

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées

Département : Génie Electrique

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

DJOUADI Kamilia

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Réseaux électrique

Thème :

Caractérisation de la surface du SAN soumis à une décharge à
barrière diélectrique

Devant le jury composé de :

Dr, HOUASSINE Hamza	MCA	UAMOB	Président
Dr, KIRECHE Nora	MCB	UAMOB	Encadreur
Dr, BERRAG Amine	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2019/2020



*A la mémoire de mon père, que Dieu le garde
Dans son vaste paradis,
A ma chère mère, Dieu te bénisse pour moi.
A la mémoire de ma tante, que Dieu la garde dans
Son vaste paradis,
A mes sœurs : Wiam, Soulaf, Samra,
A Abderrarhim, Ibtissam
A tous mes enseingants,
A ma famille et à tous mes amis.*

Kamilia djouadi

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la santé et le courage d'arriver au terme de ce travail.

Je remercie mon encadreur Madame KIRECHE Nora, pour avoir encadré mon projet, et pour le soutien, le suivi, et l'aide sans oublier sa disponibilité et ses conseils précieux, tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail.

Je remercie aussi tous les enseignants et le chef de département du Génie électrique.

Je veux remercier vivement toutes personnes qui ont m'aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui ont m'aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

En fin, je veux à exprimer mon reconnaissance à tous mes amis et collègues pour le soutien moral.

Bouira, le 17/12/2020

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	I
<i>Chapitre 01</i>	2
1.1. Introduction	2
1.2. Définitions.....	2
1.2.1. Isolant.....	2
1.2.2. Diélectrique	2
1.2.3. Caractéristiques des isolants (Diélectriques).....	2
1.2.4. Propriétés physiques des isolants.....	3
1.2.5. Mode d'utilisation des isolants.....	3
1.3. Permittivité	4
1.3.1. Permittivité relative.....	4
1.3.2. Permittivité absolue.....	4
1.4. Rigidité diélectrique.....	5
1.5. Conductivité des matériaux diélectrique.....	5
1.6. Classification des isolants.....	6
1.6.1. Isolants gazeux	7
1.6.2. Isolants liquides	7
1.6.3. Isolants solides	7
1.7. Influence de la température sur les isolants	7
1.8. Moment dipolaire.....	8
1.8.1. Potentiel d'un dipôle.....	8
1.8.2. Mise en évidence des charges de polarisation dans les diélectriques	9
1.8.3. Diélectriques polaires et non polaires.....	10
1.8.4. Différence entre la polarisation et la conduction	11
1.9. Différents types de polarisation	11
1.9.1. La polarisation électronique.....	12
1.9.2. La polarisation atomique ou ionique	13
1.9.3. La polarisation par orientation.....	13
1.10. Diélectriques non linéaires	14
1.10.1. Diélectriques ferroélectriques.....	15
1.10.2. Diélectriques piézo-électriques	15
1.10.3. Electrets.....	15
1.11. Claquage des isolants solides.....	15
1.11.1. Claquage intrinsèque	16
1.11.2. Claquage par avalanche.....	17
1.11.3. Claquage électrothermique	17

1.11.4. Claquage électromécanique	17
1.11.5. Claquage en extrémité (point triple).....	18
1.11.6. Décharge arborescente.....	19
1.11.7. Claquage par décharge partielle	19
1.12. Conclusion.....	20
<i>Chapitre 02</i>	<i>21</i>
GENERALITES SUR LE POLYMERE ETUDIE ET DIFFERENT MECANISME DE VIEILLISSEMENT ELECTRIQUE	21
2.1. Introduction.....	21
2.2. Styrène acrylonitrile	21
2.2.1. Présentation du SAN.....	21
2.2.2. Structure du SAN	21
2.2.3. Synthèse du SAN	22
2.2.4. Mise en œuvre du SAN.....	22
2.2.5. Propriétés du SAN.....	22
2.2.6. Différentes applications du SAN.....	23
2.3. Vieillessement électrique	23
2.3.1. Influence de la pollution	24
2.3.2. Influence de la forme de la tension	24
2.3.3. Influence de l'humidité.....	25
2.3.4. Influence de la pression du gaz.....	25
2.4. Décharge couronne.....	25
2.4.1. Définition	25
2.4.2. Caractéristiques de la décharge couronne.....	26
2.4.3. Mécanisme de la décharge couronne.....	26
2.4.4. Facteurs influençant la décharge couronne	28
2.5. Conclusion.....	32
<i>Chapitre 03</i>	<i>34</i>
RESULTATS PRATIQUES.....	34
3.1. Introduction	34
3.2. Préparation des échantillons.....	34
3.3. Conditions d'essais	35
3.4. Description du dispositif expérimental utilisé lors du vieillissement.....	35
3.5. Appareils d'analyse.....	37
3.5.1. Dispositif d'analyse aux rayons infrarouges	37

3.5.2. Dispositif d'analyse par la spectroscopie d'impédance (RLC mètre).....	38
3.6. Résultats expérimentaux et discussions	39
3.6.1. Observation visuelle	39
3.6.2. Spectroscopie diélectrique	46
3.6.3. Facteur de pertes diélectriques	49
3.7. Conclusion.....	50
CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	51

Liste des figures

Figure 1. 1. Schémas d'un condensateur plan rempli	5
Figure 1. 2. Potentiel d'un dipôle [7].....	8
Figure 1. 3. Mise en évidence de charges de polarisation [7].	9
Figure 1. 4. Représentation schématique de trois types de polarisation :.....	12
Figure 1. 5. Différents types de claquage des isolants solides	16
Figure 1. 6. Représentation schématique d'un claquage au point triple.....	19
Figure 1. 7. Décharge arborescente.....	19
Figure 2. 1. Styène acrylonitrile	21
Figure 2. 2. Synthèse du co-polymère styrène-acrylonitrile (SAN) [17]	22
Figure 2. 3. Configuration pointe-plan utilisée pour le dépôt de charges [26]	25
Figure 2. 4. Descriptif de la décharge couronne positif	27
Figure 2. 5. Descriptif de la décharge couronne négative	28
Figure 2. 6. Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [33].....	29
Figure 2. 7. Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes [28]	29
Figure 2. 8. Schéma d'évolution de la décharge électrique en fonction de la pression [28]	31
Figure 3. 1. Préparation des échantillons.....	34
Figure 3. 2. Pupitre de commande.....	35
Figure 3. 3. Schéma du dispositif expérimental.....	36
Figure 3. 4. Electrodes utilisées.....	36
Figure 3. 5. Schéma du spectromètre (FTIR/ATR).....	37
Figure 3. 6. La spectroscopie d'impédance (LCR mètre).....	38
Figure 3. 7. Echantillons de SAN vierge et soumis aux différents vieillissements.....	39
Figure 3. 8. Longueurs d'ondes d'absorptions [35].....	40
Figure 3. 9. Spectre FTIR/ATR du SAN vierge.....	40
Figure 3. 10. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 1 heure.....	41
Figure 3. 11. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 2 heures.....	42
Figure 3. 12. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 3 heures sans CO ₂	43
Figure 3. 13. Les spectres FTIR/ATR du SAN vierge et vieilli.....	44
Figure 3. 14. Variation de la permittivité relative du SAN vierge est t vieilli électriquement en fonction de la fréquence.....	46
Figure 3. 15. Variation de facteur de dissipation du SAN vierge est vieillie électriquement en fonction de la fréquence.....	47
Figure 3. 16. La variation du l'indice de pertes diélectriques du SAN vierge est vieilli électriquement en	

fonction de la fréquence.....48

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Constante diélectrique relative [9].....	4
Tableau 1.2. Les différents types de conductivité des matériaux diélectriques [13].....	6
Tableau 1.3. Polarisation de quelques liaisons chimiques [11].....	12
Tableau 1.4. Polarisabilité atomique en $10^{-40} \text{ C.m}^2.V^{-1}$ [10].....	13
Tableau 1.5. Différents types de polarisation [11].....	14
Tableau 2.1. Caractéristiques du SAN [17].....	23
Tableau 2.2. Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative pour une distance inter-électrodes $d=0.5\text{cm}$	30
Tableau 3.1. Absorptions caractéristiques des groupements fonctionnels du SAN.....	40

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes

SAN: Styrène acrylonitrile.

PS : Polystyrène

HT : Haute tension.

CC: Court-circuit.

FTIR/ATR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier à réflectance totale atténuée.

AN : Acrylonitrile.

UV : Ultra-violet.

Introduction

générale

INTRODUCTION GENERALE

A notre époque, les plastiques occupent une place très importante dans notre vie, en raison de leurs différentes utilisations dans diverses activités quotidiennes. Parmi ces plastiques, on cite les polymères qui sont des composants essentiels, qu'on substitue généralement aux matériaux traditionnels tels que les métaux, le bois, le verre ou le textile [1].

On rencontre les polymères dans beaucoup de domaines de l'industrie soit comme pièces de structure dans les véhicules de transport ou alors comme matériaux isolants (les équipements électriques, comme les appareils électroménagers et les circuits électroniques) [2]. On les utilise comme matériaux de construction, ainsi que dans les emballages, les pneus et les fibres textiles. Les polymères s'infiltrent aussi dans l'alimentation et les produits cosmétiques [3].

Les matériaux polymères sont très utilisés à cause de leur légèreté et leur économie d'énergie lors de leur mise en œuvre [4].

Pour notre étude nous avons choisi le styrène acrylonitrile (SAN), qu'est un copolymère thermoplastique amorphe de styrène contenant 10 à 30% d'acrylonitrile [5], à plusieurs propriétés très connus dans le domaine industriel. Le SAN est un matériau transparent comme le polystyrène mais de forte dureté superficielle, présentant une haute rigidité, il est utilisé pour des applications aussi diverses que variées, telles que les pièces de réfrigérateurs, séparateurs d'étagères, protections de lampes, ustensiles de cuisine ou encore pour conditionnements de produits cosmétiques, ...etc. [6].

Compte tenu de cette importance nous nous proposons, au cours de ce travail, une étude comparative du SAN soumis au vieillissement électrique sous tension de 15 kV, pendant différentes périodes de temps (0heure, 1 heure, 2 heures et 3 heures). Nous essayerons de suivre l'évolution des propriétés chimiques de ce matériau, en utilisant des analyses FTIR/ATR, ainsi que ses propriétés diélectriques en utilisant un appareil de mesure appelé LCR mètre.

Le travail présenté dans ce mémoire se présente sous forme de trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique portant sur les généralités sur les diélectriques.
- Le deuxième chapitre est consacré aux généralités sur le polymère étudié et différent mécanisme de vieillissement électrique.
- Le troisième chapitre porte sur une étude expérimentale mettant en évidence le comportement du styrène acrylonitrile soumis aux décharges électriques.
- Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

Généralités sur les diélectriques

Chapitre 01

GENERALITES SUR LES DIELECTRIQUES

1.1. Introduction

Ce mémoire se place dans l'étude de l'évolution de la surface d'un matériau soumis aux décharges électriques. Dans le monde de l'isolation, en ingénierie en particulier, on parle souvent de diélectrique. Ainsi dans ce premier chapitre nous essayerons de donner quelques généralités sur ces matériaux très utilisés en électrotechnique.

1.2. Définitions

1.2.1. Isolant

Un isolant est une substance qui a une conductivité suffisamment faible pour être utilisée afin de séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents. On peut considérer synonyme les mots isolant et diélectrique. En électrotechnique, on réserve le nom de diélectrique aux substances polarisables [7].

1.2.2. Diélectrique

Un diélectrique est un ensemble d'atomes ou de molécules constitués d'électrons (négatifs) et de noyaux (positifs), l'ensemble est électriquement neutre. Du fait qu'il ne peut pas conduire le courant électrique, on l'appelle parfois isolant électrique. On compte parmi ces milieux le verre et de nombreux plastiques.

Un diélectrique est une substance dont la propriété électromagnétique fondamentale est d'être polarisable par un champ électrique, chose qui le différencie d'un isolant classique [7].

1.2.3. Caractéristiques des isolants (Diélectriques)

Les isolants ou diélectriques sont des matériaux ayant une résistivité très élevée : $>10^6 \Omega.m$, car ils contiennent très peu d'électrons libres. Un isolant est caractérisé par ses propriétés électriques,

mécaniques, chimiques et thermiques. Un bon isolant ne devrait pas laisser passer de courant lorsqu'il est soumis à une tension continue. Autrement dit, sa résistance en CC doit être infiniment grande. Cependant, en pratique, un courant de fuite très faible circule dans tous les matériaux isolants utilisés en HT continue. Le courant passant à travers un isolant en HT continue est également constant et est appelé courant résiduel.

En HT alternative, n'importe quel matériau isolant laisserait passer un courant capacitif [8].

Malgré l'impossibilité des milieux diélectriques à conduire le courant, ils présentent de nombreuses caractéristiques électriques. En effet, et sous l'effet d'un champ électrique extérieur, il se produit un très faible déplacement des charges négatives et positives.

Un atome peut être déformé et créer un dipôle électrostatique. Il en va de même pour le déplacement global des atomes au sein du matériau (ils créent également des dipôles) [9].

1.2.4. Propriétés physiques des isolants

Les isolants électriques possèdent tous à peu près les caractéristiques suivantes :

- Mauvaise tenue en température ; $< 200^{\circ}\text{C}$ en générale (sauf pour l'amiante, le verre et le mica).
- Rigidité électrique élevée ; $\approx 10 \text{ kV/mm}$.
- Très forte résistivité électrique ; $> 10^6 \Omega\text{m}$.
- Constante diélectrique relative ; $\epsilon_R > 1$ (≈ 2 à 8).
- Mauvaise conductivité thermique (isolant thermique).
- Forme solide, liquide ou gaz.
- Densité voisine de 1 [14].

1.2.5. Mode d'utilisation des isolants

Les isolants sont utilisés pour :

- Assurer une séparation électrique entre des conducteurs portés à des potentiels différents afin de diriger l'écoulement du courant dans les conducteurs désirés pour protéger les personnes et les équipements ;
- Supporter les éléments d'un réseau électrique et les isoler les uns par rapport aux autres et par rapport à la terre ;
- Remplir les fonctions de diélectrique d'un condensateur [8].

1.3. Permittivité

1.3.1. Permittivité relative

La permittivité ou la constante diélectrique ϵ_r est définie comme étant le rapport entre un condensateur C_x entre deux électrodes supposée noyées dans ce diélectrique et un condensateur C_v de la même configuration d'électrode dans le vide [10] :

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_v} \quad (1.1)$$

Cette grandeur caractérise la qualité du diélectrique.

ϵ_r ne possède pas d'unité et sa valeur est toujours supérieure à 1.

Le tableau 1 nous donne les valeurs du constant diélectrique relatif de quelques matériaux.

Tableau 1.1. Constante diélectrique relative de quelques matériaux [9]

Matériau	Constante diélectrique relative ϵ_r
Air sec	1
Polystyrène (Styroflex)	2.3
Polytétrafluoréthylène (PTFE, Teflon)	2
Polymonochlorotrifluoréthylène (PCFTE)	2.3 à 2.8
Polytéréphtalate d'éthylène (Polyester, Mylar)	3.1
Papier spécial pour condensateur (KRAFT)	4.5
Mica	5 à 6
Titanates et Zirconates de Baryum	500 à 15000

1.3.2. Permittivité absolue

La constante diélectrique ou constante électrique, également nommée permittivité du vide, est une constante physique notée ϵ_0 .

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (1.2)$$

ϵ_0 est souvent appelée permittivité du vide. En réalité la permittivité est une propriété électrique caractéristique d'un milieu constitué d'atomes et de molécules. Elle traduit l'état de polarisation d'un diélectrique [7]. Un exemple est donné par la figure 1 qui représente le schéma d'un condensateur plan

rempli d'un diélectrique qui se polarise sous l'action d'une excitation externe [11].

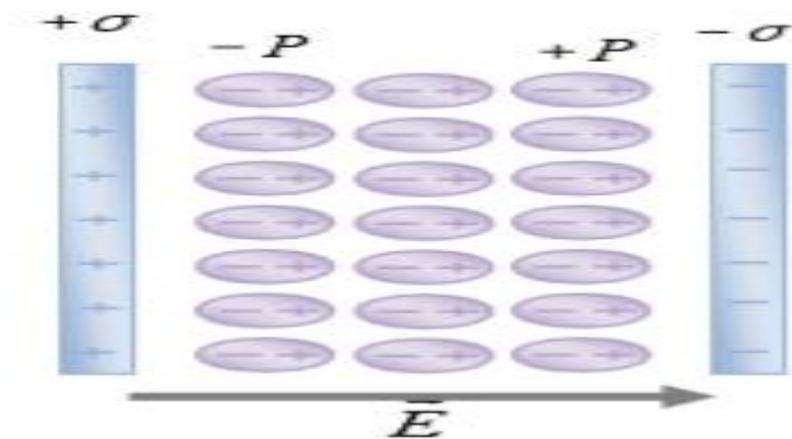


Figure 1. 1. Schémas d'un condensateur plan rempli [11].

1.4. Rigidité diélectrique

Si on augmente la tension à laquelle est soumis un isolant au-delà d'une certaine valeur appelée tension de claquage, il apparaît un arc électrique dans l'isolant : courant intense traversant l'isolant en suivant un chemin formé par l'arc lui-même. Dans ce cas, l'isolant est percé : il y a rupture diélectrique ou claquage (destruction de l'isolant), irréversible pour les isolants solides (carbonisation), réversible pour les isolants gazeux et liquides (recombinaison des ions avec des électrons).

