



Faculté de Technologie
Département de Génie Électrique

Mémoire de Fin d'Étude

*En vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II en Electrotechnique
Option : Réseaux Electriques*

Thème

Etude de l'effet des rayons UV sur les isolateurs de type silicone

Préparé par :

Mr. BELLOUZE Chahine

Mr. DJAMAAHilal

Encadré par:

Dr. SAHLI Zahir

Devant le jury

Mr. HERZINE

Mme. BELHOUL

Promotion : 2021 / 2022

Remerciements

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude pour notre Seigneur ; l'Éternel, pour nous avoir prodigué donné santé, courage et patience pour réaliser ce travail.

*Ensuite, nous tenons à exprimer notre très grande considération et notre vive reconnaissance pour **Mr. SAHLI Zahir** pour avoir accepté d'encadrer notre travail que voici, de même que pour sa patience, ses précieux conseils, sa bienveillante disponibilité à nous orienter, ce qui nous a menés à l'aboutissement de ce travail.*

Qu'il veuille bien accepter toute notre gratitude et respect.

*Nos remerciements s'adressent également à :
tous les enseignants des techniques de haute tension
pour leurs soutiens et bienveillants conseils. Nous remercions à l'occasion tous
les enseignants du Département du génie électrique.*

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION GENERALE	1
chapitre 1 : Généralité	2
Introduction	3
1. Définitions	3
1.1 Isolant.....	3
1.2 Isoler	3
1.3 Isolation.....	3
1.4 Isolateur.....	3
1.5 Diélectrique.....	4
2. Différents types d'isolants.....	4
2.1 Isolant Gazeux.....	4
2.2 Isolants liquides	4
2.3 Isolants solides	4
3. caractéristiques des isolateurs	5
3.1 Tension d'essai	5
3.2 Tension de contournement	5
3.3 Courant de fuite	5
3.4 Courant de fuite critique.....	5
3.5 Ligne de fuite spécifique (Is) d'un isolateur	5
3.6 Facteur de forme d'un isolateur(F).....	5
4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs.....	6
4.1 Céramique	6
4.2 Verre.....	7
4.3 Matériaux synthétiques	7
5. Différents types d'isolateurs.....	8
5.1 Isolateurs supports.....	8
5.2 Isolateurs de traversées.....	8
5.3 Isolateurs de lignes aériennes	9
6. Propriétés diélectriques des isolants	9
6.1 Rigidité diélectrique	10
6.2 Permittivité	10
6.3 Angle de pertes et facteur de dissipation.....	11

7. contraintes subits par l'isolateur	11
7.1 Contraintes mécaniques.....	12
7.2 Contraintes électriques	12
7.3 Contraintes climatiques et environnemental	12
8. Choix d'isolateur	13
Conclusion.....	13
Chapitre 2 : la silicone et les isolateurs composite en silicone	14
Introduction	15
1. Structure moléculaire de la silicone	15
2. Les propriétés de la silicone	16
2.1 Hydrophobicité.....	16
2.2 Nettoyage	17
2.3 Tenue aux UV et aux intempéries	17
2.4 Tenue au feu	17
2.5 Elasticité	17
2.6 Propriétés diélectriques	18
2.7 Thermo stabilité.....	18
3. Propriétés fondamentales pour les applications électriques.....	18
4. Groupes de silicones.....	19
4.1 Elastomères silicones	19
4.2 Gels silicones.....	20
4.3 Huiles silicones	20
4.4 Résines siloxanes.....	21
5. Revêtement en silicone des isolateurs	22
6. Avantages pour les applications moyenne et haute tension de la silicone	22
6.1 Sécurité accrue	22
6.2 Utilisation en extérieur	22
6.3 Haute protection anti-incendie	22
6.4 Large plage de température	22
6.5 Plus grande longévité	22
6.6 Meilleur rendement	22
7. Isolateur	23
8. Isolateur composite	23
10. Structure des isolateurs composites.....	24

10.1 Noyau	24
10.2 Revêtement extérieur et jupes	24
10.3 Interface.....	25
10.4 Pièces d'accrochage	25
11. Principaux types d'isolateurs composites	25
12. Conditions d'utilisation.....	26
13. Avantages et inconvénients des isolateurs polymères en silicone	26
13.1 Avantages des isolateurs composites	27
13.2 Inconvénients des isolateurs composites	28
14. Hydrophobicité des isolateurs composites	28
15. Energie de surface et angle de contact des gouttes d'eau.....	29
16. Mécanisme du contournement des isolateurs hydrophobes	32
17. Manifestation du vieillissement des isolateurs composites.....	33
Conclusion.....	36
Chapitre 3 : la pollution	37
Introduction	38
1. Origine de la pollution.....	38
2. Salinité.....	38
3. Couche de pollution	38
4. Degré de pollution.....	39
5. Sources de pollution	39
5.1 Pollution naturelle	39
5.1.1 Pollution marine	39
5.1.2 Pollution désertique	39
5.2 Pollution industrielle	39
5.3 Pollution mixte	40
6. Les méthodes de mesures de la sévérité de pollution.....	40
6.1 Méthode de la densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)	40
6.2 Conductance superficielle	40
6.3 Méthode de courant de fuite.....	40
6.4 Mesure de pollution d'air	41
6.5 Mesure optique.....	41
7. Influences des facteurs climatiques sur les isolants pollués.....	41

8. Impact de la pollution.....	42
9. Classification des sites pollués	42
10. Conséquences de la pollution sur l'isolateur	43
10.1 Arc non localisé.....	43
10.2 Arc fixe.....	43
10.3 Court-circuit	43
11. Contournement des isolateurs pollués	44
12. Techniques de lutte contre la pollution	45
12.1 Allongement de la ligne de fuite	45
12.2 Changement de forme des isolateurs (isolateurs plats)	46
12.3 Graissage périodique des isolateurs	46
12.4 Revêtement silicones	46
12.5 Isolateurs composites	46
12.6 Nettoyage des isolateurs.....	47
Conclusion.....	47
Chapitre 4 : TRAVAUX ANTERIEURS CONCERNENT LES EFFETS DES UV SUR LA SILICONE.....	48
Introduction	49
1. L'ultraviolet.....	49
2. Études antérieurs effectuée concernant les effets des UV sur la silicone	50
2.1 Études en service et en laboratoire	50
2.2 Études en conditions sèches	51
3. Techniques de caractérisation des effet UV sur la silicone.....	52
3.1 Hydrophobie.....	52
3.2 Microscopie électronique à balayage	52
3.3 Etudes de rugosité de surface	52
3.4 Spectroscopie FTIR.....	52
3.5 Courant de fuite	53
3.6 Mesure de la réponse diélectrique	53
3.7 Dureté et poids	53
4. Résultats des différentes études précédemment opérer	53
4.1 Observations visuelles et mesures d'hydrophobicité.....	53
4.2 Résultats du microscope électronique à balayage	55
4.3 Résultats de rugosité de surface	57

4.4 Résultats de l'étude des courants de fuite	57
4.5 Résultats de la mesure de Dureté et poids	58
Conclusion.....	59
Chapitre 5 : PARTIE EXPÉRIMENTALE	60
Introduction	61
1. Objectif des essais	61
2. Modèle expérimental et techniques de mesure.....	61
2.1 Matériaux et préparation des échantillons.....	61
2.1.1 La silicone	61
2.1.2 Dispositif expérimental de vieillissement à ultraviolet	62
2.1.3 Préparation de la solution polluante	64
2.1.4 Simulation de la pollution saline.....	65
2.2 Dispositif expérimental	66
2.2.1 Techniques de Mesure de la tension de claquage.....	68
2.2.2 Techniques de Mesure du courant de fuite.....	71
2.2.3 Techniques de Mesure d'hydrophobie	71
3. Résultats et discussions	73
3.1 Observation visuelle.....	73
3.2 Hydrophobie et angle de contact.....	75
3.3 Tension de claquage	80
3.4 Courant de fuite.....	85
Conclusion.....	90
Conclusion générale	91
Références bibliographiques	92

LISTE DES FIGURE

Fig.1 : Photo représente un isolateur en céramique	6
Fig.2 : Isolateur en verre.....	7
Fig.3 : Isolateurs en matériaux synthétiques	7
Fig.4: Photo isolateur support	8
Fig.5 : Photo isolatrice de traversée	9
Fig.6: Formule chimique et modèle moléculaire vectorielle de la silicone.....	16
Fig.7: Tapi élastomères en silicones.....	20
Fig.8: Gel d'étanchéité en silicone.....	20
Fig.9: Huiles silicones	21
Fig.10 : Résines de silicone.....	21
Fig.11 : Structure d'un isolateur haute tension.....	23
Fig.12 : Structure typique d'un isolateur composite	24
Fig.13 : Isolateur de suspension composée	25
Fig.14 : Isolateur composé de poste de suspension.....	26
Fig.15 : Surface d'une ailette découpée à partir d'une chaîne d'isolateurs composites en silicone et recouverte de gouttelettes d'eau.....	28
Fig.16 : Angle de contact d'une goutte d'eau sur une surface solide.....	30
Fig.17: Comportement d'une goutte d'eau sur une surface isolante	30
Fig.18: Schéma de principe de la méthode pratique de détermination de l'angle de contact ..	31
Fig.19 : Phases de contournement sous pollution d'une surface hydrophobe.....	33
Fig.20 : Différentes formes de détérioration des isolateurs composites.....	35
Fig.21: Une lumière noire, également appelée lumière UV-A.....	50
Fig.22 : Cellule de test pour le vieillissement UV	51
Fig.23 : Observation visuelle de la décoloration des composites après vieillissement UV	54
Fig.24 : Variations de l'angle de contact en fonction de la durée de vieillissement.....	55
Fig.25 : Images SEM de composites à différents grossissements après vieillissement UV	56
Fig.26 : Rugosité de surface moyenne des composites à l'état vierge et vieilli	57
Fig.27 : Courant de fuite à la surface des composites par rapport au vieillissement aux ultraviolets.....	58
Fig.28 : Poids des échantillons en fonction du temps de vieillissement accéléré	59
Fig.29 : Les six échantillons de silicone utilisée	62
Fig.30 : Cellule de test pour le vieillissement UV des composites de silicone.....	63
Fig.31 : Cellule de test pour le vieillissement UV des composites de silicone dans les conditions de test avec seul lumière de la lampe à UV	64
Fig.32 : Conductimètre à sonde mobile	64
Fig.33 : Dispositif expérimentale pour la reproduction de la pollution saline	65

Fig.34 : Pollution obtenue après actionnement du pulvérisateur	66
Fig.35 : Schémas du dispositif expérimental du laboratoire haute tension de l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa.	67
Fig.36 : Dispositif expérimental du laboratoire haute tension de l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa.	68
Fig.37: Schéma électrique du dispositif expérimental de mesure de la tension de claquage et du courant de fuite.....	69
Fig.38 : Interface du logiciel imageJ	72
Fig.39 : La seringue utilisée pour déposer les gouttes d'eau sur la surface.....	72
Fig.40 : Observation visuelle de la décoloration des échantillons en silicone après vieillissement UV	73
Fig.41 : Différence de couleur entre l'échantillon vierge et l'échantillon qui a subi 660h de vieillissement au UV	74
Fig.42 : Apparition de taches de décoloration jaunâtre.....	75
Fig.43 : Evolution de l'angle de contact de l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement.....	76
Fig.44 : Evolution de l'angle de contact de l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement.....	77
Fig.45 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vierge	78
Fig.46 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vieillie à 660h de UV	79
Fig.47 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°2 vierge	79
Fig.48 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vieillie à 660h de UV	80
Fig.49 : Tension de claquage de l'échantillon N°1 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement.....	81
Fig.50 : Tension de claquage pour l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités.....	82
Fig.51 : Tension de claquage pour l'échantillon N°2 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement.....	83
Fig.52 : Tension de claquage pour l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités.....	84
Fig.53 : Claquage surfacique entre les électrodes en cuivre de l'échantillon N°1 avec présence de pollution conductrice	84
Fig.54 : Courant de fuite de l'échantillon N°1 en fonction de la conductivité pour chaque laps de temps de vieillissement.....	86

Fig.55 : Courant de fuite pour l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivité	87
Fig.56 : Courant de fuite de l'échantillon N°2 en fonction de la conductivité pour chaque laps de temps de vieillissement.....	88
Fig.57 : Courant de fuite pour l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités.....	89
Fig.58 : Arcs partielles engendrant un courant de fuite entre les électrodes en cuivre de l'échantillon N°1 avec présence de pollutions conductrice pour une tension appliquée de 16 kV	89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Estimation de la durée de vie d'un élastomère de silicone	16
Tableau 2: Importance des propriétés selon l'application.....	19
Tableau 3: Classification de la pollution selon le type d'environnement	42
Tableau 4 : Teneurs en particules de SiO dans quatre types de composites	54
Tableau 5 : Spécifications de la lampe UVA selon le fabricant.....	63

INTRODUCTION GENERALE

Durant leur service, les isolateurs composites en silicone sont exposés à plusieurs contraintes comme : la température, les rayonnements ultraviolets (UV) et la pollution atmosphérique...etc. Compte tenu de leur importance dans le phénomène de vieillissement, l'impact de ces contraintes sur les propriétés superficielles et internes des isolateurs, est étudié dans ce mémoire, au cours d'un cycle de vieillissement accéléré, une investigation est faite sur un prototype d'isolateur en silicone pour étudier les conséquences du vieillissement par UV sur son hydrophobicité, et ses propriétés électriques et diélectriques. Dans notre cas tension de claquage et courant de fuite.

L'utilisation des isolateurs composites présente une meilleure alternative notamment dans les zones fortement polluées grâce à leur hydrophobicité qui limite le mouillage de la surface de l'isolateur, et qui le protège ainsi contre les effets du courant de fuite. Depuis leur commercialisation, ces isolateurs ont connu plusieurs modifications dans leur structure chimiques / physiques des matériaux avec lesquels ils sont fabriqués, ce qui a permis d'améliorer leurs performances. Cependant, même ces isolateurs présentent des limites, dont la principale est leur sensibilité de vieillissement par différente façon. En fait, les isolateurs des lignes aériennes sont exposés durant leur exploitation à de différentes contraintes qui provoquent leur vieillissement comme : le soleil, la pluie, la neige, le vent, la tension de service, la pollution de l'air, les surtensions de foudres ou de manœuvres, les décharges électriques, les rayons UV etc.

Ces isolateurs présentent une très bonne hydrophobicité, cependant dû aux contraintes rencontrées pendant le service, le vieillissement se produit et l'hydrophobicité est dégradée. Ce qui provoque l'altération des propriétés électriques et diélectriques de la silicone

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude du vieillissement des isolateurs composites en silicone par l'action des rayonnements ultraviolets (UV). Pour cela, des échantillons en silicone ont été soumis à un cycle de vieillissement accéléré aux UV. Les propriétés superficielles, et internes des échantillons ont été suivies et évaluées par différentes techniques de mesure.

CHAPITRE1 : GENERALITE

Introduction

Les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Mais la qualité et la fiabilité du transport d'énergie électrique doit être assuré tout le temps, parmi ces éléments on trouve les isolateurs.

Les isolateurs sont l'un des principaux composants des lignes de haute et moyenne tension HT, MT, leur fiabilité quelles que soit la condition environnementale est primordiale, ils jouent un rôle important dans le bon fonctionnement des réseaux électrique. En outre, ils sont conçus pour que leur perforation soit impossible. Cette précaution permet aux isolateurs de continuer à assurer leur fonction de support mécanique même lorsque leur fonction d'isolation n'est plus remplie. Cela est très important dans la pratique.

1. Définitions

1.1 Isolant

On appelle isolant électrique toute matière dont la conductivité électrique est nulle, ou dans la pratique est très faible. A l'échelle atomique une matière est dite isolante si elle ne contient pas d'électrons libres qui permettent le passage du courant électrique.[1]

1.2 Isoler

L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction entre conducteurs électriques soumis à des tensions différentes.[1]

1.3 Isolation

C'est un système constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.[1]

1.4 Isolateur

L'isolateur est un composant destiné à maintenir et à isoler une ou plusieurs pièces électriquement conductrices. Ou d'un point de vue électrique, les isolateurs doivent offrir une grande résistance d'isolement afin qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter normalement.[1]

D'un point de vue mécanique, ils doivent être assez résistants pour supporter les contraintes énormes dues au poids des conducteurs

1.5 Diélectrique

Un diélectrique est défini comme un milieu dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparées par une énergie supérieure à 5eV. On le définit aussi comme un milieu dans lequel tout volume de la substance possède un moment dipolaire (polarisation permanente) ou susceptible d'en acquérir sous l'action d'un champ électrique.[1]

2. Différents types d'isolants

2.1 Isolant Gazeux

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, les gaz rares, l'hydrogène.[1]

L'air et les gaz secs sont de bons isolants, ils ont des propriétés particulières telle que :

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature de gaz
- Permittivité faible, les gaz sont auto-régénérateurs
- Phénomène d'ionisation des gaz
- Légers et inflammables.

2.2 Isolants liquides [1]

Les liquides diélectriques sont souvent utilisés en association avec des solides (transformateurs, condensateurs câbles). Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui

sont sources de décharges partielles. Les liquides sont utilisés pour[1] :

- 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 et permettre un bon refroidissement

2.3 Isolants solides

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques et résineuses[2] :

- 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 dérivés hydrocarbures (verre, produits céramiques, ...)[2] ;
- 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 ou synthétiques qui peuvent se présenter à l'état solide, thermoplastique ou plastique (caoutchouc, ...).[2]

3. caractéristiques des isolateurs [3-4]

3.1 Tension d'essai

C'est la valeur efficace de la tension appliquée à l'isolateur en permanence pendant toute la durée de l'essai.

3.2 Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes.

3.3 Courant de fuite

Le courant de fuite est un courant de faible amplitude à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Son intensité devient considérable lorsque cette couche est humidifiée. En effet, dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante provoque la formation d'une couche électrolytique.

3.4 Courant de fuite critique

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement, sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement.

3.5 Ligne de fuite spécifique (I_s) d'un isolateur

Plus courte distance ou somme des plus courtes distances suivant les contours des surfaces extérieures des parties isolantes entre les parties qui sont normalement soumises à la tension de service, généralement exprimées en mm/kV.

3.6 Facteur de forme d'un isolateur (F)

Le facteur de forme est déterminé par les dimensions de l'isolateur. Pour l'estimation graphique du facteur de forme, on trace la courbe de l'inverse de la circonférence ($\frac{1}{P}$) en fonction de la longueur de la ligne de fuite partielle.

Le facteur de forme est donné par l'aire située sous la courbe et calculé suivant la formule

$$F = \int_0^L \frac{dl}{P(l)}$$

Avec

L : Longueur partielle de l'isolateur (m)

P(l) : Périmètre de l'isolateur en fonction de la longueur de fuite partielle l (m).

4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères.[5]

4.1 Céramique

Le développement et la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes[5], on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes : isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance...



Fig.1 : Photo représente un isolateur en céramique

4.2 Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile[5]. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.



Fig.2 : Isolateur en verre

4.3 Matériaux synthétiques

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...).[5]

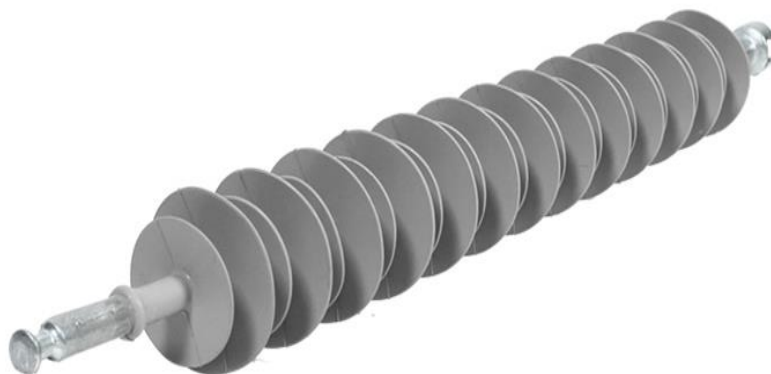


Fig.3 : Isolateurs en matériaux synthétiques

5. Différents types d'isolateurs

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes. On les rencontre sous différentes formes : isolateur support, de traversée et de ligne.

5.1 Isolateurs supports

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, en isolant des éléments conducteurs des traversés (fig.4). Ils sont utilisés par exemple comme supports de jeux de barres dans les postes de transformation.[6]



Fig.4: Photo isolateur support

5.2 Isolateurs de traversées

Les isolateurs de traversées sont des pièces isolantes établies pour permettre le passage d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus au moins conducteur (mur, paroi...) ; on les trouve aussi aux bornes des transformateurs. [6]

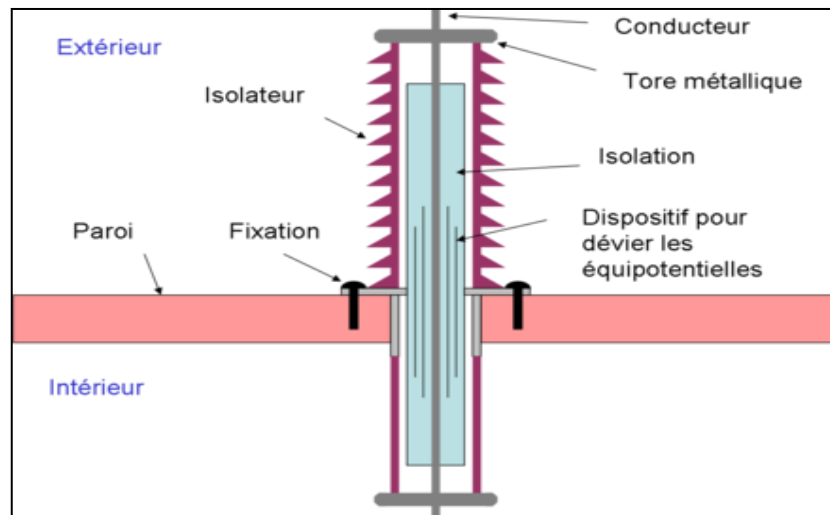


Fig.5 : Photo isolatrice de traversée

5.3 Isolateurs de lignes aériennes

Les conducteurs des lignes aériennes sont fixés aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs. Les isolateurs doivent présenter deux qualités, l'une est d'ordre électrique et l'autre est d'ordre mécanique, car ils doivent posséder une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service d'un côté et de l'autre côté ils doivent y avoir des propriétés mécaniques pour résister aux sollicitations exercées sur eux. En pratique [6], on distingue deux types d'isolateurs de lignes aériennes.

6. Propriétés diélectriques des isolants [7]

On peut subdiviser les caractéristiques électriques des matériaux isolants en deux grandes familles :

❖ La première comprend les propriétés essentielles qui sont :

- Rigidité diélectrique E ;
- Permittivité relative ϵ_r ;
- Facteur de pertes diélectriques $\text{tg}\delta$;
- Résistivité électrique ρ ;
- Décharge disruptive ou claquage U_c .

- ❖ La seconde famille réunit des caractéristiques plus directement liées à l'emploi de l'isolant dans une catégorie de matériels déterminée, donc en liaison étroite avec les diverses contraintes subies par le matériau au cours de son service (Température, fréquence, ...).[7]

Dans certains cas ces dernières caractéristiques peuvent être les éléments déterminants du choix d'un isolant destiné à une certaine fonction.

6.1 Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un matériau isolant est la valeur du champ électrique auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rende inapte à remplir ultérieurement sa fonction. De façon pratique, la rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produit une perforation dans les conditions d'essai spécifiées et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension.[7]

Suivant les positions relatives des conducteurs et de la surface des matériaux on distingue :

- La rigidité diélectrique transversale, pour laquelle le champ électrique appliqué est perpendiculaire aux surfaces principales du matériau ;
- La rigidité diélectrique longitudinale, obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant.[7]

6.2 Permittivité

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre E_p à l'intérieur de la substance, s'opposant au champ électrique (E_e) extérieur appliqué. Cette caractéristique des isolants solides et liquides porte le nom de la permittivité relative ϵ_r . [7]

La permittivité relative d'un diélectrique parfait est le quotient de la capacité C_x entre deux électrodes supposées noyées dans ce diélectrique, par la capacité C_0 de la configuration d'électrodes dans le vide :

$$\epsilon_r = C_x / C_0 \quad (\mathbf{L.1})$$

La permittivité absolue ϵ_a est le produit de la permittivité relative par la constante électrique du vide.

$$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (\mathbf{I.2})$$

$$\epsilon_0 = 10^{-9} / 36 \pi = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

Dans le cas des diélectriques non parfaits, on définit de façon analogue une permittivité complexe relative qui tient compte de la dissipation d'énergie dans le diélectrique. Elle s'écrit :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (\mathbf{I.3})$$

Où ϵ_r' est la partie réelle de la permittivité complexe, jouant le même rôle que ϵ_r dans le cas des diélectriques parfaits.

$$\epsilon_a^* = \epsilon_r^* \cdot \epsilon_0 \quad (\mathbf{I.4})$$

6.3 Angle de pertes et facteur de dissipation

Tout isolant soumis à un champ électrique alternatif est traversé par des courants de conduction et d'absorption qui donnent lieu à des pertes diélectriques.[7]

Le courant total traversant l'ensemble du circuit est déphasé en avance sur la tension d'un angle $\varphi < \pi/2$. Son complément δ est appelé angle de pertes. La tangente de cet angle est appelée facteur de dissipation (ou de pertes) et s'obtient de la façon suivante :

$$\text{tg}\delta = I_a / I_r = U_a / U_r = P_a / P_r \quad (\mathbf{I.5})$$

D'après la formule **I.3** on peut écrire :

$$\text{tg}\delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r' \quad (\mathbf{I.6})$$

Le produit $\epsilon_r'' = \epsilon_r' \text{Tg}\delta$ est dénommé indice de pertes, car il caractérise l'énergie dissipée dans le diélectrique.

7. contraintes subits par l'isolateur [8]

L'isolateur est loin d'être épargné des contraintes néfastes réparties en trois classes :

7.1 Contraintes mécaniques

Du fait de leur conception, les chaînes d'isolateurs sont articulées (avec un faible degré de liberté) à chaque isolateur[8], ce qui permet de les faire travailler exclusivement à la traction :

- Charge permanente appliquée à la chaîne (poids des conducteurs, des accessoires) ;
- Surcharge exceptionnelle due au vent.
- Les dimensions de chaque élément d'isolateur dépendent de la charge mécanique qui est supportée en service ; lorsque la charge augmente les dimensions augmentent aussi.[8]

7.2 Contraintes électriques

Ce type de contraintes est important, et elles se résument en :

- **Tension de service** : C'est la tension normale que supporte l'isolateur ;
- **Décharge disruptive** : phénomène associé à une défaillance de l'isolateur sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de tension et passage d'un courant entraînant une perte permanente de la rigidité diélectrique ;
- **Tension de contournement (à sec et sous pluies)** : C'est la plus faible tension produisant un amorçage entre conducteurs et la masse ;
- **Surtensions accidentelles** : Elles sont de brève durée pouvant être à l'origine d'un orage ou d'un régime transitoire.

7.3 Contraintes climatiques et environnemental

Les isolateurs sont spécialement influencés par la contamination de l'environnement au niveau des ouvrages (lignes et postes) installés aux bordures de mer, par exemple : les embruns portés par les vents déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel, qui a plus au moins longue échéance, ensuite recouvre toute la surface de l'isolant y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel humidifiée par les embruns ou même par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice.[8] Ce qui donne naissance à un courant de fuite qui s'établit à travers la couche superficielle, ou dans certaines conditions des arcs peuvent se développer et provoquer le contournement total de l'isolateur.

8. Choix d'isolateur

Les isolateurs les mieux adaptés sont ceux qui retiennent le taux de dépôt polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto nettoyage. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin, ou un événement météorologique exceptionnel peuvent changer la sévérité de pollution d'un site, ce qui peut provoquer des incidents qui influent directement sur l'isolation, pour cela il faut prévoir une protection pour les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution[5] ; et le choix des isolateurs se fait en fonction :

- De la tension de service de la ligne.
- Des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis.
- Du prix de revient (rigide ou suspendue).
- Du degré de sévérité de la pollution du site d'utilisation.

Conclusion

Dans le matériel électrique destiné à fonctionner sous HT, MT, l'isolation des conducteurs, prend une grande importance d'où les matières isolantes pour chaque type d'isolateurs sont choisies en tenant compte de leurs propriétés physiques et des différentes contraintes supportées.

Les isolateurs en porcelaine ou en verre assurent les deux fonctions mécaniques et électriques, pratiquement ces isolateurs sont le siège des phénomènes de pollution qui les contamine en diminuant leurs caractéristiques. De ce point de vue, le choix des isolateurs se fait donc essentiellement à partir de la tension de service de la ligne ; en fonction des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis (poids des conducteurs, action du vent, tension mécanique des conducteurs éventuellement) ; et enfin en fonction du niveau de pollution (profil de l'isolateur, ligne de fuite et pas).

