi, *Effect of swift heavy ion irradiation on dielectrics properties of polymer composite films*, Materials Science and Engineering: B, Vol. 137, No. 1-3, pp. 85-92, February 2007.

-
- [9] T. Phukan, D. Kanjilal, T.D. Goswami, H.L. Das, *Dielectric response of irradiated PADC polymer track detector*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, Vol. 234, No. 4, pp. 520-524, July 2005.
- [10] M.Mujahid, D.S Srivastava, D.K. Avasthi, Dielectric constant and loss factor measurement of polycarbonate, Mokrofol KG using swift heavy ion O^{5+} , Radiation Physics and chemistry, Vol.80, No. 4, pp. 582-586, April 2011.
- [11] Y. Gao, B.x. Du, J. W .Zhang, Measurement of Surface Resistivity on Gamma-Ray Irradiated Polymer Insulating Material, Conference Proceedings of ISEIM2011, 6-10 September 2011, Kyoto, Japan .
- [12] Z.Chen, J. Zhao, S. Yan, Y. Yuan, S. Liu, Dielectric properties of photocrosslinkable polyimide/functional graphene oxide composites, Material letters, Vol. 157, pp. 201-204, October 2015
- [13] S. Raghu, A. Qureshi, F. Singh, G.K. Nagaraja, H. Devendrappa, Effect of electron beam and gamma ray irradiated polymer electrolyte films, Dielectric properties, Radiation Physics and Chemistry ,Vol.9 ,No, 2, pp .117-124, April 2016 .
- [14] N.L. Snigh, A. Qureshi, F.Singh, D.k. Avasthi, Effect of swift heavy ion irradiation on dielectrics properties of polymer composite films, Material Science and Engineering: B, vol. 137, No 1-3, No.1-3, pp. 85-92, February 2007.
- [15] A. Hedir, M. Moudoud, Effect of ultraviolet radiations on medium and high voltage cables insulation properties,International Journal of Engineering and Technology, Vol. 8, No. 5, pp. 2308-2317, October-November 2016.
- [16] 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.
- [17] V. Langlois, L. Audouin, J. Verdu, M. Meyer, ‘ ‘ Vieillissement thermique du polyéthylène réticulé ‘ ‘, Journées d’études des polymères, JEPO 18, Groupe Français d’études et d’applications des polymères, 1990
- [18] A.F. Younan, A.M. Choniem, A. A. A. Tawfik, K. N. Abd-EL-Nour, “Electrical and physical properties of ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) rubber loded with semi-reinforcing furnace black”, Polymer Degradation and Stability, Vol.49,pp. 215-222, 1995.
- [19] R. A. Assink, K. T. Gillen, B. Sanderson, “Monitoring the degradation of a thermally aged EPDM terpolymer by 1H NMR relaxation measurements of solvent swelled samples”, Polymer, Vol.43, pp. 1349-1355, 2002.
-

- [20] D. Andjelkovic, N. Rajakovic, *Influence of accelerated aging on mechanical and structural properties of cross-linked polyethylene (XLPE) insulation*, Electrical Engineering, Vol. 83, No. 1, pp. 83-87, February 2001.
- [21] A.M. Nóbrega, M.L. Barreira-Martinez, A.A. Alencar de Queiroz, Investigation and analysis of electrical aging of XLPE insulation for medium voltage covered conductors manufactured in Brazil, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 20, No. 2, pp. 628- 640, April 2013.
- [22] H. Kaczmarek, H. Chaberska, The influence of UV-irradiation and support type on surface properties of poly (methyl methacrylate) thin films, Applied Surface Science, Vol. 252, No. 23, pp. 8185-8192, September 2006
- [23] A. Hedir, M. Moudoud, N. Benamrouche, F. Bellabas, Behavior of crosslinked polyethylene insulation of medium and high voltage power cables under UV radiations, Journal of Electrical Engineering, Vol. 17, No. 2, June 2017.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, on s'est fixé comme objectif l'étude de l'influence des rayonnements ultraviolets (UV) sur les caractéristiques du polycarbonate (PC) et du polystyrène (PS). Nous nous sommes intéressés à l'évolution du vieillissement sous rayonnements ultraviolets en fonction du temps sur les propriétés diélectriques (permittivité relative, indice de pertes et résistance transversale), mécaniques (résistance à la traction, allongement à la rupture), physiques (évolution de l'angle de contact et du travail d'adhésion) et physico-chimiques (l'analyse MEB)

Dans le premier chapitre, nous avons donné quelques rappels sur les isolants et les diélectriques, ensuite nous avons donné des généralités sur les polymères à savoir leurs définitions, leurs classifications et leurs propriétés.

Dans le deuxième chapitre, nous avons évoqué la photo-dégradation des matériaux polymères. Nous avons principalement parlé des facteurs inducteurs de ce phénomène, ainsi que du mécanisme de la photo-oxydation.

La présentation des techniques expérimentales a fait l'objet du troisième chapitre. Nous avons d'abord présenté les matériaux étudiés. Ensuite, nous avons détaillé le protocole de vieillissement. Enfin, nous avons évoqué les différentes techniques expérimentales utilisées pour les caractérisations diélectrique, mécanique, physique et physico-chimique.

La suite de ce mémoire a été consacrée à la présentation et discussion des résultats.

L'analyse de la variation des propriétés diélectriques nous a permis d'aboutir aux résultats qui suivent. La permittivité relative diminue en fonction du temps de vieillissement pour les deux matériaux, cette diminution est attribuée au phénomène de réticulation. Dans le domaine fréquentiel nous avons constaté que la constante diélectrique ne subit pas de changements, cela est dû à l'absence du phénomène de la polarisation. L'indice de pertes diélectriques présentes des variations non monotones pour le PS, et une diminution pour le PC en fonction du temps, ceci est dû à la formation des groupes polaires. En fonction de la fréquence l'indice de pertes diminue, cette diminution est due à la disparition de la polarisation par la présence de charges d'espace. La résistivité transversale augmente en fonction du temps de vieillissement pour le PC et le PS, cette augmentation est attribuée au phénomène de

réticulation qui engendre l'augmentation de la qualité de l'isolant ainsi qu'à la diminution de la conductivité, et diminue en fonction de la fréquence pour les deux polymères. Ces résultats s'expliquent par la génération des porteurs de charge causés par la dégradation.

Dans le second point l'étude du comportement mécanique nous montre que la résistance à la traction et l'allongement à la rupture pour le PC à des variations, vu qu'on a constaté une diminution et une augmentation au cours du vieillissement et cela est dû aux coupures de chaînes et à la réticulation, et pour le polystyrène les deux caractéristiques diminuent, cette diminution est causée par la diminution de la masse moléculaire moyenne et des taux de réticulation.

L'évaluation de l'hydrophobicité nous a montré que les UV agissent sur les matériaux, car on a noté une diminution de l'angle de contact et des augmentations du travail d'adhésion, d'où la conclusion sur l'influence des rayonnements UV sur les propriétés physiques des deux polymères.

Pour l'analyse de la surface du PC et du PS on a procédé à effectuer une analyse MEB. Les micrographies obtenues après l'analyse des échantillons nous ont montré que la surface du PC est restée pratiquement indemne contrairement à celle du PS qui présente des dégradations sous forme de rugosité et avec la présence de trous. Ces observations nous laissent conclure que la surface du polycarbonate est plus résistive au photo-vieillissement comparée au polystyrène.