

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE
ELECTRIQUE N° D'ORDRE: RE-



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : ELECTROTECHNIQUE
SPECIALITE : RESEAUX ELECTRIQUE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER**

Présenté par

LAHMAR Abdessalam
BECHELALEG Oussama

Intitulé

**Contribution à l'étude de l'influence de
l'anneau de garde sur les performances d'un
isolateur composite en utilisant la
méthodologie des surfaces de réponse**

Soutenu le ... / 06 / 2020 devant le jury composé de :

Dr. ZAMIT Abderrahime	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Président
Dr. BELHOUCHE Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Encadreur
Dr. BENGUESMIA Hani	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020.

Remerciements

*Au terme de ce travail, nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur **Dr. BELHOUCHET khaled** pour nous avoir permis de bénéficier de son grand savoir dans la matière, pour sa disponibilité, sa pédagogie, ses compétences, sa modestie et son aide précieuse tout au long de ce projet même pendant les moments les plus difficiles. vraiment merci pour une qualité d'encadrement si sérieuse et si consistante ...*

Nous remercions les membres de jury pour avoir accepté de juger et évaluer ce mémoire.

Nous remercions tous les enseignants de département d'Electrotechnique et les personnels administratifs et techniques, qui ont contribué de près ou de loin à notre formation durant ces cinq années.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont soutenus, d'une façon ou d'une autre, nous éprouvons incessamment leur estime et amabilité

Nous terminons ces remerciements en saluant vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de lire et juger ce travail.

Que la paix d'allah soit toujours avec vous !

Dédicace

Nous dédions ce travail à nos chers parents pour leurs sacrifices

Et leurs encouragements durant toutes nos études

A nos frères et nos sœurs

A toute notre grande famille a tout ce qui nous connaît

A toutes nos amis

De la promotion du Master

« RESEAUX ELECTRIQUE » 2019/2020

On ne peut trouver les mots justes et sincères pour vous

Exprimer notre affection et nos pensées, vous êtes pour nous des

Frères, sœurs et des amis sur qu'ont peut compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de

Tous les moments que nous avons passée ensemble,

ont vous dédie

Ce travail et ont vous souhaite une vie pleine de santé et de

Bonheur.

ABDESSALAM Et OUSSAMA

Résumé

La dégradation de l'isolateur composite sur le terrain est principalement affecté par l'activité de décharge corona causée par une contrainte électrique élevée près des raccords d'extrémité. Afin de contrôler la contrainte du champ électrique sur la surface de l'isolateur en dessous des limites acceptées, une nouvelle approche pour analyser l'effet d'anneau de garde sur la contrainte du champ électrique est présentée dans ce mémoire. L'effet des paramètres géométriques des anneaux de garde sur le champ E est étudié en utilisant la méthode des éléments finis (FEM). L'analyse de variance AVOVA permet d'évaluer les effets principaux et les effets d'interaction des paramètres étudiés. La relation entre le champ E et les paramètres géométriques (Position de l'anneau à partir de l'extrémité, rayon d'anneau et épaisseur du tube de l'anneau) est modélisée et optimisée par la méthodologie de la surface de réponse. Les résultats montrent une optimisation des champs électriques, et une répartition uniforme du potentiel électrique a été marquée. La méthodologie proposée fournit un outil de travail rapide et efficace pour examiner une géométrie complexe d'anneaux de garde sans effort de calcul supplémentaire élevé, ce qui réduit le temps nécessaire lors de l'analyse de calcul.

Mots-clés : isolateur composite, anneau de garde, champ électrique, méthode des éléments finies (FEM), méthodologie de la surface de réponse.