**CHAPITRE 2 : LA SILICONE ET LES
ISOLATEURS COMPOSITE EN
SILICONE**

Introduction

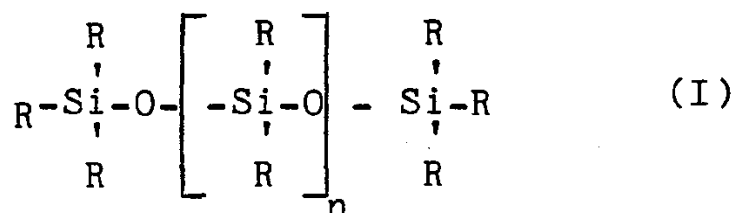
Les isolateurs sont parmi les composantes les plus importantes des réseaux aériens de transport de l'énergie électrique puisqu'ils assurent à la fois le support mécanique des parties portées à la haute tension et l'isolation électrique de ces dernières avec les parties mises à la terre ou énergisées. À travers les années, les premiers conçus sont en verre et en céramique, durant ces dernières années les isolateurs composites ont acquis une grande importance dans le domaine des réseaux de transport d'énergie électrique haute tension.

Les isolateurs polymères des lignes électriques aériennes ont été largement utilisés durant les dernières années en raison de leur très forte résistance à la contamination, leur résistance mécanique et leur très bonne hydrophobicité procurée par la silicone.

En raison de leur structure chimique, les silicones sont parfaitement adaptées aux applications Moyenne et haute tension et présentent de nombreuses propriétés électriques, physiques, Mécaniques et chimiques particulièrement intéressantes.

1. Structure moléculaire de la silicone

Chaque molécule de silicone est constituée d'une chaîne d'atomes de silicium et d'oxygène (Fig. I) Caractérisée en ce que l'agent actif hydrophobe de type organopolysiloxane est choisi parmi les composés de formule (I).



Où n est un nombre entier de 0 à 150 ; et les symboles R, identiques ou différents, représentent chacun un groupe alkyle ou alcoxy de 1 à 10 atomes de carbone cycloalkyle de 3 à 10 atomes de carbone, un groupe phényle le plus couramment, un groupe réactif, un halogène ou un hydrogène.

Les silicones sont par conséquent beaucoup plus résistantes vis-à-vis de la chaleur, de l'oxydation et des rayons ultraviolets que leurs homologues organiques. La nature du groupement R joue un rôle dans les propriétés chimiques des silicones : caractère plus ou moins hydrophobe, propriétés rhéologiques, caractère lubrifiant, antiadhérent. De plus, elles présentent un caractère hydrophile (dû à la liaison Si R O, très polaire), et hydrophobe à la fois. Cette propriété est utilisée par exemple pour l'imperméabilisation : la partie hydrophile se

lie préférentiellement au substrat (tissus, moquette, papier ou pierres) et présente vers l'extérieur ses groupements organiques hydrophobes [10].

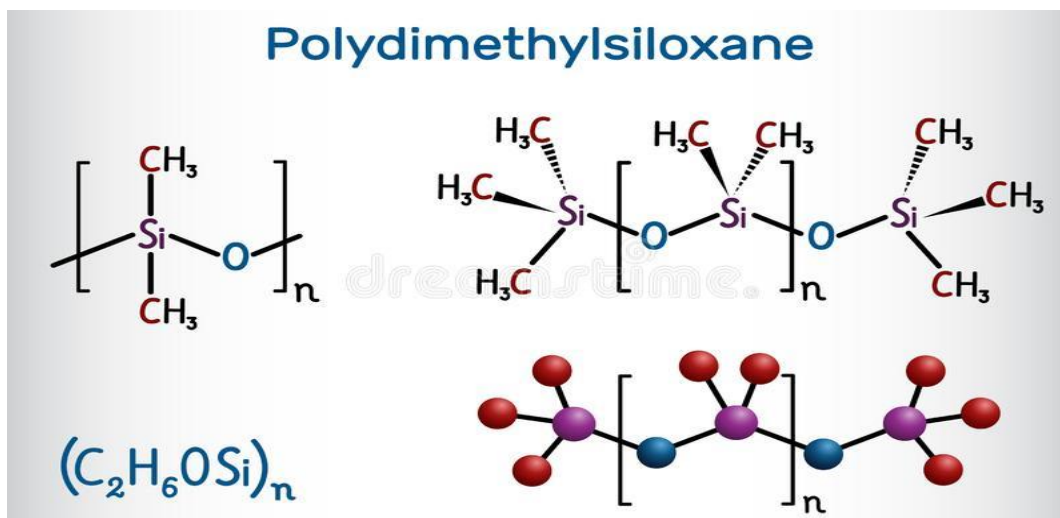


Fig.6: Formule chimique et modèle moléculaire vectorielle de la silicone

2. Les propriétés de la silicone

En raison de leur structure chimique, les silicones sont parfaitement adaptés aux applications moyenne et haute tension et présentent de nombreuses propriétés électriques, physiques, mécaniques et chimiques particulièrement intéressantes [11], [12]. Et possèdent une stabilité remarquable aux intempéries et au vieillissement. À titre d'exemple on peut citer l'estimation qui figure dans le tableau 1.

Tableau 1: Estimation de la durée de vie d'un élastomère de silicone

Température (°C)	Durée de vie (années)
90	40
150	5-10
200	2-5
250	0,25
315	0,04

2.1 Hydrophobicité

Par rapport aux autres matériaux, les silicones se distinguent par un très haut pouvoir imperméabilisant à long terme, qui constitue une propriété essentielle des isolateurs composites à enveloppe élastomère silicone. L'eau ne pénètre pas dans les pièces d'isolation

en élastomères silicones, mais perle à la surface, même au bout de nombreuses années. Ils minimisent les courants de cheminement et évitent les décharges dues au contournement électrique, même si la surface est fortement polluée, car ils transmettent leurs propriétés hydrophobes à la couche de dépôts par transfert d'hydrophobie. Ces propriétés particulières d'élastomères silicone spécialement conçus garantissent l'hydrophobicité de l'isolateur en service.[11]

Cette caractéristique sera traitée un peu plus en détail plus tard dans ce chapitre.

2.2 Nettoyage

Un nettoyage des isolateurs n'est par conséquent que rarement nécessaire. Un nettoyage peut cependant être nécessaire en cas de salissures importantes, par exemple lors d'un encrassement axial par de grands oiseaux ou de la prolifération de moisissures. Les moisissures se développent généralement lors d'un stockage inadéquat dans un espace non ventilé, ce qui produit le dépôt de condensation sur les isolateurs. Un solvant volatil tel que l'acétone, le toluol, le trichloréthylène ou l'isopropanol peut alors être employé pour nettoyer les isolateurs. Le solvant doit être appliqué sur un chiffon non pelucheux servant à nettoyer la surface de l'isolateur (ne pas verser le solvant directement sur l'isolateur).[11]

2.3 Tenue aux UV et aux intempéries

Par comparaison aux autres matériaux, les élastomères silicones sont très résistants au rayonnement ultraviolet. La stabilité de la chaîne Si-O confère aux silicones une haute résistance au spectre ultraviolet de la lumière solaire. Même les climats agressifs des régions côtières ou désertiques n'entament pratiquement pas leurs propriétés : l'élastomère silicone POWERSIL 310 ne présente par exemple qu'une légère altération de ses propriétés mécaniques après un test accéléré d'exposition aux intempéries de 3000 heures.[12]

Cette caractéristique sera traitée plus en détail dans les chapitres 4 et 5.

2.4 Tenue au feu

Le point d'inflammation des silicones se situe au-delà de 340 °C, d'où leur haute sécurité de fonctionnement. Et en cas d'inflammation, ils ne dégagent pas de gaz toxiques. C'est pourquoi on les utilise principalement dans les applications exigeant une haute protection anti-incendie, comme par exemple. Dans le métro ou dans les tours d'immeubles.[12]

2.5 Elasticité

Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchouteuse, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous

l'action de contrainte mécaniques. Ils peuvent atteindre de très grands allongements (jusqu'à 500%) tout en étant capables de retrouver leur géométrie initiale en restituant au milieu l'énergie qui leur a été fournie lors de la déformation [13].

La très haute élasticité des silicones facilite le montage et permet l'utilisation de nouvelles techniques de montage, comme par exemple, la rétraction à froid pour les accessoires décâbles. Par ailleurs, les silicones conservent leur élasticité jusqu'à -45 °C et conviennent de ce fait aux applications en haute altitude ou dans les régions polaires.

2.6 Propriétés diélectriques

Les silicones présentent une haute résistance électrique et un faible facteur de perte diélectrique, une très haute résistance électrique ainsi qu'une haute rigidité diélectrique sur une longue durée. Par rapport aux autres isolants, leur vieillissement électrique est très faible.[13]

2.7 Thermo stabilité

Les silicones sont très résistantes aux contraintes thermiques en raison de leur structure chimique. Les huiles silicones sont thermostables à long terme, jusqu'à 180 °C, même en présence d'oxygène atmosphérique, et supportent des températures encore plus élevées sur une courte durée, pas de variation importante des propriétés physiques entre -40 °C et 250°C, grande inertie chimique (oxydation et hydrolyse). Ils sont stables jusqu'à 150°C en présence d'oxygène.[12]

3. Propriétés fondamentales pour les applications électriques

Au cours des 40 dernières années, les silicones ont conquis de nombreux secteurs de la transmission et de la distribution, chaque nouvelle application exigeant une autre propriété clé, en plus des avantages déjà connus. Initialement, l'effet hydrophobe des silicones était la propriété numéro un pour la protection des isolateurs, puis plus tard, la tenue aux UV des élastomères silicones primait. Mais les propriétés fondamentales pour les diverses applications sont restées pratiquement les mêmes jusqu'à aujourd'hui. Seule exception : les huiles pour transformateurs, dont la tenue au feu était au départ le principal objectif alors qu'aujourd'hui la stabilité thermique est au centre de la recherche.

Tableau 2: Importance des propriétés selon l'application

	Hydrophobicité	Tenue aux UV	Elastomères silicones de basse viscosité	Tenue au feu	Elasticité à long terme	Propriétés diélectriques	Stabilités thermique
Huiles silicones pour transformateurs modernes				■		■	■
Manchons de câbles					■	■	
Extrémités de câbles	■	■	■	■	■		
Parafoudres	■	■		■			
Isolateurs creux Composites	■	■	■	■			
Isolateurs Composites	■	■		■			
Revêtement silicone des isolateurs	■						

■ = Autre propriété importante pour cette application

■ = Propriété fondamentale

4. Groupes de silicones

Les polymères siloxanes peuvent être produits sous différentes formes : fluides, gommés, gels, élastomères et résines.

4.1 Elastomères silicones

Les élastomères silicones et les silicones de revêtement forment le plus grand groupe de produits silicones et sont optimisés en permanence en raison de la grande variété d'applications. Ils sont fabriqués à partir de polymères silicones. Les caoutchoucs sont subdivisés en plusieurs catégories selon leur viscosité et leur mode de réticulation. Tandis qu'autrefois les pièces isolantes étaient souvent réalisées par moulage de caoutchouc silicone RTV-2, aujourd'hui, les procédés se diversifient.



Fig.7: Tapi élastomères en silicones

4.2 Gels silicones

Les gels silicones sont un groupe particulier d'isolants et peuvent remplacer les huiles ou les élastomères, suivant le type d'application. Par rapport aux huiles, ils réduisent le risque de fuites. Et comparés aux élastomères, ils remplissent parfaitement les cavités de géométrie complexe et adhèrent solidement aux parois intérieures des pièces. Les gels silicones sont la plupart du temps des produits bi-composants de basse viscosité.

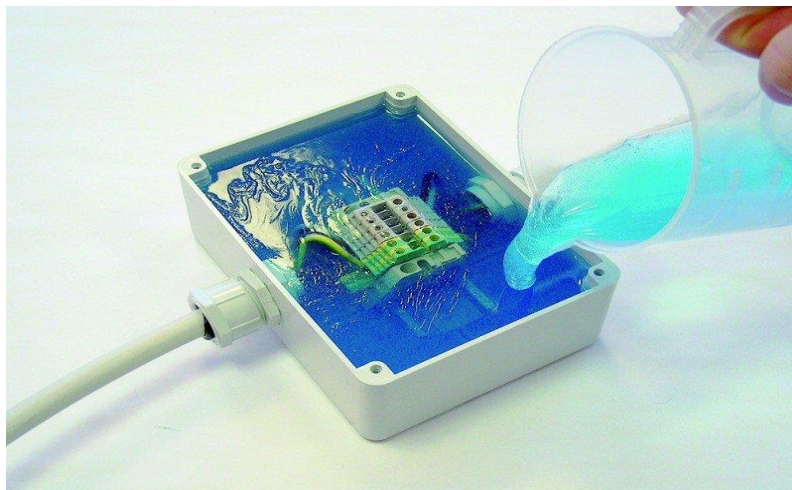


Fig.8: Gel d'étanchéité en silicone

4.3 Huiles silicones

Les huiles silicones ont fait leurs preuves dans le refroidissement et l'isolation de transformateurs modernes et du fait de leur excellente stabilité thermique, de nouvelles applications exigeant des propriétés similaires ne sauraient tarder. Elles sont également

beaucoup utilisées dans les accessoires de câbles haute tension. Les huiles silicones sont des polymères linéaires pouvant présenter une longueur de chaîne de deux à 1 000 atomes Si, voire beaucoup plus, en alternance avec des ponts oxygène.



Fig.9: Huiles silicones

4.4 Résines siloxanes

Les résines siloxanes se distinguent par leur haute stabilité thermique, une propriété que l'on exploite dans l'isolation des grosses installations électriques. Leur excellente résistance à la chaleur devrait conduire tôt ou tard à de nouvelles applications.



Fig.10 : Résines de silicone

5. Revêtement en silicone des isolateurs

La pollution des isolateurs en porcelaine, en verre ou en résine époxy peut provoquer des décharges que l'on évite en procédant à un nettoyage régulier. L'application d'un revêtement hydrophobe en silicone sur les isolateurs est une solution plus économique et assure une protection à long terme.

Un revêtement silicone améliore les propriétés électriques des isolateurs en résine époxy, des équipements de test en plein air et des antennes. Dans les derniers temps, certains fabricants d'isolateurs en porcelaine et en verre proposent un revêtement en silicone départ usine afin de conférer un pouvoir hydrophobe à leurs produits.

6. Avantages pour les applications moyenne et haute tension de la silicone[15]

6.1 Sécurité accrue

Minimisation du risque de décharge électrique due à la couche de pollution, d'où une plus grande sécurité par rapport aux isolants conventionnels.

6.2 Utilisation en extérieur

Parfaite convenance applications en plein air.

6.3 Haute protection anti-incendie

Utilisation dans les lieux exigeant une haute protection anti-incendie, comme les tours d'immeubles, les locomotives, les navires, les hôpitaux et le métro.

6.4 Large plage de température

Montage des éléments isolants à basse température. Pas de perte d'élasticité sous exposition permanente aux très hautes ou très basses températures.

6.5 Plus grande longévité

Ralentissement significatif du vieillissement électrique, d'où une nette augmentation de la durée de vie par rapport aux autres isolants, sous contraintes identiques.

6.6 Meilleur rendement

Température de fonctionnement plus élevée que celle des autres isolants, autorisant une meilleure exploitation des transformateurs.

7. Isolateur

Un isolateur (Fig.11) possède double rôle, porte le conducteur et assure une liaison isolante entre les câbles aériens sous tension et leur support (pylône). Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Par conséquent, Ils doivent posséder des caractéristiques mécaniques et électriques définies. La plupart des isolateurs en service utilisent de la porcelaine ou du verre comme principal matériau isolant.

Cependant, la tendance est à leur remplacement par des isolateurs composites, à matrice polymère silicone renforcée par des charges de silice (SiO_2) et qui présentent les avantages suivants :

- Une faible masse et un encombrement réduit permettant une mise en place facilitée.
- Des performances équivalentes et une meilleure tenue à la pollution [18 et 19].

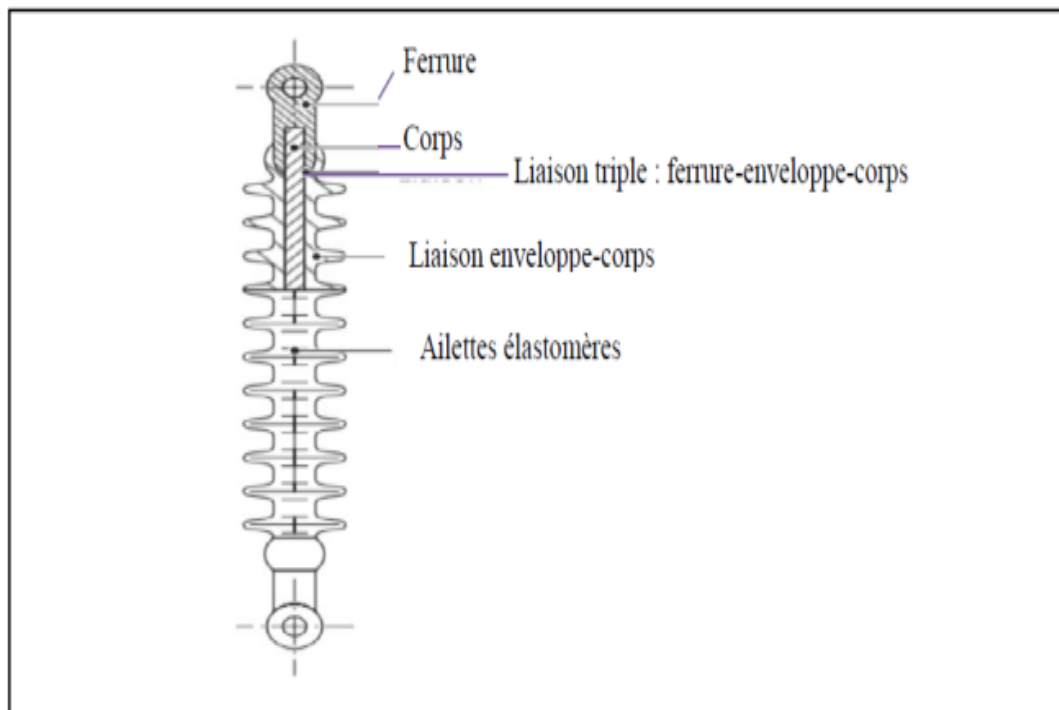


Fig.11 : Structure d'un isolateur haute tension

8. Isolateur composite

On appelle isolateurs composites tout isolateur fabriqué à base de matériaux polymères composites qui est un assemblage de deux ou plusieurs matériaux dotés de propriétés physiques, mécaniques ou électriques différentes. L'assemblage final ayant des propriétés

supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. [24]. Ils sont aussi communément appelés sous d'autres noms, tels qu'isolateurs polymères, isolateurs synthétiques, isolateurs organiques et isolateurs non céramiques (en Amérique du nord notamment).

10. Structure des isolateurs composites

Un isolateur composite est constitué de deux parties isolantes, à savoir un noyau et son revêtement extérieur, et des pièces d'accrochage.

10.1 Noyau

Le noyau est la partie isolante interne qui assure la résistance mécanique de l'isolateur. Il est constitué de fibres de verre imprégnées de résine, ce qui confère à l'isolateur une bonne tenue mécanique, les fibres sont disposées dans le sens de la traction imposée par le poids du câble suspendu. Le pouvoir isolant du noyau dépend essentiellement du type de fibres et de la résine utilisée, et de la technologie d'ensimage des fibres. [27]

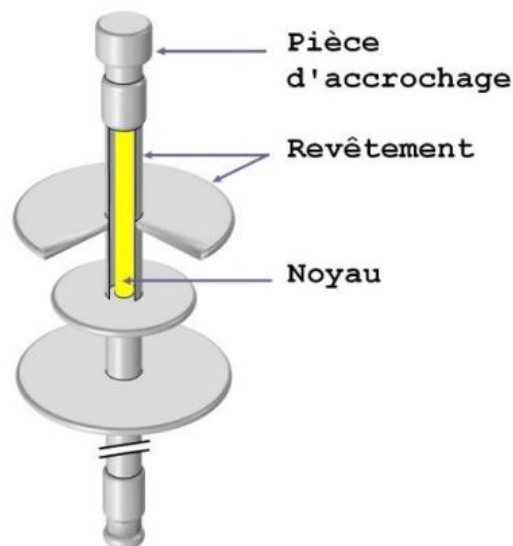


Fig.12 : Structure typique d'un isolateur composite

10.2 Revêtement extérieur et jupes

Ces éléments, électriquement isolants, assurent la ligne de fuite nécessaire et protègent le noyau des intempéries. Il convient de noter que les caoutchoucs synthétiques en silicone ou en EPDM ou même le PTFE sont parmi les revêtements ayant un comportement satisfaisant.

Certains types d'isolateurs composites comportent une gaine faite d'un matériau isolant, entre le noyau et les jupes. Cette gaine fait partie du revêtement. [27]

10.3 Interface

Une interface est la surface de contact entre les matériaux différents. Dans le cas des isolateurs composites, il existe plusieurs interfaces [28] :

- Entre fibres de verre et résine d'imprégnation.
- Entre charge et matrice du polymère.
- Entre noyau et revêtement.
- Entre les diverses parties du revêtement : entre jupes, ou entre gaines et jupes.
- Entre revêtement, noyau et pièces d'extrémité.

10.4 Pièces d'accrochage

En générale métalliques, elles sont fixées au noyau pour transmettre les charges mécaniques [27].

11. Principaux types d'isolateurs composites

On peut distinguer deux types principaux d'isolateurs composites couramment utilisés dans l'industrie de l'énergie :

1. Isolateur de suspension est illustré dans la (Fig.13), il est utilisé dans les lignes de transmission et de distribution haute tension et pour systèmes BT, MT et HT.
2. Isolateur composé de poste de suspension est illustré à la (Fig.14), il est utilisé sur les sous-stations et les centrales électriques.



Fig.13 : Isolateur de suspension composée



Fig.14 : Isolateur composé de poste de suspension

Chaque isolateur composite a des caractéristiques parmi lesquelles :

- Tension assignée.
- Tension assignée de tenue au choc de foudre et à fréquence industrielle sous pluie.
- Charge mécanique spécifiée.
- Longueur minimale nominale de la ligne de fuite.
- Pas entre les ailettes.
- Hydrophobie des matériaux.

12. Conditions d'utilisation

Les isolateurs doivent être prévus pour être installés à l'extérieur, supporter des températures comprises entre -5°C et $+55^{\circ}\text{C}$ et être insensible aux effets de la condensation, de la pluie, des changements rapides de température et du rayonnement solaire.

13. Avantages et inconvénients des isolateurs polymères en silicone

Les avantages et les inconvénients des isolateurs polymères à haute tension sont importants pour comprendre les applications et les développements des isolateurs électriques et aussi les isolateurs polymères de lignes de transmission offrent des avantages importants par rapport aux isolateurs en porcelaine et en verre spéciaux dans les lignes de transmission ultra haute tension.[25]

Grâce aux nombreux avantages des isolateurs composites par rapport aux isolateurs classiques, l'application des premiers est en augmentation dans le monde entier. [25]

13.1 Avantages des isolateurs composites

Les raisons de l'utilisation massive des isolateurs composites varient considérablement entre les fournisseurs d'énergie électrique, mais les plus courantes peuvent se résumer comme suit [25]:

- Poids réduit (jusqu'à 80% par rapport aux types traditionnels). Cela se traduit par une conception plus économique (plus légère) des pylônes et évite également la nécessité d'utiliser des grues lourdes pour leur installation, économisant ainsi le coût.
- L'énergie de surface faible de l'isolateur polymère peut être continuellement hydrofuges (hydrophobe) même en présence de conditions humides telles que le brouillard, la rosée et la pluie. Par conséquent, ils ne sont pas soumis à des courants de fuite élevée qui permettent une réduction de 30% de la distance de fuite équivalente de la porcelaine et du verre. Cette réduction des exigences de distance de fuite peut influencer la hauteur de conception des structures de transmission et également la mise à niveau de la tension des systèmes existants sans changer les dimensions du pylône
- La capacité de tension de tenue de l'isolateur polymère est comparable ou meilleure que celle des isolateurs en porcelaine et en verre. Avec une distance d'arc à sec inférieure de 30% par rapport aux conceptions de porcelaine standard à 230 kV, l'isolateur composite a démontré un amorçage à des niveaux de tension supérieurs de 30% à ceux de la porcelaine au pire niveau de contamination.
- Les isolateurs en polymère sont moins susceptibles d'être sérieusement endommagés par le vandalisme, tels que les coups de feu qui provoquent la rupture des isolateurs céramiques.
- L'utilisation d'isolateurs composites réduit les coûts d'entretien, comme le lavage de l'isolateur qui est souvent requis pour les isolateurs en céramique et en verre dans les environnements fortement contaminés, moins coûteux par rapport à une chaîne équivalente en verre trempé 36 à 44 %, moins coûteux pendant le transport et moins coûteux pendant l'installation avec un gain de 37%.
- Profil des ailettes de forme aérodynamique et présentant une ligne de fuite suffisante : 31 à 68 % supérieure par rapport à une chaîne équivalente en verre trempé.
- Pente calculée de manière à éviter l'accumulation de la pollution par une faible prise de vent.
- Facilité de manutention.
- Rapidité d'installation.
- Moins vulnérable aux effets de la corrosion.

13.2 Inconvénients des isolateurs composites[25]

Les principaux inconvénients des isolateurs polymères composites sont :

- Les isolateurs polymères de nature organique sont plus sensibles aux changements chimiques conduisant à l'érosion et au suivi des matériaux.
- Un autre phénomène qui affecte la performance de l'isolateur polymère est la couronne qui est causée par des champs électriques élevés sur la surface de l'isolateur.
- Fiabilité à long terme est inconnue, aussi l'espérance et la vie des isolateurs de polymère est difficile à estimer (20 ans dans un milieu très fortement pollués).
- Difficulté de localiser les défauts
- Les oiseaux picorant le caoutchouc et le rendant inutile sont un gros inconvénient des isolateurs polymères.
- Remplacement de toute la chaîne d'isolateurs en cas d'anomalie.
- Non possibilité d'intervention en sous tension.
- Isolateurs en polymère sont constitués de matériaux organiques et la modification chimiques sur la surface en raison aux intempéries crée des problèmes sur la surface.
- Isolateurs en polymère peuvent souffrir de l'érosion et se dégradent en fin de compte, ce qui peut conduire à l'échec d'isolateurs.

14. Hydrophobicité des isolateurs composites

L'hydrophobicité d'un matériau est définie comme étant sa propriété à résister à l'écoulement de l'eau sur sa surface, ou autrement dit, sa résistance à la formation d'un film continu d'eau sur sa surface. Le caractère hydrophobe de la surface d'isolateurs composites (Fig.15) est l'un des paramètres les plus critiques affectant leurs performances à long terme [28].



Fig.15 : Surface d'une ailette découpée à partir d'une chaîne d'isolateurs composites en silicone et recouverte de gouttelettes d'eau.

15. Energie de surface et angle de contact des gouttes d'eau

Une faible énergie de surface, ou une tension de surface, est une autre caractéristique clef des polysiloxanes (les silicones). Une indication de l'énergie libre de la surface peut être obtenue en mesurant l'angle de contact d'une goutte d'eau sur la surface d'un matériau solide comme le montre la (Fig.16). La mesure de cet angle permet de déduire le caractère hydrophobe (grand angle, faible énergie de surface) ou hydrophile (petit angle, grande énergie de surface) de la surface.