Par rapport aux positions relatives de la direction du champ électrique et des surfaces principales de l'isolant, la rigidité diélectrique peut être transversale ou longitudinale.

La rigidité diélectrique dépend de :

- La fréquence, la forme et la durée d'application de la tension
- La température, la pression et l'humidité de l'atmosphère ;
- La présence d'impuretés dans l'isolant (bulles d'air, humidité, ...) [8].

1.5. Conductivité des matériaux diélectrique

Les valeurs données dans les tables donnant la résistivité transversale en tension continue, pour un matériau donné, doivent être considérées comme des moyennes usuelles. Elles peuvent se révéler complètement différentes, en fonction du mode de fabrication du matériau ou des impuretés qui s'y trouvent. D'une manière générale, les mécanismes de conduction dans les isolants solides restent controversés et diffèrent probablement d'un matériau à l'autre. Dans les isolants liquides et gazeux, la conductivité est due à la présence d'ions d'origines diverses.

Tableau 1.2. Les différents types de conductivité des matériaux diélectriques [13].

Conductivité transversale	<p>-Dépend de la température absolue T en (K) Selon une loi assez bien vérifiée dans un grand nombre de matériau</p> $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{w}{kT}\right) \quad (1.3)$ <p>$w =$ = <i>Énergie d'excitation propre de matériau</i> $k =$ <i>Constante de Boltzmann</i> ($k \approx 1.38064852 \times 10^{-23} \text{ jk}^{-1}$). $\sigma_0 =$ constante correspondant à la limite de la conductivité lorsque la température tend vers l'infini.</p>
Conductivité superficielle	<p>-dépend en partie de matériau. -dépend de l'environnement. -N'est pas négligeable par rapport à leur conductivité transversale généralement du même ordre de grandeur. -la conductivité superficielle σ_s se mesure en siemens[S] Et vaut l'inverse de la résistivité ρ_s [ohm].</p>
Résistance d'isolement	<p>-la résistance d'isolement entre deux électrodes séparées par un isolant est définie comme le rapport entre la tension continue U_{DC} appliquée et le courant total (courant transversal I + le courant superficiel I_s), mesuré un certain temps après l'application de la tension :</p> $R_{isol} = \frac{U_{DC}}{I + I_s} \quad (1.4)$

1.6. Classification des isolants

Les isolants sont classés en trois types : solides, liquides et gazeux.

1.6.1. Isolants gazeux

L'air et les gaz secs sont de bons isolants gazeux, ils ont les propriétés particulières suivantes :

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature du gaz.
- Permittivité faible.
- Légers et non inflammables.

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, le SF6 et l'hydrogène [12].

1.6.2. Isolants liquides

Les liquides diélectriques, en particulier les huiles, sont souvent utilisés en association avec des solides (transformateurs, condensateurs, câbles) donc imprégnés. Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui sont sources de décharges partielles. Les liquides sont utilisés pour :

- Améliorer le pouvoir de coupure de certains appareils électriques par l'amélioration des conditions d'extinction de l'arc électrique ;
- Assurer une bonne isolation électrique ;
- Permettre un bon refroidissement [12].

1.6.3. Isolants solides

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques ou résineuses :

- Les isolants d'origine minérale sont des substances siliceuses et calcaire, solides à la température ordinaire, incombustibles et supportant des températures élevées, à l'exception des hydrocarbures (verre, produits céramiques,...etc.).
- Les isolants d'origine organique sont généralement des substances fibreuses à base de cellulose. Ces matériaux ont une bonne résistance mécanique, ils sont combustibles et ne supportent pas des températures supérieures à 100°C sans perdre leurs propriétés mécaniques et diélectriques (cellulose, silicone).
- Les isolants d'origine résineuse sont généralement des matières organiques naturelles [12].

1.7. Influence de la température sur les isolants

Une élévation de température contribue à diminuer la durée de vie d'un isolant :

- Diminution de la résistance d'isolement (les isolants ont généralement un coefficient de température négatif).
- Diminution de la rigidité diélectrique.
- Oxydation.
- Ramollissement pouvant atteindre la fusion.

1.8. Moment dipolaire

Pour une charge ponctuelle q placée dans un point de coordonnées r, θ le moment électrique par rapport à l'origine 0 s'écrit : $q \times r$ et pour N charges ponctuelles, le moment électrique p est défini par la relation (1.5) :

$$p = \sum_{i=1}^N q_i \times r_i \quad (1.5)$$

Si $\sum_{i=1}^N q_i = 0$, le moment électrique est indépendant du choix de l'origine : la charge positive totale du système est égale à la charge négative totale.

Dans le cas où :

$$p = Q \times l \quad (1.6)$$

Le moment électrique ne dépend que de la distance l reliant les barycentres des charges positives et négatives avec : $\sum q_i^+ = +Q$ et $\sum q_i^- = -Q$

$Q \times l$: S'appelle également le moment dipolaire du système [7].

1.8.1. Potentiel d'un dipôle

Soit la figure 1.2 suivante, on considère un système 0, x, y, z [7].

On place une charge $+q$ au point $z = l/2$ et une charge $-q$ au point $z = -l/2$.

En considérant le milieu vide, le potentiel V_p au point A se calcule en utilisant l'équation (1.7).

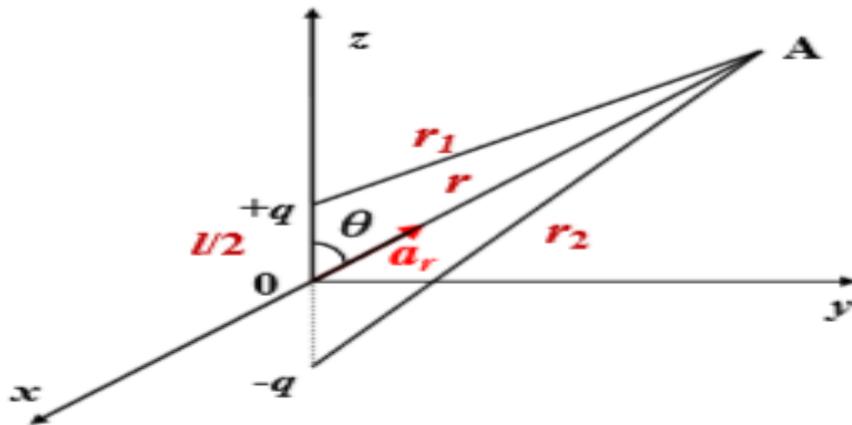


Figure 1. 2. Potentiel d'un dipôle [7].

$$V_A = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.7)$$

1.8.2. Mise en évidence des charges de polarisation dans les diélectriques

Soit un condensateur formé par deux armatures planes, parallèles, séparées par une distance d et soumises à une différence de potentiels U , figure. 1. 3 [7].

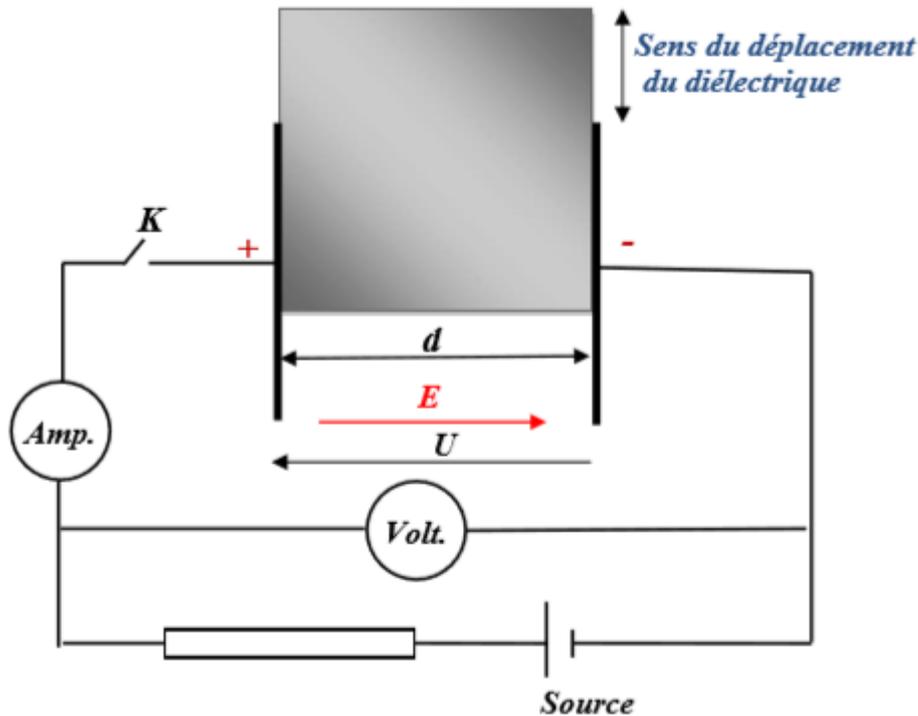


Figure 1. 3. Mise en évidence de charges de polarisation [7].

L'expérience a montré que lorsqu'on introduit un isolant entre les armatures du condensateur, on note la présence d'un courant de courte durée qui disparaît dès que cesse le déplacement de l'isolant. Lorsque ce dernier est retiré, on constate à nouveau la circulation d'un courant mais de sens inverse.

D'après l'auteur de la référence [7], il faut admettre que sous l'action du champ électrique, des charges électriques apparaissent sur l'isolant, elles compensent en partie l'action des charges que portent les armatures du condensateur. Pour que la tension entre les armatures reste inchangée, la source doit fournir les charges complémentaires égales aux charges produites sur le diélectrique. Ceci explique la circulation d'un courant, qui traduit l'apparition de charges de polarisation.

Il est impossible de séparer les charges de polarisation, ces dernières ne peuvent se déplacer que dans les limites d'une seule molécule. Le phénomène de polarisation est caractérisé par l'apparition d'une mince couche de charges négatives sur une face du matériau et d'une mince couche de charge positives sur l'autre face. Par contre, à l'intérieur du diélectrique, il y a généralement compensation des charges de polarisation. On constate également qu'après l'introduction du diélectrique entre les armatures du condensateur, la capacité du système augmente [7].

Si C_0 est la capacité du condensateur placé dans le vide et C celle mesurée après l'introduction du matériau, on trouve :

$$\frac{C}{C_0} = \epsilon_r \quad (1.8)$$

ϵ_r étant la permittivité relative, elle est souvent appelée constante diélectrique, c'est une caractéristique du diélectrique.

La permittivité ϵ est définie par la relation (1.9):

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (1.9)$$

❖ **Valeurs typiques de ϵ_r pour quelques matériaux [7].**

Ci-après les valeurs de quelques matériaux très utilisés en ingénierie.

Air	1.000536	20°C, 1atm
SF6	1.002084	20°C, 1atm
Huiles minérales	2.2	25°C
Polychlorobiphényles	4.5 – 4.7	25°C
Polyéthylène	2,3	25°C
Polypropylène	2,2	25°C
Verre	4,0 – 7,5	25°C
Mica	6 – 11	25°C
Résines époxydes	3,0 – 4,5	
Cellulose (Papier Kraft)	5,9	fibre
Eau	81,0	25°C
Styrène acrylonitrile	2.5	

1.8.3. Diélectriques polaires et non polaires

Les diélectriques peuvent être divisés en deux catégories : Diélectriques polaires et diélectriques non polaires

La somme totale des charges dans une molécule est nulle, mais l'arrangement (la structure) de ces charges peut être différent d'une matière à une autre. Les centres de gravité peuvent coïncider ou ne pas coïncider :

- Dans le 1er cas : la molécule est non polaire.
- Dans le 2ème cas : la molécule (et donc la matière en question) est dite polaire. Même en l'absence de champ électrique externe, la molécule possède un moment dipolaire.

Il est clair que les molécules arrangées de façon symétrique (qui possèdent un centre de symétrie) sont non polaires du moment que les centres de gravité des charges positives et négatives coïncident avec le centre de symétrie. Par contre, les molécules asymétriques sont polaires [8].

1.8.4. Différence entre la polarisation et la conduction

La différence entre la polarisation et la conduction est :

1. Durant la polarisation, les charges sont mises en mouvement mais ne peuvent jamais quitter la molécule. Par contre, la conduction est le déplacement des charges sur de grandes distances, en quittant les particules.
2. La conduction dans les diélectriques est pratiquement assurée par les impuretés se trouvant dans l'isolant et elle n'est pas due à la structure de base de ce dernier. La polarisation peut donc être représentée comme un grand nombre de charges se déplaçant sur de très petites distances, sans jamais quitter les molécules.
3. La polarisation peut être considérée comme un mouvement élastique. Quand l'effet du champ électrique externe disparaît, les charges reviennent à leur position initiale, ce qui ne se passe jamais pour la conduction.
4. Tandis que la conduction se produit tant que la tension continue est appliquée, la polarisation ne se produit que lors de l'application ou de la suppression de la tension. La polarisation, et donc le courant capacitif, ne subsistent que lorsqu'il s'agit d'une tension alternative [8].

1.9. Différents types de polarisation

En soumettant le matériau à un champ électrique, des dipôles peuvent être créés. S'ils existaient déjà le champ peut avoir comme effet de les aligner tous dans le même sens. D'un point de vue microscopique. On peut relier l'amplitude de l'onde au dipôle créé via la notion de polarisabilité qui est une caractéristique propre à chaque atome. Il est cependant impossible de mesurer de telles grandeurs microscopiques. On préfère utiliser une grandeur macroscopique : la polarisation \vec{P} .

Soit N le nombre d'atomes ou de molécules par unité de volume et \vec{p} le vecteur moment dipolaire (une grandeur microscopique), la polarisation \vec{P} est défini par la relation (1.10) suivante et a pour unité le Coulomb. m^{-2} .

$$\vec{P} = N \vec{p} \quad (1.10)$$

Il existe différents mécanismes de polarisation (Figure. 1.4)

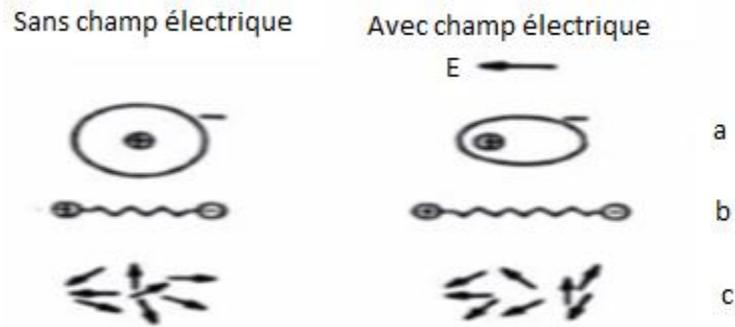


Figure 1. 4. Représentation schématique de trois types de polarisation [9] :
 (a) Electronique (b) atomique (c) d'orientation

1.9.1. La polarisation électronique

Un matériau isolant initialement neutre peut être constitué d'atomes ou de molécules présentant une symétrie telle qu'ils ne possèdent pas de moment dipolaire électrique permanent (H_2 , O_2 , ...). En revanche, plongé dans un champ électrique, la molécule se déforme (le nuage électronique surtout) et le barycentre des charges négatives diffère de celui des charges positives ; il y a apparition d'un moment dipolaire induit par le champ électrique. On parle alors d'une polarisation électronique. Elle caractérise tous les diélectriques sans exception et résulte des déplacements d'orbitales électroniques externes par rapport au noyau d'un atome [10].

Sous l'action d'un champ électrique constant, le nuage électronique de chaque atome se déplace immédiatement par rapport au noyau créant ainsi une polarisation ayant pour valeur :

$$\vec{P}_e = N\alpha_e \vec{E}_i \quad (1.11)$$

Où N est le nombre d'atomes ou de molécules par unité de volume, α_e

la polarisabilité électronique et \vec{E}_i le champ électronique interne.

Le tableau 1.3 nous donne quelques exemples de la polarisation des liaisons chimiques.

Tableau 1.3. Polarisation de quelques liaisons chimiques [11]

Liaison chimiques	C-C	C-F	C-O	C-H	C=O	C=C	$C\equiv C$	$C\equiv N$	O-H
Polarisabilité électronique	0.531	0.555	0.548	0.652	1.02	1.64	2.04	2.24	0.706

1.9.2. La polarisation atomique ou ionique

Lorsque différents atomes sont présents dans une molécule (cas des polymères par exemple), les électrons qui participent aux liaisons covalentes se déplacent préférentiellement vers l'atome le plus électronégatif créant ainsi, sous contrainte, un moment de liaison. Si on superpose un champ électrique, les atomes se déplacent les uns par rapport aux autres et donnent naissance à une polarisation atomique exprimée par la relation (1.12):

$$\vec{P}_a = N\alpha_a \vec{E}_i \quad (1.12)$$

α_a : Polarisabilité atomique.

Pour les composés organiques, P_a est de l'ordre de 5 à 10% de P_e .

Le tableau 1.4 donne quelques valeurs de polarisabilité atomique α .

Tableau 1.4. Polarisabilité atomique en $10^{-40} \text{ C.m}^2.V^{-1}$ [10]

Elément	H	He	Li	Be	C	Ne	Na	A
A	0.73	0.23	13	10	1.7	0.49	30	1.8

1.9.3. La polarisation par orientation

Dans le cas des molécules dissymétriques, comme l'eau par exemple, il existe un moment dipolaire permanent. Si on superpose un champ électrique constant, chaque dipôle est soumis à un couple créant une polarisation résultante dans le sens du champ [9]. La valeur de la polarisation d'orientation est donnée par la relation (1.13):

$$\vec{P}_0 = N \frac{p^2}{3KT} \vec{E}_i \quad (1.13)$$

P_0 étant le vecteur moment dipolaire, K la constante de Boltzmann, T la température (en Kelvin) et E_i le champ électronique interne.