Abstract

The degradation of the composite insulator in the field is mainly affected by the corona discharge activity caused by high electrical stress near the end fittings. In order to control the stress of the electric field on the surface of the insulator below the accepted limits, a new approach to analyze the effect of guard ring on the stress of the electric field is presented in this work. The effect of the geometric parameters of the corona ring on the field E is studied using the finite element method (FEM). The analysis of variance (AVOVA) makes it possible to assess the main effects and the interaction effects of the parameters studied. The relationship between the field E and the geometric parameters (Position of the ring from the end, radius of the ring and thickness of the tube of the ring) is modeled and optimized by the response surface methodology. The results show an optimization of the electric fields, and a uniform distribution of the electric potential was noted. The proposed methodology provides a quick working tool and efficient for examining a complex geometry of guard rings without high additional computational effort, which reduces the time required during computational analysis.

Keywords : Composite insulator, corona ring, Electric field, Finite element method, MEF, response surface methodology.

ملخص

يتأثر تحلل العازل الكهربائي المركب بشكل أساسي بنشاط التفريغ الكهربائي الناتج عن الضغط الكهربائي العالي بالقرب من التركيبات النهائية للعوازل. ومن أجل التحكم في ضغط المجال الكهربائي على سطح العازل ، تم تقديم طريقة جديدة لتحليل تأثير الحلقة الاكليبية على إجهاد المجال الكهربائي في هذا العمل. لقد تمت دراسة تأثير المعاملات الهندسية للحلقات الاكليبية على المجال الكهربائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة. تتيح تقنية التحليل الاحصائي تقييم التأثيرات الرئيسية وتأثيرات التفاعل بين المعاملات الهندسية التي تمت دراستها. العلاقة بين المجال الكهربائي والمعاملات الهندسية (موضع الحلقة من النهاية ، نصف قطر الحلقة وسمك أنبوب الحلقة) تم تصميمها وتحسينها من خلال منهجية سطح الاستجابة. أظهرت النتائج تحسنا ملحوظا لقيم المجال الكهربائي للعازل، و كذا توزيعا منتظما للإمكانات الكهربائية له. تعتبر المنهجية المقترحة أداة عمل سريعة وفعالة لفحص هندسة معقدة من الحلقات الاكليبية دون جهد حسابي إضافي مرتفع، مما يقلل من الوقت المطلوب أثناء التحليل الحسابي.

الكلمات المفتاحية: عازل مركب، الحلقة الإكليبية، الحقل الكهربائي ، طريقة الحدود المتناهية (FEM)، منهجية سطح الاستجابة.

Table des matières

<i>Table des matières</i>	<i>i</i>
<i>Listes des Figures</i>	<i>iv</i>
<i>Listes des tableaux</i>	<i>vi</i>
<i>Symboles et abréviations</i>	<i>vii</i>

Chapitre 01

Introduction Générale

I.1. Contexte Général	9
I.2. problématique	10
I.3. objectifs	11
I.4. structure du mémoire	12

Chapitre 02

Les isolateurs haute tension

II.1 Introduction	14
II.2 Généralité sur les isolateurs.....	14
II.2.1 . Définitions	14
II.3. La pollution des isolateurs.....	15
II. 3.1. Pollution naturelle	16
II.3.2. Pollution industrielle	16
II.3.3. Pollution mixte	16
II.4. Phénomène de contournement.....	16
II.5 Isolateurs de haute tension.....	17
II.6 Types d'isolateurs de haute tension.....	17
II.6.1 Isolateurs rigides.....	17
II.6.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne	18
II.7 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs.....	20

II.7.1 Isolateurs en Céramique	20
II.7.2 Isolateurs en Verre.....	20
II.7.3. Isolateurs composites	21
II.8 Les avantages et les inconvénients d’isolateurs composites	26
II.8.1. Les avantages	26
II.8.2 Inconvénients.....	27
II.9. Dégradations des isolateurs composites	27
II.9.1. Les contraintes électriques	28
II.9.2. Contraintes environnementales	31
II.9.3. Contraintes mécaniques.....	34
II.10. Conclusion	35