Les phénomènes de mouillage se produisent à des endroits où les trois états de "solide", "liquide" et "gazeux" sont en contact. La relation entre les différentes tensions superficielles et l'angle de contact a été donnée par Young en 1805 en tant qu'équation. [26]

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{ls}}{\gamma_{lv}} \text{(II)}$$

- La tension interfaciale solide-liquide : γ_{ls} .
- La tension interfaciale solide-vapeur : γ_{sv} .
- La tension interfaciale liquide-vapeur : γ_{lv} .
- Angle de contact : θ

Il est important de mentionner que l'équation de Young n'est valable que pour des surfaces idéales et lisses. Un angle de contact inférieur à 90° indique que le fluide se répandra sur une grande surface sur la surface ($\theta \leq 90^\circ$ la surface est hydrophile), alors que les angles de contact supérieurs à 90° signifient généralement que le fluide minimisera son contact avec la surface et formera une goutte liquide compacte ($\theta > 90^\circ$ la surface est hydrophobe). [26]

La figure (Fig.17). Représente un récapitulatif des différents types de régimes de mouillage en fonction de leur angle de contact qui définit le caractère hydrophile ou hydrophobe de la surface. [26]

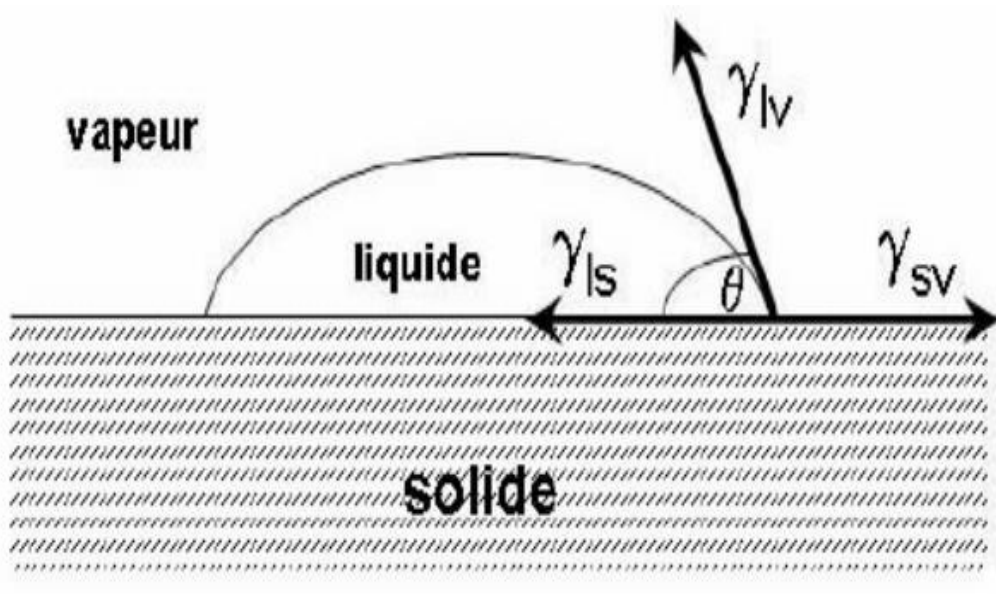


Fig.16 : Angle de contact d'une goutte d'eau sur une surface solide

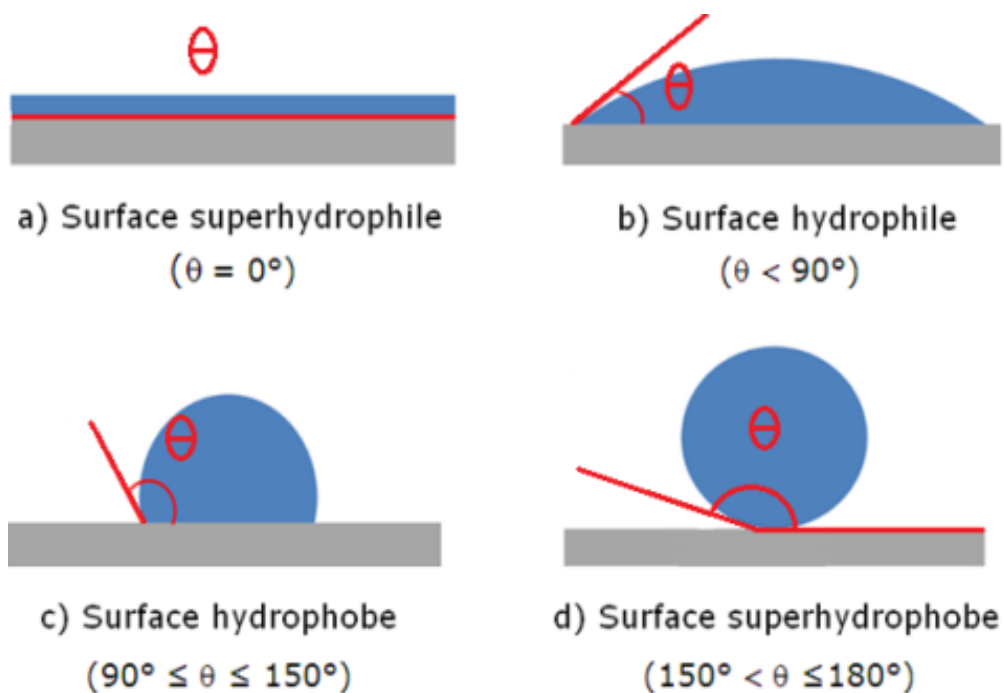


Fig.17: Comportement d'une goutte d'eau sur une surface isolante

Aujourd'hui, avec l'utilisation de caméras CCD numériques et de logiciels informatiques avancés, la mesure de l'angle de contact d'une goutte d'eau sur toute surface solide a été automatisée et l'équipement de laboratoire est maintenant disponible dans le commerce. (Fig.18).

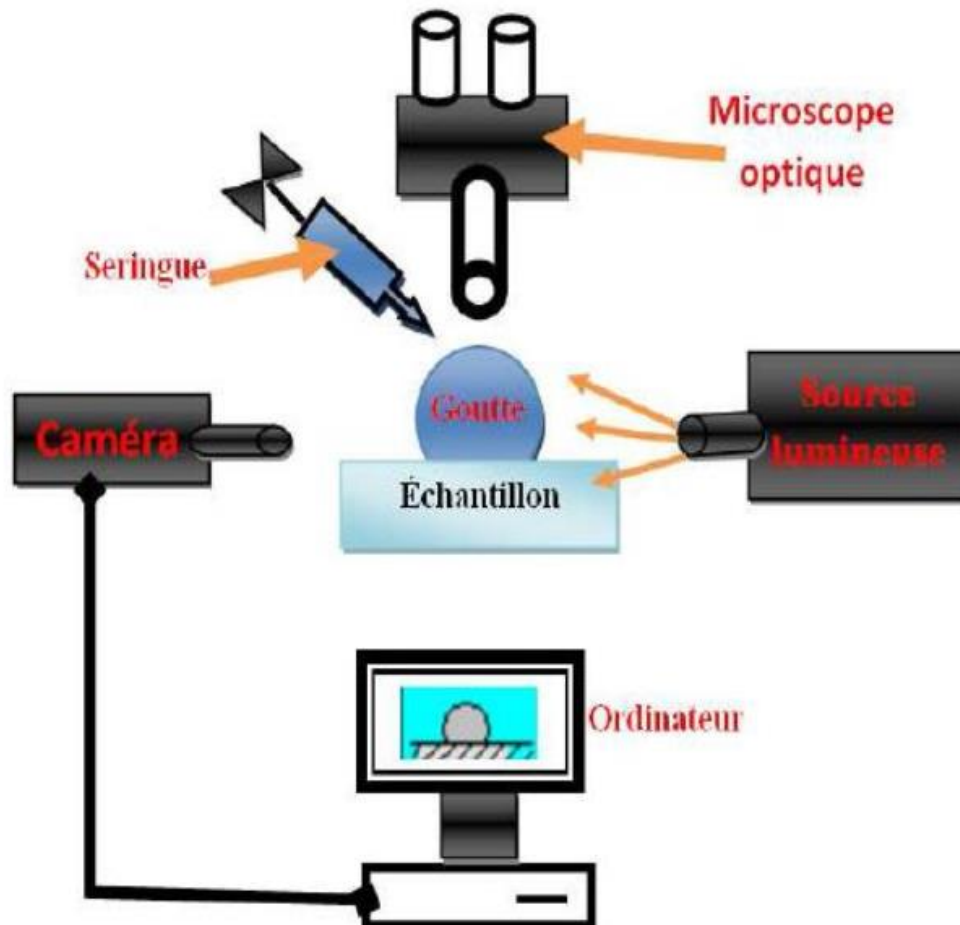


Fig.18: Schéma de principe de la méthode pratique de détermination de l'angle de contact

En pratique, une goutte de liquide, en général de l'eau ultrapure, est déposée par une seringue sur la surface de l'échantillon à analyser. La mesure de l'angle est réalisée sur une image capturée par un PC via une caméra. Le logiciel Image J permet de numériser le contour de la goutte par la méthode d'interpolation. Un système motorisé permet de faire des mesures d'angles à l'avancée et au retrait de la goutte, l'aiguille de la seringue étant alors maintenue dans la goutte. Une enceinte en plexiglas permet d'isoler le système goutte-échantillon de l'air et des contaminations extérieures.

16. Mécanisme du contournement des isolateurs hydrophobes

La **Figure 19** illustre le processus - simplifié - du contournement des isolateurs hydrophobes. [29,30]

Dans la première phase, on assiste à la formation des gouttelettes d'eau sur la surface de l'isolateur, la couche de pollution soluble se dissout dans les gouttelettes d'eau, qui deviennent alors conductrices (**Fig. 19 (a)**).

La région humide autour de chaque goutte d'eau augmente par diffusion, ce qui conduit à la formation des zones de conductivité élevée (**Fig. 19 (b)**). La diffusion se poursuit au point que les zones humides se fusionnent, et de petites valeurs de courants de fuite commencent à circuler dans plusieurs chemins différents. L'effet Joule sèche certaines zones humides et finalement un équilibre est atteint entre l'évaporation et le mouillage. La faible conductivité de la surface de l'isolateur persiste entre les zones humides.

Sous l'action du champ électrique les gouttelettes d'eau ont tendance à s'allonger sous forme de filaments, et s'aplatir sur la surface de l'isolateur (**Fig. 19 (c)**).

Le champ devient intense aux extrémités des filaments d'eau, ce qui donne naissance à des décharges partielles "*spots*" distribuées aléatoirement sur la surface de l'isolateur (**Fig. 19 (d)**).

Les décharges partielles surfaciques peuvent éroder l'hydrophobicité, conduisant à la création de zones humides irrégulières. Les gouttelettes continuent à s'aplatir sous l'action du champ, ce qui favorise le processus de mouillage. Les régions mouillées restent entourées de couches à faible conductivité qui sont encore couvertes par des gouttelettes (**Fig. 19 (e)**).

La phase finale résulte de la combinaison de la croissance des filaments d'eau et la formation des zones humides, qui peut éventuellement court-circuiter l'isolateur à travers un chemin électrolytique conducteur. Un arc peut se propager le long de ce chemin, provoquant ainsi le contournement de l'isolateur (**Fig. 19 (f)**).

Il a été montré que la tension de contournement sous pollution des isolateurs composites est plus grande que celle des isolateurs classiques (en verre et en porcelaine)]. Pour les isolateurs composites, la tension de contournement (en AC) dépend de la répartition de l'hydrophobicité le long de la chaîne. Il a été rapporté que l'arc électrique du contournement consomme une partie des LMW PDMS (low molecular weight polydimethylsiloxane) ou silicone, qui se trouvent sur la surface de l'isolateur et qui sont responsables de l'hydrophobicité du matériau. C'est probablement la raison pour laquelle l'hydrophobicité du matériau diminue quand ce dernier subit un contournement sur sa surface.

Le mécanisme de contournement des isolateurs composites lorsqu'ils sont hydrophobes, est différent à celui des isolateurs classiques qui sont hydrophiles d'origine. Cette différence est due à l'hydrophobicité du matériau. Par conséquent, lorsque les isolateurs composites perdent leur hydrophobicité suite au vieillissement par exemple leur mécanisme de contournement devient similaire à celui des isolateurs classiques.

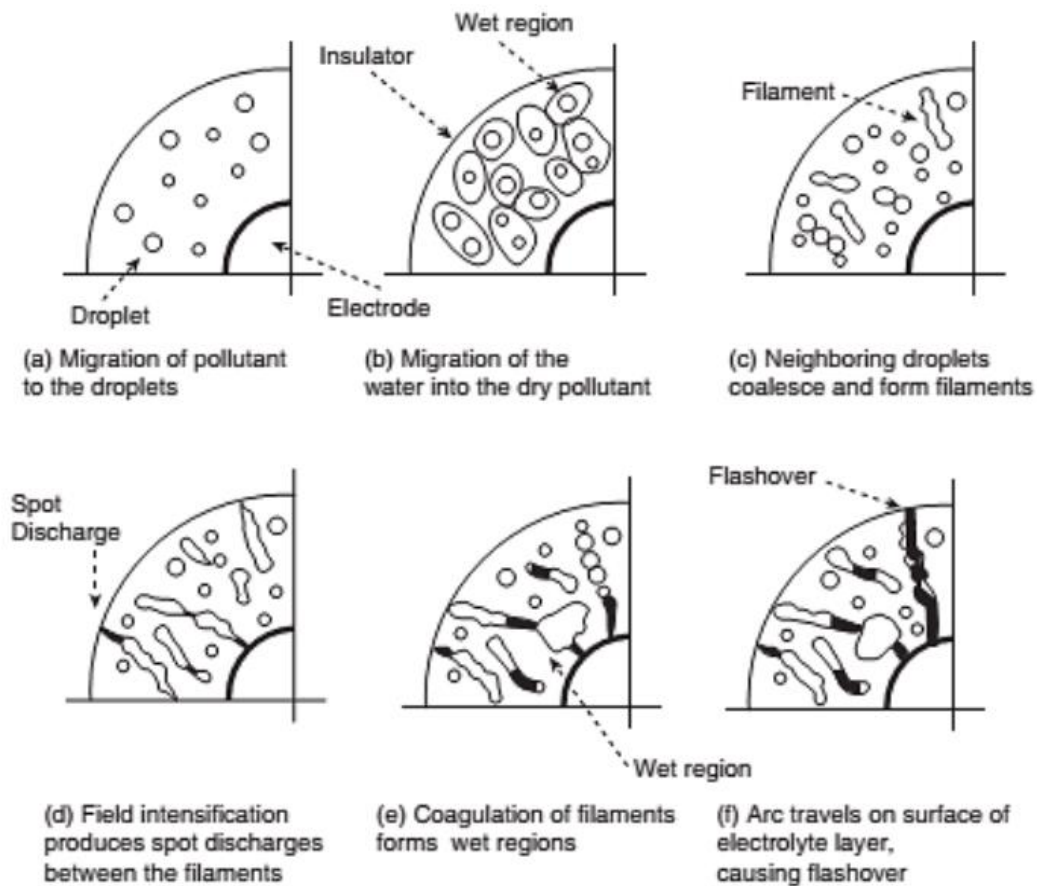


Fig.19 : Phases de contournement sous pollution d'une surface hydrophobe

17. Manifestation du vieillissement des isolateurs composites

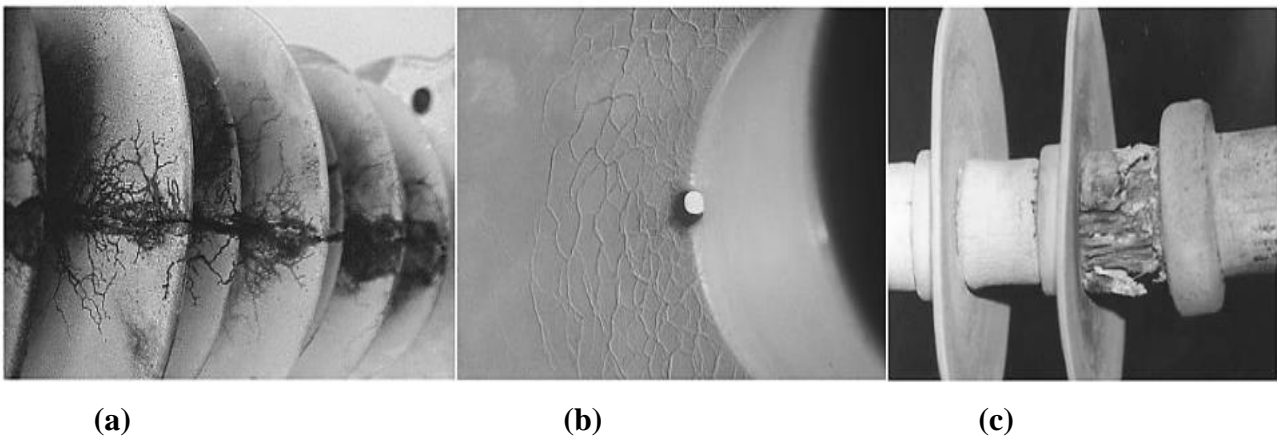
Le vieillissement électrique est défini comme tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation. Il est caractérisé par une dégradation des propriétés diélectriques du matériau, sous l'action prolongée d'une contrainte électrique (champ électrique) relativement élevée. Il est caractérisé par l'augmentation des pertes diélectriques et une diminution de la résistivité transversale du matériau. On distingue plusieurs types de vieillissement dont les principaux sont [21, 22 et 23]:

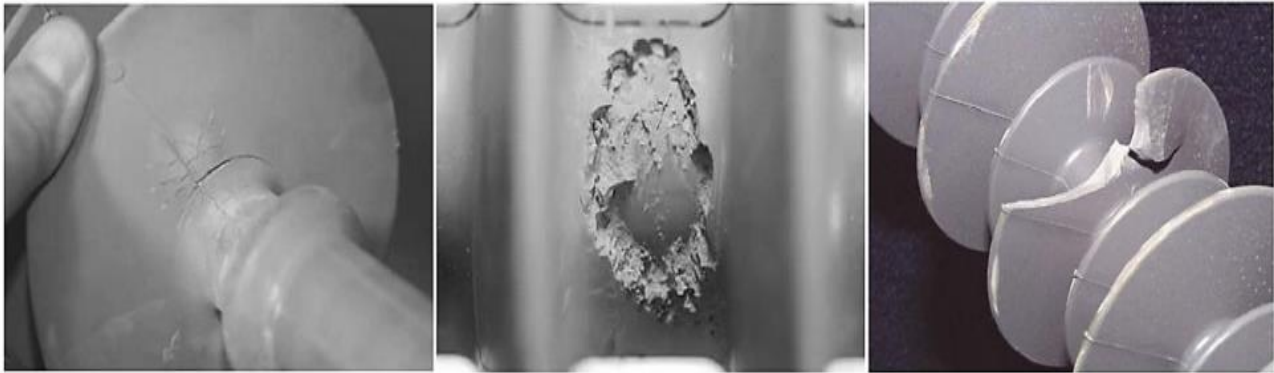
- Le vieillissement thermique provoqué par l'action de longue durée de hautes températures, sur le diélectrique.
- Le vieillissement électrochimique engendré par certains processus dont la cause est le phénomène d'électrolyse ayant lieu dans le diélectrique.
- Le vieillissement électrique (ionisation - décharges partielles) résultant des décharges à la surface et dans les cavités surtout gazeuses enfermées dans les diélectriques.

La dégradation est particulièrement accentuée par la présence d'impuretés de différentes natures, plus particulièrement des vacuoles de gaz au sein du diélectrique ou des particules à la surface du diélectrique. Ces impuretés sont en général le siège de décharges partielles qui peuvent engendrer, après un temps relativement long, l'érosion du matériau, dans ce cas, les isolations polymères utilisées dans ces conditions vont être hydrophiles et similaires à une isolation en céramique ou finalement la rupture diélectrique. [21, 22 et 23]

Généralement on accepte de façon intuitive, et l'expérience le montre souvent, que la durée de vie d'un matériau isolant dépend de l'intensité de la contrainte électrique subie par celui-ci et également de la durée d'application de cette contrainte. [21, 22 et 23]

Suite aux différentes contraintes exercées pendant le service, plusieurs phénomènes de dégradation peuvent apparaître au cours du vieillissement des isolateurs composites. La **(Fig.20)** en montre quelques exemples.





(d)

(e)

(f)

Fig.20 : Différentes formes de détérioration des isolateurs composites

(a) cheminement, (b) perforation, (c) dégradation probablement causée par la température générée par les décharges partielles, (d) craquelure de l'ailette du revêtement, (e) détérioration causée par un animal, ce genre de dommages se produit généralement pendant le stockage de l'isolateur, (f) dommage lié à une mauvaise manutention.

Cheminement : une dégradation irréversible par formation des chemins qui apparaissent et se développent à la surface de l'isolateur. Ces chemins sont conducteurs même à sec, et l'isolateur en question peut être considéré comme étant un court-circuit dans la ligne [31].

Perforation : une décharge disruptive à travers la matière isolante solide de l'isolateur et qui entraîne la perte définitive de la rigidité diélectrique. Sur la (Fig.20(b)), la ligne de fuite offerte par l'ailette qui a subi une perforation est court-circuitée [32].

Erosion : une dégradation irréversible et non conductrice qui se produit sur la surface de l'isolateur par perte de matière [33].

Craquelure : fracture superficielle de profondeur supérieure à 0,1 mm [33].

Conclusion

La structure moléculaire de la silicone fournit une haute sécurité et fiabilité de fonctionnement, de plus une grande longévité qui fait d'elle un excellent isolant pour les applications hautes et moyenne tension. Par exemple, les isolateurs en silicone recouverts d'une couche de pollution présentent une résistance aux courants de cheminement plus haut que les modèles en porcelaine, en verre ou en EPDM.

Les décharges électriques sont évitées même dans des conditions de Pollution extrêmes. Grâce à son hydrophobicité qui est considérée comme propriété clé dans la tenue diélectrique surfacique des isolateurs en silicone, notamment dans les milieux fortement pollués. Nous avons vu que cette propriété confère aux isolateurs en silicone un autre mécanisme de contournement où la présence de gouttelettes d'eau joue un rôle primordiale. Car les décharges partielles surfaciques, notamment la décharge couronne se trouvent mieux avantagées en présence de gouttelettes d'eau. En considère pour cela que la silicone est un substitué parfait du verre et de la porcelaine.

CHAPITRE 3 : LAPOLLUTION

Introduction

Les lignes aériennes et les postes de réseaux de transport d'énergie électrique sont confrontés à différents incidents dus, dans la majorité des cas, au dépôt de la pollution suite à une interaction entre le vent, le sable et les poussières diverses ; une couche de pollution se dépose sur la surface de l'isolateur. Cette couche de pollution, humidifiée suite aux condensations matinales, donne naissance à un courant de fuite circulant à travers la surface de l'isolateur. Le passage de ce courant provoque des assèchements locaux sur cette surface ; des arcs électriques prennent naissance et peuvent se développer le long de la surface isolante jusqu'au contournement de l'isolateur et la mise hors service de l'ouvrage. Par conséquent différentes méthodes sont disponibles pour mesurer la sévérité de pollution afin de remédier à ce problème.

1. Origine de la pollution

Les sources de pollution peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique. Dans le cas des lignes aériennes et des postes installés au bord de mer, les embruns portés par le vent déposent sur les isolateurs une couche de sel. Lorsque cette couche est humidifiée par un brouillard, elle devient conductrice. De plus, au voisinage des usines polluantes, par exemple les usines métallurgiques ou chimiques, les isolateurs se recouvrent de particules solides fines, faiblement conductrices microscopiques.

Dans des conditions de forte humidité, à savoir le brouillard ou la pluie, la dissolution des sels contenus dans ces particules provoque la formation d'un électrolyte. Ces deux concepts constituent les deux cas typiques de pollution où la contamination des surfaces isolantes poussée à l'extrême. Il serait pourtant erroné de penser que les régions éloignées de la mer ou des centres industriels sont exemptées de pollution. La pollution domestique produite par les appareils de chauffage des habitations, les véhicules et la pollution agricole sont aussi omniprésents dans notre environnement [8].

2. Salinité

La salinité est définie comme la concentration du sel dans l'eau. Elle correspond à la masse de sel divisée par le volume de la solution, généralement exprimée en kg/m³ [42].

3. Couche de pollution

C'est une couche conductrice électrolytique appliquée sur la surface de l'isolation. Elle est composée du sel et des matériaux inertes [42].

4. Degré de pollution

C'est la valeur qui caractérise la pollution telle que la salinité, la conductivité de la couche et la densité de dépôt de sel [42].

5. Sources de pollution

Du fait de la variété des origines de la pollution, la nature de celle-ci peut être classée en trois catégories, à savoir la pollution naturelle, industrielle et la pollution mixte. [34]

5.1 Pollution naturelle [34]

La pollution naturelle provient :

- Des sels marins dans les régions côtières.
- Des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants ou des régions agricoles).
- Des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

5.1.1 Pollution marine

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance. Dans certaines conditions, ils se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur. [34]

5.1.2 Pollution désertique

Parmi les phénomènes qui caractérisent la nature désertique, figure le vent de sable. Celui-ci induit des dépôts de sable sur les surfaces des isolateurs. De la même façon que précédemment, lorsque ces dépôts sont humidifiés, les couches de sable deviennent plus au moins conducteurs à cause de l'existence de sels dans le sable. Après, nous assistons aux mêmes phénomènes constatés dans le cas précédent. [34]

5.2 Pollution industrielle

Le problème de la pollution industrielle concerne les lignes qui passent près des zones industrielles (les fumées dégagées par des usines, raffineries, cimenteries, minerais etc.), près des grandes villes (les gaz d'échappement des véhicules) ou près des terrains agricoles (les engrais utilisés en agriculture). [34]

5.3 Pollution mixte

Ce type de pollution est le plus dangereux ; c'est la résultante de l'existence de différents types de pollution dans la même zone, comme dans le cas des zones industrielles se trouvant en régions côtières. [34]

6. Les méthodes de mesures de la sévérité de pollution

Une évolution de la sévérité d'un site devrait fournir toutes les informations nécessaires au calcul de la probabilité du contournement sous pollution d'un isolateur et même le dimensionnement. En effet on propose d'étaler les différentes méthodes de mesure et les dispositifs nécessaires. [8]

6.1 Méthode de la densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)

Il s'agit du dépôt de sel de NaCl en mg/cm² sur la surface d'un isolateur dont la conductivité électrique est égale à celle du degré réel, dissous dans un volume d'eau. Pour calculer la DDSE, il faut prélever les dépôts polluants à la surface des isolateurs sélectionnés.

Les dépôts sont récupérés par lavage à l'aide d'un matériau absorbant (coton, mouchoir à papier, éponge, brosse) et de l'eau distillée, à moins qu'il soit gratté à sec. Le dépôt est dissous dans l'eau distillée, la suspension obtenue est constamment agitée au moins pendant deux minutes avant de procéder à la mesure de la conductivité volumique σ_{θ} de la suspension à température θ en °C. [35,36]

6.2 Conductance superficielle

Elle est définie comme le rapport du courant à fréquence industrielle qui traverse l'isolateur à la tension appliquée. La conductance superficielle d'un isolateur est un paramètre qui caractérise l'état global de la surface isolante (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche) lequel détermine la performance de l'isolateur. Ainsi la méthode de la conductance superficielle est satisfaisante pour mesurer et évaluer la sévérité de pollution d'un site. [37,38]

6.3 Méthode de courant de fuite

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'enveloppe de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de fuite. Par la mesure du courant de fuite à la surface d'un isolateur donné, on peut déterminer la sévérité du site qui donne le même courant de fuite sur

la surface du même isolateur soumis à la même tension au laboratoire.[37] La mesure du courant de fuite s'effectue de deux manières : par le comptage du nombre d'impulsions et par l'amplitude de ces dernières.

6.4 Mesure de pollution d'air

Les mesures de la pollution de l'air effectuées sur une période de temps donnée et permettent d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de la pollution de l'air dans un site. Les méthodes de mesures adoptées partent du principe qu'en ce qui concerne le phénomène de contournement, une corrélation peut être établie entre l'analyse physico-chimique de l'air d'un site donné et la sévérité de la pollution de ce même site.[38]

6.5 Mesure optique

Le but de cette méthode consiste à évaluer l'épaisseur de la couche de pollution déposée à la surface d'un isolateur. Un dispositif de prédiction par sonde laser effectue les mesures en se basant sur une technique ellipométrique. Un rayon à polarisation rectiligne traverse un analyseur et aboutit à un photodétecteur. Une analyse avancée des caractéristiques du rayon réfléchi (amplitude, décharge...) permet de calculer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut ainsi se faire sans toucher à cette couche.[39]

7. Influences des facteurs climatiques sur les isolants pollués

Parmi les facteurs climatiques et météorologiques essentiels nous distinguons :

1- Le vent : il constitue l'agent qui assure le transport des poussières et des sels marins, il peut-être considéré comme un agent d'auto nettoyage dans le cas où sa vitesse est grande.

2- La température : les hautes températures ont une influence positive sur les surfaces polluées, car elles sèchent les dépôts et augmentent leur résistivité. Lorsque la température croît, la rigidité diélectrique est soit constante, soit légèrement décroissante. À partir d'une certaine température limite, appelée température de transition, survient une décroissance très rapide.

3- L'humidité : l'influence de l'humidité par la résistivité transversale des isolants dépend de la teneur en eau à la saturation du matériau considéré et de son état présent d'humidité (l'état d'humidification).

4- La pluie : elle engendre l'augmentation de la conductivité de la couche de pollution.

8. Impact de la pollution

Les sels contenus dans les dépôts polluants qui recouvrent les surfaces isolantes se dissolvent et créent une couche électrolytique conductrice, ce qui engendre une conductivité superficielle et provoque une modification de la répartition de potentiel. La tension de rupture diélectrique peut alors être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant ainsi l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite.

9. Classification des sites pollués

L'identification des substances de la pollution est impérative pour le choix de l'isolateur d'une ligne électrique. Afin d'évaluer l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la méthode de brouillard salin et les conditions de pollution naturelle, La norme CEI 815 donne les quatre niveaux de sévérité de pollution et leur classement dans le **Tableau 3**. [44]

Tableau 3: Classification de la pollution selon le type d'environnement

Niveau de pollution	Exemple d'environnements typiques
I Faible (2.5 g/l)	<ul style="list-style-type: none"> - Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installation de chauffage. - Zones avec faible densité d'industries ou d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et / ou pluies. - Régions agricoles - Régions montagneuses
II Moyen (10 g/l)	<ul style="list-style-type: none"> - Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ ou avec une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage. - Zone à forte densité d'habitations et/ ou d'industries mais soumises fréquemment aux vents et / ou à des chutes de pluies. - Zones exposées aux vents de mer, mais trop proches de la côte.
III Fort (80 g/l)	<ul style="list-style-type: none"> - Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installations de chauffage polluantes. - Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.