La polarisation est souvent proportionnelle au champ électrique qui l'a créé (c'est un cas linéaire) :

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E} \quad (1.14)$$

Avec :

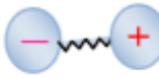
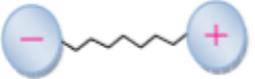
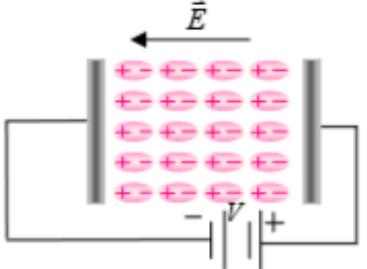
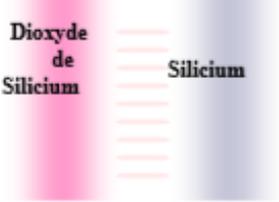
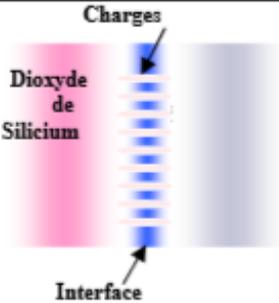
\vec{E} : Champ électrique macroscopique ;

χ_e : Nombre sans dimension appelé susceptibilité électrique du diélectrique ;

ϵ_0 : Permittivité du vide.

Le tableau 1.5 nous résume les différents types de polarisation ainsi que leurs comportements en présence et en absence d'un champ d'excitation E.

Tableau 1.5. Différents types de polarisation [11].

	<i>En l'absence du champ électrique</i>	<i>Sous l'action d'un champ électrique \vec{E}</i>
<i>Polarisation électronique</i>		
<i>Polarisation ionique</i>		
<i>Polarisation dipolaire</i>		
<i>Polarisation par charge d'espace</i>		

1.10. Diélectriques non linéaires

Les diélectriques linéaires sont caractérisés par une relation linéaire entre la polarisation et le déplacement avec le champ électrique.

$$P = \chi \varepsilon_0 E \quad (1.15)$$

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E \quad (1.16)$$

Pour certains matériaux « non linéaires » ces relations ne sont plus linéaires, la permittivité dépend alors du champ E [8]. Ce type de diélectrique est utilisé dans certaines applications spécifiques.

Il y a plusieurs types de diélectriques non linéaires :

1.10.1. Diélectriques ferroélectriques

C'est le diélectrique non linéaire le plus typique, en dehors de la dépendance de la permittivité en fonction du champ, il y a :

- Phénomène d'hystérésis sous l'action d'une tension alternative entre D et E identique à l'hystérésis magnétique entre B et H
- De très grandes valeurs de la permittivité
- Variation de ses paramètres en fonction de la température
- Présence d'une polarisation spontanée sans l'application d'un champ externe [8].

1.10.2. Diélectriques piézo-électriques

La piézo-électricité est découverte en 1800 par les chercheurs français Pierre et Paul-Jean Curie. Elle est due à l'apparition de charges électriques sur les surfaces de quelques cristaux quand ils sont soumis à des forces mécaniques de compression ou de tension par exemple. Il existe l'effet inverse, à savoir la déformation sous l'action d'une tension électrique. Pratiquement, tous les diélectriques ferroélectriques sont piézo-électriques.

1.10.3. Electrets

Un électret est un composé diélectrique, qui préserve sa polarisation pendant longtemps après que le champ électrique externe qui a produit cette polarisation est enlevé, installant ainsi un champ électrostatique dans l'espace environnant. L'électret crée un champ électrique de la même manière qu'un barreau aimanté crée un champ magnétique [8].

1.11. Claquage des isolants solides

Dans les isolants solides (diélectrique), le claquage peut provoquer la fusion, brûler ou perforer le diélectrique et les électrodes. Après un claquage, une trace du claquage sous forme de perforation, de fonte ou de brûlure sur le diélectrique peut rester et donner une forme irrégulière à l'isolant. Si une tension est de nouveau appliquée à cet isolant, un claquage survient dans la majorité des cas, suivant le canal tracé par la décharge précédente et même à une tension inférieure. Donc un arc qui survient dans les isolants solides nécessite leur remplacement.

Dans les isolants liquides et gazeux, si le claquage survient, la grande mobilité des particules permet à la trace de disparaître et l'isolant est ainsi régénéré (si le claquage n'a pas eu lieu pendant une durée assez grande pour changer les propriétés intrinsèques de l'isolant). Chaque type de matériau possède une résistance au claquage (rigidité diélectrique) différente des autres [8].

La rigidité diélectrique dépend considérablement de :

- La fréquence du réseau : la rigidité diélectrique diminue avec l'augmentation de la fréquence
- La température : la rigidité diélectrique diminue avec l'augmentation de la température
- La durée d'application de la tension.

Bien que de nombreux investigateurs aient étudié le claquage des isolants solides pendant presque un siècle maintenant, et qu'un certain nombre de chercheurs ont proposé des théories qui ont visé à expliquer quantitativement les processus de claquage, l'état de la connaissance actuelle dans ce domaine est toujours limité.

En pratique, le mécanisme de claquage et la rigidité diélectrique changent avec la durée d'application de la tension. Il est d'usage de classer les mécanismes de claquage suivant la durée d'application de la tension comme montré à la figue 1.5 ci-dessous [8]. Les Différents mécanismes de claquage sont :

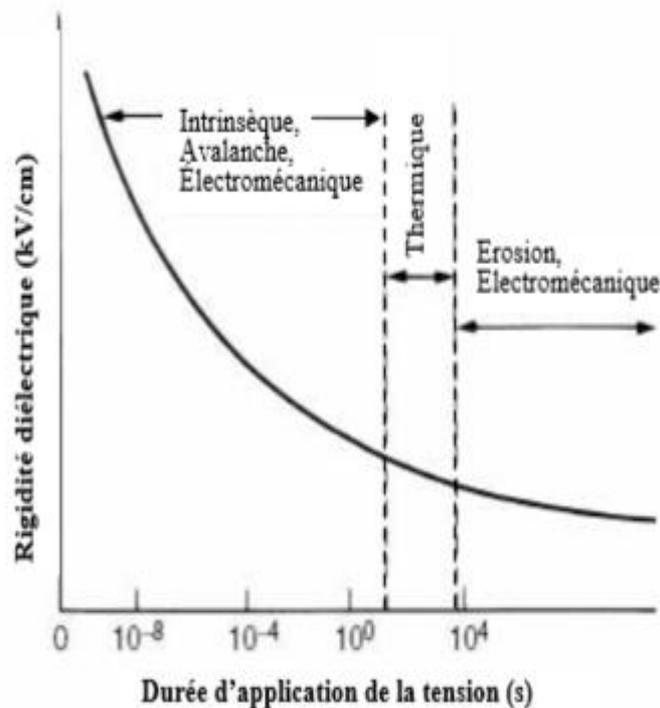


Figure 1. 5. Différents types de claquage des isolants solides [8]

1.11.1. Claquage intrinsèque

Ce type de claquage, appelé quelquefois « claquage électrique pur » pour le distinguer des autres type de calquage où le champ E intervient, n'est autre que la destruction de l'isolant sous l'action des forces électriques. Les processus secondaires (échauffement, réactions chimiques, ... etc.) qui peuvent intervenir et facilitent le claquage ne sont pas considérés comme « claquage électrique pur ». Le claquage électrique pur se produit sous l'action des collisions des électrons et ions accélérés par le

champ électrique avec les particules de l'isolant. Le claquage intrinsèque est accompli en une durée de formation de l'ordre de 10^{-8} s. Les valeurs de champ électrique nécessaires pour provoquer un claquage intrinsèque pur dépassent 10^6 V/cm. On admet généralement que la valeur critique de claquage est atteinte lorsque les électrons de l'isolant acquièrent une énergie suffisante de la part du champ appliqué pour passer de la bande de valence à la bande de conduction.

Le claquage peut se distinguer par :

- Un temps de développement du claquage court (de l'ordre de la μ s et moins). Si le diélectrique n'est pas perforé (dans le cas d'un claquage purement électrique) peu après que la tension soit appliquée ; il n'y a alors aucune raison pour présumer qu'un claquage purement électrique n'aura jamais lieu [8].
- Une petite dépendance de la tension U_c en fonction de la fréquence.
- Une petite dépendance de la tension U_c en fonction de la température.

1.11.2. Claquage par avalanche

Dans certaines conditions contrôlées dans les champs uniformes seulement avec les électrodes incorporées dans l'isolant, le claquage peut être accompli après le passage d'une avalanche simple, semblable à l'avalanche dans les gaz. Quelquefois le libre parcours moyen peut être assez long pour que l'énergie cinétique acquise excède l'énergie d'ionisation qui se termine par la libération d'un électron. Le processus se répète et peut mener à la formation d'une avalanche électronique semblable aux gaz. Le claquage se produit si l'avalanche dépasse une certaine taille critique.

1.11.3. Claquage électrothermique

Le claquage électrothermique se développe comme suit : un diélectrique soumis à une HT libre de la chaleur, la température du diélectrique augmente et les pertes croient encore plus. Le processus s'intensifie jusqu'à ce que l'échauffement soit tel que l'isolant est endommagé (Fondu, brûlé, percé avec des fissures...) dépendant de la nature de l'isolant et des conditions environnantes. Dans ce cas, le claquage se produit à des valeurs très faibles. Si le facteur de pertes $tg\delta$ (en CA) et la conductivité (en DC) sont faibles et leur augmentation en fonction de la température également faible, tandis que la conductivité thermique est élevée (qui aide à dégager la chaleur et à installer un équilibre stable entre l'échauffement et le dégagement de la chaleur), le claquage thermique devient difficile et l'isolant peut fonctionner pendant longtemps.

1.11.4. Claquage électromécanique

Les substances qui peuvent sensiblement se déformer sans rupture peuvent éclater quand les forces

électrostatiques de compression appliquées sur l'isolant en essai excèdent sa résistance mécanique à la pression. Les forces de compression résultent de l'attraction électrostatique entre les charges externes qui apparaissent quand la tension est appliquée. La pression exercée quand le champ atteint environ 10^6V/cm peut être plusieurs KN/m^2 [8].

1.11.5. Claquage en extrémité (point triple)

En pratique, dans les systèmes d'isolation, l'isolant solide est soumis à la conjonction d'un ou plusieurs autres matériaux. Si un des matériaux est, par exemple, un gaz ou un liquide, alors la tension de claquage mesurée sera plus influencée par le milieu à faible rigidité diélectrique que par le solide lui-même. Une section transversale d'un exemple simple est montrée à la figure ci-dessous, qui représente l'essai d'une galette diélectrique entre des électrodes sphère-plan. Ignorant la distribution de champ, c.à.d. assumant un champ électrique homogène, si nous considérons un volume cylindrique élémentaire de secteur ds traversant les électrodes à la distance X comme montré à la figure, une fraction V_1 de la tension apparaît dans l'air, donnée par [8] :

$$V_1 = \frac{vd_1}{d_1 + (\epsilon_1/\epsilon_2)d_2} \quad (1.16)$$

Où d_1 et d_2 représentent les épaisseurs des milieux 1 et 2 dans la figure et ϵ_1 et ϵ_2 sont leurs constantes diélectriques respectives.

Comme le montre la figure 1.6, l'intensité du champ dans la partie gazeuse augmente plus lorsque x diminue, et atteint des valeurs très élevées quand d_1 devient très petite (point B). En conséquence le gaz claque à une tension appliquée relativement faible. La concentration de la charge électrique estimée à l'extrémité d'un canal de la décharge locale est suffisante pour obtenir un champ local de l'ordre de 10 MV/cm , qui est plus élevé que la valeur de claquage intrinsèque. Le claquage se développe et un claquage complet qui est le résultat d'une succession de nombreux petits claquages produits dans l'isolant, avance pas à pas à travers toute l'épaisseur de l'isolant [8].

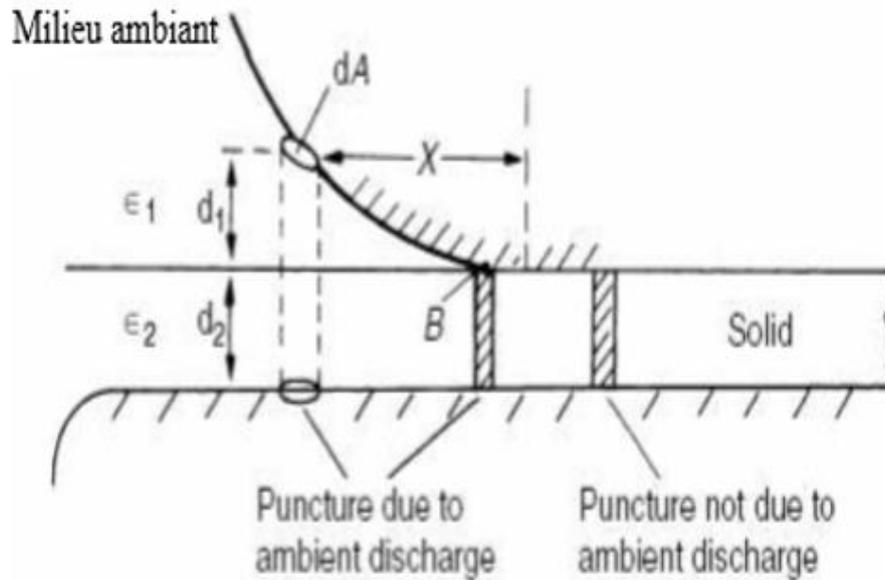


Figure 1. 6. Représentation schématique d'un claquage au point triple [8]

1.11.6. Décharge arborescente

En général, le claquage des isolants solides n'est pas accompli par la formation d'un seul canal de décharge, mais prend une forme à arbre comme montré à la figure 1.7 suivante, ce qui peut être aisément démontré dans un laboratoire en appliquant une tension d'impulsion entre les électrodes pointe-plan avec la pointe introduite dans un isolant transparent, par exemple le plexiglas. Le temps requis pour ce type de décharge sous une tension alternative varie de quelques secondes à quelques minutes

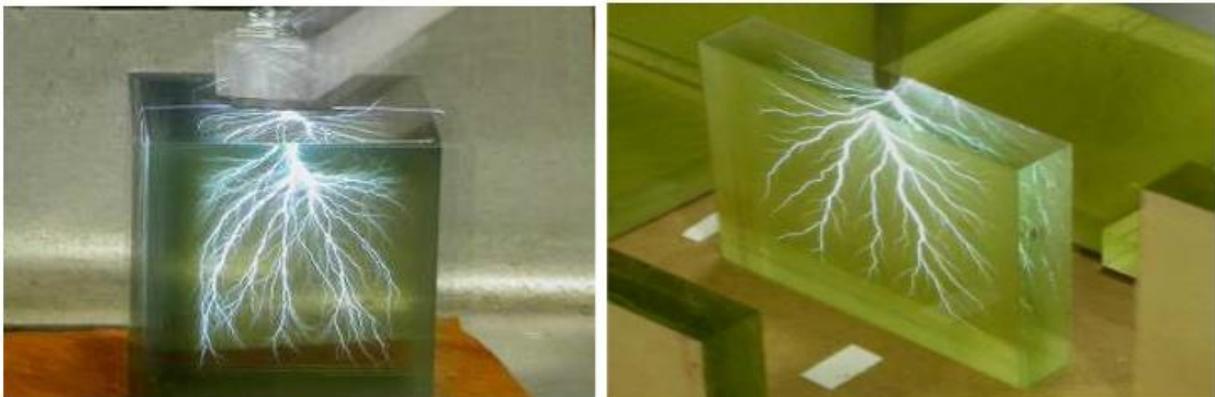


Figure 1. 7. Décharge arborescente [8]

1.11.7. Claquage par décharge partielle

Les isolants habituellement utilisés en haute tension ne sont jamais homogènes. Il existe dans le matériau des cavités de formes et dimensions diverses. Elles sont la cause principale de vieillissement et

de destruction des isolations solides à moyen et à long terme. La mesure des décharges partielles est considérée comme un outil très important pour perfectionner la fiabilité des systèmes d'isolation à HT. L'interprétation et l'analyse des grandeurs mesurées constituent la clé pour estimer le risque de défaillance de cette isolation. Quel que soit le mécanisme de détérioration, il en résulte une érosion lente de l'isolant et une réduction considérable de la tension critique de claquage [9].

1.12. Conclusion

Nous avons présenté dans ce premier chapitre, des généralités sur les diélectriques. Nous nous sommes intéressés aux caractéristiques de ces matériaux ainsi que leurs propriétés, à savoir quelques propriétés électriques et chimiques, dont l'étude semble être d'une grande importance pour mieux comprendre le comportement des matériaux diélectriques soumis aux contraintes de vieillissement, en particulier la contrainte électrique.

Chapitre II

Généralités sur le polymère étudié et
différentes mécanismes de
vieillessement électrique

Chapitre 02

GENERALITES SUR LE POLYMERE ETUDIE ET DIFFERENT MECANISME DE VIEILLISSEMENT ELECTRIQUE

2.1. Introduction

Les polymères occupent une place de plus en plus importante dans notre société, ils sont très utilisés dans toute pièce industrielle. Une grande gamme est présente dans l'ingénierie, dont le styrène acrylonitrile appelé SAN, un polymère styrénique, tout comme le polystyrène PS, issu du styrène et de l'acrylonitrile (AN). C'est ce matériau que nous essayerons de développer dans ce chapitre, en plus des généralités sur le vieillissement électrique.