Chapitre 03

L’influence de l’anneau de garde sur la distribution du champ électrique

III.1 Introduction	37
III.1. Le champ Electrique	38
III.2. Méthode des éléments finis :.....	38
III.2.1. Principe	38
III.2.2. Etapes de la méthode des éléments finis.....	39
III.2.3 Avantages de la MEF.....	39
III. 2.4 Inconvénients de la MEF	40
III.3. COMSOL Multiphysics :	41
III.3.1. Description de logiciel COMSOL Multiphysics :	41
III.3.2. Les modèles.....	42
III.3.3. Procédure de simulation.....	43
III.3.4. Choix du mode d'application	43
III.3.5. Définition de la géométrie	44
III.3.6. Propriété des matériaux.....	44
III.3.7. Maillage	44
III. 4. Identification des domaines dans le logiciel	44

III. 5. Conditions aux limites	45
III.6. Définition et utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs.....	45
III.6.1. Présentation générale des anneaux de garde.....	45
III.6.2. Fonctionnalité des anneaux de garde	46
III.7. Utilisation des anneaux de garde sous différentes conditions atmosphériques.....	47
III.8. Conclusion.....	53

Chapitre 04

Analyse du Champ Electrique Méthodologie des Surfaces de Réponse

IV.1. Introduction.....	55
IV.2. Modèle d'isolateur.....	55
IV.3. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R); principes et définitions.....	56
IV.4. Analyse des variances ANOVA	57
IV.5. Méthode de Taguchi	58
IV.6. Conclusion	61

Chapitre 05

Résultats et discussion

V.1. Introduction	63
V.2. Valeur de champ électrique recommandées.....	63
V.3. CONCLUSION	72

Chapitre 06

VI.1. Conclusions Générales.....	74
----------------------------------	----

Références

Listes des Figures

Figure.II. 1. Photo représente un isolateur en ligne	15
Figure. II. 2. Isolateur rigide	18
Figure. II. 3. Extrémités Tronconiques	19
Figure. II. 4: Extrémités en forme de tige.....	19
Figure .II. 5. Isolateur capot et tige	19
Figure.II. 6. Isolateurs composites sur une ligne électrique 220 kV.....	22
Figure II. 7. Image réelle (a) et vue en coupe (b) d'un isolateur composite.	23
Figure. II. 8. Détails de construction d'un isolateur composite	25
Figure.II. 9. Illustration d'une décharge couronne au voisinage de l'électrode H.T d'un isolateur composite.	29
Figure.II. 10. Dégradation due à une décharge couronne.	29
Figure. II. 11. Processus de contournement interne (flashunder)	30
Figure. II. 12. Chemin conducteur à l'intérieur de la tige d'un isolateur composite résultant d'un contournement interne.....	31
Figure. II. 13. Arcs partiels établis le long de bandes sèches (a) qui peut résulter en une importante fissuration de l'enveloppe (b).	32
Figure. II. 14. Image réelle d'un contournement.	33
Figure. II. 15. Lignes équipotentielles (a) et lignes de champ électrique (b) à la triple jonction des gouttelettes d'eau	33
Figure. II. 16. Craquelure (a) et érosion (b) à la surface d'un isolateur.....	34
Figure. III. 1. Procédure générale des simulations MEF.....	40
Figure. III. 2. Interface du logiciel COMSOL Multiphysics.....	41
Figure. III. 3. Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL.....	42
Figure. III. 4. Exemples de géométries d'anneaux de garde [50]	45
Figure. III. 5. Exemples d'utilisation des anneaux de garde sur un isolateur de poste (a) et un isolateur de ligne en composite (b)	46
Figure. III. 6. Isolateurs semi-conducteurs de poste 500 KV, équipés d'anneau de garde dans des conditions givrage en Virginie	50
Figure. III. 7. Exemple de paramétrage de la géométrie d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne	51

Figure. III. 8. Différentes géométries du tube constituant l'anneau de garde 53

Figure. IV. 1. Modèle d'isolateur composite et anneau de garde. 56

Figure. IV. 2. Distribution de potentiel électrique sans anneau de garde 59

Tableau. V. 1. Analyse ANOVA de la contribution des paramètres en pourcentage sur la variation totale du champ E maximum pour les paramètres des anneaux de garde. 65