<p>IV Très fort (160 g/l)</p>	<p>-Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais.</p> <p>- Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées aux embruns ou au vent très fort et polluant venant de la mer.</p> <p>- Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumises à une condensation régulière</p>
---------------------------------------	---

10. Conséquences de la pollution sur l'isolateur

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités

volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. On obtient ainsi une répartition électrostatique du potentiel électrique. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante et la répartition du potentiel électrique diffère de la répartition électrostatique.

La rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite. Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur.[43]

10.1 Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage aléatoirement à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition d'un courant de fuite intermittent entraînant une perte d'énergie relativement faible et généralement supportable par l'installation.[43]

10.2 Arc fixe

Sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en s'y réamorçant au même endroit (courant alternatif). Il peut provoquer une dégradation de l'isolation par son effet thermique.[43]

10.3 Court-circuit

Dans ce cas, l'arc électrique atteint l'électrode opposée. Ainsi, la formation d'un pont conducteur sur la surface isolante polluée favorise le passage d'un fort courant, ce cas engendre la rupture totale de l'isolation.[43]

11. Contournement des isolateurs pollués [1]

Généralement, les principaux phénomènes conduisant au contournement d'un isolateur pollué, soumis à la tension de service, comprenant la formation d'une couche électrolytique conductrice par humidification du dépôt de pollution sur la surface de l'isolateur, ce qui entraîne l'apparition d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arcs partiels, et la propagation de l'arc qui peut couvrir tout l'isolateur. Le contournement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes.[1]

➤ Etape 1 : dépôt de pollution

Des grains de pollution se déposent sur la surface de l'isolateur (**Fig. III.1**).

➤ Etape 2 : Formation d'un électrolyte conducteur

A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel I_f circulant sur la surface de l'isolateur (**Fig. III.2**).

➤ Etape 3 : formation d'une bande sèche

Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche (**Fig. III.3**).

➤ Etape 4 : contournement

Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche :

-Soit la décharge s'éteint \Rightarrow pas de contournement (**Fig. III.4**).

-Soit la décharge progresse sur la surface \Rightarrow contournement de l'isolateur (**Fig. III.5**).

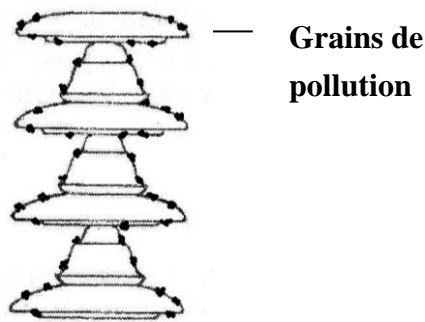


Fig. III.1

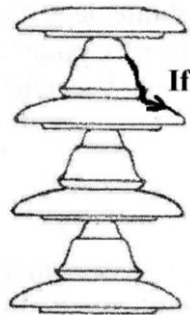


Fig. III.2

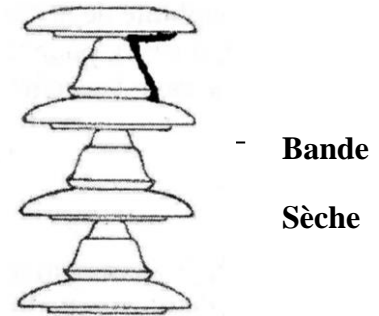


Fig. III.3

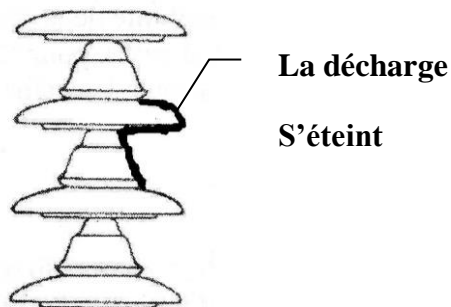


Fig. III.4

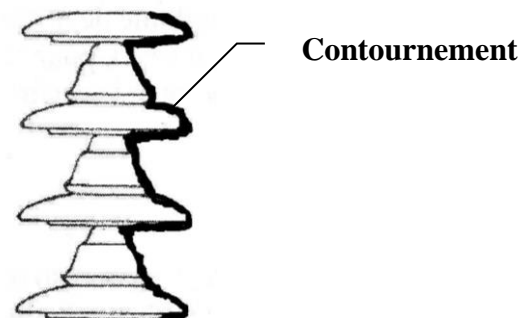


Fig. III.5

12. Techniques de lutte contre la pollution

12.1 Allongement de la ligne de fuite

L'augmentation de la longueur de la ligne de fuite permet d'améliorer les performances d'un isolateur ; un dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution peut être adopté en utilisant deux techniques [40] :

- Changement du type d'isolateur (rallongement de la ligne de fuite), c'est une opération très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- Utilisation de prolongateur de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants.

12.2 Changement de forme des isolateurs (isolateurs plats)

Contrairement à la méthode précédente, cette méthode utilise des isolateurs plats qui permettent de diminuer la ligne de fuite. Ces isolateurs ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont utilisés dans les régions sahariennes où la principale source d'humidification est la condensation.[39]

12.3 Graissage périodique des isolateurs

Par mesure économique, puisque le remplacement des isolateurs est très coûteux, on a recours aux techniques de lavage et de graissage qui sont particulièrement réservées aux isolateurs de poste.

Le graissage est un moyen de dépannage devant la difficulté due à une pollution inattendue ou très exceptionnelle. Il ne doit en aucun cas être considéré comme un moyen normal pour faire face à la pollution des isolateurs.[40] Les graisses utilisées actuellement sont des composants silicones, qui ont la propriété d'absorber les poussières, l'huile exsudée enrobe chaque grain de poussière, ce qui permet à la graisse de conserver ses propriétés initiales, à savoir une grande résistance superficielle, ceci tant que la saturation n'est pas atteinte d'une part, tant que la graisse n'a pas subi une importante altération par les rayons ultraviolets auxquels elle est sensible.

12.4 Revêtement silicones

Cette méthode consiste à appliquer par pulvérisation ou au pinceau un caoutchouc siliconé, qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour la graisse, ce revêtement protège les isolateurs et améliore leur comportement sous pollution ; par contre la longévité est nettement supérieure à celle des graisses.[41]

Dans certains postes de compagnies américaines, les revêtements ont été appliqués pendant plus de dix ans. Cette méthode est relativement ancienne, mais tend aujourd'hui à se développer, grâce à la mise sur le marché de produits plus performants.

12.5 Isolateurs composites

Les isolateurs composites sont apparus au début des années 70, ils sont constitués d'un noyau en fibre de verre imprégné d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté allée à une grande résistance mécanique que lui confère le noyau. Ils sont utilisés dans des conditions de pollution très sévères et ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.[39]

12.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique sont fréquemment utilisés à travers le monde, en particulier dans les postes, ils sont pratiqués hors tension ou sous tension. Ces interruptions de service entraînent des problèmes majeurs, donc il faut limiter leurs usages au maximum.[39]

Un lavage sous tension des isolateurs permet d'éviter ces coupures, il est réalisé à l'aide d'une installation fixe ou mobile.

Conclusion

La pollution quel soit naturel ou artificiel représente un véritable problème pour les réseaux de transport d'énergie et chaque région a ses propres caractéristiques.

La pollution se dépose par suite de phénomènes aérodynamiques tandis qu'elle s'élimine par la pluie et le vent. Ainsi, il y a une évolution continue du dépôt et de sa répartition comme les contournements ne peuvent avoir lieu que dans les cas extrêmes, de dépôts et d'humidification, les enquêtes doivent généralement durer plusieurs années afin de recueillir des informations valables pour obtenir une estimation statistique.

**CHAPITRE 4 : TRAVAUX
ANTERIEURSCONCERNENT LES
EFFETS DES UV SUR LA SILICONE**

Introduction

Au cours des quatre dernières décennies, le remplacement des isolateurs en verre et en céramique par des isolateurs polymères pour les applications d'isolation extérieure haute tension (HT) a augmenté rapidement. Cependant, les isolants polymères sont de nature organique et les conditions d'exposition aux UV peuvent provoquer une décomposition progressive de leur structure chimique.

Des études concernent les effets des UV sur les caractéristiques électriques de la silicone ont été réalisées, afin de pouvoir connaître leur cycle de vieillissement et prendre les mesures nécessaires avant une détérioration complète et garantir une utilisation plus optimisée.

À ce jour, les travaux sur la résistance aux UV dans des conditions sèches et humides sont rares.

1. L'ultraviolet

L'ultraviolet (UV) est une forme de rayonnement électromagnétique avec une longueur d'onde de 10 nm, plus courte que celle de la lumière visible, mais plus longue que les rayons X. Le rayonnement UV est présent dans la lumière du soleil et constitue environ 10 % du rayonnement électromagnétique total émis par le Soleil. Il est également produit par des arcs électriques et des lampes spécialisées, telles que les lampes à vapeur de mercure, les lampes de bronzage et les lumières noires.

Bien que l'ultraviolet à grande longueur d'onde ne soit pas considéré comme un rayonnement ionisant parce que ses photons n'ont pas l'énergie nécessaire pour ioniser les atomes, il peut provoquer des réactions chimiques et provoquer la lueur ou la fluorescence de nombreuses substances. Par conséquent, les effets chimiques et biologiques des UV sont supérieurs aux simples effets de chauffage, et de nombreuses applications pratiques du rayonnement UV dérivent de ses interactions avec des molécules organiques.

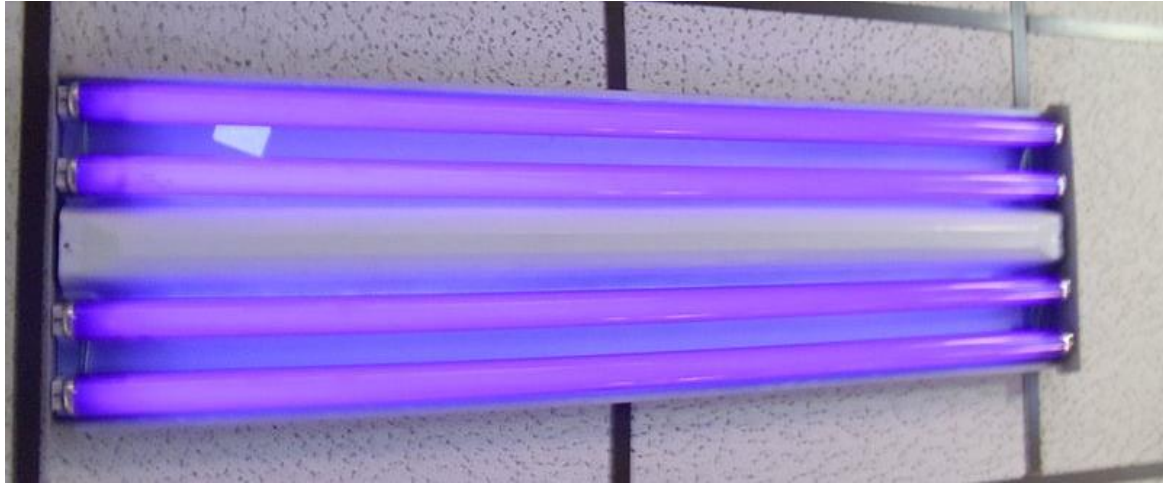


Fig.21: Une lumière noire, également appelée lumière UV-A

2. Études antérieures effectuée concernant les effets des UV sur la silicone

Des expériences de vieillissement accéléré par voie humide et sèche ont été menées sur des isolants composites remplis de SiO_2 (silice) de taille micrométrique, et il a été constaté que ces microparticules améliorent le suivi et la résistance à l'érosion et présentent des caractéristiques de diffusion UV. Mais suite au développement récent des nanodiélectriques pour l'isolation HV, il est maintenant nécessaire d'étudier les caractéristiques de réflexion et de protection des matériaux composite dans un environnement de vieillissement UV.[45]

2.1 Études en service et en laboratoire

Des études en service et en laboratoire sur l'altération multifactorielle des isolants polymères extérieurs, y compris dans des conditions humides, ont été rapportées par plusieurs chercheurs. Qui ont étudié la détérioration d'isolants polymères en service pendant cinq ans près de la région côtière du New Hampshire. Les changements majeurs dans la structure organique du composite ont été étudiés à l'aide de techniques de pointe comme l'analyse des propriétés de surface, la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), la microscopie électronique à balayage (SEM) et la spectroscopie photoélectronique à rayons X. De plus, la décoloration et l'assombrissement de la surface ont été quantifiés par rapport au vieillissement pour la toute première fois.

2.2 Études en conditions sèches

Des études ont été réalisées sur la dégradation multi-stress des isolants polymères dans des conditions sèches (UV et température) pour simuler les conditions climatiques désertiques arides et tropicales, pour étudier les variations d'hydrophobicité de surface. Il a été constaté que la perte d'hydrophobicité dans les isolants polymère était proportionnelle aux intensités de rayonnement UV et que le taux de récupération de l'hydrophobicité des isolants SR était relativement plus rapide. À cette fin, un modèle de diagramme de diffusion 3D basé sur les résultats obtenus a été développé pour illustrer clairement la tendance de la dégradation et de la défaillance de l'isolant au fil du temps.

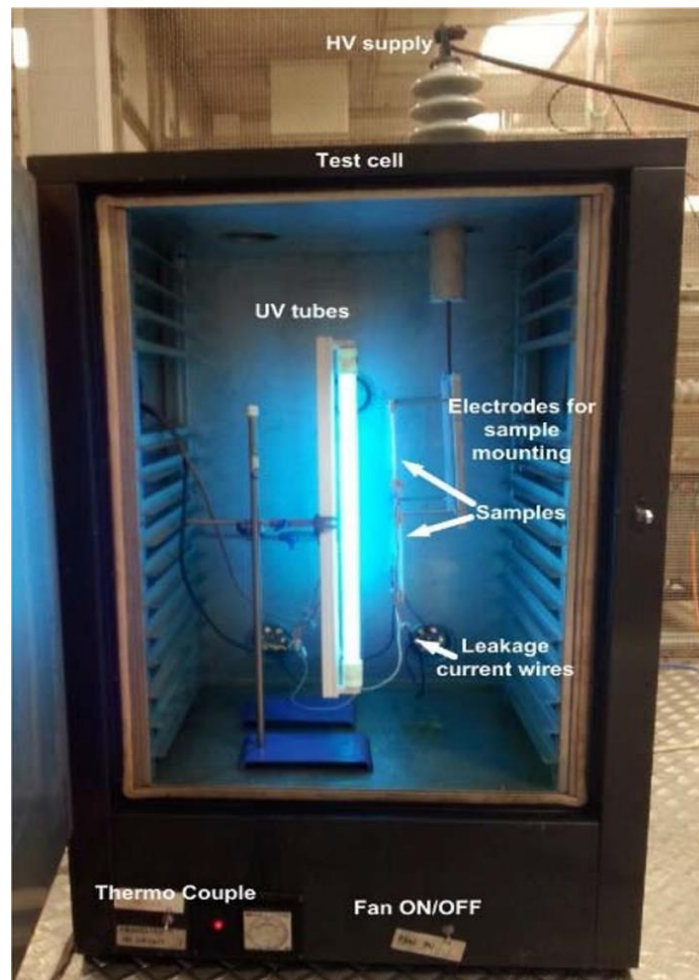


Fig.22 : Cellule de test pour le vieillissement UV

3. Techniques de caractérisation des effet UV sur la silicone

3.1 Hydrophobie

L'impact synergique des UV, de la chaleur et du stress électrique peut modifier la chimie de la surface et sa mouillabilité. L'angle de contact statique avec l'eau est une évaluation quantitative de la mouillabilité de la surface. L'hydrophobicité des composites a été évaluée en mesurant l'angle de contact statique des gouttes d'eau à l'aide d'un goniomètre. De l'eau déionisée est versée dans une seringue du goniomètre et le volume de la goutte d'eau a été contrôlé pour la reproductibilité, le contact hydrophobe est mesuré dans dix régions traitées différentes des composites.[45]

3.2 Microscopie électronique à balayage

Afin d'étudier les changements morphologiques dus à l'impact de l'altération UV, tous les échantillons âgés sont analysés par microscope électronique à balayage. Pour l'imagerie de surface topographique des composites. En raison de la nature isolante du composite, tous les échantillons doivent être recouverts par pulvérisation cathodique d'une fine couche (15 nm) d'or. Dans une atmosphère de gaz argon.[45]

3.3 Etudes de rugosité de surface

Il est bien connu que la rugosité de surface joue un rôle essentiel dans les performances des isolants composites. Une rugosité de surface plus élevée attire une accumulation de pollution plus élevée, une distorsion dans la distribution du champ électrique et un mouillage excessif qui peut provoquer un contournement sur les isolants composites. L'évaluation de la rugosité de surface aide à déterminer l'impact de différents facteurs d'altération sur l'isolation.

Un profilomètre est engagé pour capturer les profils de rugosité 2D des composites. Chaque composite est testé dix fois à différents endroits sur l'échantillon à des fins de reproductibilité.[45]

3.4 Spectroscopie FTIR

La spectroscopie FTIR est un outil analytique fréquemment utilisé pour évaluer la liaison chimique à l'intérieur des polymères. Les spectres d'absorption sont enregistrés à l'aide d'un spectromètre sur les fréquences IR comprises entre 500 et 4000 cm^{-1} (nombres d'onde). Les spectres IR sont enregistrés moins d'une heure après la fin de l'expérience. Pour la reproductibilité des résultats, ils doivent être obtenus à cinq endroits différents des composites vieillis.[44]

3.5 Courant de fuite

Un ordinateur personnel équipé d'un système d'acquisition de données (DAQ) de résolution 32 bits de National Instruments et un programme Matlab est utilisé pour surveiller le courant de fuite des composites. Ceci est réalisé en mesurant la chute de tension aux bornes d'une résistance de 10 k Ω insérée en série du côté basse tension. Le courant de fuite pour chaque composite est enregistré pendant 30 s et deux fois par jour.[45]

3.6 Mesure de la réponse diélectrique

Pour étudier les variations de la permittivité diélectrique et du facteur de dissipation diélectrique ($\tan \delta$) infligées par le vieillissement UV sur les composites, la réponse diélectrique est mesurée à l'aide d'un instrument Omicron (DIRANA). Toutes les mesures doivent être prises à température ambiante et dans la gamme de fréquences de 0,01 Hz à 5 kHz.[45]

3.7 Dureté et poids

La dureté et le poids de chaque échantillon est mesurés après chaque 10 jours de vieillissement. Les deux paramètres sont enregistrés pour comprendre l'impact du vieillissement sur l'absorption d'eau des matériaux composites. Le test de dureté a été effectué en utilisant un duromètre, tandis que le poids des échantillons a été mesuré à l'aide Balance électronique.[45]

4. Résultats des différentes études précédemment opérer

4.1 Observations visuelles et mesures d'hydrophobicité

L'observation visuelle des composites vieillis a montré une décoloration de surface jaune pâle sur le côté ciblé, comme le montre la (Fig.23). Dans l'échantillon M-SR, des taches jaune clair sont remarquées dans la zone médiane. Des changements similaires sont repérés sur les bords gauche et droit de l'échantillon MN-SR. De plus, des teintes jaune pâle sont observées sur le côté gauche du N-SR. Une tache noire est remarquée dans le coin supérieur droit de l'U-SR. Une résistance thermique élevée peut être responsable de l'empêchement de tels points noirs dans les composites remplis de SiO₂.

La décoloration sous contrainte UV, électrique ou thermique est considérée comme un premier indice de la dégradation du polymère provoquée par le phénomène de cyclisation

intramoléculaire. Cephénomène initie l'oxydation de surface, qui provoque la décoloration et la dégradation dupolymère et la perte d'hydrophobicité.[45]

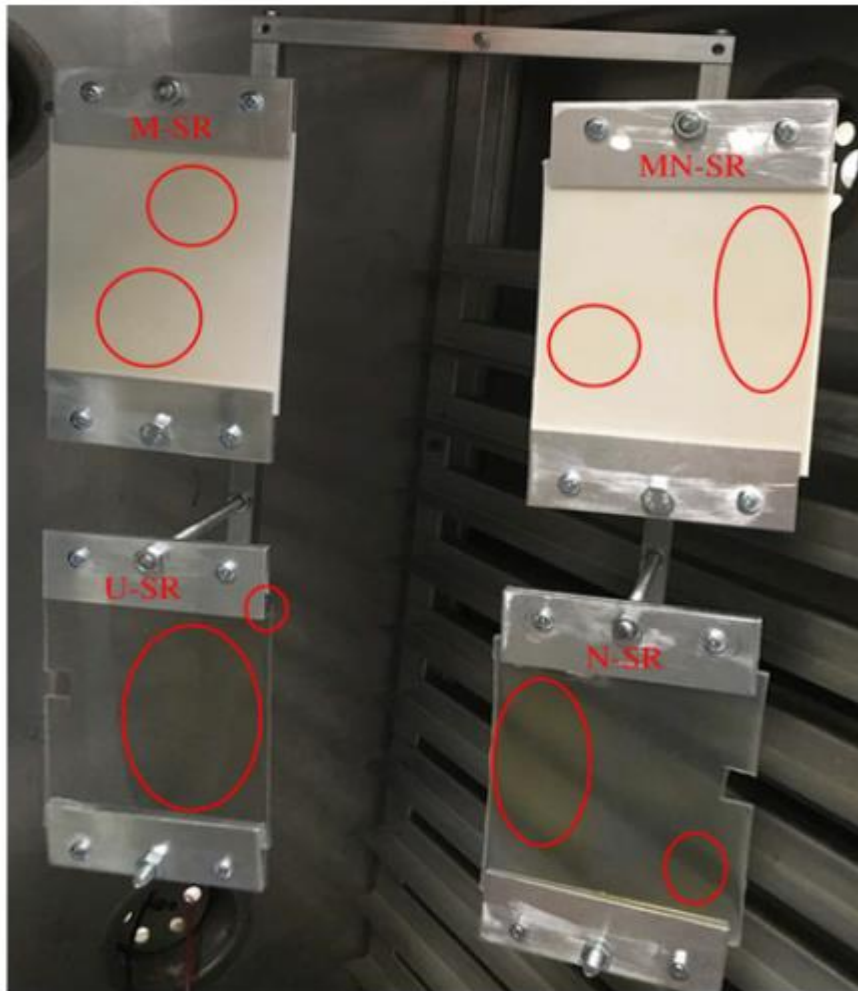


Fig.23 : Observation visuelle de la décoloration des composites après vieillissement UV

Tableau 4 : Teneurs en particules de SiO dans quatre types de composites

Modèle	Micro-SiO ₂ , % en poids	Nano-SiO ₂ , % en poids
SR vide (U-SR)	0	0
Composite micro-SiO /SR (M-SR)	30	0
Composite micro + nano-SiO /SR (MN-SR)	27.5	2.5
Composite nano-SiO /SR (N-SR)	0	5

Le graphe de la (Fig.24) compare les disparités des angles de contact de l'eau à la surface des composites par rapport à la durée de vieillissement UV. L'angle de contact hydrophobe initial de tous les composites non vieillis a été mesuré à 112° avec de légères variations. On peut voir que jusqu'à 750 h de vieillissement, l'angle de contact a diminué à un rythme plus lent alors qu'il est intéressant de constater un rythme de réduction plus élevé à partir de 750 h dans tous les composites. Les angles de contact mesurés étaient de 104° , 98° , 91° et 83.1° pour N-SR, MN-SR, M-SR et U-SR, respectivement.

Il a été signalé plus tôt que les intempéries UV oxydaient la surface et décomposaient les groupes hydrophobes (CH) en radicaux libres. Ces modifications chimiques ont finalement abouti à la formation de groupes silanols hydrophiles polaires (Si-OH) et de liaisons (SiCH₂CH₂Si).[45]

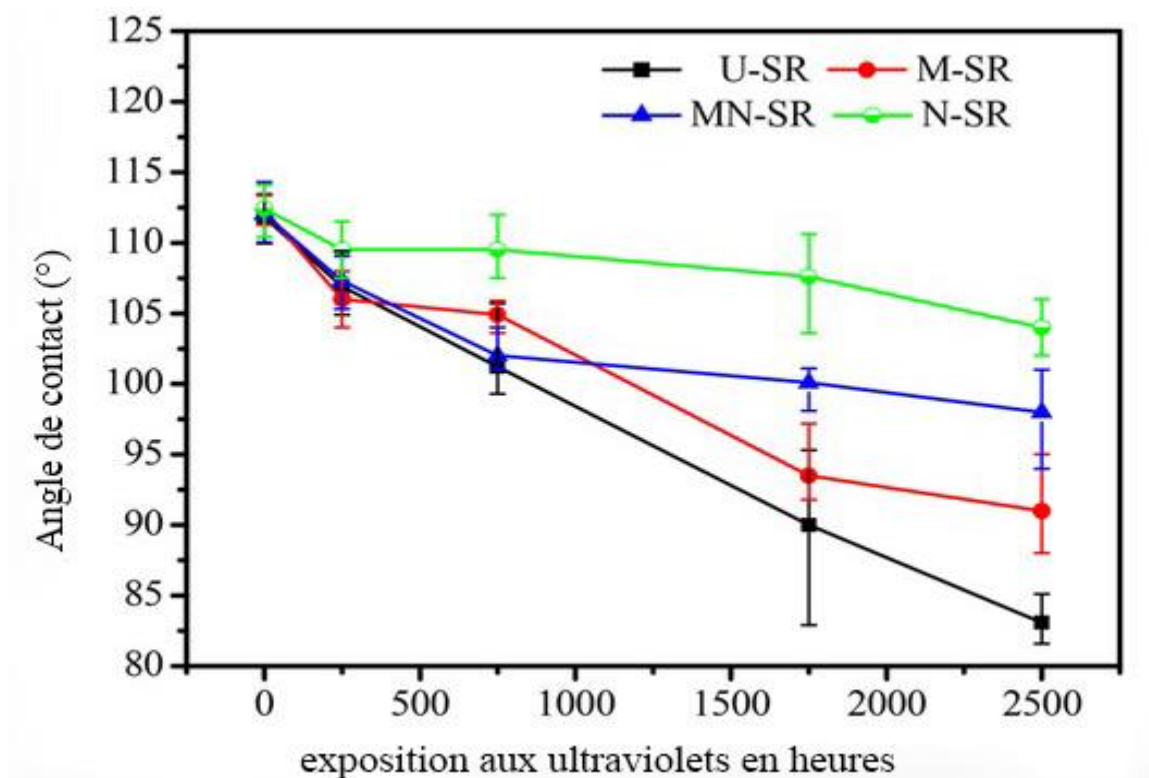


Fig.24 : Variations de l'angle de contact en fonction de la durée de vieillissement

4.2 Résultats du microscope électronique à balayage

La morphologie de surface a un impact significatif sur la durée de vie et la fiabilité des matériaux composites utilisés pour l'isolation extérieure. Le degré de dégradation du composite dû aux intempéries UV peut être évalué à l'aide des micrographies SEM (Scanning electron microscope) d'échantillons vieillis, comme illustré à la (Fig.25). Des

craquelures et des aspérités notables peuvent être observées sur la surface de l'U-SR. Quant au M-SR, il y a peu de lignes de séparation et de fissures de surface avec plus de rugosité de surface.[44]

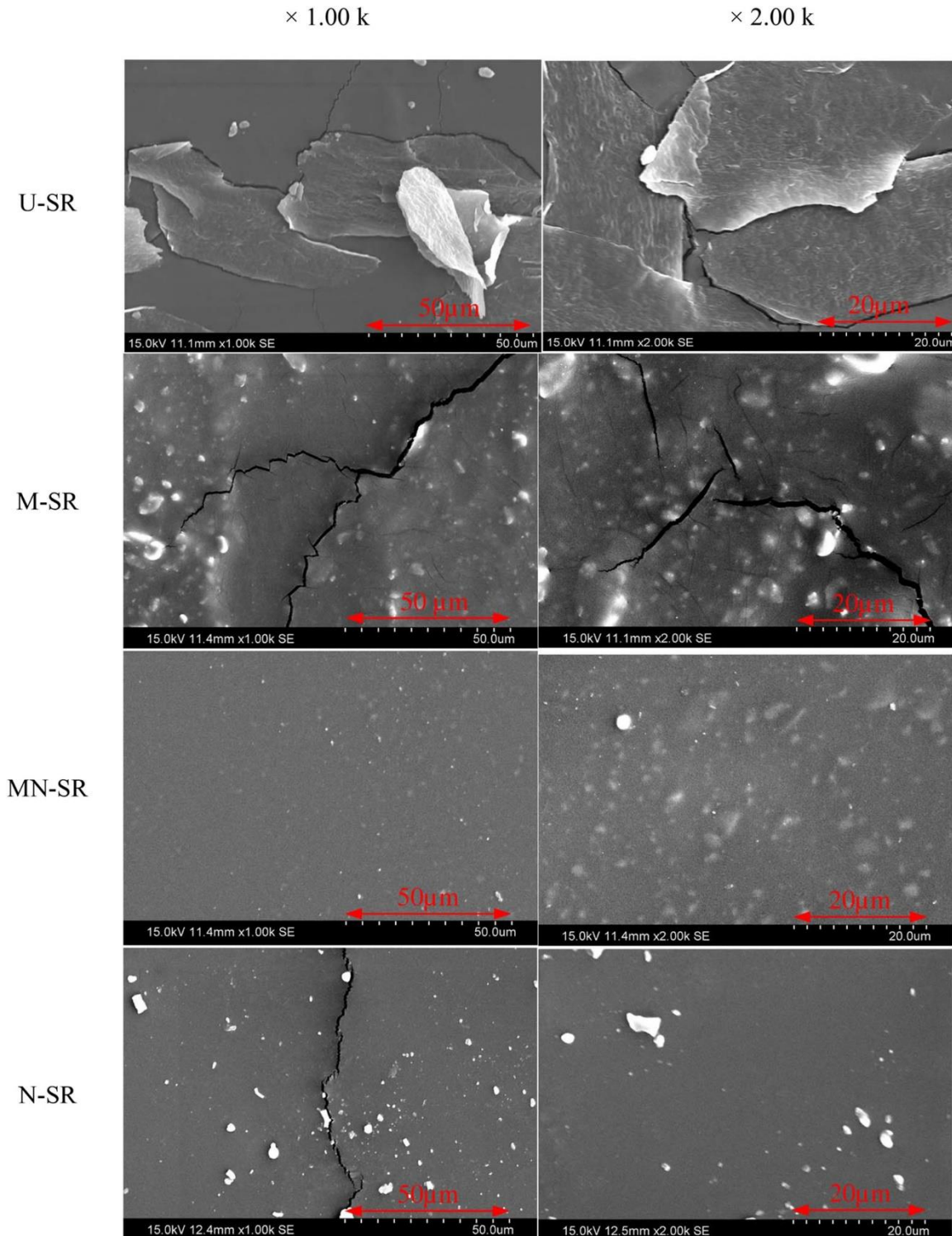


Fig.25 : Images SEM de composites à différents grossissements après vieillissement UV

4.3 Résultats de rugosité de surface

Des surfaces plus rugueuses ont été remarquées dans les résultats SEM, la rugosité des composites vierges et vieillis a été mesurée à l'aide d'un profilomètre 2D. La (Fig.26) montre la rugosité moyenne des composites à l'état vierge et vieilli. Une augmentation notable des valeurs de rugosité est confirmée dans les composites vieillis par rapport aux échantillons vierges.