2.2. Styrène acrylonitrile

2.2.1. Présentation du SAN

Notre choix pour ce polymère est dicté par le fait que peu d'informations sont disponibles concernant son comportement sous contrainte électrique. C'est un polymère thermoplastique amorphe et polaire [15]. Il est très rigide et plus dur que le PS. Le SAN est produit depuis le début des années 1950. Les principaux producteurs du styrène acrylonitrile sont Styron, Styrolution et Polimeri Europe [16].

2.2.2. Structure du SAN

Le styrène acrylonitrile est un matériau transparent comme le polystyrène mais plus résistant aux chocs. Sa formule chimique est $(C_8H_8)_n-(C_3H_3N)_m$. La figure 2.1 schématise la formule développée du copolymère (SAN).

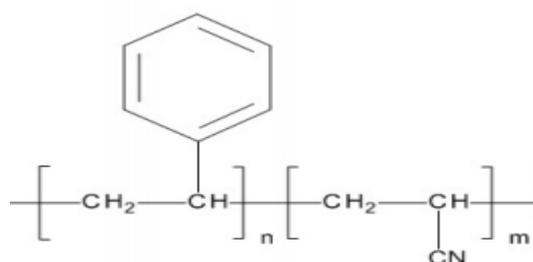


Figure 2. 1. Styrène acrylonitrile[16]

2.2.3. Synthèse du SAN

Le styrène acrylonitrile (SAN) est un thermoplastique amorphe composé du styrène et de l'acrylonitrile comme le montre la figure II.2. Généralement il contient 70 à 80 % du styrène et entre 20 et 30 % d'acrylonitrile [17]. La teneur d'acrylonitrile dans la composition du SAN influence ses propriétés finales telles que la résistance à la traction, l'élongation, la température ainsi que la chaleur de déformation. Ces propriétés augmentent avec l'augmentation de la quantité d'acrylonitrile dans le copolymère [16]. La synthèse du copolymère de styrène acrylonitrile se fait suivant le schéma représenté par la figure 2.2.

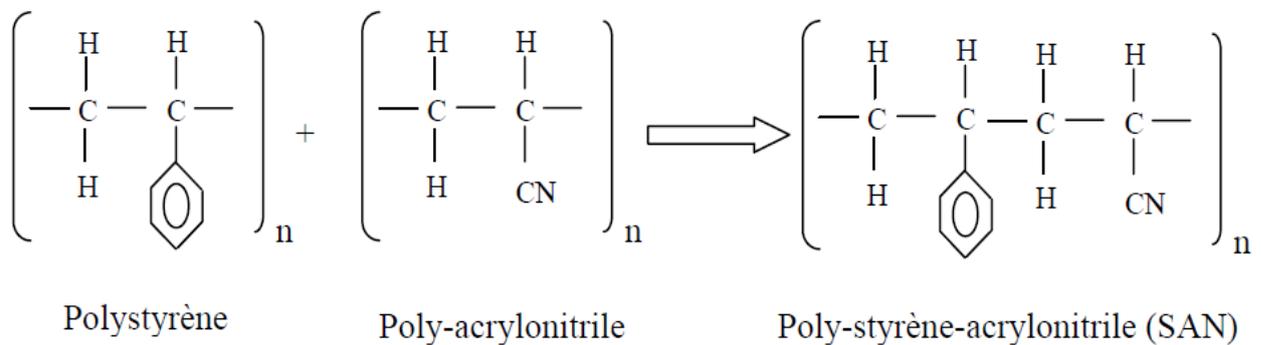


Figure 2. 2. Synthèse du co-polymère styrène-acrylonitrile (SAN) [17]

2.2.4. Mise en œuvre du SAN

La mise en forme du SAN peut se faire soit par extrusion, par injection, par thermoformage ou par soufflage. En injection-moulage, les températures sont comprises entre 230°C et 320°C. La température du moule doit être comprise entre 40°C et 70°C. En extrusion, la température de travail est dans la gamme 230°C – 250°C en sortie de filière [16].

2.2.5. Propriétés du SAN

Le SAN est connu par ses propriétés mécaniques et optiques avantageuses et une facilité de mise en œuvre [18-19]. Parmi les principales propriétés du styrène-acrylonitrile (SAN), on cite [16]:

- Une haute transparence
- Une bonne tenue chimique et thermique.
- Une rigidité et une dureté de surface élevées et une bonne résistance aux rayures.

Le SAN est une matière transparente très semblable au polystyrène (PS) mais qui présente une caractéristique complémentaire de résistance aux rayures le rendant adapté aux présentoirs des points de vente et aux articles cosmétiques.

Le SAN est également disponible dans différentes variantes de teinte bleue. Des grades stables aux UV sont également disponibles, puisque le SAN standard n'est pas approprié pour un usage à l'extérieur. Les principales caractéristiques du SAN sont regroupées dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1. Caractéristiques du SAN [17].

		SAN
Permittivité relative ϵ_r	50 ou 60 Hz	3
	1kHz	3
	1MHz	2.4 à 2.6
Angle de pertes $tg\delta$	50 ou 60 Hz	1.10^{-4} à 5.10^{-4}
	1kHz	0.01
	1MHz	4.10^{-4} à 1.10^{-3}
Rigidité diélectrique		25 à 34 KV/mm
Résistivité transversale		$10^{16} \Omega.cm$
Température de fusion		220 à 270 °C
Température de transition vitreuse t_g		110 °C
Température de ramollissement		110 °C
Absorption d'eau %		0.25

2.2.6. Différentes applications du SAN

Le SAN est utilisé dans de nombreuses applications importantes, telles que par exemple, les pièces automobiles, les appareils électroniques, les appareils électroménagers, les fournitures médicales, les protections de lampes, les conditionnements de produits cosmétiques et dans différents interrupteurs.

2.3. Vieillessement électrique

On appelle vieillissement tout abaissement irréversible des caractéristiques d'un système isolant, par application d'un champ inférieur au champ disruptif. Le vieillissement électrique, au sens du Génie Electrique, est défini comme étant tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation [20]. La dégradation des isolants augmente les pertes diélectriques, ce qui peut engendrer des catastrophes se traduisant par le claquage de l'isolant dû au courant de fuite qui augmente avec la tension appliquée. Ainsi en augmentant la tension d'alimentation petit à petit, le

courant de fuite ne se transforme en arc qu'après les étapes suivantes [21] :

- Lors de l'application de la tension, le courant de fuite présente une forme pratiquement sinusoïdale.
- En augmentant un peu la tension, chaque ondulation prend la forme d'un M.
- Des impulsions apparaissent.
- Le nombre d'impulsions augmente.
- Un arc se produit.

Le souhait de tout chercheur et tout industriel est d'augmenter la tension de claquage. Plusieurs facteurs influents sur la valeur de cette tension, on cite par exemple, la pollution, la tension appliquée, l'humidité et la pression du gaz.

2.3.1. Influence de la pollution

Les irrégularités dans la distribution des dépôts polluants sur la surface des isolateurs conduisent évidemment à une diminution des performances des isolateurs sous pollution. Ce problème a toujours entraîné et engendre encore des défauts d'isolation au niveau de ces réseaux électriques, il en résulte parfois des défaillances des équipements, des installations des consommateurs d'énergie électrique, une diminution de la fiabilité des réseaux électriques ainsi qu'un manque à gagner pour les exploitants de ces structures électriques [22].

2.3.2. Influence de la forme de la tension

Le courant de conduction, en général très faible, et les pertes diélectriques par relaxation en tension alternative produisent une énergie calorifique dans le solide. Quand le temps d'application de la tension est grand, la quantité de chaleur générée dans le solide devient importante. Si cette énergie calorifique est supérieure aux possibilités d'évacuation par conduction ou par convection du diélectrique dans des conditions de refroidissement données, la température du diélectrique va augmenter, provoquant ainsi une instabilité thermique de ce dernier et une augmentation du courant de conduction. On dit alors que le diélectrique subit « un claquage thermique ». Les pertes diélectriques sont plus importantes en tension alternatives qu'en tension continue vu que les pertes par relaxation dépendent de la fréquence. Par conséquent, la contrainte de claquage thermique est plus petite en tension alternative qu'en tension continue et elle décroît avec la tension avec la fréquence de la source de tension.

En général la conductivité du solide croît avec la température et les conditions d'instabilité thermique sont atteintes le taux d'écoulement dépasse celui du refroidissement [23].

2.3.3. Influence de l'humidité

Humidité Elle agit négativement sur la surface contaminée des isolateurs car elle engendre l'augmentation de la conductivité de la couche de pollution, surtout pendant les premières heures du matin, notamment pendant les périodes sèches [24].

2.3.4. Influence de la pression du gaz

L'influence de la pression du gaz dans les vacuoles sur les décharges dans l'isolation a été mise en évidence. L'effet de la nature du gaz sur le changement de pression due aux décharges a été rapporté. Lorsque les décharges conduisent à une détérioration et une perforation par arborescences, on doit tenir compte de cette évolution de la pression dans la cavité [25].

2.4. Décharge couronne

2.4.1. Définition

La décharge couronne représente l'ensemble des phénomènes liés à l'apparition d'une conductivité dans un gaz au voisinage d'un conducteur de faible rayon de courbure, les électrodes étant soumises à une différence de potentiel élevée. La décharge est classiquement établie entre une électrode active et une électrode passive (électrode reliée à la terre). L'électrode active est en générale une pointe (ou un fil de petit diamètre) à laquelle on va appliquer un haut potentiel électrique tandis que l'électrode passive est une plaque. La figure 2.3 schématise un exemple de décharge couronne [26].

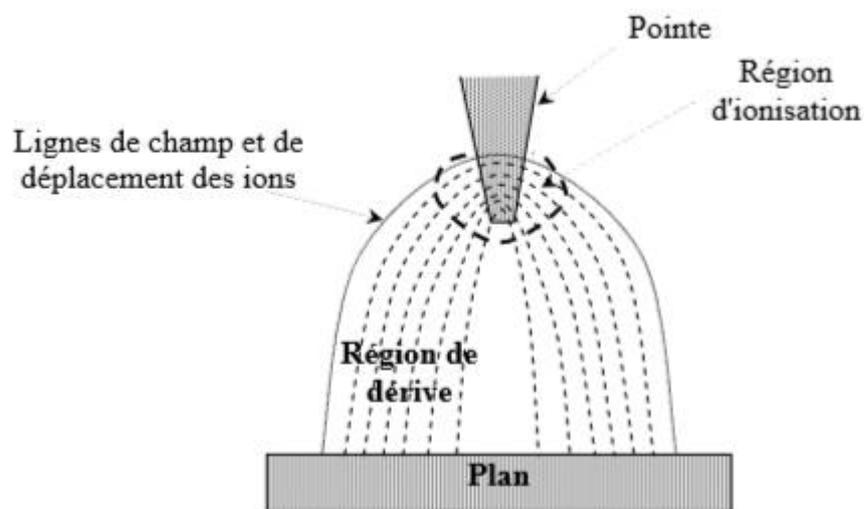


Figure 2. 3. Configuration pointe-plan utilisée pour le dépôt de charges [26]

2.4.2. Caractéristiques de la décharge couronne

Toutes les décharges pré-disruptives apparaissant sous la forme de lueurs diverses qui prennent naissance au voisinage d'une électrode à faible rayon de courbure ou dans un champ non uniforme se qualifient de décharges couronne [27]. La décharge couronne est liée à l'apparition de l'avalanche électronique qui se développe dans un intervalle gazeux séparant deux électrodes asymétriques soumises à un champ électrique hétérogène à des pressions de quelques torrs à quelques atmosphères. La décharge couronne se manifeste dans les conditions naturelles. Elle apparaît lorsque la valeur maximale du champ électrique atteint celle du champ d'ionisation du gaz «air» et se manifeste sur toute la gamme de fréquences de la tension [28]. La décharge couronne se caractérise par des phénomènes de nature optique, acoustique et électrique [29]. L'étude de ce phénomène est basée expérimentalement sur la configuration plan-plan sous tension continue. Cependant la bonne compréhension des phénomènes agissant dans cette configuration permet la maîtrise des phénomènes apparaissant dans les autres géométries d'électrodes (pointe-plan par exemple).

L'avantage de la décharge couronne est de pouvoir fonctionner avec tous les types d'alimentation électrique, malgré la difficulté principale rencontrée avec ce type de décharge est la transition à l'arc [30].

2.4.3. Mécanisme de la décharge couronne

Les décharges sont interprétées sur la base de deux modèles [28] :

- Le premier concerne les décharges à long rayon d'action faisant intervenir l'intervalle de décharge tout entier et notamment les effets secondaires à la cathode : c'est la décharge de Townsend.
- Le deuxième modèle mis au point pour expliquer la rapidité des phénomènes concernant les décharges à court rayon d'action, faisant intervenir la situation locale : c'est la décharge par Streamers.

2.4.3.1. Cas d'une pointe positive

La décharge couronne positive est celle qui se produit quand la pointe est portée à un potentiel positif et la plaque à la terre. Dans ce cas, dans la zone de champ intense autour de la pointe, des électrons sont produits par photo-ionisation et sont accélérés vers l'anode (la pointe). Autour de celle-ci, se développe alors une région de forte ionisation : zone en pointillé sur la Figure 2.4 [31].

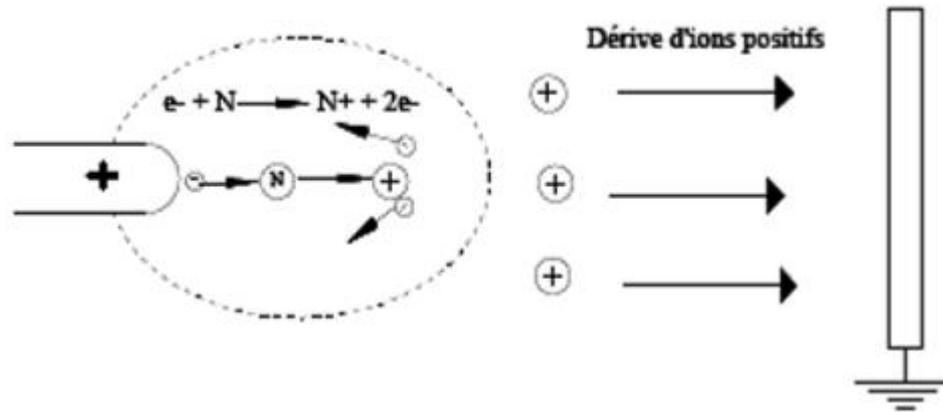


Figure 2. 4. Descriptif de la décharge couronne positif [31]

Le phénomène est plus complexe dans ce cas parce que la zone du champ électrique intense n'est pas juxtaposée à la source des électrons. Les électrons qui sont au voisinage de la pointe produisent des avalanches, mais quand les électrons arrivent sur la pointe, ils ne produisent rien qui puisse entretenir le phénomène. La cathode ne joue pas le rôle de pourvoyeuse des électrons car cette cathode est située très loin de la zone où le champ électrique est intense. Si le champ est assez fort, les électrons germes produits sous l'action du rayonnement ultraviolet émis par une avalanche créent des nouvelles avalanches. Le champ est renforcé par l'avalanche, mais la formation d'une chaîne entre électrodes est peu probable, le champ devenant trop faible au voisinage de la cathode [16].

2.4.3.2. Cas d'une pointe négative

Dans le cas où la pointe est portée à un potentiel négatif, il y a toujours création d'électrons par photo-ionisation et apparition de la zone d'ionisation autour de la pointe. Les ions positifs créés reviennent rapidement à la cathode (Figure 2.5) [16].

Des électrons sont extraits de la cathode par choc, chaque électron ainsi libéré produit une nouvelle avalanche qui s'en dégage. Ces avalanches ont une extension limitée. D'une part, le champ décroît rapidement dès qu'on s'éloigne de la pointe vers le plan collecteur. D'autre part, les avalanches qui se développent laissent derrière elles les ions positifs moins mobiles qui font écran entre les électrons et la pointe. Cette deuxième cause d'affaiblissement du champ vient renforcer la première [16].

Un nuage d'ions positifs est formé par les avalanches d'électrons. Quand le nuage positif est développé de manière suffisante, les avalanches arrêtent de se produire parce que le champ est très affaibli au-delà. Les ions positifs sont attirés par la pointe, donc ils sont neutralisés par la pointe [28].

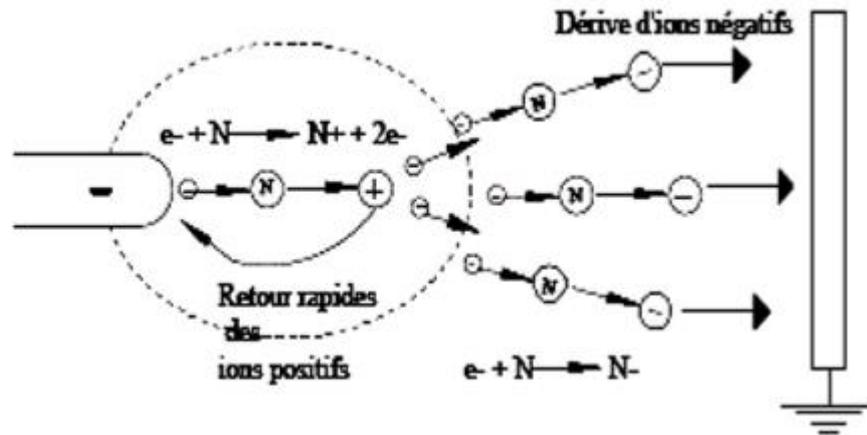


Figure 2. 5. Descriptif de la décharge couronne négative [16]

L'effet d'écran disparaît quand tous les ions positifs ont été captés par la pointe ; on a, à nouveau, le champ initial et le phénomène recommence. Il a donc une allure cyclique, la durée du cycle étant égale au temps mis par la couche positive pour être balayée par la pointe [16].

2.4.4. Facteurs influençant la décharge couronne

Plusieurs facteurs peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne [32], on distingue trois facteurs essentiels : le facteur géométrique, le facteur physico-chimique et le facteur électrique.

2.4.4.1. Facteur géométrique

Parmi les facteurs géométriques, on cite :

a. Rayon de courbure

L'augmentation du rayon de courbure de l'électrode sous tension augmente la tension seuil d'apparition de l'effet couronne.

b. Distance inter-électrodes

L'influence de la distance inter-électrodes sur les paramètres de la décharge est montrée sur la figure (2.6). Il apparaît clairement que le courant est plus important et croît plus rapidement avec la tension appliquée pour de faibles distances inter-électrodes. De plus, les seuils de décharge couronne apparaissent pour de faibles valeurs de tension dans le cas de petites distances inter-électrodes [33].

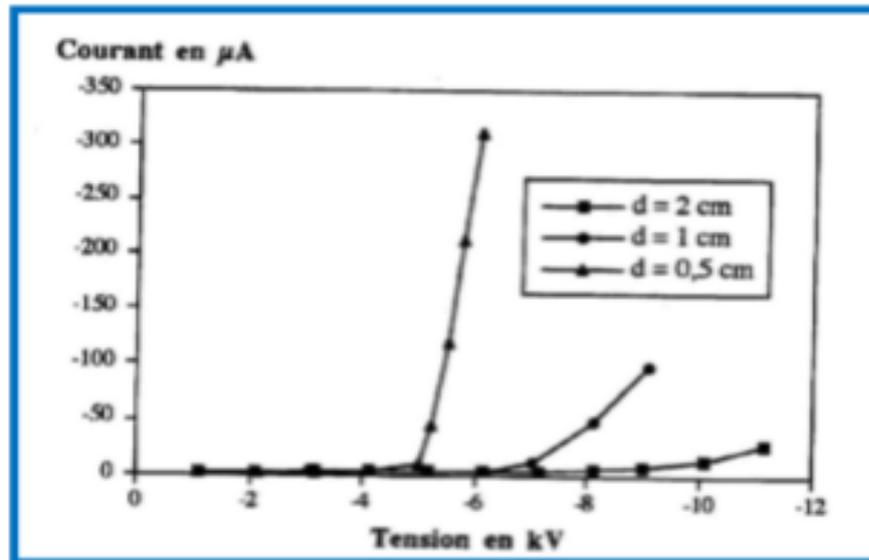


Figure 2. 6. Influence de la distance inter-électrodes sur le courant de la décharge couronne [28].

c. Nature des électrodes

Parmi les facteurs qui peuvent influencer le seuil et les caractéristiques de la décharge couronne, la nature des électrodes. La figure 2.7 suivante nous donne un exemple sur l'influence du type de matériau qui constitue les électrodes (cuivre, aluminium, et acier) sur la caractéristique courant-tension.

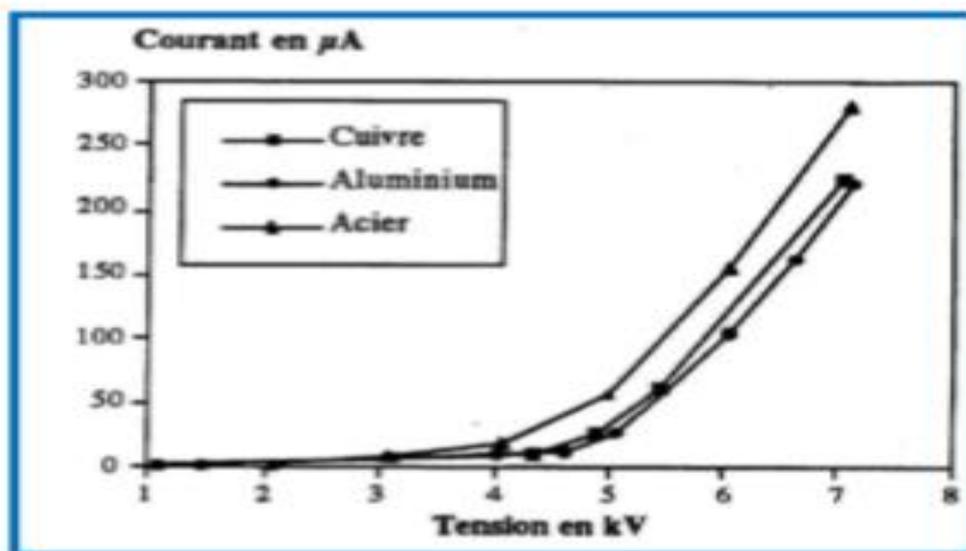


Figure 2. 7. Caractéristique courant-tension selon la nature des électrodes [28]

La nature des électrodes influe aussi sur la mobilité ionique comme le montre le tableau 2.2 [28].

Tableau 2.2. Influence de la nature des électrodes sur la mobilité ionique en tension positive et négative pour une distance inter-électrodes $d=0.5\text{cm}$.

Tension positive	μ : en $[m^2.v^{-1}.s^{-1}]$
Electrode en cuivre	8.10^{-5}
Electrode en aluminium	$7,4.10^{-5}$
Electrode en acier	12.10^{-5}
Tension négative	μ : en $[m^2.v^{-1}.s^{-1}]$
Electrode en cuivre	4.10^{-4}
Electrode en aluminium	$2,9.10^{-4}$
Electrode en acier	$4,5.10^{-4}$

2.4.4.2. Facteurs physico-chimiques

a. La température

Avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue, ce qui favorise la décharge couronne. Cela est dû au fait que dans ce cas le libre parcours moyen augmente. Par contre si l'augmentation de la température entraîne une augmentation de la pression, ceci influe sur le produit «pd» (loi de Paschen) [28].

b. L'humidité

L'influence de l'humidité sur la rigidité diélectrique de l'air est très importante surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Ce phénomène serait lié d'une part à l'accroissement de l'attachement des électrons libres, du fait de la présence de vapeur d'eau dans l'air (grande électronégativité) et d'autre part à la plus grande absorption des photons en tête des streamers, dans la région où se produisent les avalanches secondaires par photo-ionisation. Le seuil d'apparition de la décharge couronne survient à des tensions toujours plus basses pour 90% que pour 5% d'humidité relative [33]. Cette différence pourrait s'expliquer par l'augmentation de la conductivité de l'air lorsque l'humidité relative de la cellule de décharge augmente.

c. La pression

La figure 2.8 donne l'effet de la pression sur la décharge électrique [28].

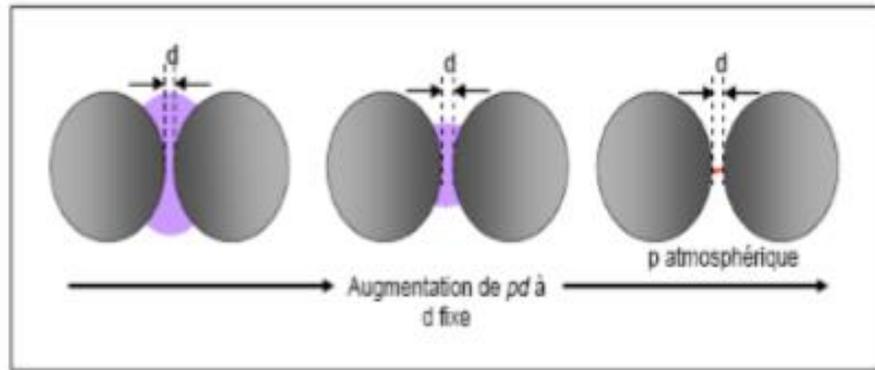


Figure 2. 8. Schéma d'évolution de la décharge électrique en fonction de la pression [28]

d. Densité de l'air

Les paramètres climatiques et particulièrement la densité de l'air influencent la tension d'amorçage des intervalles d'air. La tension « U » est proportionnelle à la densité de l'air :

$$U_{dn} = \frac{U_d K_h}{\sqrt{\delta}} \quad (2.1)$$

Avec :

U_{dn} : Tension de claquage dans les conditions normales.

$\frac{K_h}{\delta}$: Correction à apporter pour avoir les conditions normales

U_d : Tension de claquage

2.4.4.3. Facteurs électriques

L'effet couronne diffère selon qu'on applique à un système d'électrodes une tension continue ou alternative. La seule différence est qu'en tension alternative, la concentration des émissions de charges correspond à la crête de la sinusoïde du courant, tandis qu'en continu l'émission de charges est permanente.

2.4.4.4. Effets électromagnétiques

Ces effets se traduisent par les perturbations radiophoniques et les pertes d'énergie dans les lignes de transport. L'effet perturbateur du phénomène couronne se manifeste par la formation d'un champ électromagnétique à large spectre autour des conducteurs. Celui-ci est lié aux courants à haute fréquence circulant dans les conducteurs. Les perturbations dues aux lignes aériennes à haute tension au-dessus de «1kV» peuvent être produites sur une très large bande de fréquence par :

- Les décharges par effet couronne dans l'air à la surface des conducteurs.
- Les décharges et claquages dans les régions à fortes contraintes des isolateurs.
- Les claquages au niveau de contacts défectueux.

Les parasites les plus gênants sont ceux qui produisent les champs intenses captés par les antennes des postes récepteurs au même temps que le champ utile.

2.4.4.5. Effet chimique

Suivant la polarité de la décharge, certaines espèces chimiques dérivées du gaz ambiant, prennent naissance. On cite par exemple, dans le cas de l'air, les oxydes d'azote (NO, NO₂), les radicaux (HO) et (HO₂) ainsi que l'ozone (O₃) qui est un gaz instable, qui peuvent dégrader matières.

2.5. Conclusion

La première partie de ce chapitre présente un survol sur le matériau isolant étudié dans ce mémoire (le SAN). Une présentation de la structure et des différentes propriétés de ce matériau a été faite. Dans la deuxième partie du chapitre, nous avons présenté les mécanismes de vieillissement électrique ainsi que les facteurs influençant la décharge électrique, et la décharge couronne en particulier

Chapitre III

Résultats Pratiques

Chapitre 03

RESULTATS PRATIQUES

3.1. Introduction

Dans notre travail on s'intéresse au vieillissement électrique du notre isolant (le SAN), cette partie est effectuée aux laboratoires de haute tension de l'université de TIZI OUZOU. Dans ce chapitre nous présentons d'abord, la préparation des échantillons et les conditions d'essais, ainsi que les différents dispositifs et les montages expérimentaux utilisés pour les mesures lors des essais. Ensuite, nous allons présenter les résultats de notre étude expérimentale sur les effets de vieillissement électrique sur les propriétés diélectrique de SAN ainsi que sa caractérisation surfacique, nous avons également évolué l'état de la dégradation de notre isolant par des analyses FTIR/ATR. Enfin, nous donnerons leurs interprétations.

3.2. Préparation des échantillons

Dans nos essais, nous avons utilisé des échantillons du SAN en forme de carrée découpé à l'aide d'une découpeuse, tel que d'une surface $S=13.69 \text{ cm}^2$ pour l'échantillon non vieillis et une même surface égale à $S=20.25 \text{ cm}^2$ pour les échantillons vieillis (1 heure, 2 heures, 3heures) et 3mm d'épaisseur.

Avant de passer aux essais, nous allons bien nettoyer les échantillons à l'alcool puis séché dans le but de réduire les poussières et les impuretés fixées sur la surface de l'isolant. Quatre échantillons ont été utilisés (un vierge, un deuxième vieilli électriquement pendant 1heure, le troisième vieilli pendant 2 heures et le quatrième vieilli pendant 3 heures).



Figure 3.1. Préparation des échantillons.

3.3. Conditions d'essais

Nous avons utilisé 4 échantillons de SAN :

- Un échantillon vierge.
- 3 échantillons vieillis électriquement pendant (1heure ,2heures et 3heures) sous une tension de 15 kV et à pression atmosphérique.

3.4. Description du dispositif expérimental utilisé lors du vieillissement.

Nous avons réalisé nos essais au laboratoire de haute tension du département d'électrotechnique de l'université mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou. Le laboratoire est équipé d'une cage de Faraday d'un transformateur d'essai, dont les caractéristiques sont les suivantes :

$$U = 100 \text{ kV}, f = 50 \text{ Hz}, S = 10 \text{ kVA}$$

La variation de la tension se fait à l'aide d'un autotransformateur qui se trouve au niveau du pupitre de commande (figure 3.2).

Les décharges glissantes sont obtenues à l'aide de deux électrodes, l'une sphérique et l'autre plane (figure 3.4). L'électrode sphérique est reliée à la borne haute tension du transformateur d'essai, et l'électrode plane reliée à la terre. L'ensemble est placé à l'air libre.

Nous avons utilisé une électrode plane à bords arrondis, Pour éviter les effets de bord.

Nous avons également utilisé l'électrode haute tension qui à une forme cylindrique termine par une sphère de 1.44 cm de diamètre. Ainsi que nos échantillons de solide isolant qu'on a utilisé sont de forme carrée en styrène acrylonitrile (SAN). Chaque éprouvette est utilisée pour un seul vieillissement.

Le schéma représentatif de tout le dispositif d'essai est représenté par la figure 3.3.

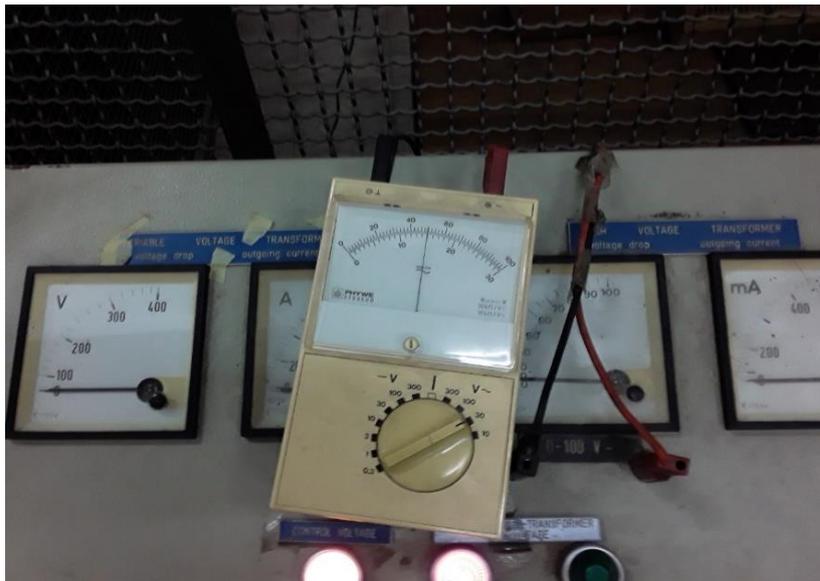


Figure 3.2. Pupitre de commande

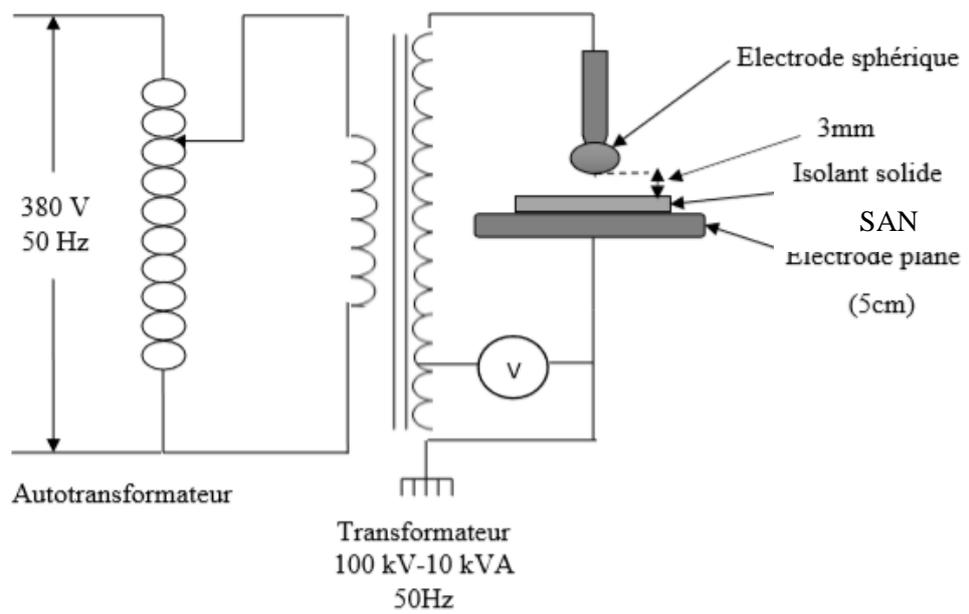


Figure 3.3. Schéma du dispositif expérimental

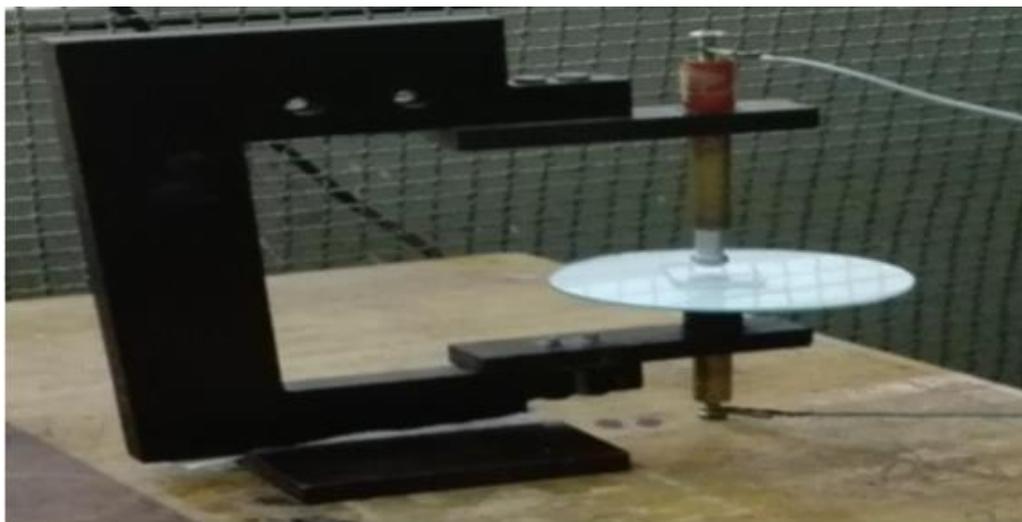


Figure 3.4. Electrodes utilisées

3.5. Appareils d'analyse

3.5.1. Dispositif d'analyse aux rayons infrarouges

La spectroscopie infrarouge à transformées de Fourier (FTIR) est une technique de mesure pour l'acquisition de spectres infrarouges. Au lieu d'enregistrer la quantité d'énergie absorbée lorsque la fréquence de lumière infrarouge varie monochromateur, cette dernière passe à travers d'un interféromètre. Après avoir traversé l'échantillon, Après que le signal a subi une transformée de Fourier, ainsi que la mesure d'un spectre par cette appareil est plus rapide car l'information à toutes les fréquences est collectée simultanément. Cela permet à de nombreux échantillons d'être analysés et moyennés ensemble ce qui améliore la sensibilité [34].