La rugosité faible peut aider à réduire l'accumulation de pollution sur sa surface et à améliorer ses performances de pollution humide.[44]

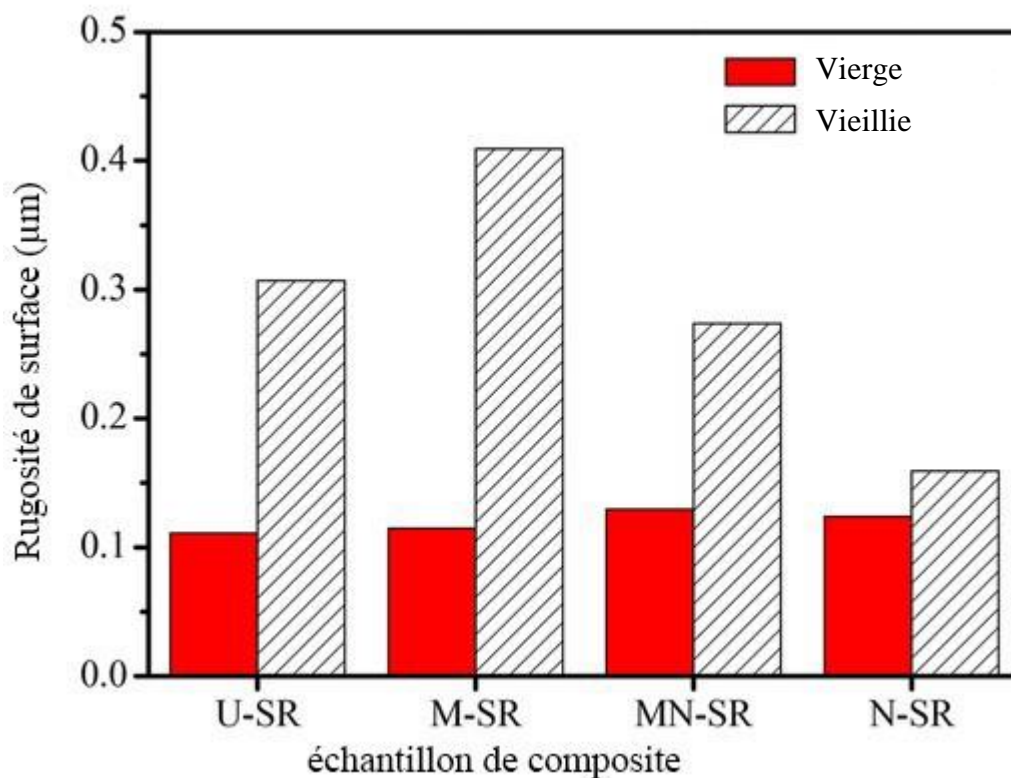


Fig.26 : Rugosité de surface moyenne des composites à l'état vierge et vieilli

4.4 Résultats de l'étude des courants de fuite

La (Fig.27) montre les variations typiques du courant de fuite efficace sur la surface composite au cours de l'évolution complète de la dégradation par les UV. On peut voir sur la figure que les valeurs de courant de fuite de M-SR et NM-SR sont significativement plus élevées par rapport à U-SR et N-SR. Une raison à cela pourrait être une rugosité de surface plus élevée introduite par l'ajout de charges. On peut également observer qu'il n'y a pas de variations prononcées du courant de fuite mesuré de chaque composite. Des augmentations mineures des valeurs actuelles de M-SR et N-SR sont observées après 2000h d'altération. [45]

D'autre part, la décoloration de surface, l'hydrophobicité, la rugosité de surface et l'analyse SEM ont montré des variations considérables dans les propriétés de surface. Cela pourrait être dû à la surface sèche et hautement hydrophobe, qui offre une résistance de surface élevée à la fin du vieillissement aux UV. Par conséquent, on peut dire que des variations prononcées du courant de fuite peuvent se produire dans des conditions humides.

Dans des conditions sèches, le courant de fuite peut ne pas être en mesure de provoquer des changements physiques dans les composites en raison des intempéries UV.[45]

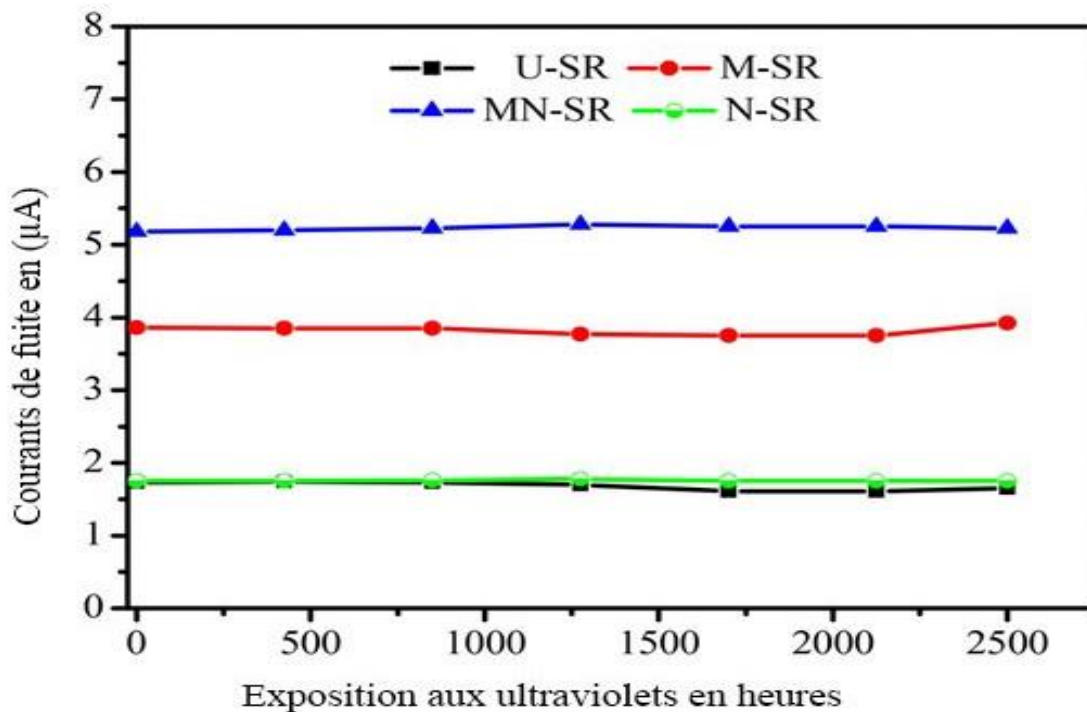


Fig.27 : Courant de fuite à la surface des composites par rapport au vieillissement aux ultraviolets

4.5 Résultats de la mesure de Dureté et poids

Les polymères sont dégradés par l'exposition à la lumière du soleil qui initie la rupture de la liaison C-C du polymère avec la formation de petits fragments. En conséquence, le polymère devient cassant. Avec altérations des propriétés mécaniques.

Le poids et la dureté des échantillons ont été mesurés tout au long de l'expérimentation avec un intervalle de 240 heures, et les résultats en révèlent que les valeurs de dureté ont évolué pendant toute la durée de l'exposition aux intempéries. Et une perte de poids notable est observée pour tous les spécimens avec le vieillissement.[45]

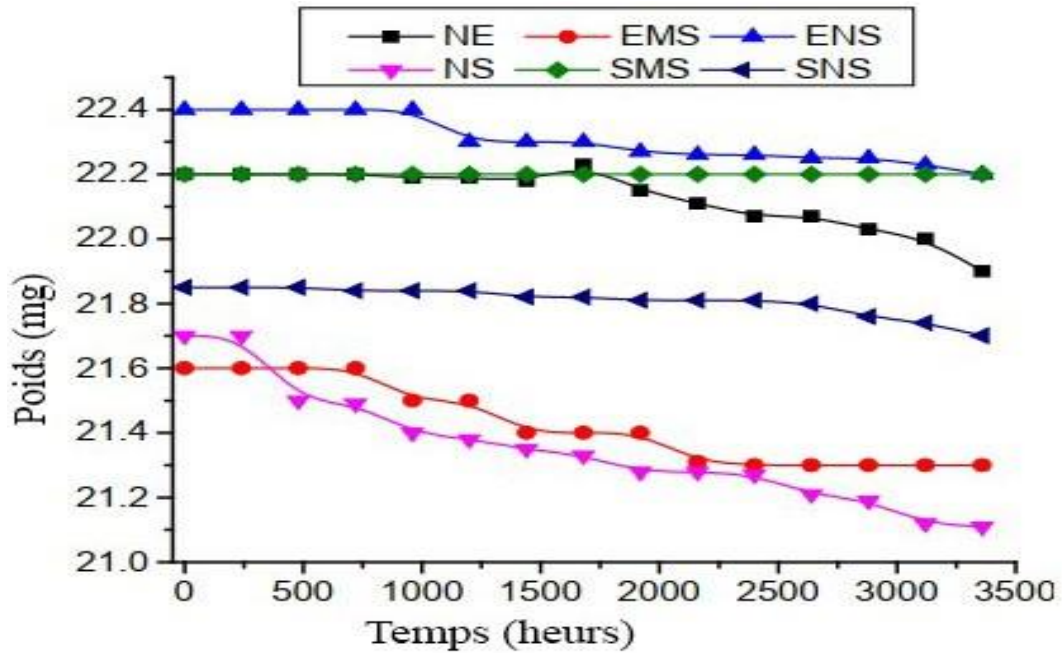


Fig.28 : Poids des échantillons en fonction du temps de vieillissement accéléré

Conclusion

Les effets de l'altération UV sur les composites ont été étudiés en étudiant diverses propriétés : décoloration de surface, hydrophobicité, SEM, rugosité, FTIR et réponse diélectrique. L'oxydation des composites apparaît sous la forme d'une décoloration de surface jaune. Il y a une réduction de l'hydrophobicité due à l'exposition aux UV. Des craquelures avec des aspérités sont observées et peu de fissures ont apparues. Une amélioration significative de la rugosité de surface des composites dégradés par rapport à l'état vierge a été remarquée. Les essais de dureté ont montré une augmentation de la dureté et une réduction du poids.

Malgré les propriétés de surface mentionnées ci-dessus, il n'apparaît pas de variations prononcées du courant de fuite sur toute la période de vieillissement aux UV du composite.



CHAPITRE 5 : PARTIE EXPÉRIMENTALE

Introduction

Le vieillissement aux ultraviolets (UV) est l'un des problèmes les plus importants que les isolants y sont confrontés. Généralement, le rayonnement UV total émis par le soleil est divisé en trois parties. Parmi tous les types de rayonnement ultraviolet, les UVc ont l'énergie la plus élevée car sa longueur d'onde est inférieure à 290 nm. Par conséquent, les UVc sont certainement nocifs pour la santé et même pour d'autres objets sur la terre, y compris les isolants électriques.

L'objectif de ce travail est d'étudier le procédé de vieillissement d'isolants en silicone exposés aux rayonnements UV. Pour y parvenir, deux types différents d'isolants en silicones commerciales ont été vieillis par rayonnement UV. Puis leur propriété électrique ainsi que des changements sur leurs surfaces ont été étudiés en mesurant le courant de fuite et tension de claquage en pulvérisons une solution contaminée avec quatre différentes conductivités électriques.

1. Objectif des essais

Dans le cadre de ce travail, nous portons un intérêt particulier à l'effet des ultraviolets sur la silicone utilisée pour l'endossement des chaînes d'isolateurs en haute tension. Les échantillons étudiés sont des plaques de silicone solide, de nature souple (caoutchouteux), de couleurs différentes (bleu et gris) et de deux différents fabricants de dimension 120*50*6mm³

2. Modèle expérimental et techniques de mesure

2.1 Matériaux et préparation des échantillons

2.1.1 La silicone

Afin de mener à bien cette étude expérimentale qui a pour but d'analyser et d'identifier les multiples effets des UV sur la silicone dont les effets sont : la tension de claquage, courant de fuite et angle de contact. Nous avons réservé six échantillons de silicone, trois de chaque fabricant ci-dessus présenté.

NB : la plaque de silicone bleu sera nommée échantillon N°1 et la plaque grise sera nommée échantillon N°2. (Fig.29).

Avant d'entreprendre tout essai physique ou électrique, une série de mesures est entreprise sur les deux premiers échantillons de silicone de chaque fabricant à l'état

vierge. Les résultats de ces mesures, qui seront présentés ultérieurement, feront l'objet de valeurs de référence.

Le deuxième échantillon de silicone de chacun des deux fabricants est en premier lieu vieilli sous une lampe à ultraviolet à l'état propre (sec), pendant 190h, avant d'entreprendre la même série de mesures que précédemment.

Les troisièmes échantillons de silicone, quant à eux, sont vieillis sous la même lampe à ultraviolet à l'état propre (sec), pendant 530h, avant d'entreprendre la même série de mesures que précédemment.



Fig.29 : Les six échantillons de silicone utilisés

2.1.2 Dispositif expérimental de vieillissement à ultraviolet

Le vieillissement a été effectué par lots de six échantillons de silicone à la fois, dans une boîte en verre pour éviter la poussière et ils ont été bien nettoyés avec de l'eau distillée ensuite séchés. Ceux-ci ont été déposés horizontalement en parallèle avec le tube UV. Dans une chambre fermée au noir dont la seule lumière à l'intérieur de cette chambre est la lumière qui provient du tube à UV, un seul côté des composites a été exposé à la lumière UV, les échantillons sont disposés à une distance de 50cm par rapport à la source des UV. L'intensité UV constante du côté cible des composites a été contrôlée à 40 W/m en ajustant sa position et la contrainte thermique a été maintenue entre 23°C et 26°C.

Les lampes UVA sont particulièrement utiles pour comparer différents types de polymères. Par conséquent, une lampe fluorescente à UVA-340 avec les spécifications indiquées dans le tableau 5a a été installée à l'intérieur de la boîte en verre. Le rayonnement de cette lampe simule les conditions de lumière du soleil dans la plage de longueur

d'ondetypique de 295 à 365 nm. La configuration de testutilisée dans cette étude est illustrée dans les figures 31et 32.

Tableau 5 :Spécifications de la lampe UVA selon le fabricant

Modèle	UVA-340
Longueur d'onde	280–400 nm
Pic principal	340 nm
Irradiance	50 W/m = 500 mW/cm
longueur	60cm
Fabricant	Pékin Zhongyi Bo Teng Tech. Chine

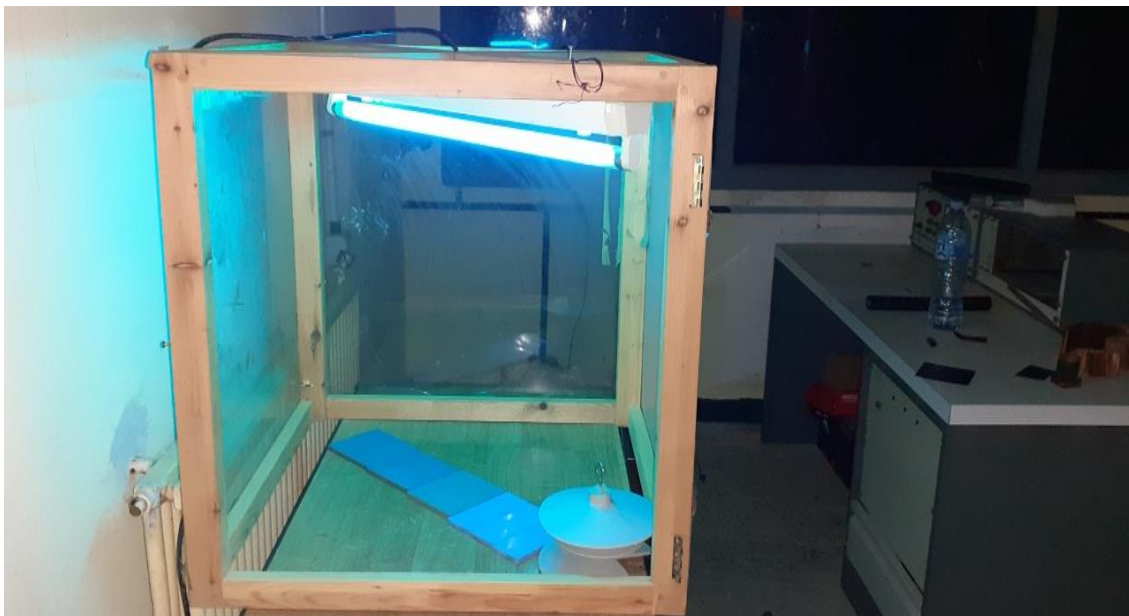


Fig.30 :Cellule de test pour le vieillissement UV des composites de silicone

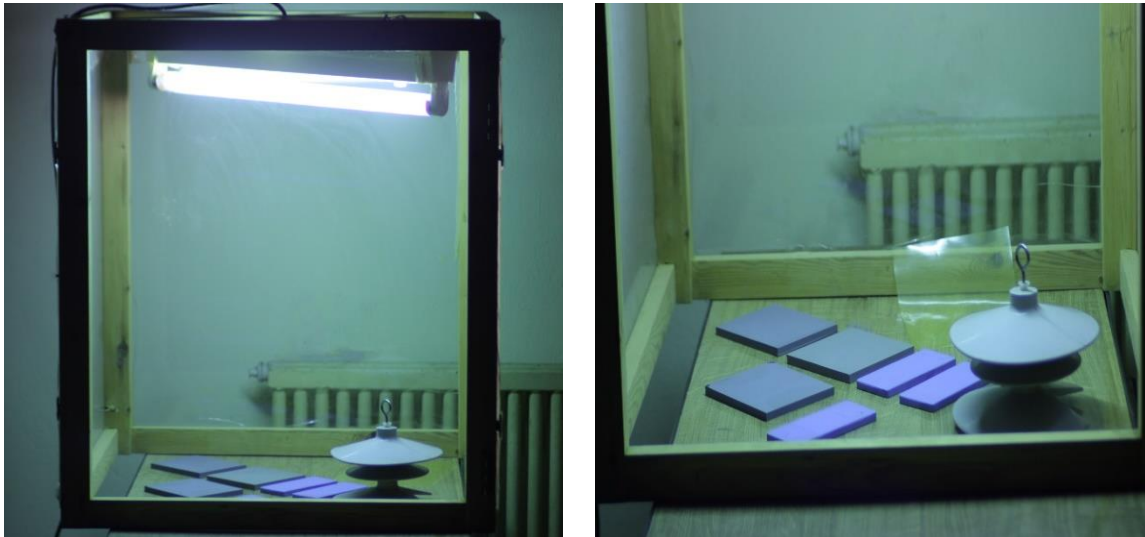


Fig.31 : Cellule de test pour le vieillissement UV des composites de silicone dans les conditions de test avec seule lumière de la lampe à UV

2.1.3 Préparation de la solution polluante

La solution polluante est composée d'un mélange d'eau distillée ou de robinet, selon la conductivité volumique souhaitée, auxquels on ajoute des petites quantités de sel pour varier la conductivité de la pollution. Ainsi nous fixons la conductivité de la solution ionique à la valeur désirée, grâce à un conductimètre à sonde mobile (Fig.32). Les différentes conductivités volumiques utilisées dans notre étude sont : (11 ; 500 ; 1000 ; 1500 et 2000) $\mu\text{S}/\text{cm}$. À chaque essai, la conductivité est vérifiée et ajustée avant chaque série d'essais afin de garder les mêmes caractéristiques de la pollution.



Fig.32 : Conductimètre à sonde mobile

2.1.4 Simulation de la pollution saline

Afin de simuler la pollution saline (brouillard salin) dont les isolateurs dans les régions côtières subissent, on utilise un pulvérisateur, et pour reproduire la même pollution saline à chaque fois on a fabriqué un dispositif en bois (Fig.33) qui nous permet de contrôler le degré de pollution en fixant certains paramètres dont la distance d'application de la pollution et le volume appliqué.

Ainsi ce dispositif permet de garder une distance horizontale fixe de 45cm entre la plaque de silicone et le pulvérisateur, et une distance verticale de 22cm et un volume de pollution identique à chaque fois ce qui est d'une extrême importance dans pour la reproductibilité.

Le pulvérisateur est actionné 30 fois pour obtenir une pollution bien étalée tout au long de l'échantillon comme le montre la (Fig.34) et cela est répété pour tous les échantillons avec les cinq conductivités mentionnées précédemment.



Fig.33 : Dispositif expérimentale pour la reproduction de la pollution saline



Fig.34 :Pollution obtenue après actionnement du pulvérisateur

2.2 Dispositif expérimental

La figure 36 illustre le dispositif expérimental utilisé pour la mesure de la tension de claquage et du courant de fuite sous tension alternative. Le dispositif est constitué des éléments suivants :

- Un transformateur HT (T100) 0.08/135 kV pouvant délivrer une tension allant de 0 à 100 kV pour des essais en alternatif et de 0 à 135 kV en tension continue ;
- Un appareil de commande automatique et manuelle de tension SG, à vitesse de montée variable ;
- Un diviseur de tension capacitif ($C_0 = 0.1 \mu F$ et $C_u = 41.4 \mu F$) pour les mesures en tension alternative ;
- Un voltmètre de crête AC/DC de type MU11, à affichage digital permettant, selon le montage électrique, la mesure des hautes tensions alternatives ou continues ;
- Une résistance de protection $R = 106 k\Omega$ limitant le courant ;
- Une table servant de support à l'objet d'essai (ensemble échantillons et électrodes) ;

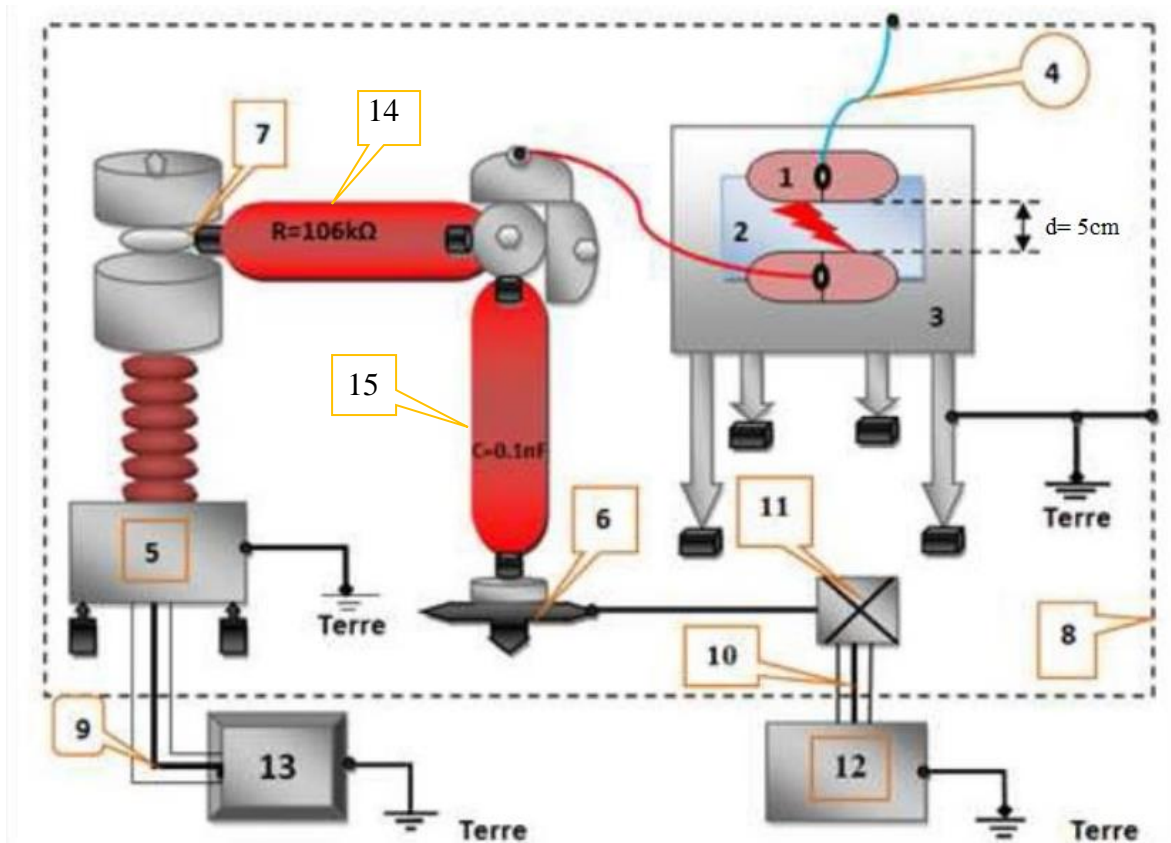


Fig.35 : Schémas du dispositif expérimental du laboratoire haute tension de l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa.

1 : Électrode en cuivre. 14 : Résistance d'amortissement.

2 : Matériaux solide (silicone).

15 : Capacité haute tension du diviseur

3 : Table.

Capacitif.

4 : Fil conducteur mis à la terre

5 : Transformateur haute tension.

6 : Support d'éléments.

7 : Nœuds de liaison.

8 : Grille de protection.

9 et 10 : Câble coaxial.

11 : Boîte de connexion.

12 : (MU11) Voltmètre de crête.

13 : (SG1BT) Système de commande manuel et automatique.

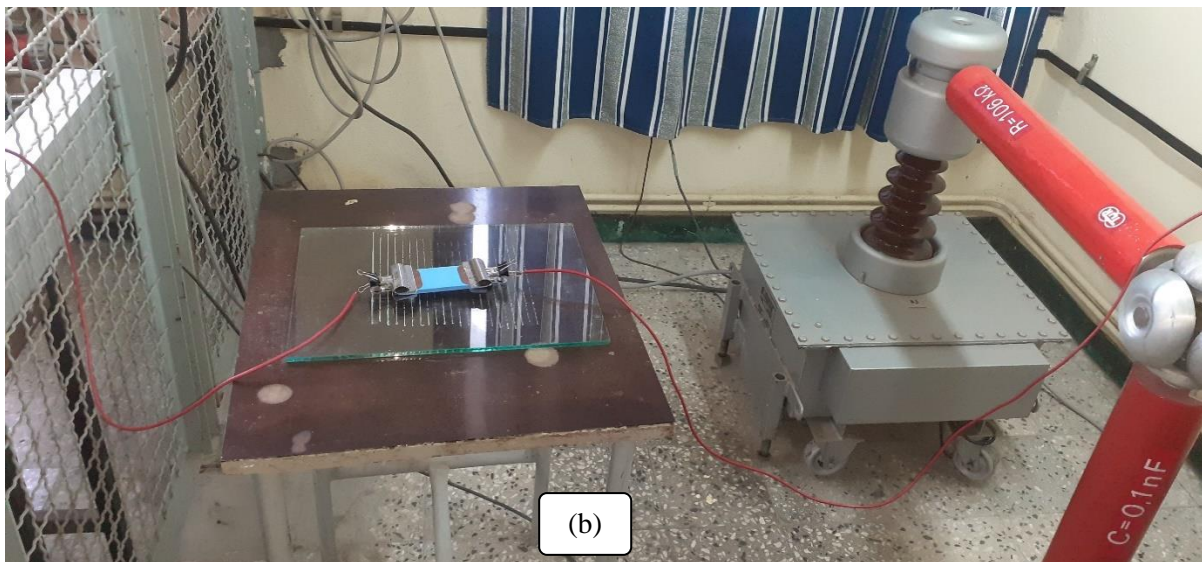
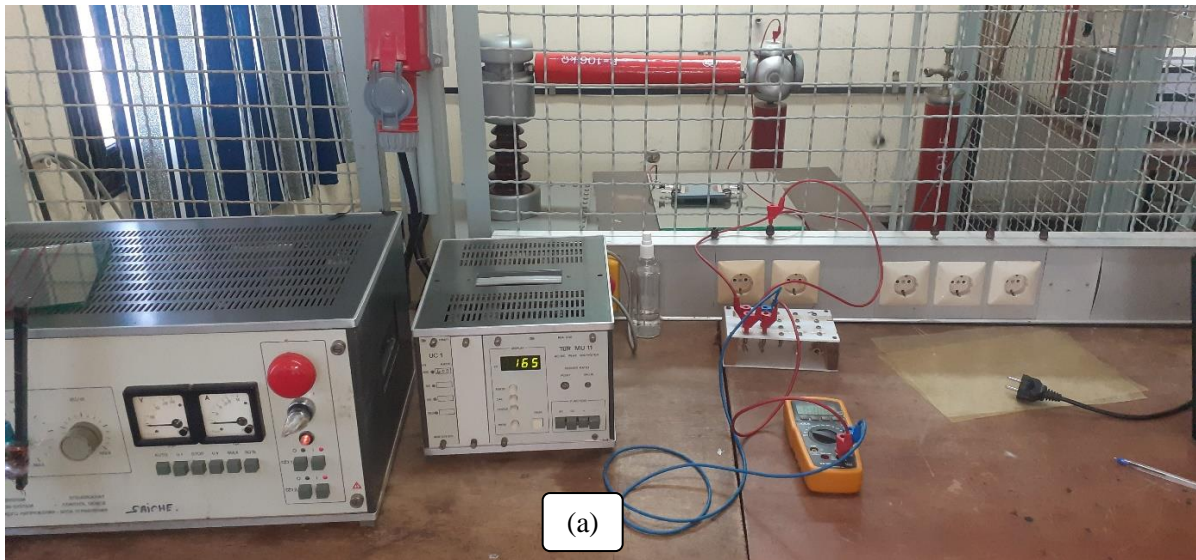


Fig.36 : Dispositif expérimental du laboratoire haute tension de l'université Abderrahmane Mira de Bejaïa.

(a): côté commande ; (b): côté haute tension

2.2.1 Techniques de Mesure de la tension de claquage

La tension d'essai est mesurée à l'aide d'un diviseur de tension capacitif relié au secondaire du transformateur d'essai. Ce diviseur est constitué d'une résistance haute tension $C = 0.1 \text{ nF}$. En série avec un ensemble de capacités (capacité basse tension, capacité du câble coaxial et capacité d'entrée des appareils de mesure), permettant ainsi de réduire de la tension réelle.

La tension de contournement retenue est la moyenne arithmétique de 20 essais pour chaque cas de conductivité et chaque distribution de la pollution pour une distance entre électrodes de 5cm.

Le schéma du dispositif expérimental de mesure de la tension de contournement est représenté sur la (Fig.37) qui suit :

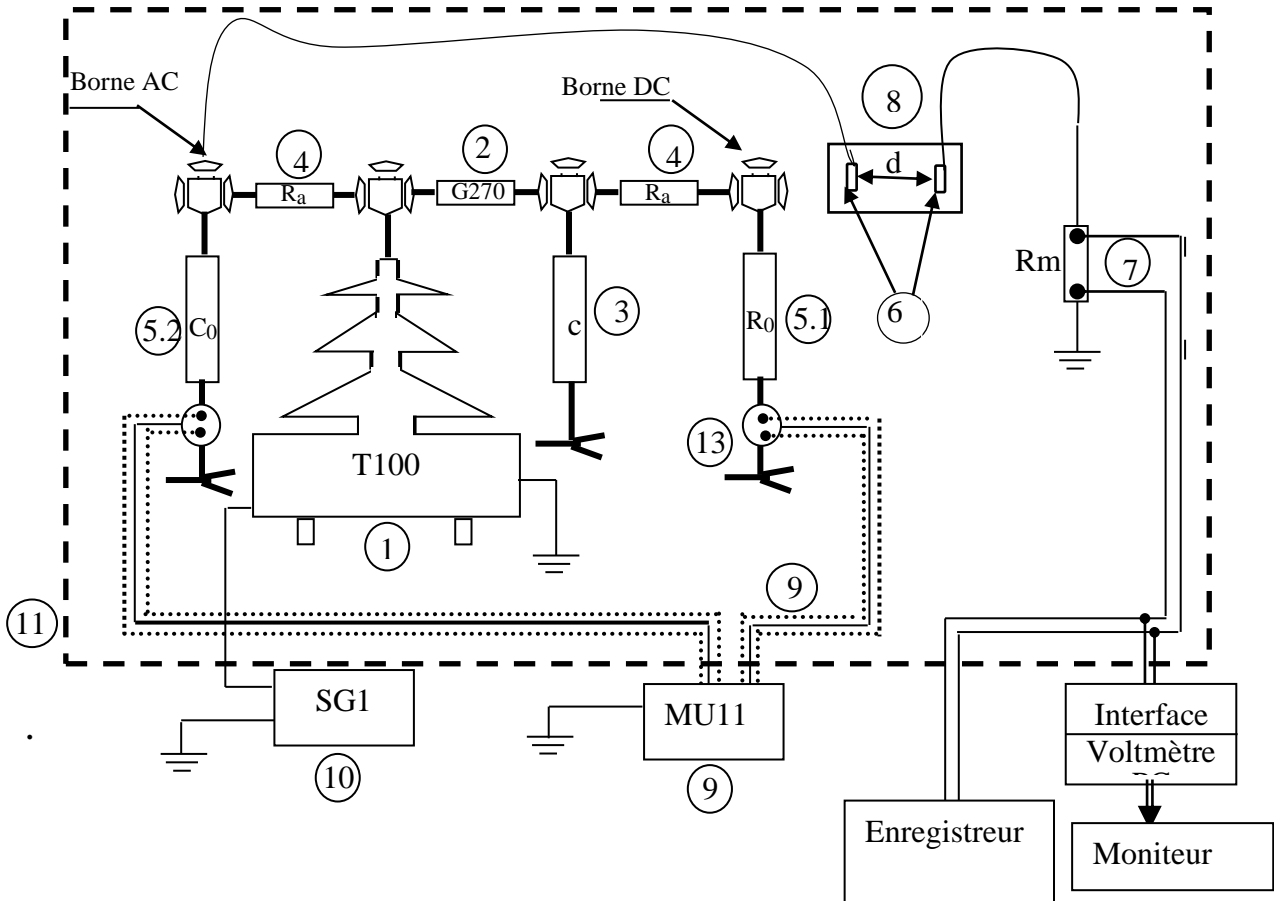


Fig.37: Schéma électrique du dispositif expérimental de mesure de la tension de claquage et du courant de fuite

L'équipement de la station d'essai schématisé sur les fig. 38. :

1 : (T100) Transformateur 0,08 A/135kV ;

2 : (G270) Diode haute tension ;

3 : (C) Capacité de filtrage : 10 nF ;

4 : (Ra) Résistance d'amortissement : 160k Ω ;

5.1 : (R0) Résistance haute tension du diviseur résistif : 250M Ω ;

5.2 : (C0) Capacité haute tension du diviseur capacitif ;

6 : électrode en cuivre ;

7 : (RM) Résistance de mesure : 100 Ω ;

8 : Objet d'essai (isolateur sous pollution) ;

9 : (MU11) Voltmètre de crête ;

10 : (SG1) Commande de l'alimentation du transformateur ;

11 : Cage de Faraday ;

12 : Enregistreur XY (oscilloscope à mémoire ou table traçante) ;

13 : Connecteur ;

14 : Support isolant (isolateur à ailettes) ;

C_E : Capacité d'entrée de MU11 ≤ 50 pF ;

C_C : Capacité du câble coaxial ;

R_N : Résistance basse tension, elle est équivalente à (RU//RE) ;

R_E : Résistance d'entrée de MU11 : 4,24M Ω ;

R_U : Résistance basse tension (résistance du connecteur et câble coaxial) ;

d : distance inter électrodes 5cm

2.2.2 Techniques de Mesure du courant de fuite

La mesure du courant de fuite s'effectue par l'intermédiaire du signal tension capté aux bornes d'une résistance $R_M=100\Omega$, insérée en série avec l'objet d'essais et la terre. Cette tension est mesurée à l'aide d'un multimètre. Par suite le courant est déterminé en appliquons la loi d'Ohm. $I= U/R$

Les essais sont réalisés sur deux échantillons défèrent ; échantillon N°1 bleu et un échantillon N°2 gris à sec et pollués avec cinq conductivités déférentes en fixons la tension d'alimentation à 14.5 KV, et cela à l'état vierge et vieilli.

Le schéma du dispositif expérimental de mesure de courant de fuite est représenté sur la figure(Fig.37).

2.2.3 Techniques de Mesure d'hydrophobie

L'impact synergique des UV, de la chaleur et du stress électrique peut modifier la chimie de la surface et sa mouillabilité. L'angle de contact statique avec l'eau est une évaluation quantitative de la mouillabilité de la surface. Dans cette étude, l'hydrophobicité des composites a été évaluée en mesurant l'angle de contact statique des gouttes d'eau à l'aide d'un un appareil photo numérique de précision et en utilisant le logiciel IMAGE J pour mesurer l'angle de contact θ .

De l'eau déionisée avec une conductivité de $11 \mu S /cm$ a été versée dans la seringue et le volume de la goutte d'eau a été contrôlé à 0,4 ml. Ensuite cette goutte d'eau est déposée sur la surface de tous les échantillons vierges et vieillis, par suite des images en été prises est traitée à l'aide du logicielle imageJ.

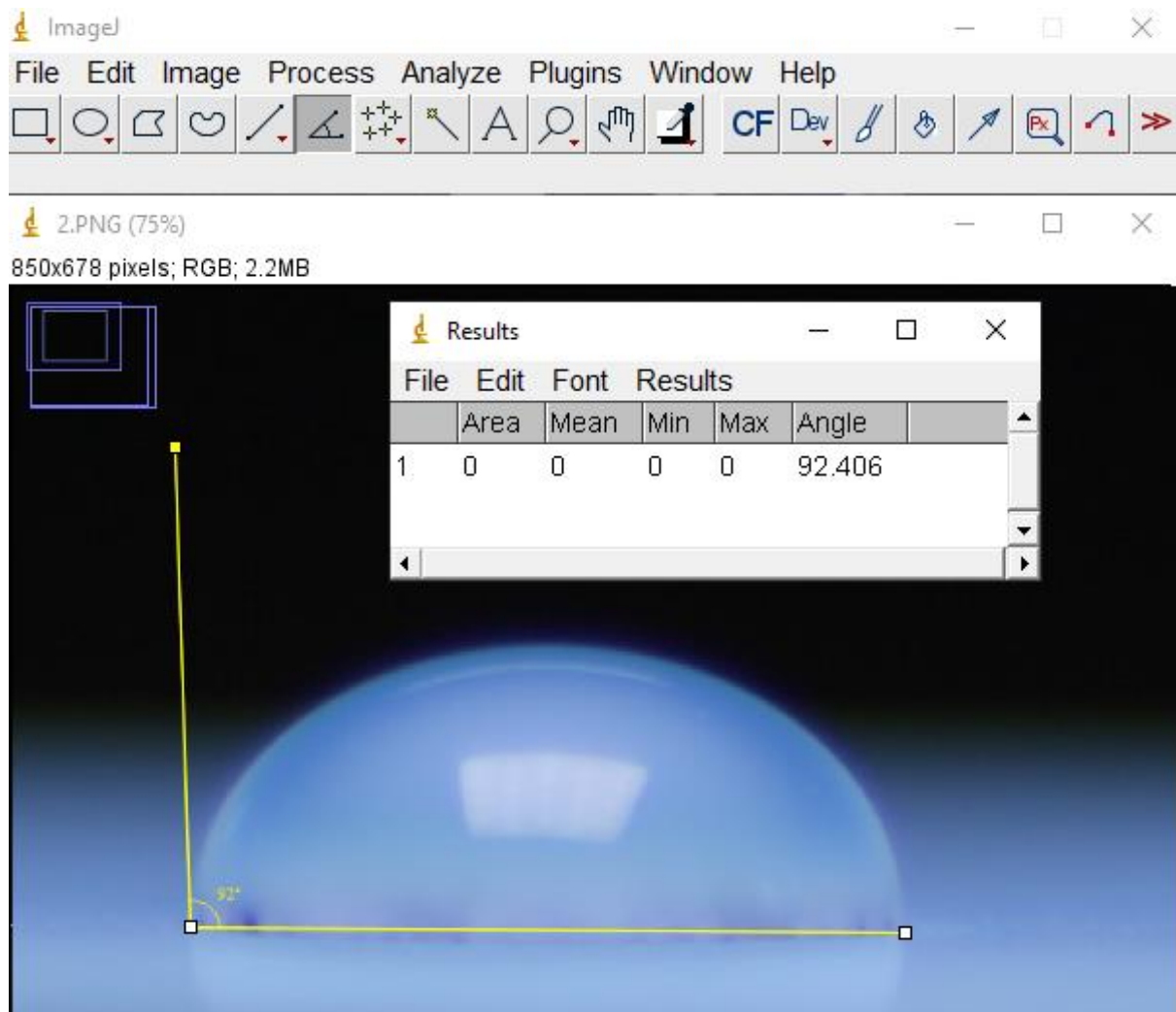


Fig.38 : Interface du logiciel imageJ



Fig.39 : La seringue utilisée pour déposer les gouttes d'eau sur la surface

3. Résultats et discussions

3.1 Observation visuelle

L'observation visuelle des échantillons vieillis a montré une décoloration nettement remarquable sur les échantillons n°1 qui ont subi un vieillissement par UV. On remarque que ces échantillons ont commencé à virer vers le gris, et cette décoloration s'accroît au fur et à mesure que le nombre d'heures de vieillissement augmente. (Fig.40)



Fig.40 : Observation visuelle de la décoloration des échantillons en silicone après vieillissement UV

La figure 41 montre la différence entre un échantillon vierge et un autre qui a subi 660 heures de vieillissement à UV, l'échantillon vieilli est passé du bleu clair vers un bleu qui vire au gris et est complètement délavé de sa couleur d'origine.



Fig.41 : Différence de couleur entre l'échantillon vierge et l'échantillon qui a subi 660h de vieillissement au UV

De plus on peut distinguer l'apparition de surface jaune pâle sur le côté ciblé, comme indiqué par les cercles rouges sur la (Fig.42). Pour l'échantillon vieilli à 190h des taches de décoloration jaunâtres mineures sont apparues dans le côté droit de la zone médiane. Des changements similaires sont repérés sur l'échantillon vieilli à 530 h mais quant à lui les taches jaunes sont un peu plus importantes et apparaissent sur toute la zone médiane et un peu plus étalées vers le nord de l'échantillon. Tandis que l'échantillon vieilli à 660h a subi une décoloration jaunâtre majeure uniformément répartie sur toute sa surface.

La décoloration sous contrainte UV, électrique ou thermique est considérée comme un premier indice de la dégradation dupolymère provoquée par le phénomène de cyclisation intramoléculaire. Ce phénomène initie l'oxydation de surface, qui provoque la décoloration et la dégradation dupolymère et la perte d'hydrophobicité.

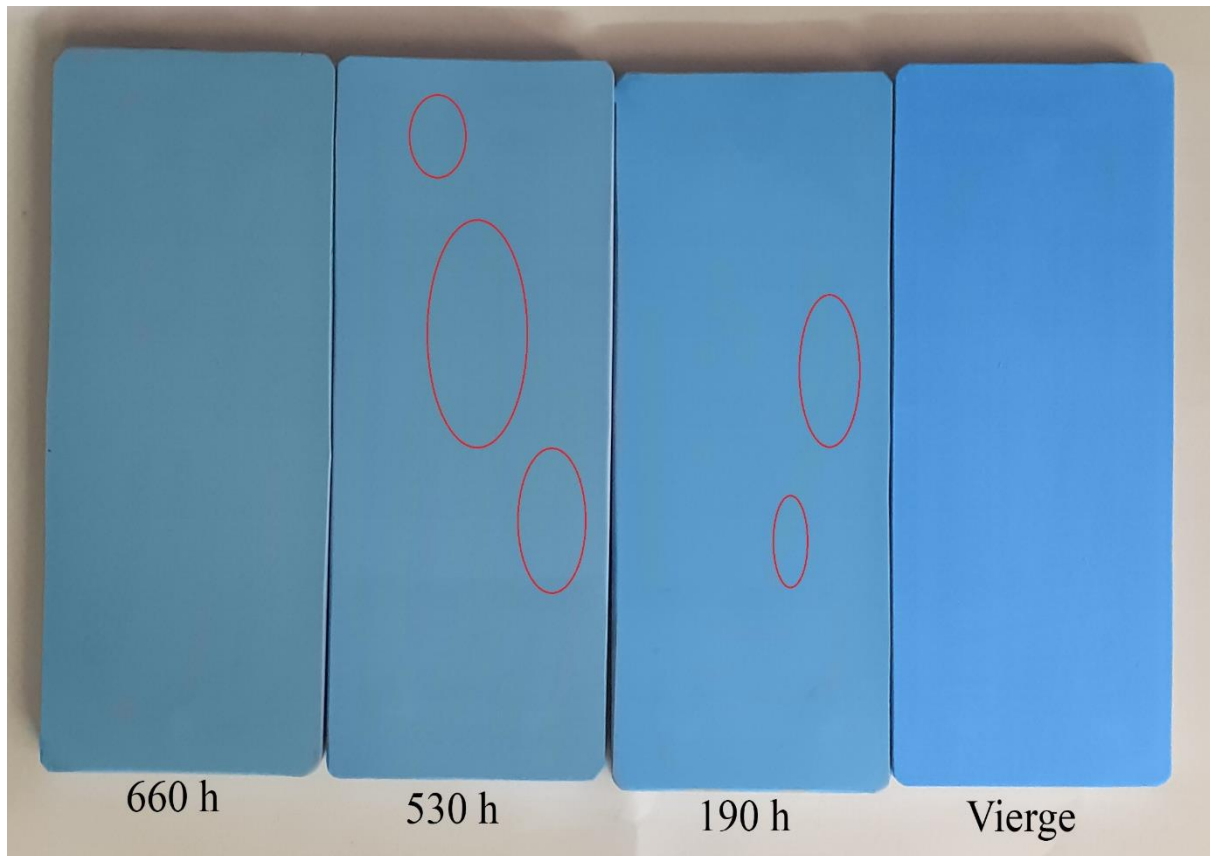


Fig.42 : Apparition de taches de décoloration jaunâtre

On note que l'échantillon N°2 n'est pas visuellement intéressant car aucun changement de couleur notable n'est apparu, il est dû à sa couleur d'origine grise.

3.2 Hydrophobie et angle de contact

L'hydrophobicité d'une surface est caractérisée par l'angle de contact θ d'une goutte de liquide déposée sur une surface solide plane, celui-ci est défini par l'angle formé entre la tangente à la goutte au point de contact et la surface solide. La mesure de cet angle permet de déduire le caractère hydrophobe ou hydrophile de la surface exprimé par son indice d'hydrophobicité (IH).

Dans notre étude, l'angle de contact θ de la goutte d'eau est déterminé pour différentes déclinaisons de la surface de la plaque de silicone pour chacun des échantillons N°1 et N°2, sous l'effet du paramètre d'influence mis en jeu, à savoir le temps de vieillissement aux UV en heures, pour ce qui est du volume des gouttes et leurs conductivités ils ont été fixés respectivement à 0,4 ml et $\sigma = 11\mu\text{s}$ (eau déminéralisée).

Moyennant d'un appareil photo numérique de précision, nous avons réalisé des prises de photos des gouttes d'eau posées sur la plaque de silicone, et ces dernières sont alors traitées en utilisant le logiciel IMAGE J pour mesurer l'angle de contact θ , dans un premier temps, et déterminer l'évolution de l'angle de contact en fonction du temps de vieillissement. Les histogrammes des figures 43 et 44 résument les résultats de la mesure de l'angle de contact θ pour les deux états de la surface de la silicone considérés, soit vierge et vieilli en fonction du temps de vieillissement pour les deux échantillons N°1 et N°2.

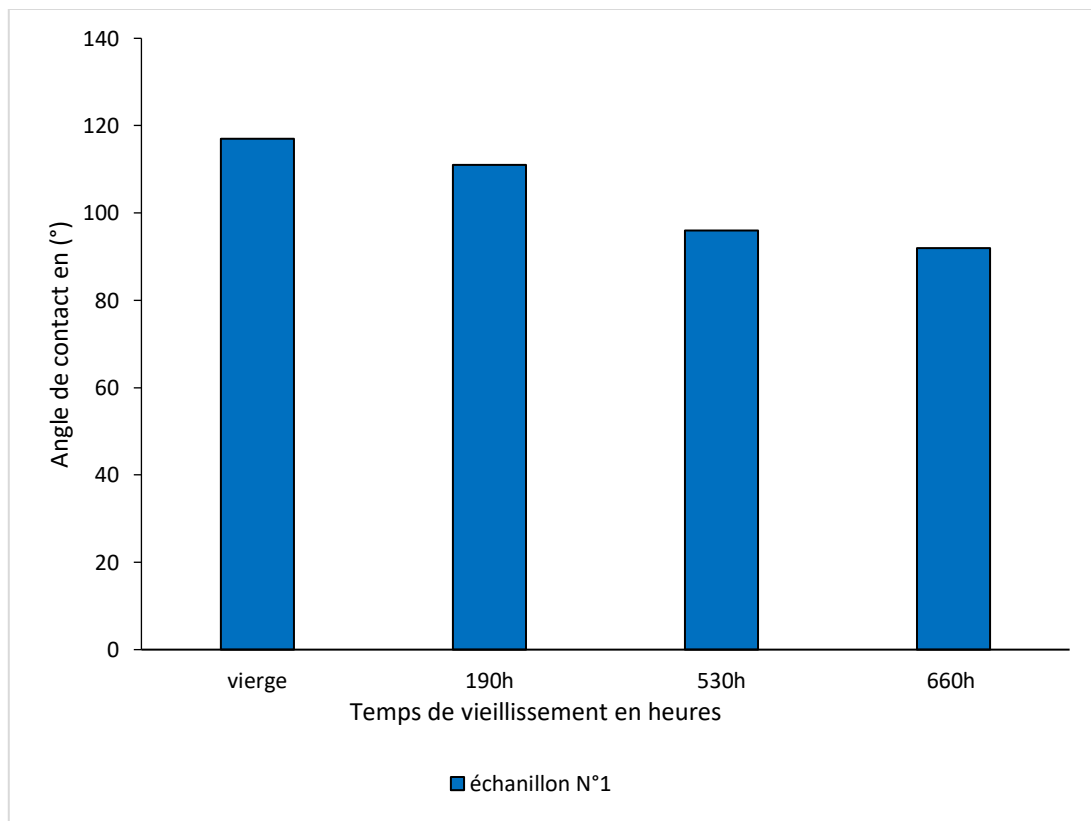


Fig.43 : Evolution de l'angle de contact de l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement

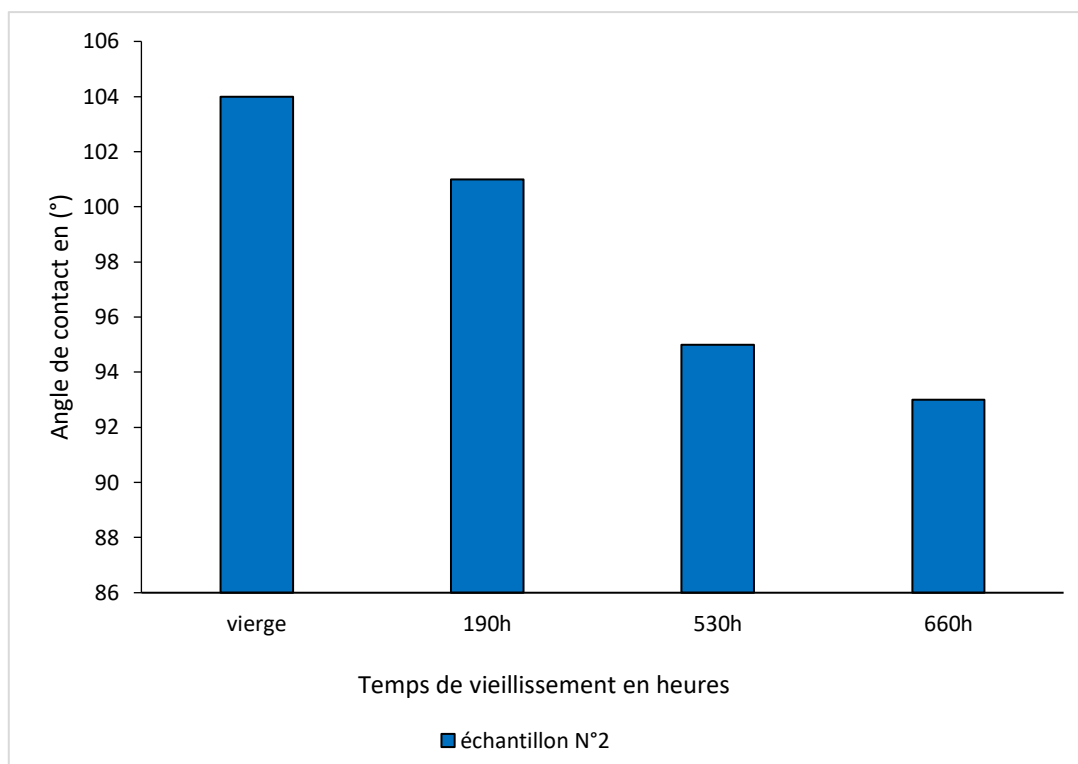


Fig.44 : Evolution de l'angle de contact de l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement

L'angle de contact initial des deux échantillons non vieillis N°1 et N°2 respectivement est de 117° et 104°.

On peut voir que de 0h (vierge) jusqu'à 190 h de vieillissement, l'angle de contact a diminué à un rythme lent, et une résistance notable à la perte d'hydrophobicité a été observé dans les échantillons N°1 et N°2, à ce stade l'ordre de résistance à la perte d'hydrophobicité est échantillon N°1 en premier puis suivie l'échantillon N°2.

Alors qu'il est intéressant de constater un rythme de perte d'hydrophobicité plus élevé à partir de 190 h à 530h dans les deux échantillons. Fait intéressant, à cet intervalle de l'altération, l'échantillon N°2 offrait une résistance bien meilleure à la perte d'angle de contact par rapport à l'échantillon N°1. Les angles de contact mesurés à 190h étaient de 111° pour l'échantillon N°1 et 101° pour l'échantillon N°2, ensuite à 530h ils étaient à 96° pour l'échantillon N°1 et 95° pour l'échantillon N°2, ce qui constitue une déférence de 17.95 % pour l'échantillon N°1 et de 8.65 % pour l'échantillon N°2 ceux qui fait de celui-ci plus résistant aux effets des UV que l'échantillon N°1.

Par suite à l'intervalle 530h, 660h en remarque une faible réduction de l'angle de contact il est mesuré à 660h pour chacun des échantillons 1 et 2 à 92° pour l'échantillon N°1 et 93° pour l'échantillon N°2. Ce qui fait une réduction 4.12 % pour l'échantillon N°1 et 2.11% pour l'échantillon N°2.

La meilleure résistance à la perte d'hydrophobicité de l'échantillon N°2 par rapport à l'échantillon N°1 peut être associée à l'amélioration de la diffusion et de la capacité de protection contre les UV du composite en raison de la présence de SiO nanométrique.

Sur les **Figures 45, 46, 47 et 48** nous présentons les disparités des angles de contact à la surface des échantillons vierges à ceux qui ont subi 660h de vieillissement UV.