Dans notre expérience, nous faisons nos analyses par spectroscopie infrarouge à transformées de Fourier à l'aide d'un appareil de type *Jasco4200* ayant une puissance égale à 170 VA (figure 3.5). Elles nous donnent les transformations chimiques subies par notre échantillon de SAN.



Figure 3.5. Schéma du spectromètre (FTIR/ATR).

3.5.2. Dispositif d'analyse par la spectroscopie d'impédance (RLC mètre)

La spectroscopie d'impédance est un terme général qui comprend l'ensemble des techniques consistant à mesurer et analyser l'impédance électrique d'un échantillon, en général en fonction de la fréquence [35].

Dans notre étude nous avons étudié la variation de la permittivité relative ϵ' , le facteur de dissipation $tg\delta$ (angle de pertes), la résistivité volumique, ainsi que, l'indice de perte diélectrique ϵ'' en fonction de la fréquence. Ensuite, on va mesurer la résistance R ($K\Omega$), le facteur de dissipation $tg\delta$ et la capacité C (μF) en fonction de la fréquence qui peut varier entre 0.5 KHz et 10 KHz (Figure.3.6). à l'aide d'un analyseur d'impédance modèle Gw Instek LCR-817.

La permittivité relative est déduite de l'équation 3.1 [35]

$$\epsilon_r = \frac{e \cdot C}{S \epsilon_0} \quad (3.1)$$

Avec :

e : Epaisseur de l'échantillon (m).

C : La capacité entre les deux électrodes (F).

ϵ_0 : La permittivité du vide ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m).

S : La surface de l'échantillon (m^2).



Figure 3.6. La spectroscopie d'impédance (LCR mètre).

3.6. Résultats expérimentaux et discussions

3.6.1. Observation visuelle

L'observation visuelle des échantillons a montré une surface lisse et bien transparente, homogène exempte de toute dégradation pour l'échantillon de SAN vierge (figure 3.7). Le SAN vieilli électriquement présente une zone de couleur blanchâtre au niveau de la région soumise aux décharges couronne montrant des zones ayant subi des dégradations. Cette couleur devienne de plus en plus foncée avec l'augmentation du temps de vieillissement électrique (1 heure ,2 heures, 3 heures).

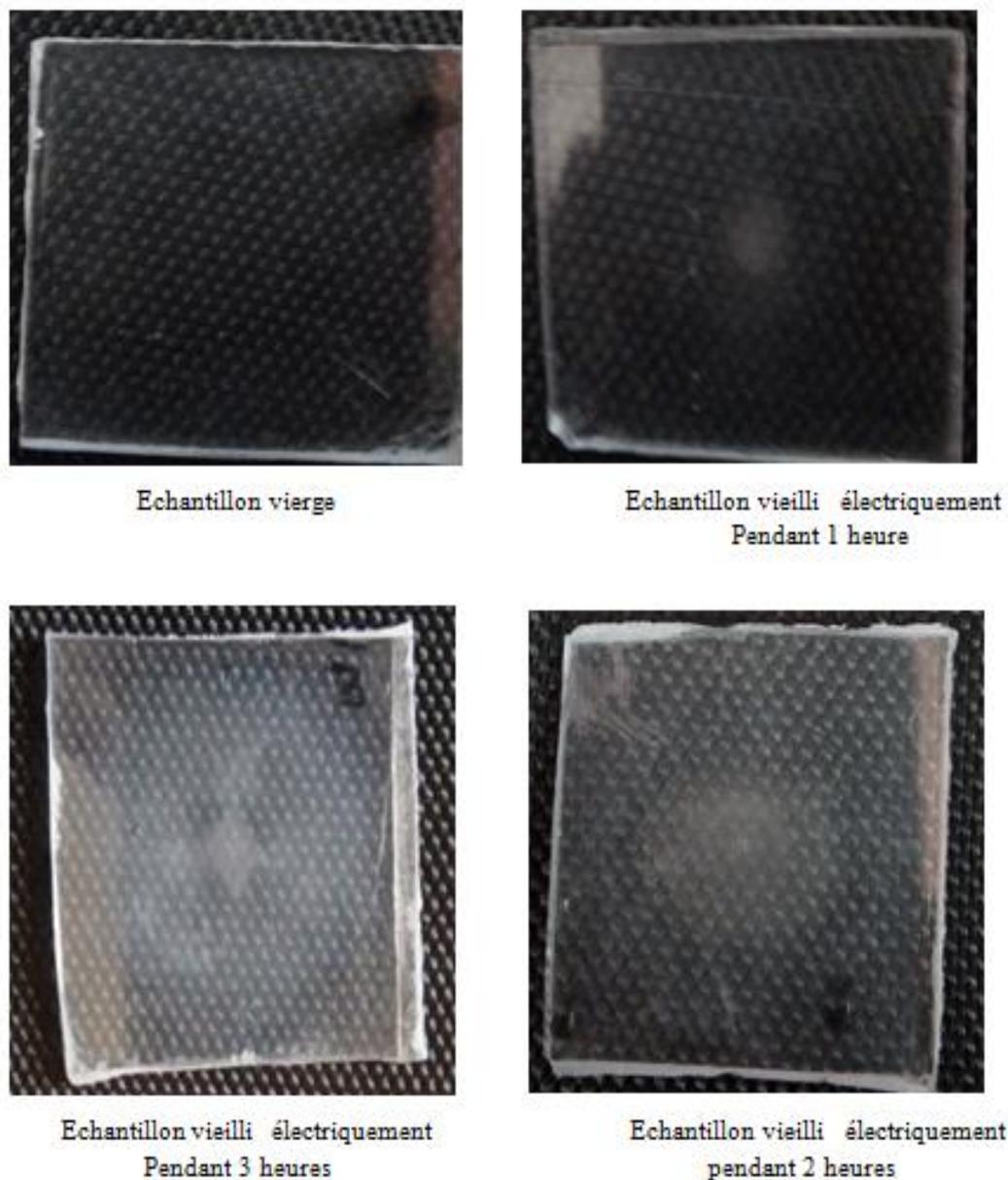


Figure 3.7. Echantillons de SAN vierge et soumis aux différents vieillissements

3.6.1.1. Spectre FTIR/ATR du SAN vierge

La figure 3.9 nous donne le spectre FTIR/ATR du SAN vierge. On remarque que la transmittance est aux alentours de 70 %.

Les bandes significatives et leurs longueurs d'ondes correspondantes sont indiquées par la Figure 3.8.

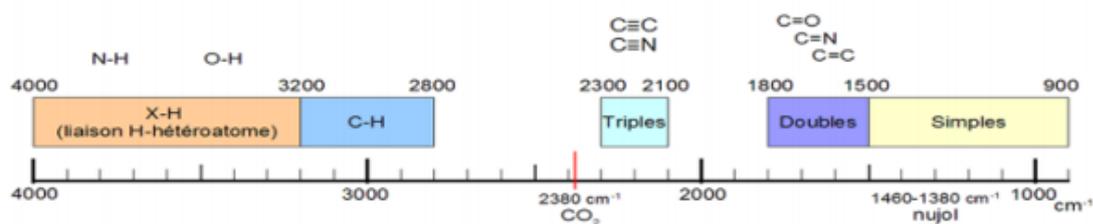


Figure 3.8. Longueurs d'ondes d'absorptions [35].

Tableau 3.1 : Absorptions caractéristiques des groupements fonctionnels du SAN

Fréquence de vibration cm^{-1}	Vibration caractéristique (bande)
1000 cm^{-1} à 500 cm^{-1}	C-C C-N
1500 cm^{-1} à 1000 cm^{-1}	C-C
1800 cm^{-1} à 1500 cm^{-1}	C=C C=N
2300 cm^{-1} à 2100 cm^{-1}	C≡C C≡N
3200 cm^{-1} à 2800 cm^{-1}	C-H
4000 cm^{-1} à 3200 cm^{-1}	N-H

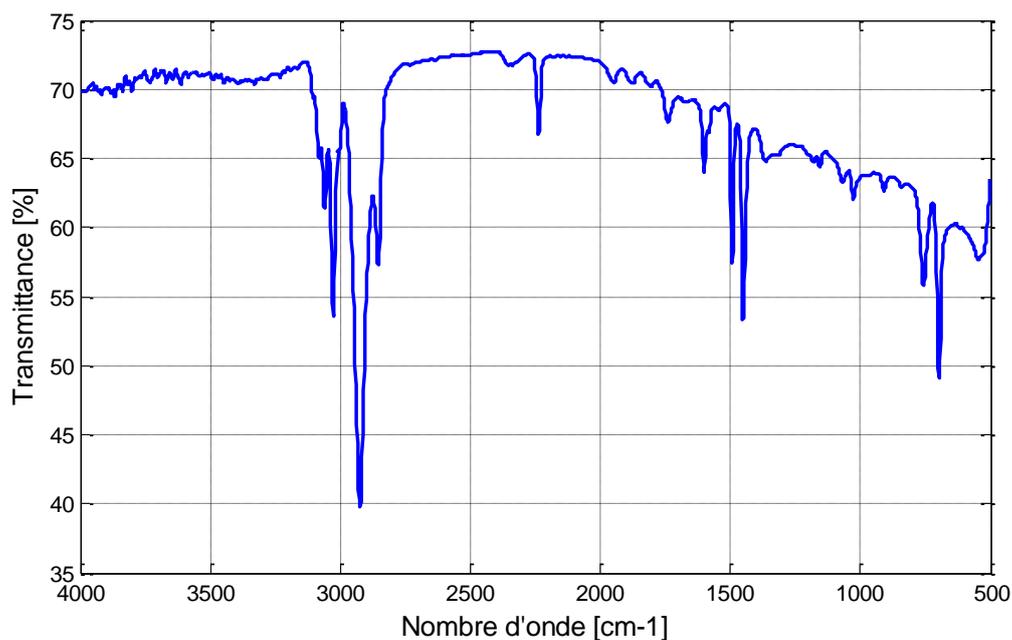


Figure 3.9. Spectre FTIR/ATR du SAN vierge

3.6.1.2. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement

a. Une heure de vieillissement électrique

Le spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant une heure montre que la transmittance de cet échantillon augmente par rapport à l'échantillon vierge, elle passe de 70% à 78%, ce qui traduit la dégradation de l'échantillon de polymère après son exposition aux décharges électriques. On remarque aussi une augmentation de quelques pics du spectre de l'échantillon après vieillissement.

En effet, en analysant le spectre avant et après vieillissement, on remarque que :

- Dans la bande allant de $[1000 \text{ cm}^{-1} \text{ à } 500 \text{ cm}^{-1}]$, la transmittance de l'un des pics diminue, correspond des liaisons chimiques (C-C), (C-N).
- Dans la bande allant de $[1500 \text{ cm}^{-1} \text{ à } 1000 \text{ cm}^{-1}]$, la transmittance dans les pics correspondant aux liaisons (C-C), (C-N) augmentent passe de 54 % à 57 % et l'autre de 57 % à 63 % et donc la rupture de ces liaison après vieillissement électrique.
- Les pics attribué à la liaison (C=N), (C=C) entre $[1800 \text{ cm}^{-1} \text{ et } 1500 \text{ cm}^{-1}]$ sa transmittance augmente passe de 64 % à 69 % indiquant ainsi la rupture de cette liaison.
- Dans la bande allant de $[2300 \text{ cm}^{-1} \text{ à } 2100 \text{ cm}^{-1}]$, la transmittance dans les pics augmente passe de 67 % à 76 % correspondant aux ruptures des liaisons (C≡C), (C≡N).
- Dans la bande allant de $[3200 \text{ cm}^{-1} \text{ à } 2800 \text{ cm}^{-1}]$, la transmittance dans les pics augmente passe de 40 % à 53 % et l'autre de 54 % à 64 % correspond à la rupture de la liaison chimique(C-H).

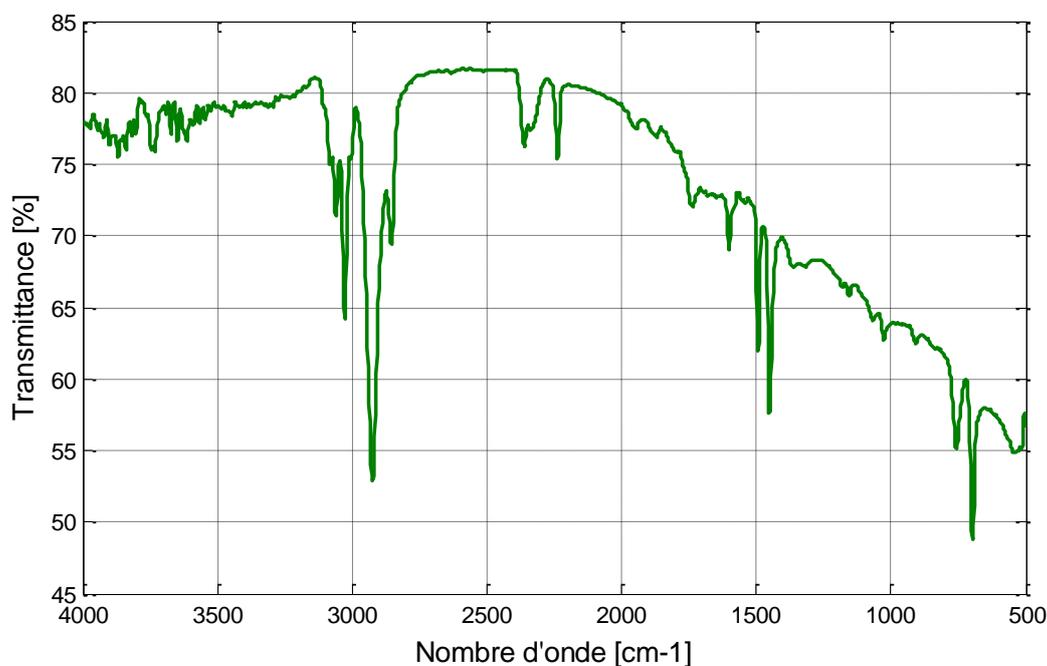


Figure 3.10. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 1 heure.

b. Deux heures de vieillissement électrique

La figure 3.10 montre le spectre FTIR/ATR du SAN vieilli pendant 2 heures. Nous remarquons que la transmittance est plus importante pour l'échantillon vieilli électriquement pendant 2 heures (79 %) par rapport à la transmittance du spectre précédent, traduisant ainsi la dégradation du SAN.

On remarque aussi le changement de l'intensité des pics appartenant aux différentes bandes d'absorption. Ce qui se résume en les points suivants :

- [1000 cm^{-1} à 500 cm^{-1}] : augmentation de la transmittance passe de 49 % dans (0 heure) jusqu'à 54 % dans (2 heure) et l'autre passe de 56 % à 62%, correspondant aux ruptures des liaisons (C-C), (C-N) traduisant.
- Entre [1500 cm^{-1} et 1000 cm^{-1}] augmentation de la transmittance dans les pics elle passe de 54 % dans (0 heure) jusqu'à 58 % (2 heure) et l'autre de 57 % à 64%, qui correspond à la rupture des liaisons chimique (C-C), (C-N).
- Entre [1800 cm^{-1} et 1500 cm^{-1}] la transmittance augmente (dans 0 heure 64%) ici atteindre jusqu'à 72 % correspond à la rupture des liaisons chimiques (C=C), (C=N).
- Rupture des liaisons (C \equiv C), (C \equiv N), qui se traduit par une augmentation de la transmittance atteindre jusqu'à 75 %, à travers le pic appartenant à la bande allant de [2300 cm^{-1} à 2100 cm^{-1}].
- Dans la bande allant de [3200 cm^{-1} à 2800 cm^{-1}], augmentation de la transmittance atteindre 52 % et 62 % qui correspondant à la rupture des liaisons (C-H).
- On remarque l'apparition des pics correspondant aux liaisons (N-H) traduisant dans la bande Allant de [4000 cm^{-1} à 3200 cm^{-1}].

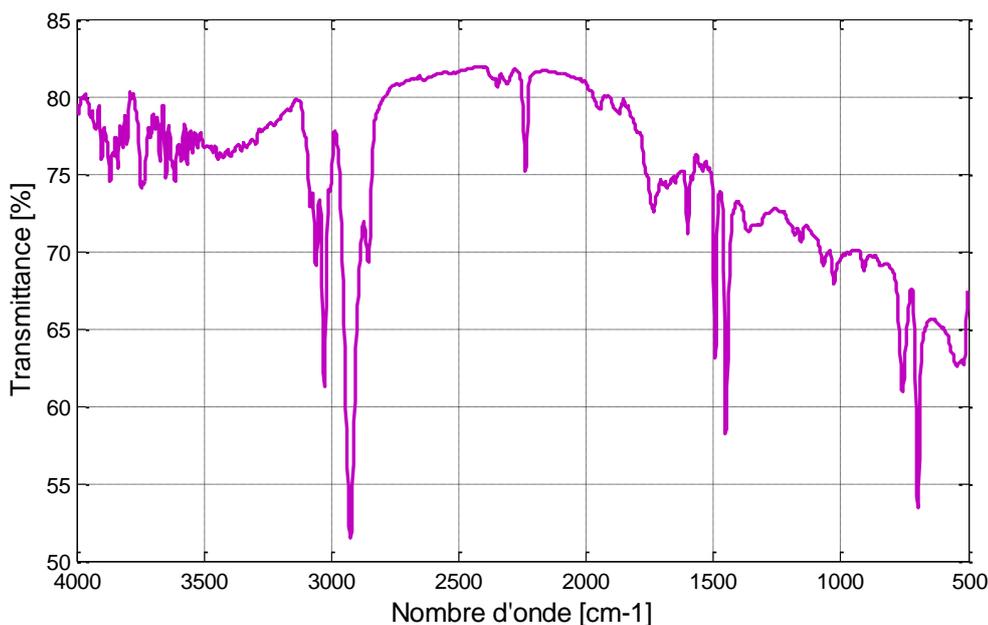


Figure 3.11. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 2 heures.

c. Trois heures de vieillissement électrique

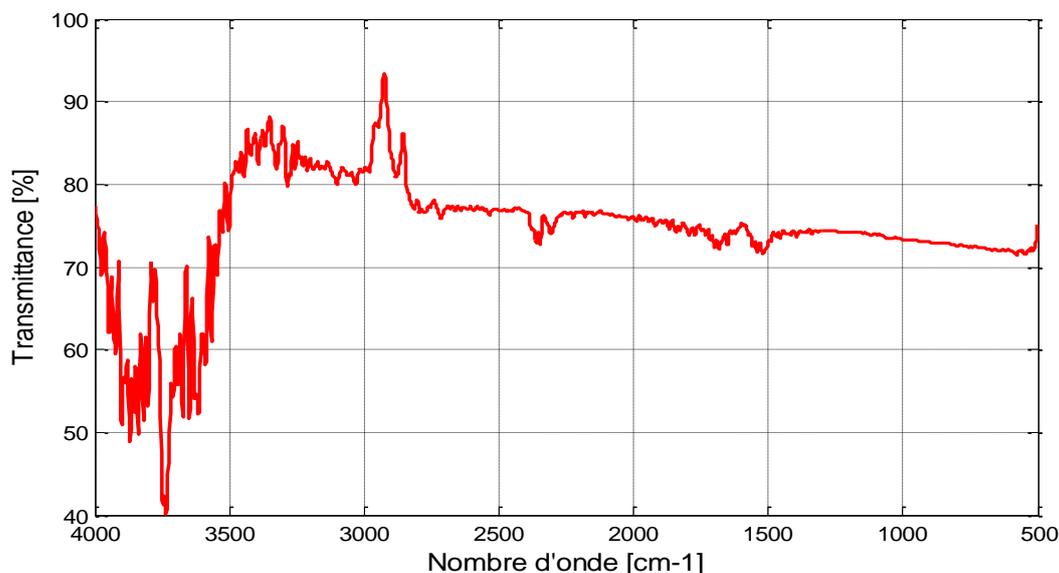


Figure 3.12. Spectre FTIR/ATR du SAN vieilli électriquement pendant 3 heures sans CO₂

- En comparant les spectres des deux échantillons, celui non vieilli électriquement (0 heures) et celui vieilli pendant 3 heures (figure 3.12), on remarque que la réponse de l'échantillon vieilli 3 heures diffère pour tous les autres échantillons.

Après 3 heures de vieillissement, nous avons remarqué suivant le spectre FTIR :

- Entre [1800 cm⁻¹ et 500cm⁻¹] une diminution des pics correspond aux liaisons (C-C), (C-N) et (C=C), (C=N).
- Dans la bande allant de [3200 cm⁻¹ à 2800 cm⁻¹], augmentation très importante de la transmittance jusqu'à 93 % dans le pic correspondant aux liaisons (C-H) traduisant la rupture de cette dernière.
- Apparition des pics entre 40 % jusqu'à 70 % de transmittance correspondant à la formation des groupements chimiques (N-H) attribués à la bande [4000 cm⁻¹- 3200 cm⁻¹].

3.6.1.3. Comparaison des spectres FTIR/ATR du SAN

La superposition de tous les spectres FTIR/ATR obtenus pour les différents échantillons est donnée par la figure 3.13. Ces résultats montrent que les spectres des échantillons vierge et vieillis sous décharges électriques présentent des caractéristiques similaires, et des changements dans le taux de transmittance et l'intensité de plusieurs pics.

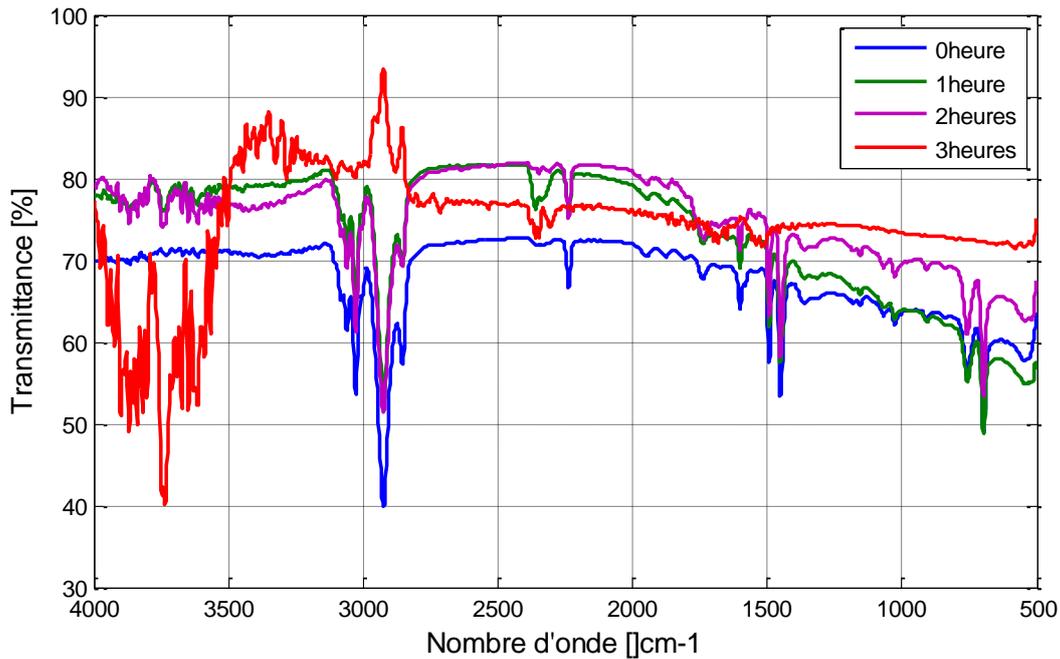


Figure 3.13. Les spectres FTIR/ATR du SAN vierge et vieilli.

0 h : Echantillon vierge, 1 h : vieilli électriquement pendant une heure, 2 h : vieilli électriquement pendant deux heures, 3 h : vieilli électriquement pendant trois heures.

Le comportement chimique du SAN soumis aux vieillissements électrique est résumé par la figure 3.13. Elle représente la variation des spectres en fonction de nombre d'ondes pour différents échantillons vieillis sous différentes conditions (temps) de vieillissement.

D'après l'analyse infrarouge réalisée on a constaté ce qui suit :

- En comparant, les réponses des échantillons qui subissent un vieillissement électrique d'une heure, deux heures, trois heures à l'échantillon sain (sans vieillissement électrique), puis comme référence, on peut distinguer l'échantillon vieilli 1 heure par rapport à l'échantillon vieilli 2 heures en comparant leurs réponses pour des faibles nombres d'ondes, l'échantillon subissant au vieillissement d'une durée proche d'une heure a la une réponse quasiment identique à celle d'un échantillon sain, pour de faibles nombres d'onde. Cependant, l'échantillon vieilli 2 heures à une réponse différente avec l'échantillon sain pour tous les nombres d'ondes la transmittance augmente dans l'échantillon vieillis 2 heures, ainsi que la réponse de l'échantillon vieilli 3 heures différente pour tous les autres échantillons.
- on a constaté que la transmittance augmente avec l'augmentation du temps de vieillissement dans les bandes suivantes : $[1000 \text{ cm}^{-1} - 500 \text{ cm}^{-1}]$, $[1500 \text{ cm}^{-1} - 1200 \text{ cm}^{-1}]$, $[3200 \text{ cm}^{-1} - 2800 \text{ cm}^{-1}]$ correspond à la rupture des liaisons chimiques (C-C), (C-N), (C-H) indiquant la dégradation de matériau.

- Une déformation visible et importante est constatée au niveau de l'échantillon 3 heures dans les bandes suivantes : $[1500\text{cm}^{-1} - 500 \text{ cm}^{-1}]$; $[3200 \text{ cm}^{-1} - 2800 \text{ cm}^{-1}]$; $[4000 \text{ cm}^{-1} - 3200\text{cm}^{-1}]$ correspond à la rupture des liaisons chimiques (C-C),(C-N) ;(C=C); (C-H), ensuite l'apparition des pics au liaison (N-H),(O-H) respectivement, à cause de présence de la pression atmosphérique (l'humidité), ce qui nous permet de le distingué par rapport aux trois autres échantillons.
- On conclut que, le vieillissement électrique entraine l'augmentation de la transmittance qui peut être due à la déformation ou bien la dégradation du matériau (gonflement) qui implique notre matériau devient mauvais isolant.

3.6.2. Spectroscopie diélectrique

La spectroscopie diélectrique nous a permis de mesuré et de déterminé les propriétés diélectriques du SAN. Pour cela nous avons utilisé une impédance mètre (figure 3.6) pour ce faire les mesures (capacité, résistance etc.) des différents échantillons. Tout ça nous a permis de déduire d'autres paramètres tels que la permittivité relative et le facteur de pertes diélectriques.

Dans notre travail, nous avons choisi la fréquence parmi plusieurs facteurs qui peuvent influencer sur les propriétés diélectriques de l'isolant.

3.6.2.1. Permittivité relative

La permittivité relative est déduite de la mesure de la capacité à l'aide de la relation suivante :

$$\epsilon_r = \frac{e.C}{S.\epsilon_0} \quad (3.2)$$

Avec :

e : Epaisseur de l'échantillon (m).

C : Capacité entre les deux électrodes (F).

ϵ_0 : Permittivité du vide ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$).

S : Surface de l'échantillon (m^2).

La variation de la permittivité relative en fonction de la fréquence est représentée par la figure (3.14).

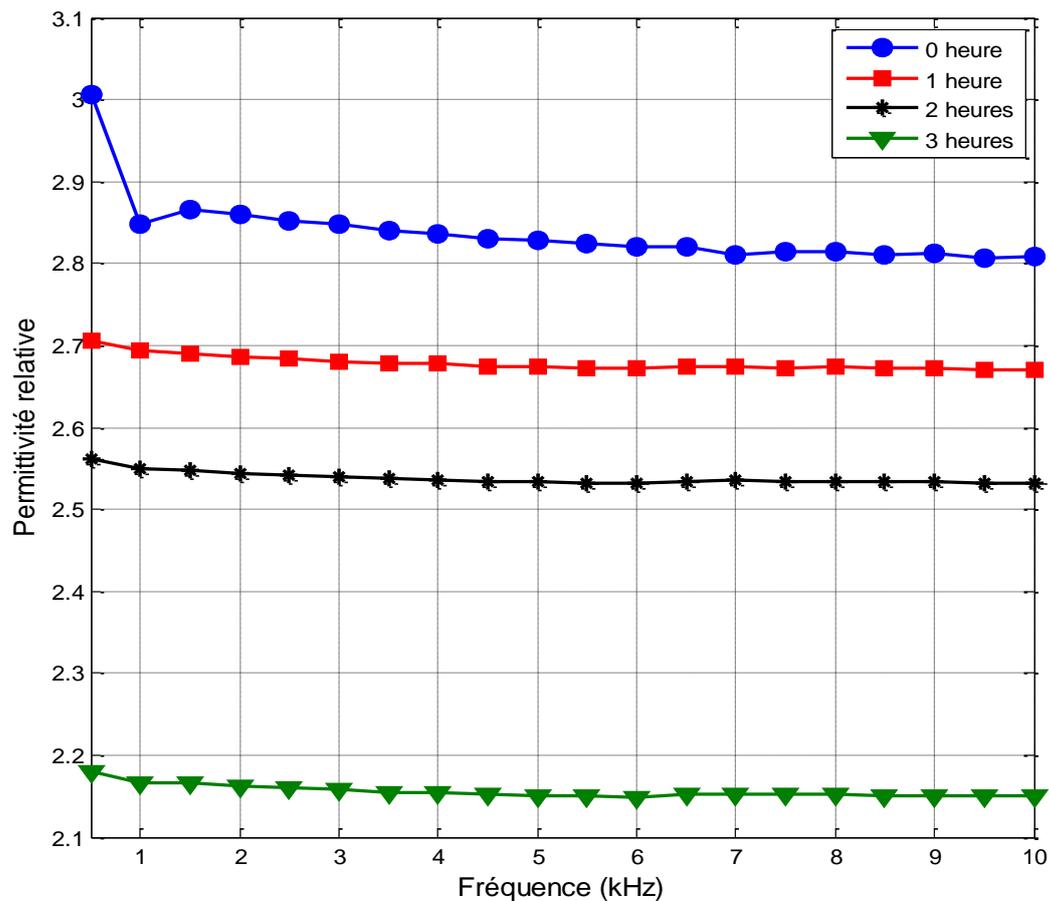


Figure 3.14. Variation de la permittivité relative du SAN vierge et vieillie électriquement en fonction de la fréquence.

D'après la figure 3. 14 on a relevé les constatations suivantes :

- Dans le cas d'un échantillon sain de surface 13.69 cm^2 que la permittivité diminue en fonction de la fréquence a une variation de permittivité relative de 3 à 2.85 est observée à 1 KHz rester autour de 2.8 pour les fréquences plus élevée.
- Pour trois autres échantillons de surface de 20.25 cm^2 , ayant subi des vieillissements d'une heure, 2 heures et 3 heures respectivement, on constate de légère diminution des permittivités relative en fonction de la fréquence pour chaque échantillon effectuée.
- La permittivité relative a diminué en fonction de la durée de vieillissement, on effet à 1KHz l'échantillon subit une diminution de la permittivité relative de 5 % et de 20 % pour les durées de vieillissement de 2 heures et 3 heures respectivement comparativement à l'échantillon qui subit vieillissement d'une heure, ce qui peut être expliqué par le réarrangement de la structure moléculaire et le phénomène de réticulation, ainsi que le libre parcours des porteurs de charges

diminue, avec l'augmentation de la durée de vieillissement de l'échantillon.

3.6.2.2. Facteur de dissipation

Les valeurs du facteur de dissipation ($tg\delta$) sont relevées directement sur LCR mètre. La figure (3.15) représente la variation du facteur de dissipation en fonction de la fréquence et pour différents temps de vieillissement.

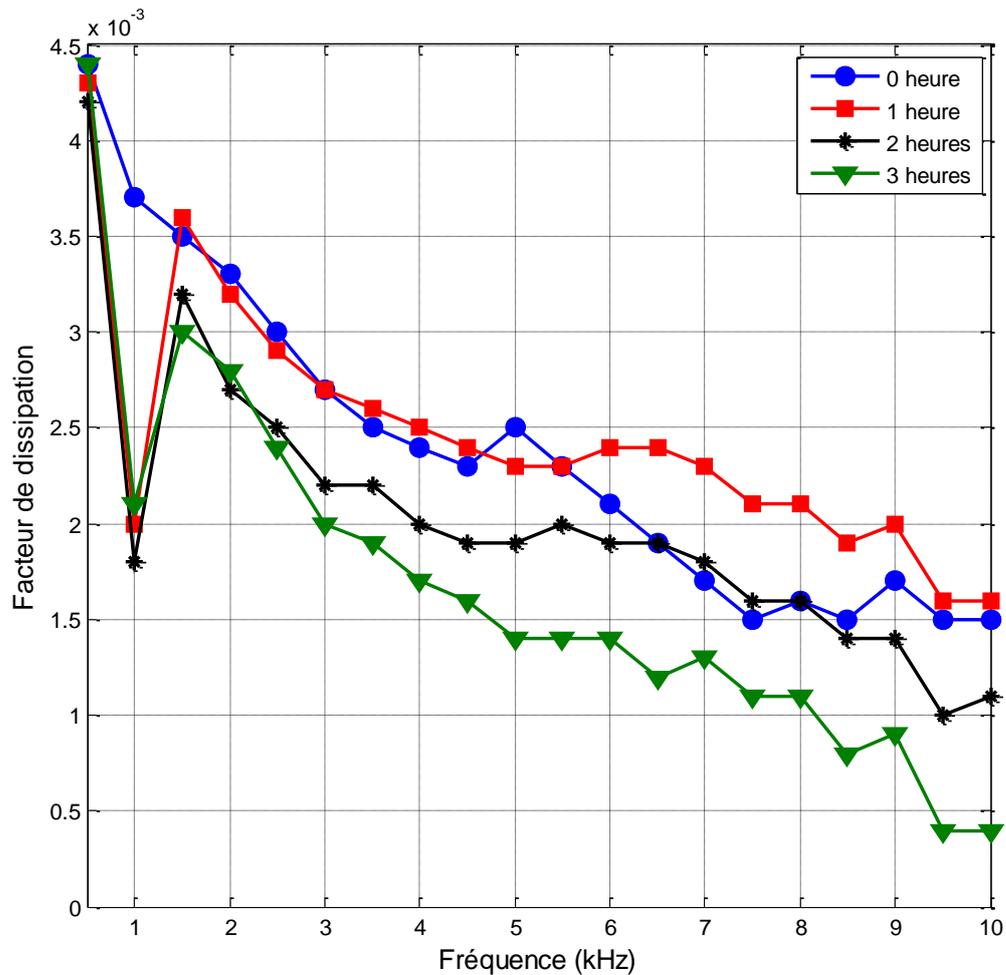


Figure 3.15. Variation de facteur de dissipation du SAN vierge est vieillie électriquement en fonction de la fréquence.