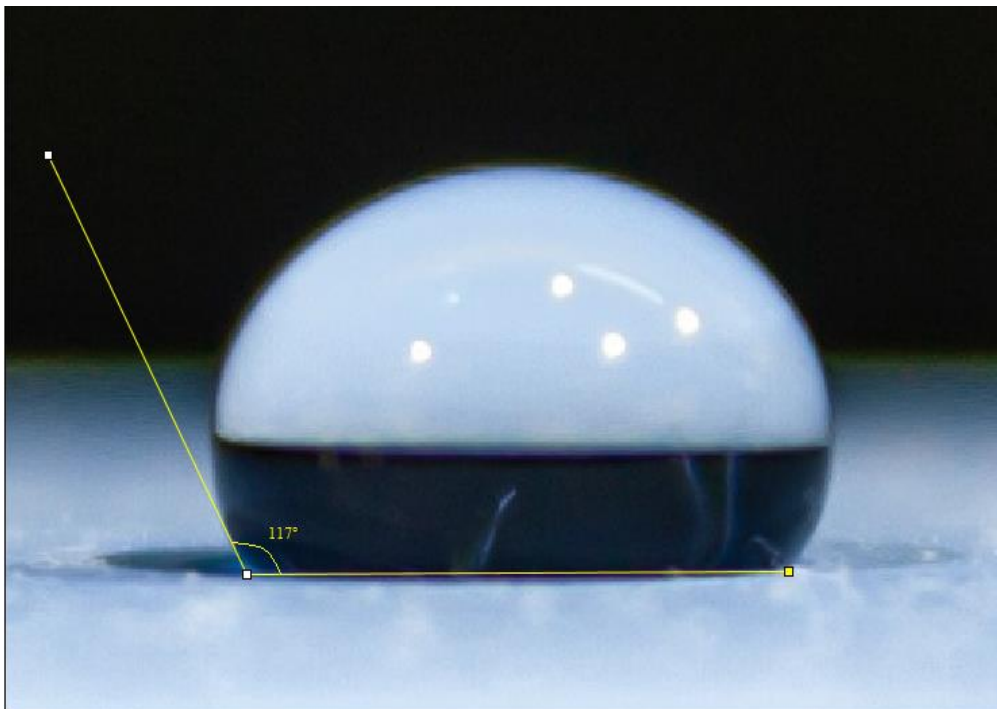


Fig.45 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vierge

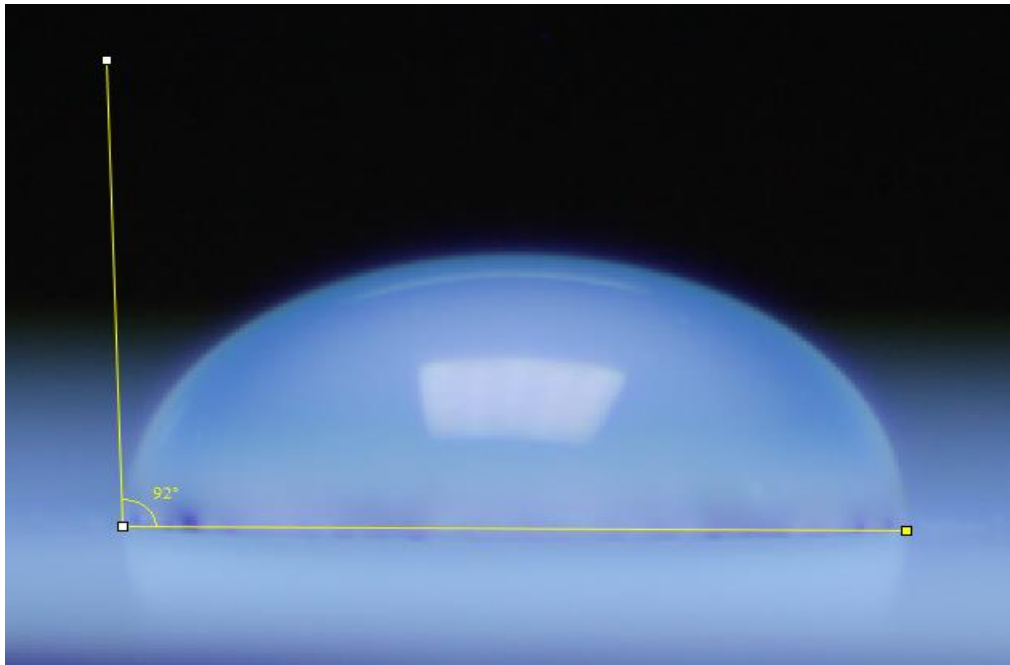


Fig.46 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vieillie à 660h de UV

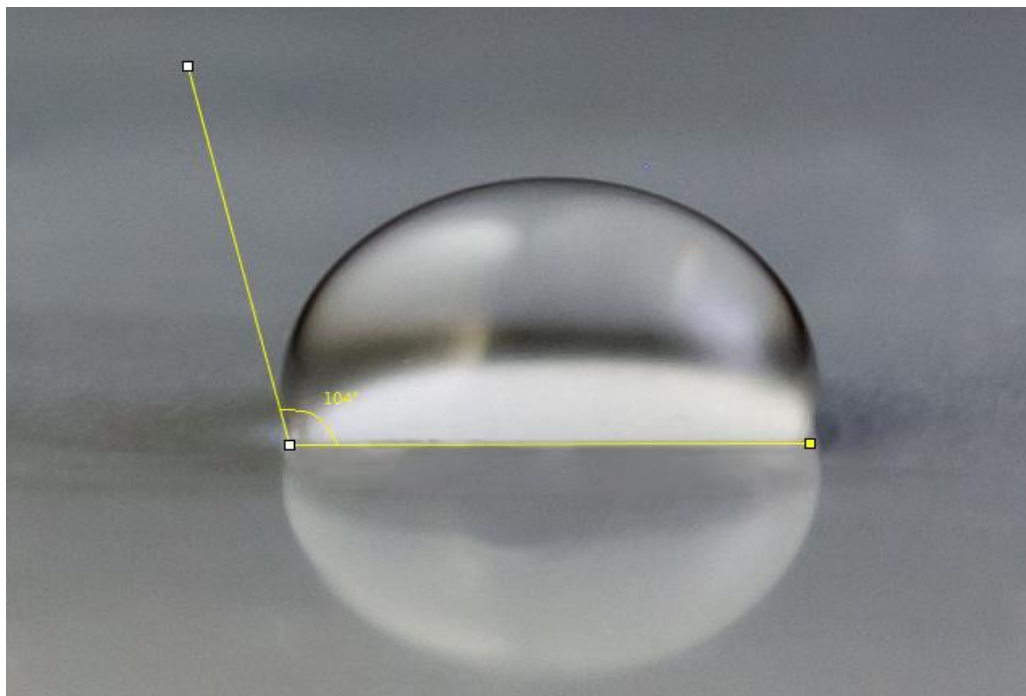


Fig.47 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°2 vierge

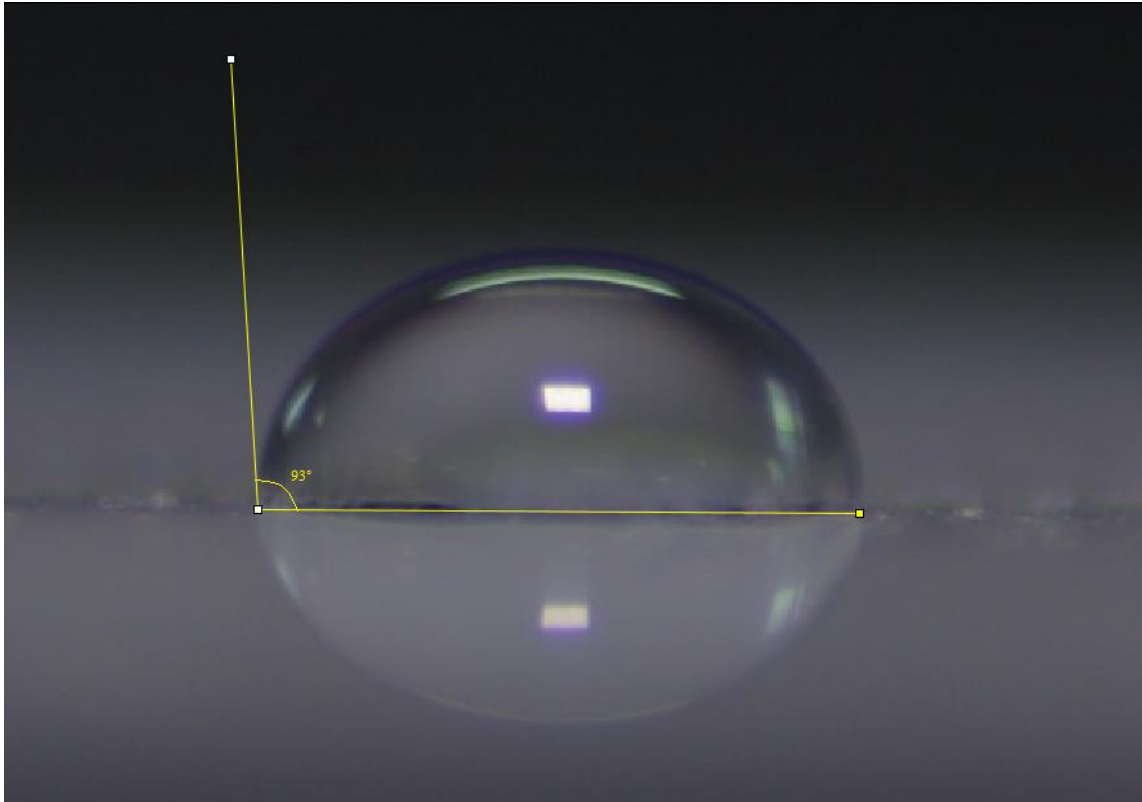


Fig.48 : Angle de contact d'une gouttelette d'eau sur la surface de silicone de l'échantillon N°1 vieillie à 660h de UV

3.3 Tension de claquage

La **figure 49** montre les variations typiques de tension de contournement (claquage) sur la surface de l'échantillon N°1 en fonction du degré de sévérité de pollution des isolateurs en silicone à leur état vierge et vieilli aux UV. On peut voir sur la figure que les valeurs de la tension de claquage diminuent tout au long de l'expérience selon les deux paramètres mis en jeu, c'est-à-dire le degré de pollution et le temps de vieillissement.

En remarque que l'augmentation de la conductivité sur la surface de l'échantillon fait diminuer la tension de claquage ce qui est logique, mais en remarque aussi que l'exposition aux UV a un effet similaire, car l'augmentation du temps d'exposition aux UV et par conséquent la dose des UV que l'échantillon a reçu fait aussi diminuer la tension de claquage, et cela est représenté dans les courbes de la (**Fig.49**), qui nous montre que la courbe de la tension de claquage de l'échantillon qui a subi 190h de vieillissement accéléré aux UV est au-dessous de la courbe des tensions de claquage de l'échantillon vierge, et la courbe de l'échantillon qui a subi 360h de vieillissement UV est au-dessous de la courbe précédente (190h), c'est aussi pareil pour les courbes de 530h et 630h de vieillissement. Ce que l'on

peut aussi constater que la forme des courbes tracées après le vieillissement sont identiques à la courbe tracée pour l'échantillon qui n'a pas subi de vieillissement UV mais avec des valeurs de tension de claquages plus faibles, autrement dit c'est la même courbe avec des valeurs plus faibles à chaque fois. Ce qui confirme que les ultraviolets ont un impact sur la tension de claquage des isolateurs en silicone et leurs tenues diélectriques général.

En addition à cela il est nettement perceptible que l'effet de la pollution conductrice et une longue exposition aux UV fait chuter la tension de claquage énormément, à partir du graphique on constate que l'effet 2000 μ S de pollution conductrice et 660h de vieillissement accéléré aux UV fait diminuer la tension de claquage d'environ 65% de sa valeur initiale vierge et sec (sans utilisation de solution polluante ou conductrice et aucune exposition aux UV).

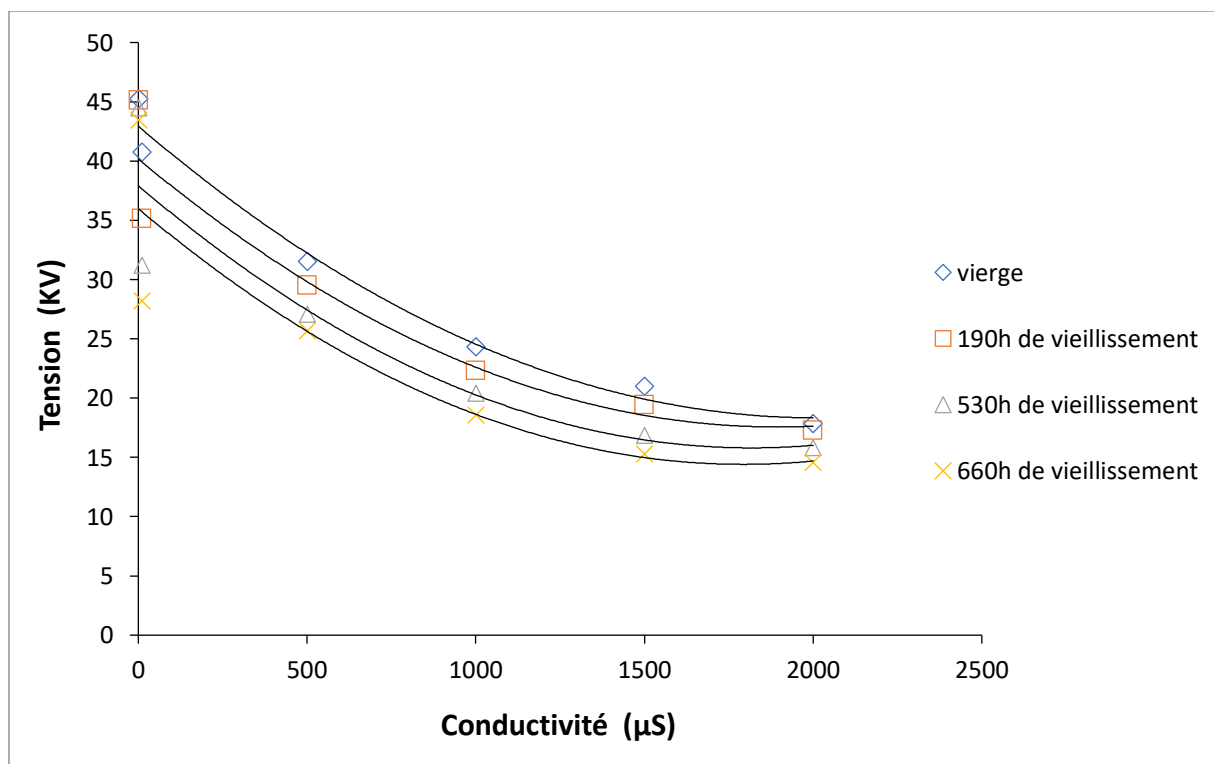


Fig.49 : Tension de claquage de l'échantillon N°1 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement

Et on peut ajouter à tout cela, à partir des graphes de la (Fig.50) que pour le même degré de conductivité plus la dose d'UV reçu (temps d'exposition) augmente plus la tension de claquage diminue.

La figure 50 présente l'évolution de la tension de claquage en fonction du temps de vieillissement accéléré aux UV, pour des conductivités fixes. On remarque que la tension de claquage ne diminue pas d'une manière significative pour une surface sèche et propre, par contre une réduction notable mais pas très importante qu'avec la combinaison de la pollution et les UV est remarquée pour les autres taux de conductivité. Ce qui montre une certaine résistance de la silicone envers les UV, et cela prouve aussi que cet effet de réduction de tension de claquage est amplifié en présence des deux facteurs pollution conductrice et rayons UV ensemble.

Ce qui a le plus d'impact sur la tension de claquage des échantillons pollués est l'exposition prolongée aux UV qui provoque à son tour la perte d'hydrophobie de la silicone qui engendre la diminution de l'angle de contact, qui se traduit par l'aplatissement des gouttelettes de pollution sur la surface des échantillons et un grand mouillage de cette dernière qui favorise l'apparition des arcs partiels qui se propagent jusqu'au contournement.

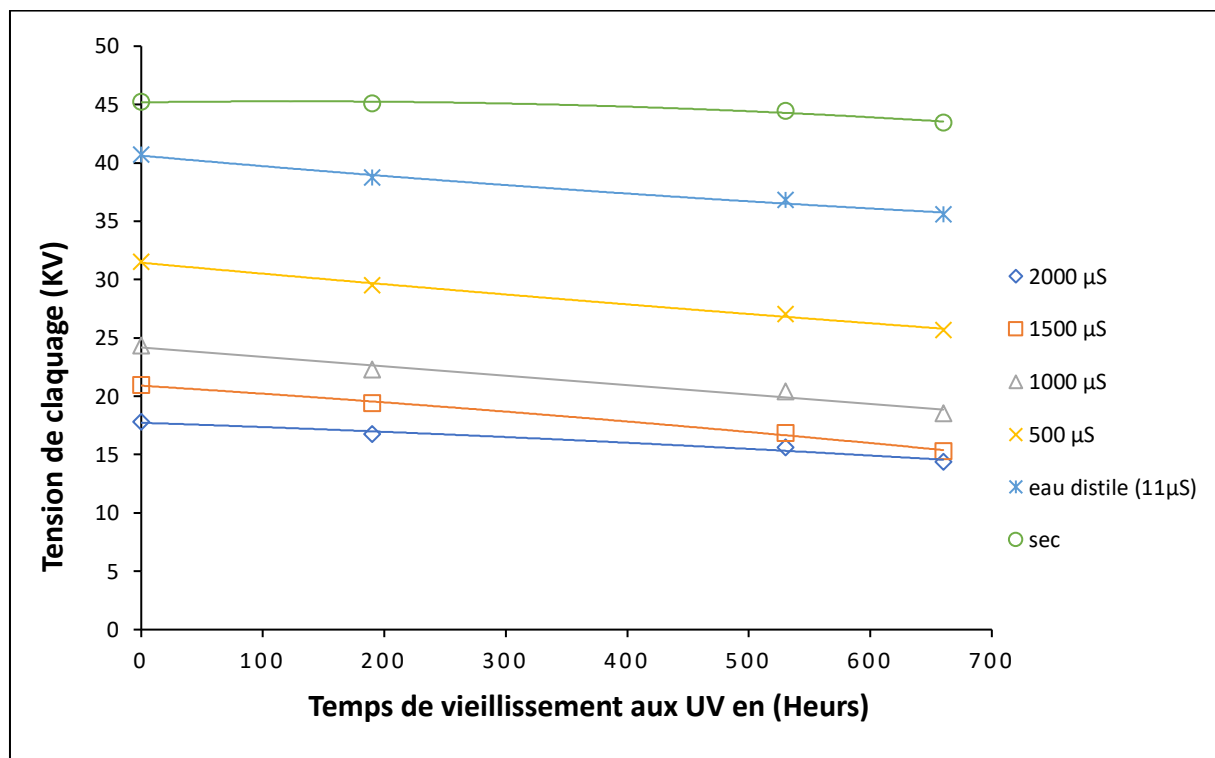


Fig.50 : Tension de claquage pour l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivité

Les deux figures 49,50 ont montré la faiblesse de la silicone pour les rayons UV qui agissent sur la tension de claquage des isolateurs en silicone, en la réduisant, ce qui affecte leur performance électrique en générales.

Le même phénomène est observé pour l'échantillon N°2 avec des résultats similaires que l'échantillon N°1 malgré qu'il est fabriqué par un autre fabricant et un procédé de fabrication totalement différent. Les figures 52 et 53 montrent successivement : La tension de claquage en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement et les tensions de claquage en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités.

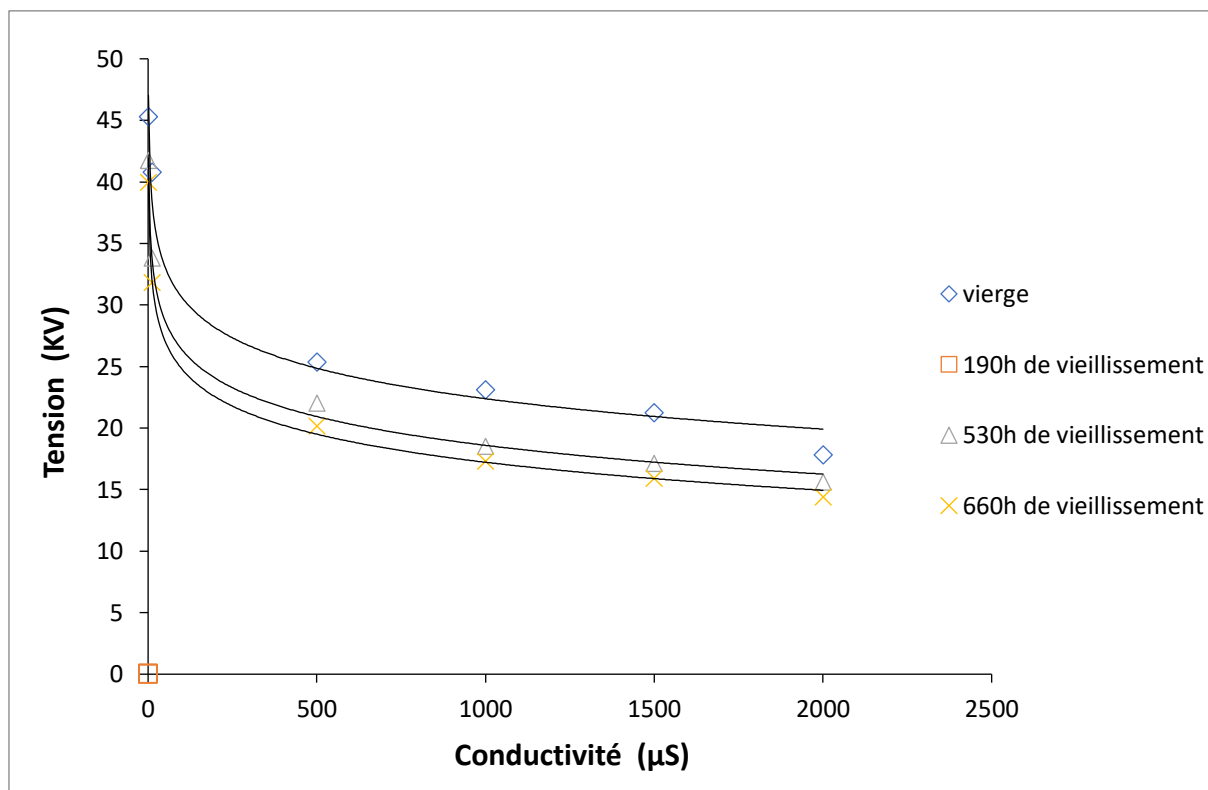


Fig.51 : Tension de claquage pour l'échantillon N°2 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement

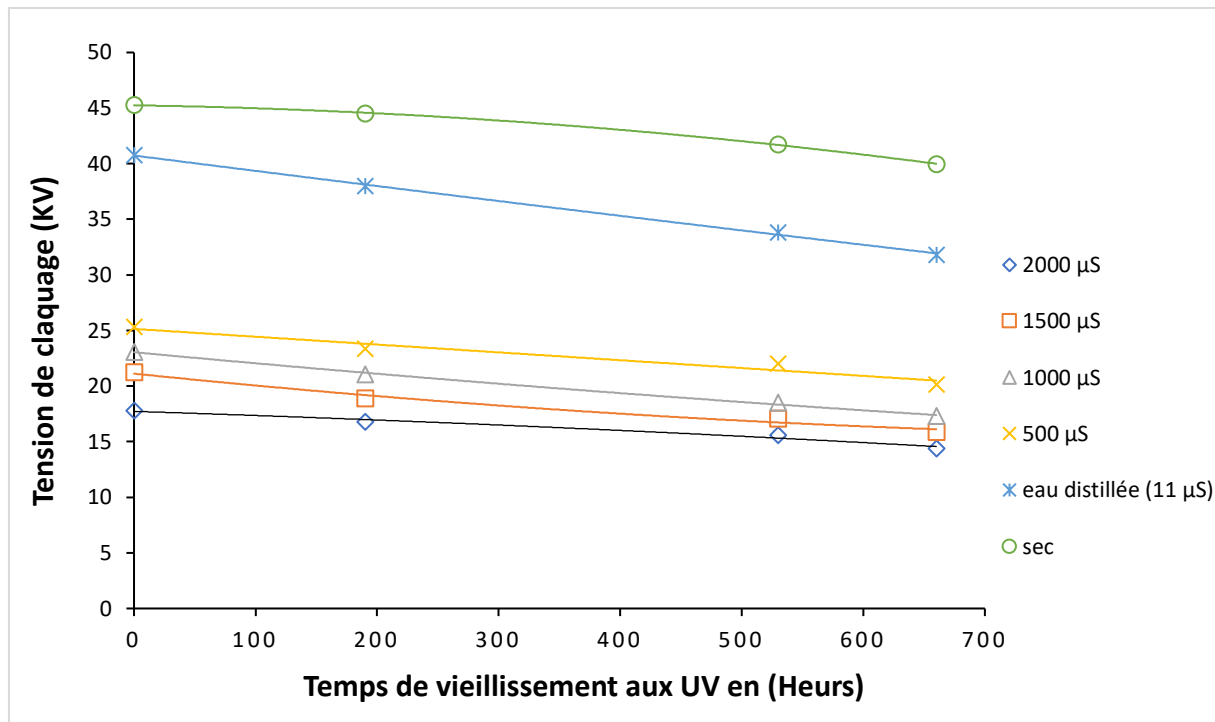


Fig.52 : Tension de claquage pour l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivité

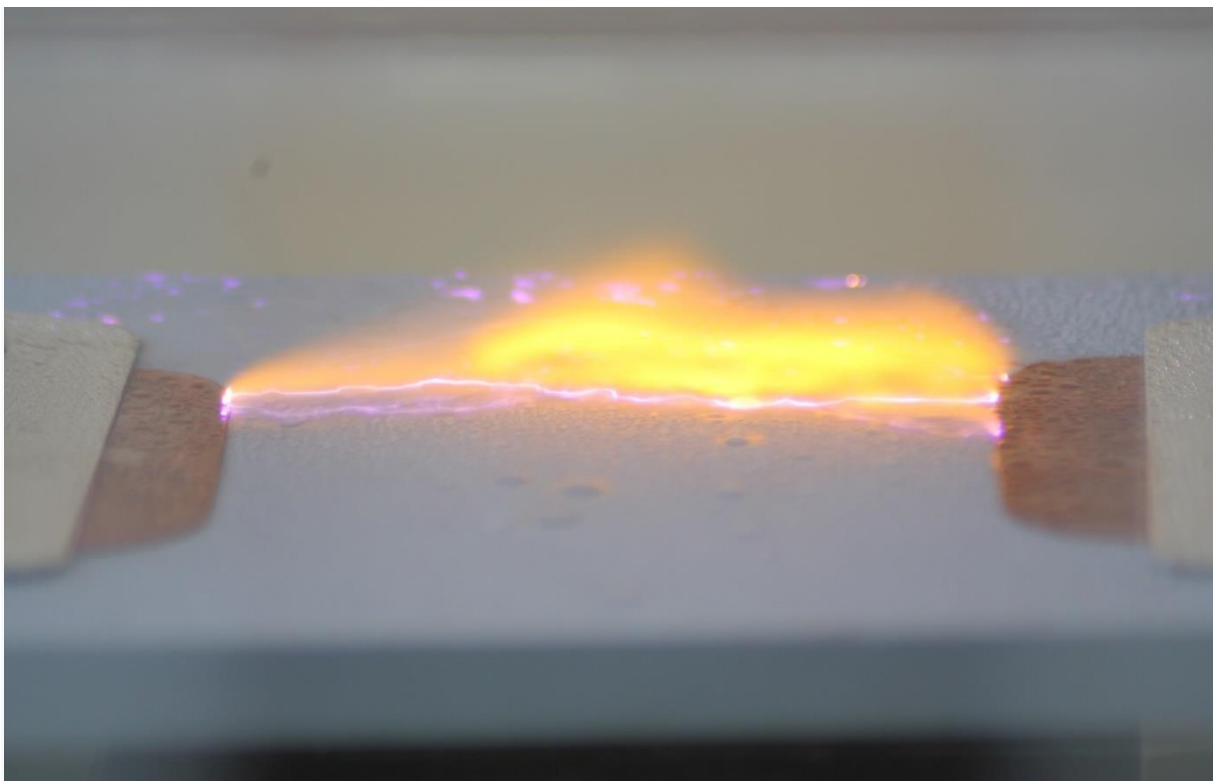


Fig.53 : Claquage surfacique entre les électrodes en cuivre de l'échantillon N°1 avec présence de pollutions conductrice

3.4 Courant de fuite

La **figure 54** montre les variations du courant de fuite sur la surface de l'échantillon N°1 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement aux UV et pour une tension appliquée de 14.5 kV. On peut voir que les valeurs de courant de fuite de l'échantillon N°1 augmentent au fur et à mesure que la conductivité augmente pour tous les spécimens vierges et vieillis. Mais aussi observe que les valeurs de courant de fuite pour les échantillons vieillis sont significativement plus élevées par rapport aux échantillons vierges.