D'après la figure 3. 15 on a relevé les constatations suivantes :

- Dans le cas d'un échantillon sain de surface 13.69 cm^2 que le facteur de dissipation diminue en fonction de la fréquence a une variation de facteur de dissipation de 4.5 à 3.8 est observée à 1 KHz ça continue de descendre jusqu'à autour de 1.5 pour les fréquences plus élevée.
- Pour trois autres échantillons de surface de 20.25 cm^2 , ayant subi des vieillissements d'une heure, 2 heures et 3 heures respectivement, on constate une diminution importante pour les

faibles fréquences des facteurs de dissipations en fonction de la fréquence pour chaque échantillon effectuée.

- Le facteur de dissipation a diminué en fonction de la durée de vieillissement, on effet à 1KHz l'échantillon subit une diminution de facteur de dissipation de 10 % et de 0 % pour les durées de vieillissement de 2 heures et 3 heures respectivement comparativement à l'échantillon qui subit vieillissement d'une heure, ce qui peut être expliqué par cette diminution est plus importante pour les faibles fréquences contrairement aux fréquences élevées ou le matériau est influencé par le phénomène de relaxation.

3.6.3. Facteur de pertes diélectriques

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \cdot tg\delta \quad (3.3)$$

Avec :

ε' : La permittivité relative

$tg\delta$: Facteur de dissipation

La figure (3.16) représente la variation du facteur de perte diélectrique en fonction de la fréquence pour différentes périodes de vieillissement.

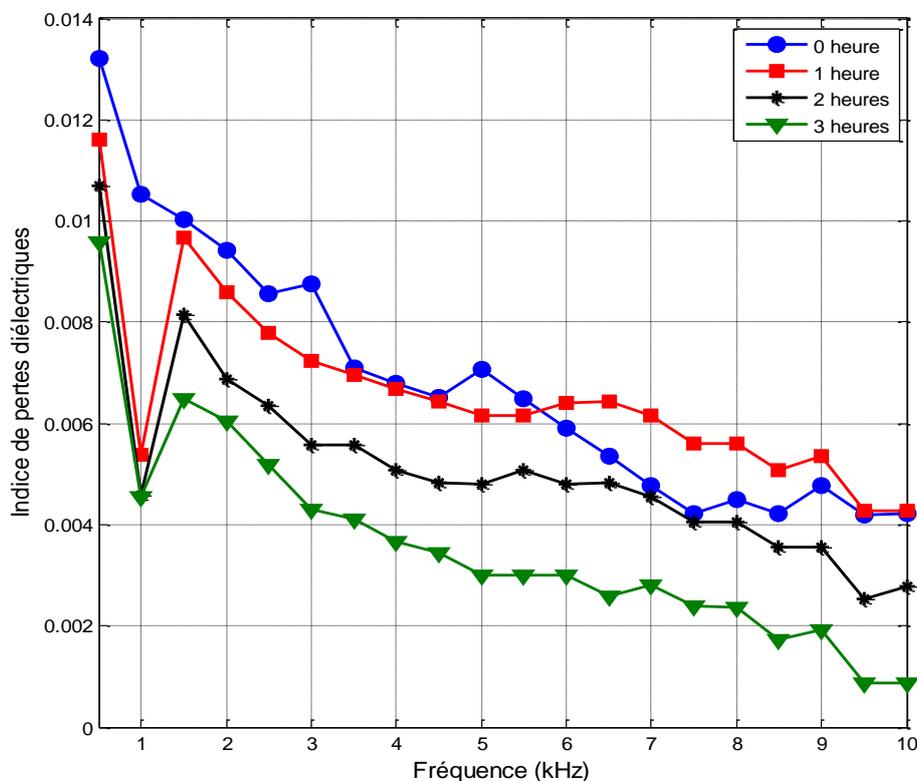


Figure 3.16. La variation de l'indice de pertes diélectriques du SAN vierge est vieilli électriquement en fonction de la fréquence.

D'après la figure 3. 16 on a relevé les constatations suivantes :

- Nous remarquons que le comportement de l'indice de pertes diélectriques est similaire à celui du facteur de dissipation.
- L'indice de perte a diminué en fonction de la durée de vieillissement, on effet à 1KHz l'échantillon subit une diminution de l'indice de perte de 26 % et de 28 % pour les durées de vieillissement de 2 heures et 3 heures respectivement comparativement à l'échantillon qui subit vieillissement d'une heure, ce qui peut être expliqué la réduction de ce dernier par l'augmentation de la viscosité du SAN.

3.7. Conclusion

Le but de ce chapitre était de suivre l'évolution de la surface de notre isolant le SAN soumis au vieillissement électrique pendant différents périodes. Ainsi, après avoir donné une vue générale sur les dispositifs expérimentales et d'analyses utilisés pour faire vieillir et analyser nos échantillons, nous avons exposé les différents résultats obtenus. Ces derniers ont montré que le SAN soumis à contrainte de vieillissement électrique subit une dégradation qui se manifeste par la rupture de quelques groupements fonctionnels et l'apparition d'autres comme la montre les analyses FTIR/ATR. Cette dégradation se manifeste aussi par un changement des propriétés diélectriques.

On effet, une étude comparative de différentes surfaces de nos échantillons vieillis électriquement pendant différents périodes du temps nous a montré que les propriétés diélectriques diminuent toutes avec l'augmentation de la fréquence et de la durée de vieillissement de notre échantillon de SAN. Ca induit que notre matériau est devient un mauvais isolant.

Conclusion générale

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Dans ce mémoire nous avons étudié l'évolution de la surface d'un diélectrique (qui est le SAN dans notre cas) soumis à une décharge électrique (nous avons choisi la décharge corona).

Dans notre cas, pour l'étude de l'influence du vieillissement électrique sur notre matériau (le SAN), Nous avons utilisé 4 échantillon: le premier a été vierge, le deuxième vieilli électriquement pendant 1 heure sous 15 KV, le troisième a été vieilli électriquement pendant 2 heures sous 15 KV, le quatrième pendant 3 heures sous 15 KV.

Pour étudier l'influence du vieillissement électrique sur ce matériau, Nous avons utilisé 4 échantillon: le premier a été vierge, le deuxième vieilli électriquement pendant 1 heure sous 15 KV, le troisième a été vieilli électriquement pendant 2 heures sous 15 KV, le quatrième pendant 3 heures sous 15 KV.

Nos échantillons ont été analysés par la technique : FTIR/ATR et ont été mesurés leurs propriétés diélectriques par l'impédance RCL mètre.

L'analyse FTIR/ATR montre que le SAN soumis au vieillissement électrique pendant déférente périodes du temps subit une dégradation qui se traduit par la rupture ou l'apparition de certaines liaisons chimiques.

Notre étude nous a permis aussi de suivre l'évolution des propriétés diélectriques (Permittivité relative, facteur de dissipation et le facteur de perte diélectrique) du SAN vieilli électriquement pendant différente période du temps.

Nous avons remarqué que la variation du temps de vieillissement électrique influe sur les propriétés, ainsi qu'un autre facteur à ne pas négligé et il est « la fréquence ».

En effet, nous avons remarqué que les propriétés diélectriques diminuent toutes avec l'augmentation de la fréquence.

On conclus qu'au niveau de l'industrie, par exemple, il faut éviter d'exposer un isolant pendant une grande durée aux décharges électriques car il peut perdre ses propriétés d'isolant avec le temps .plutôt, il faut le changé après certaine durée d'utilisation dans l'industrie, on cherche toujours à améliorer les propriétés de l'isolant, afin que notre matériaux puisse protéger mieux nos équipements électriques.

Références

Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] S. Jouenne, « option chimie et physicochimie des polymères », Thèse de Doctorat Université Pierre et Marie Curie, 2005.
- [2] A. Nadia, « Effet du vieillissement thermique sur la rigidité diélectrique du polyméthacrylate de méthyle », Mémoire magister en électrotechnique Université de Tizi Ouzou ,2017.
- [3] www.spirit-science.fr Flux RSS, A. Boudet, « voyage de cœur de la matière plastique », ISSN 2430-5626, France, 2005.
- [4] N. Djamel Eddine, « Etude des mélanges de polymères PVC/PS », Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra ,2012.
- [5] T. Fiala, A. Mizera, P. Stoklasek, M. Manas, L. Hylova and M. Bednarik, « Study of abs and SAN failures under dropweight impact test », MM Science journal, DOI : 10.17973/MMSJ.2019_03_201860 ,2019.
- [6] <https://www.resinex.fr/types-de-polymeres/san.html+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=dz>.
- [7] [https://elearning.univ-bejaia.dz/+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=/Matériaux diélectriques comportement _champs /PDF](https://elearning.univ-bejaia.dz/+&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=/Matériaux%20diélectriques%20comportement%20_champs%20/PDF).
- [8] <http://elearning.centre-univ-mila.dz/mod/resource/view.php?id=1240> ,Cours Matériaux Electrotechnique.
- [9] http://ww2.cnam.fr/physique//PHR011_ELECTRICITE/02_C03_PHR%20011.pdf, F.Najla et H.Patrick, « leçon N°3 : milieux diélectrique –condensateurs ».
- [10] B.Med Abdelhafid, « Caractérisation des matériaux de construction par les méthodes électriques », Mémoire de magistère, Université de Mentouri de Constantine, 2010.
- [11] B.Leila, « Investigation sur l'évolution de la constante diélectrique dans les matériaux hétérogènes », Thèse Doctorat, Université de Mentouri de Constantine, 2012.
- [12] B. Djillali, H. Khaled, « Etude comparative de la performance électrique de deux configurations plan - plan et pointe - barrière isolante – plan sous tension continue et conditions de pollution très sévères », Mémoire de Master en Electrotechnique, Université de Bejaïa ,2016 /2017.
- [13] B. Djilali, « Technique de la haut tension », Université de Chlef, 2013.
- [14] S. Michel, « Matériaux en électrotechnique », CAPET, PLP2 Electrotechnique (Marseille), 26p.
- [15] M.Mustapha, « Etude de la conduction électrique dans les polymères isolants », Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2010.
- [16] B.Khaled, « Préparation et caractérisation du mélange polycarbonate/polystyrène-co- acrylonitrile (PC/SAN) Effet du comptabilisant sur ses propriétés », Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas Sétif ,2015.

-
- [17] P. Robert, « Matériaux de l'électrotechnique Volume II », Ed. Presses Polytechniques Romandes.
- [18] C.Yibing , H.Yuan , X.Junfeng , S.Lei , F.Weicheng , D.Huaxia , G.Xinglong & C.Zuyao ,« Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Poly (Styrene-Acrylonitrile) (SAN)/Clay Nanocomposites from Organic-Modified Montmorillonite », Polymer-Plastics Technology and Engineering, 46: 541–548, 2007, DOI: 10.1080/03602550701298655.
- [19] W.Guo-Xiang, L.Mang, H.Zhao-Hui, G.Yong, L.Li-Chao, W.Hu, « Fe-Mediated ICAR ATRP of Styrene and Acrylonitrile in Polyethylene Glycol », J. APPL. POLYM. SCI. 2014, DOI: 10.1002/APP.40135.
- [20] A. Eddy, « Diagnostic optique du vieillissement électrique des résines époxydes sous faible champ électrique », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, novembre 2008.
- [21] K.Nora, « Etude de l'interaction décharge électrique/surface d'un solide isolant », Thèse de doctorat, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, juillet 2019.
- [22] G.TALAL, « Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle, Mémoire de Magister, ENP Alger, 2003.
- [23] M.Mohammed Ettayib, « Influence Du Vieillissement Electrique Sur Les Propriétés D'un Polymère Isolant Utilisé Dans Le Transport D'énergie Electrique », Mémoire master, Université de Mohamed Boudiaf – M'sila, 2015/2016.
- [24] ST.Hayat, T.Karim, « Influence de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative », Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Mémoire soutenu publiquement le 28/06/ 2016.
- [25] A. Salem, « Vieillissement électrique du polyester – imide sous tension continue », Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2015.
- [26] M.Abdelmalek, «Etude de l'effet de l'humidité sur les propriétés électriques de la surface d'un polymère», Thèse de magister, Université Mentouri de Constantine, 2008.
- [27] H.Myriam, B.SC.A, «Influence de la variation de la température ambiante sur les vibrations induites par effet de couronne», Thèse de doctorat, Université du Québec à Chicoutimi ,1991.
- [28] S. Djedjiga, «Effet de la décharge couronne sur les surfaces Isolantes et les surfaces métalliques », Thèse de magister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi -Ouzou ,2011.
- [29] B.Brahim, «La faisabilité de l'électrofiltration d'une atmosphère chargée en poussières de bois : étude expérimentale et numérique», Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, le 13 novembre 2008.
- [30] A. Abahazem, «Études expérimentales des décharges couronnes pour la dépollution des gaz», Thèse de doctorat, l'université de Toulouse III – Paul Sabatier, Décembre 2009.
-

- [31] M.L. BARTHES, « Polycarbonate Régénération d'ABS et de PC issus de DEEE sous forme d'alliages de technique ou de nanocomposites », Thèse de doctorat Ecole Doctorale des sciences physiques pour l'ingénieur, Mécanique et Ingénierie, Bordeaux, Mars 2010.
- [32] Rezzouga.M, Tilmatine.A, Gouri.R, Medles.K, Dascalescu.L «Experimental modiling of high-voltage corona discharge using design of experiments». Front. Electr. Electron. Eng, 2(2): 139-143. China 2007.
- [33] M.P. Panaget, « Étude en laboratoire des effets physico-chimique induits par les pertes électriques des lignes de transport à haute tension», Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 1997.
- [34] J.Ross MacDonald, « *Impedance spectroscopy* », Annals of Biomedical Engineering, vol. 20, 1992, p. 289-305.
- [35] M. Samira, « Etude des propriétés thermiques de mélanges à base de PVC et PVC- PEHD et les phénomènes de dégradation », Mémoire de magister en chimie des matériaux , Université de Ouargla, 110p , 2012.

ملخص: في هذا العمل التجريبي، تابعنا تطور سطح العازل الكهربائي لدينا وهو SAN ، الذي تعرض للتفريغ الإكليلي، بعد أن تعرضت عينتنا من SAN لضغط كهربائي لفترة زمنية مختلفة، وقمنا بتحليل سطح العازل الكهربائي تمت دراسة مادتنا باستخدام تقنية تحليل FTIR/ATR ، بالإضافة إلى ذلك قمنا بتطوير وقياس سلوك خصائص مادتنا عن طريق التحليل الطيفي العازل لفترات مختلفة من الشيخوخة الكهربائية، بحيث أظهرت النتائج المتحصل عليها أن أداء العازل يتدهور مع زيادة مدة التقدم الكهربائي.

كلمات مفتاحية: شيخوخة كهربائية، SAN، FTIR/ATR ، خصائص العوازل.

Résumé :

Dans ce travail expérimentale, nous avons suivie l'évolution de la surface de notre diélectrique qui est le SAN, soumis à décharge couronne, après avoir soumis nos échantillons du SAN a une contrainte électrique pendant différente période de temps, nous avons analysé la surface du notre matériau étudié en utilisant la technique d'analyse FTIR/ATR.

Ainsi que, on a évolué et mesuré le comportement des propriétés du notre matériau par spectroscopie diélectriques pour différentes périodes de vieillissement électrique.

Les résultats obtenus ont montré que les performances du diélectrique se dégradent avec l'augmentation de la durée de vieillissement électrique.

Mots clés : Vieillissement électrique, SAN, FTIR/ATR, propriétés diélectriques.

Abstract:

In This experimental work, we followed the evolution of the surface of our dielectric which is the SAN, subjected to corona discharge, after having subjected our samples of the SAN to an electrical stress for different period of time, we analyzed the surface of the our material studied using the FTIR / ATR analysis technique.

As well as, we have evolved and measured the behavior of the properties of our material by dielectric spectroscopy for different periods of electrical aging.

The results obtained showed that the performance of the dielectric deteriorates with the increase in the duration of electrical aging.

Key Words : Electrical aging, SAN, FTIR / ATR, dielectric properties.