En remarque aussi que l'augmentation de la conductivité sur la surface des échantillons fait augmenter le courant de fuite de tous les spécimens ce qui est cohérent, mais une attitude similaire est remarquée pour les rayons UV autrement dits : L'augmentation du temps d'exposition aux UV des échantillons fait augmenter le courant de fuite. Cela est représenté dans les courbes de la (**Fig.54**), qui nous montre que toutes les courbes de courant de fuite des échantillons qui ont subi le vieillissement accéléré aux UV sont empilées l'une après l'autre, et on observe que l'échantillon vierge présente les courants de fuite les plus faibles et l'échantillon vieilli à 660h d'UV présente les valeurs les plus élevées.

Un autre point important à remarquer est que pour les mêmes conductivités avec tous les échantillons de cette étude, une différence dans les valeurs de courant de fuite qui s'accroît avec chaque période de vieillissement ajoutée, est observée, ce qui confirme que les UV sont en effet responsables de cette augmentation de courant de fuite et que ce n'est pas uniquement l'accroissement de la conductivité qui est responsable, comme le montre la différence de valeurs entre les deux courbes (**Fig.54**) de l'échantillon vieilli 190h et la deuxième vieilli à 530h d'exposition aux rayons UV. Car en remarque une grande augmentation de la valeur du courant de fuite dans l'intervalle de 190h à 530h d'exposition aux UV par rapport à la valeur du courant de fuite obtenue pour l'intervalle de vieillissement compris entre 530h et 630h.

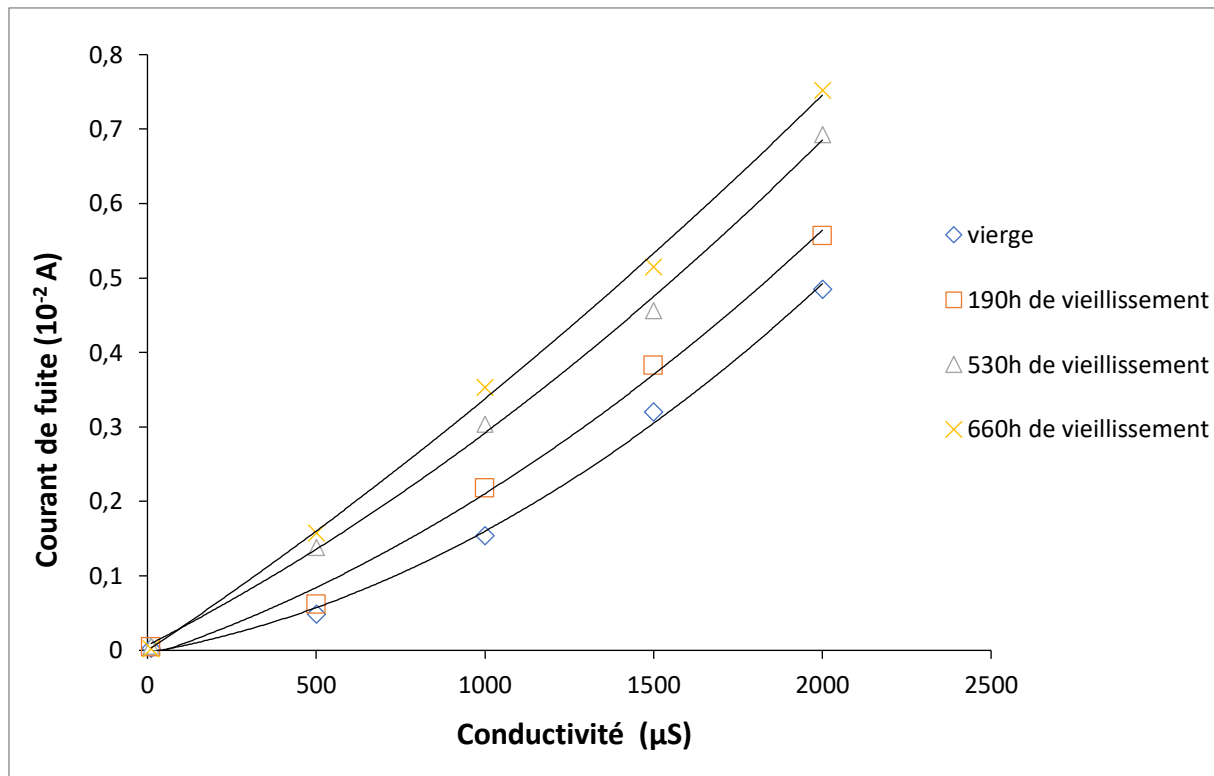


Fig.54 : Courant de fuite de l'échantillon N°1 en fonction de la conductivité pour chaque laps de temps de vieillissement

La figure 55 montre l'évolution des courants de fuites pour l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités, elle confirme que les rayons UV jouent un rôle dans la dégradation des propriétés de la silicone ce qui provoque une augmentation des courants de fuites dans les isolateurs en silicone au fil du temps. Car on peut remarquer que pour des conductivités fixes, plus le temps de vieillissement aux rayons UV est prolongé plus les valeurs de courant de fuite augmentent.

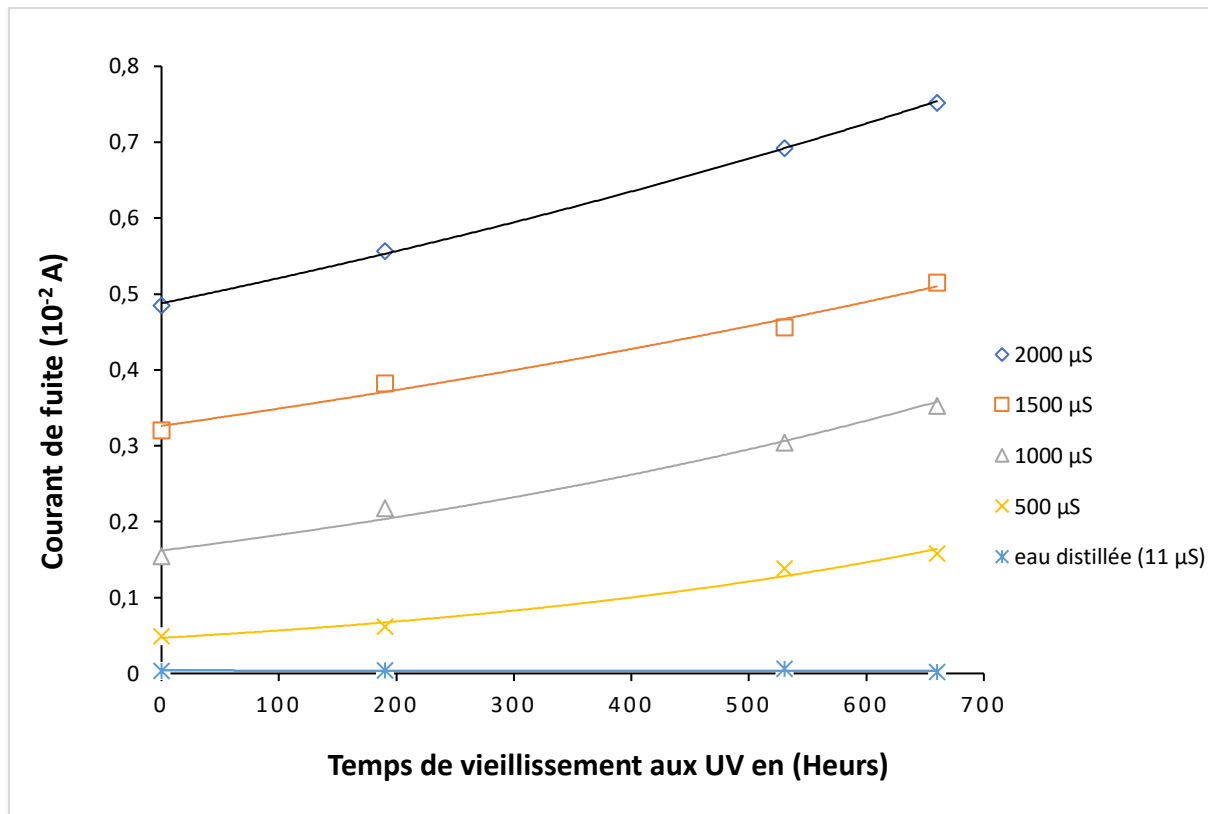


Fig.55 : Courant de fuite pour l'échantillon N°1 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivité

On peut également observer qu'il y a des variations prononcées de courant de fuite mesurés dans chaque échantillon. Des augmentations mineures dans les valeurs des courants de fuite sont observées de 0h à 200h mais après 200h on remarque les valeurs de ces courants de fuite deviennent de plus en plus grandes par rapport à leurs valeurs initiales à 0h de vieillissement UV et cela pour toutes les conductivités. Ce qui doit être aussi signalé est que pour des conductivités très faibles tel que l'eau distillée, il semble qu'il n'y a pas eu de changement dans la valeur du courant de fuite, mais en réalité il y a eu une augmentation minime dans sa valeur, sauf qu'elle apparaît négligeable devant les valeurs obtenues dans le cas d'échantillons pollués. Cela est dû au fait que l'eau distillée a une très faible conductivité (11 μ S) presque nulle et c'est comme si on mesure le courant de fuite dans des conditions sèches, alors automatiquement le courant de fuite sera extrêmement faible, et il apparaîtra inchangé devant les courants de fuite mesurés pour les autres conductivités et cela même à 660h de vieillissement aux UV.

En observant les deux figures 54 et 55 on s'aperçoit que l'effet du vieillissement UV sur le courant de fuite des isolateurs silicone est amplifié en présence de pollution conductrice. Ce qui n'est pas chose rare en pratique sur le terrain.

La figure (Fig.56) présente le courant de fuite de l'échantillon N°2 en fonction de la conductivité pour chaque période de vieillissement et la figure (Fig.57) présente le courant de fuite pour l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités, on remarque que les graphes de ces deux figures sont similaires aux graphes vus dans les figures (Fig.54) et (Fig.55), c'est-à-dire augmentation du courant de fuite avec l'augmentation de la dose d'UV reçue par la silicone et cette augmentation est boostée en présence de pollution conductrice, Et cela quels que soient les types ou les fabricants de la silicone.

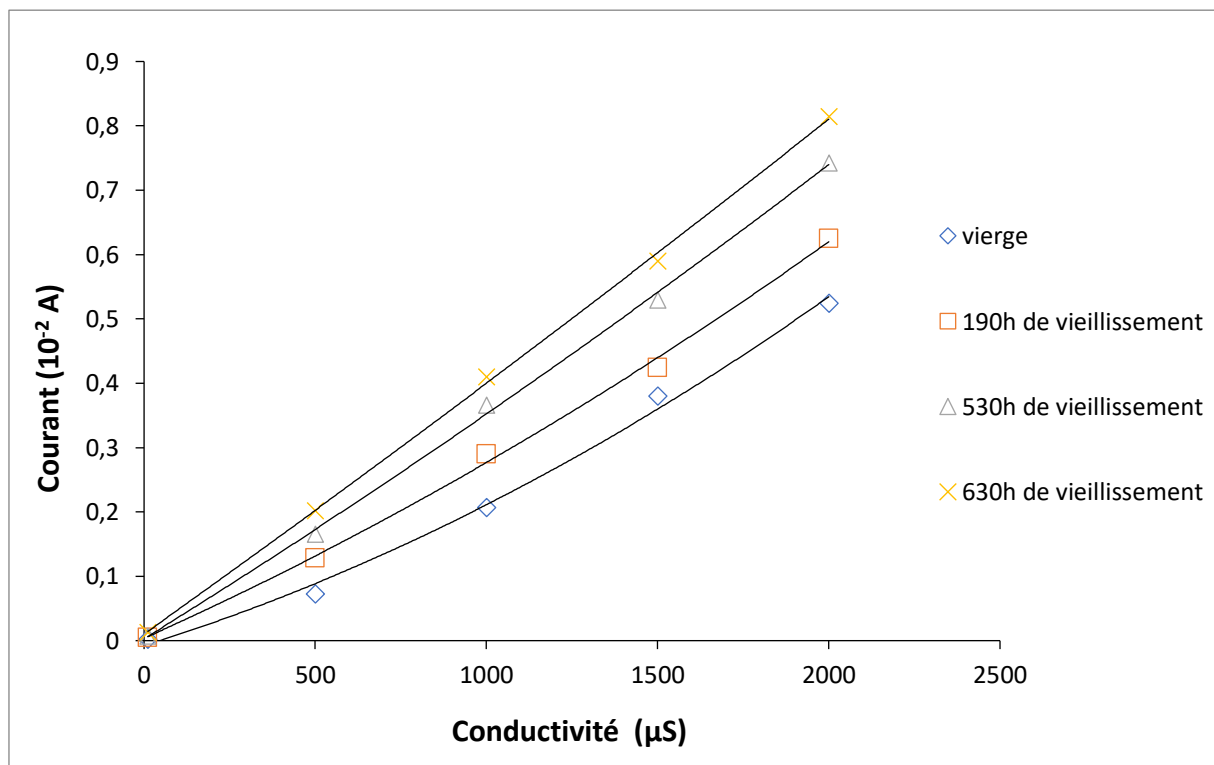


Fig.56 : Courant de fuite de l'échantillon N°2 en fonction de la conductivité pour chaque laps de temps de vieillissement

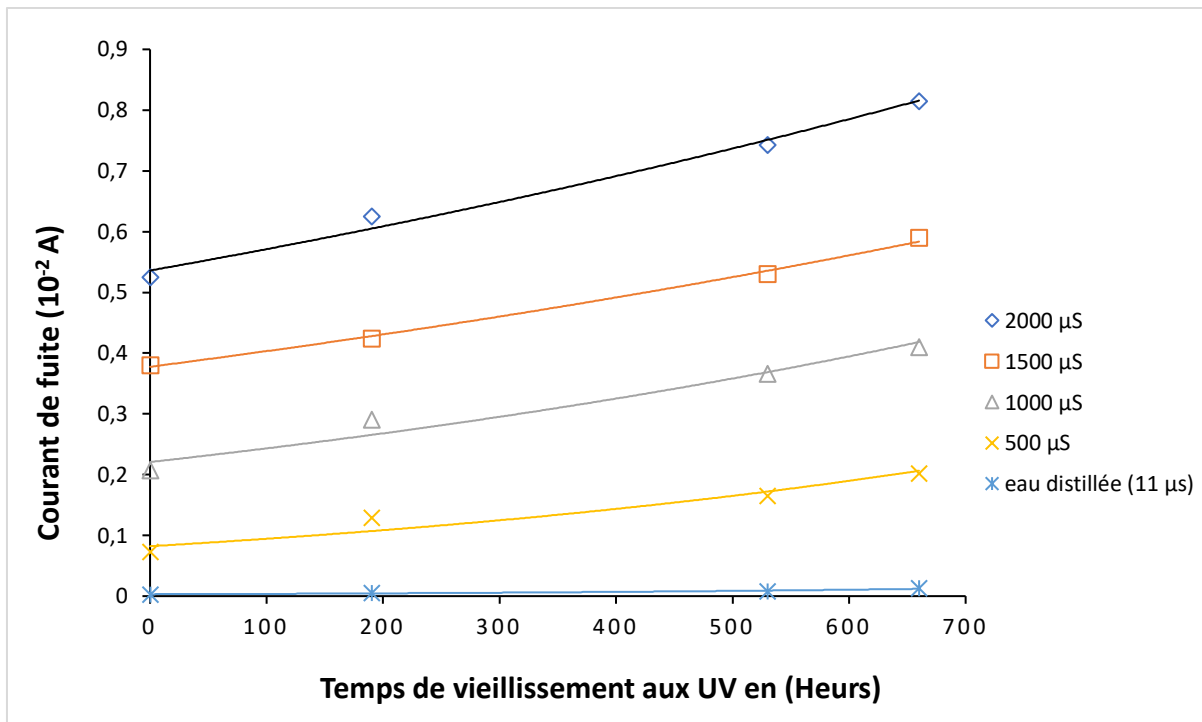


Fig.57 : Courant de fuite pour l'échantillon N°2 en fonction du temps de vieillissement pour les différentes conductivités

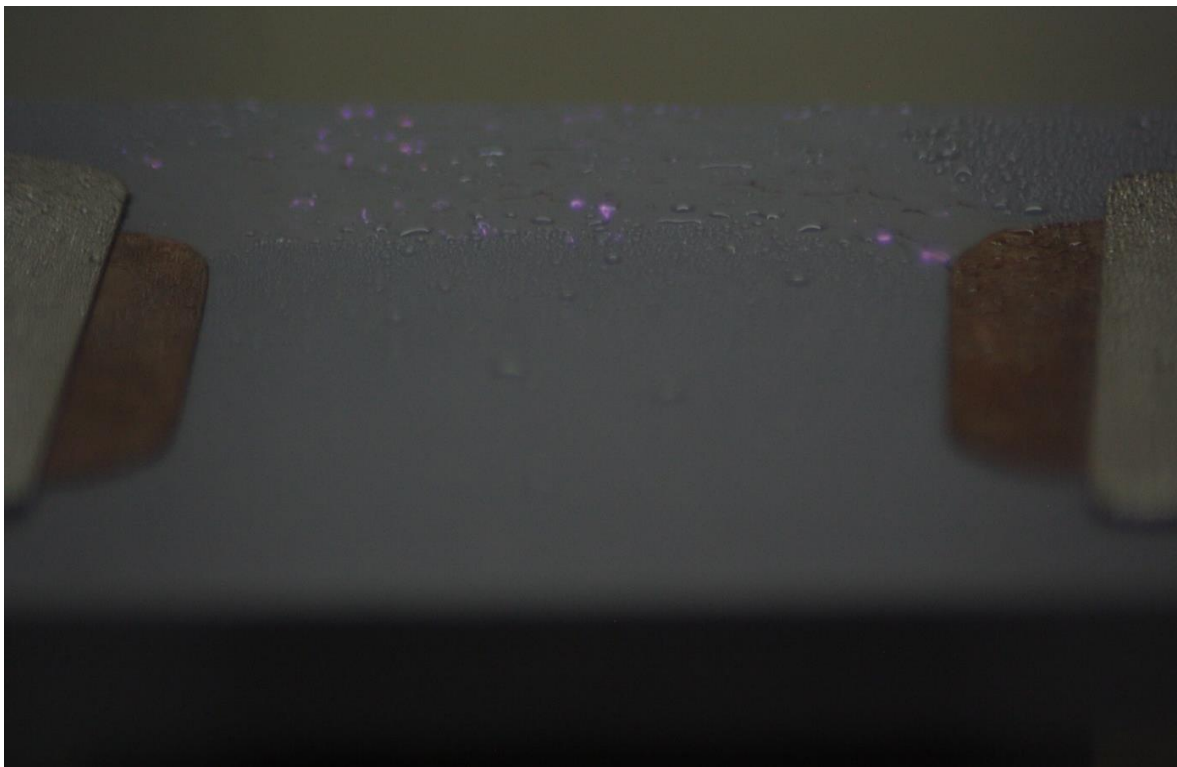


Fig.58 : Arcs partielles engendrant un courant de fuite entre les électrodes en cuivre de l'échantillon N°1 avec présence de pollutions conductrice pour une tension appliquée de 16 kV

Conclusion

Les résultats obtenus lors de l'étude de l'influence des rayons ultraviolets sur la silicone nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- L'exposition prolongée aux rayons ultraviolets a provoqué une décoloration de la silicone qui s'accroît à chaque fois que la durée d'exposition augmente avec apparition de taches jaunes sur la surface exposée à ces rayons UV.
- Une perte d'hydrophobie et diminution de l'angle de contact est remarquée après chaque cycle de vieillissement accéléré aux UV pour tous les échantillons.
- L'augmentation du temps de vieillissement par UV provoque la réduction de la tension de claquage des isolateurs à base de silicone.
- L'augmentation du temps de vieillissement par UV provoque l'accroissement des courants de fuite des isolateurs à base de silicone.
- Il est observé que l'effet d'une solution (pollution) conductrice sur le courant de fuite et la tension de claquage est accentué suite à l'exposition aux rayons UV. De plus, la combinaison du rayonnement UV et la pollution augmente largement le courant de fuite, et diminue considérablement la tension de claquage.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce travail était l'étude de l'effet des rayons UV sur les isolateurs de types silicone. Ce qui a permis de mieux comprendre le comportement d'un isolateur silicone exposé aux rayons ultraviolets émis par le soleil.

Dans un premier temps, nous avons fait une étude préliminaire des performances d'un isolateur silicone vierge et sec sans aucune pollution (propre) ensuite on a entamé des cycles de vieillissement aux UV pour simuler une exposition de longue durée au soleil et de déduire leur effet sur les isolateurs silicone.

Les résultats émanant de cette étude peuvent être résumés comme suit :

- Diminutions de l'angle de contact de nos échantillons de silicone.
- La tension de contournement diminue avec l'exposition prolongée aux rayons UV.
- Le courant de fuite augmente avec l'exposition prolongée aux rayons UV.
- La présence de pollutions conductrices aggrave la tension de contournement et le courant de fuite.
- Décoloration des échantillons exposés aux rayons UV. Ce qui est un bon indice de leur détérioration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. Nemamcha, « cours sur le claquage des isolants haute tension », 2001.
- [2] A. Chabloz, « Technologie des matériaux à l'usage des professions de l'électricité », 1986.
- [3] Alain Anton, « propriétés des isolants », Techniques de l'ingénieur, E1820.D155 ; D214 ; K712.
- [4] Xavier Ducouret, «Caractéristiques d'un élément de chaîne ou d'un isolateur rigide », Lignes aériennes : matériels – Isolateurs , 10 févr. 2004.
- [5] X. Ducouret, « Lignes aériennes : matériels », Techniques de l'ingénieur, D4423.
- [6] S. Medjahed, M. Iblaiden, « Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de pollution d'un site » mémoire de fin d'étude DEUA en électrotechnique , université de Bejaia promotion 2005.
- [7] Philippe Robert, « matériaux de l'électrotechnique » édition Georgie 1979.
- [8] T. Begtache « étude du comportement d'un isolateur silicone dans un environnement désertique » U, MMTO, option machines électrique, promotion 2011-2012.
- [9] R. Wilkins, « Flashover voltage of high voltage insulators with uniform surface pollution films », proc. IEE, Vol.116, N°3, pp.457-465, Mars 1969.
- [10] J. Dunogues, M. Pouchard, « Silicium », Encyclopaedia universalis, 2011.
- [11], G. Schorsch, « Les silicone », Techno-Nathan International 1988.
- [12] L. Carette, J.M. Pouchol, « Les silicones, matières thermodurcissables: monographie », Les techniques de l'ingénieur, Plastique et composite, A3475, 2005.
- [13] J. Verdu, « Vieillissement des plastiques », AFNOR Technique, Edition Eyroles, Paris 1984.

[14] J. Chang et R. Gorur, « The role of backbone chain rotation in the hydrophobicity recovery of polymeric materials for outdoor insulation », Proceedings of the 4th international conference on conduction and breakdown in solid dielectrics, sestri Levante, Italy, pp. 270-274, Jun 1992.

[15] Bulletin technique Wacke, « Silicones. Composés et propriétés », 1993.

[16] Xavier Ducouret, « Isolateurs en verre pour tensions supérieures à 1 000 volts – Isolateurs en trois pièces avec fixation sur tige (VHT) », Isolateurs et matériel pour lignes aériennes, - NF C66-233 - Juillet 1981.

[17] Christiane Bär, « Untersuchungen zum Einfluss der Prüfspannungsart auf die Hydrophobiebeständigkeit sowie die Hochspannungskriechstromfestigkeit von Polymeren Isolierstoffen », Faculté de génie électrique et informatique dans le Département de génie électrique et technologie de l'information / technologie de l'énergie électrique de l'Université des sciences appliquées de Zittau / Görlitz pour l'obtention du diplôme universitaire Ingénieur diplômé (FH).

[18] M. Plopan, P.V. Notingher, C. Stancu, S. Grigorescu, « Electrical ageing of polyethylene power cables insulation subjected to an electric field in the presence of water », The 7th international conference on advanced topics and electrical engineering, Bucharest Romania 12-14_May_2011.

[19] A. Motori, F. Sandrolini, G.C. Montanari, « Chemical, physical and microstructural properties of thermally aged XLPE cable models », IEEE, Conference Record of the International Symposium on Properties and Applications of Dielectric Materials, pp. 764-768, Beijing, China, September 12-16 1988.

[20] N.L. Singh, A. Qureshi, F. Singh, D.K. Avasthi, « Effect of swift heavy ion irradiation on dielectric properties of polymer composite films », Materials Science and Engineering: B, Vol. 137, No. 1-3, pp. 85-92, February 2007.

[21] D. Birtwhistle, G. Cash, G. George, B. Goss, A. Krivda, and H. Liu, « Field Monitoring of the Ageing of Composite High Voltage Insulators », In Ageing Studies And Lifetime

Extension Of Materials, New York, USA: Kulwer Academic/ Plenum Publishers, pp. 225–237, 2001.

[22] J. Chang et R. Gorur, « Hydrophobicity of silicone rubber used for outdoor insulation », Properties and applications of dielectric materials, proceedings of the 4th international conference, 1994.

[23] Adalkara, « Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué », Mémoire De magister, Seif, 2013.

[24] A. Seyni, « Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par co-broyage, université de toulouse », 2008.

[25] Muhsin Tunay Gencoglu, « The comparison of ceramic and non-ceramic insulators », e-Journal of new world sciences academy, vol. 2, N°. 4, pp. 274-294, 2007.

[26] T. Young, « An essay on the cohesion of fluids, phys. rev. lett. », vol. 95, pp. 65-87, 1805.

[27] G. Teyssedre and L. Boudou, « Polymères et composites pour l'électrotechnique », Tech. l'Ingénieur, no. D2335, 2010.

[27] « Code d'essai de vieillissement des isolateurs composite », EDF, no. HN 66-E-01, p. 21, 1989.

[28] R. Hackam, « Outdoor HV composite polymeric insulators », IEEE Trans. dielectr. electr. insul., vol. 6, no. 5, pp. 557–585, 1999.

[29] M. Farzaneh and W. A. Chisholm, « Insulators for icing and polluted environments, IEEE Press », 2009.

[30] A. Haddad and D. F. Warn, « Advances in High Voltage Engineering. The Institution of Engineering and Technology », 2007.

[31] W. G. B2.21, « Guide for the assessment of composite insulators in the laboratory after their removal from service », Cigre tech. broch., no. 481, p. 62, 2011.

[32] International Electrotechnical Vocabulary (IEV), vol. 50, no. 471, p. 10, 1984.

- [33] R. Fournié, « Les isolants en électrotechnique : essais, mécanismes de dégradation, applications industrielles », Collection de la direction des études et recherches d'électricité de France (EDF) n°73. Eyrolles, 1990.
- [34] Viger Solange, « pollution de l'environnement : risque et responsabilité ».sept 2000.
- [35] R. Boudissa , « effect of insulator shape on surface discharges and flashover under polluted conditions .» IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation, vol.12, N°3, pp.429-437, juin 2005.
- [36] D.Dumora, R. Parraud, «solutions apportées aux problèmes de pollution pour différents isolateurs en verre trempé et isolateurs en composite». 428 RP 99/ BC/MRG .
- [37] Groupe D'action 33.44.03, « dispositifs de surveillance des isolateurs soumis à la pollution » Electra, n°152, février 1994.
- [38] M. Sforzini, «Cigre discussion group 33 », paris 1970, pp92-31.
- [39] F.Zedam, A.Bouchoucha, «étude comparative de la distribution du potentiel électrique dans l'isolateur chaîne par voie numérique et expérimentale » , mémoire d'ingénieur, université ferhatabbas-setif, promotion2001.
- [40] M.Sforzini, «Cigre discussion group 33 », paris 1970, pp92-31
- [41] G. Le Roy, C. Garay, B. Htzler, J. Lalot et C. Dubanton.
- [42] R. Boudissa, « cours de module matériaux en électrotechnique », promotion 2005.
- [43] N.Feddag, S.Houcine, « Modélisation des différents paramètres de dimensionnement des isolateurs sous pollution », Université MMTO, Ingénieur 2008.
- [44] K. Diesh,S. Ashwin, V. Harish, E.VarathKanth, C.Venkataseshaiah, R. Sarathi, «Understanding the surface condition of Insulation Material Using Wavelets », CBIP – International Conference in Maintenance Technologies of EHV Transmission Lines, New Delhi, India, April 2002.

[45] Muhammad Tariq Nazir, «Accelerated ultraviolet weathering investigation on micro-/nano-SiO₂ filled silicone rubber composites », the institution of engineering and technology, 06 novembre 2018.