Figure. V. 2 . Les effets principaux des paramètres d'anneau de garde H, R et Dr sur la valeur maximale du champ E. 65

Figure. V. 3. L'effet d'interaction des paramètres d'anneau de garde H, R et Dr sur le champ E maximal 66

Figure. V. 4. Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l'anneau de garde 67

Figure. V. 5. Tracés de normalité avec des intervalles de confiance à 95% du champ E maximal. 68

Figure. V. 6. Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau corona (les valeurs optimales sont en rouge) 69

Figure. V. 7. Variation du champ E sur la longueur de l'isolateur 70

Figure. V. 8. (a): Distribution du champ électrique, (b): Contours équipotentiels autour de l'isolateur composite dans le cas d'un anneau Corona..... 71

Listes des tableaux

Tableau. VI. 1. Paramètres de conception de l'isolateur composite étudié en mm.....	56
Tableau.VI. 2. Paramètres de l'anneau de garde et leurs niveaux.....	60
Tableau.VI. 3. Résultats informatiques.....	60
Tableau. V. 1. Analyse ANOVA de la contribution des paramètres en pourcentage sur la variation totale du champ E maximum pour les paramètres des anneaux de garde.....	65

Symboles et abréviations

mm	Millimètre
cm	Centimètre
H	Hauteur de l'anneau de garde
D_r	Rayon de l'anneau de garde
R	Diamètre de l'anneau de garde
E	Champ Electrique
kV	Kilovolt
HT	Haute Tension
FEM	Finite Element Method
2D/3D	deux/trois Dimensional
ANOVA	Analysis of variance
EPRI	Electric Power Research Institute
RMS	Response Surface Methodology

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

I.1.Contexte Général

Ces dernières années, l'électricité est devenue l'une des nécessités les plus importantes de la vie humaine et des lignes électriques à très haute tension ont été largement utilisées pour transmettre l'énergie électrique des centrales aux utilisateurs finaux. Les isolateurs font partie des dispositifs clés des systèmes de transmission d'énergie électrique. Ils jouent un rôle important dans le maintien de la fiabilité du réseau. Ils sont utilisés pour supporter, séparer et contenir des conducteurs à haute tension. Les isolateurs doivent résister non seulement aux tensions et surtensions régulières, telles que la foudre, mais également à diverses contraintes environnementales telles que la pluie, la neige et la pollution. Les isolateurs sont fabriqués à partir de matériaux diélectriques tels que le verre, la céramique et les matériaux composites. Un isolateur est idéalement une substance qui ne laisse pas passer la charge électrique et n'a aucun effet sur les champs électriques [1]. Par conséquent, des matériaux diélectriques qui ont une résistance électrique élevée et des constantes diélectriques sont utilisés comme isolants. Commencant par de simples isolateurs en verre et en porcelaine, il s'est rapidement développé depuis le début du siècle. Ces types d'isolateurs peuvent être considérés comme des isolateurs classiques et peuvent être classés dans la même catégorie que les isolateurs en céramique. D'après les recherches et des expériences de service [2], ils sont fiables et rentables pour les grandes installations extérieures. Bien que les isolateurs en porcelaine et en verre aient de bonnes performances au fil des ans, leurs principaux inconvénients sont dus à leur taille volumineuse qui les rendent difficiles à installer dans des régions éloignées, vulnérables au vandalisme et surtout à leurs mauvaises performances dans un environnement pollué. Le style moderne des

Isolateurs extérieurs en polymère a été introduit pour remplacer les isolateurs en céramique. La raison de ce remplacement n'était pas une défaillance des isolateurs en céramique mais les avantages offerts par les isolants polymères par rapport aux isolants en céramique. Au cours des dernières décennies, des isolateurs en polymère ont été introduits et largement utilisés en raison de leurs meilleures performances de pollution. Les isolateurs en matériaux polymères sont souvent appelés isolateurs composites ou non céramiques. Ils sont surtout préférés en raison de leur performance d'isolation supérieure. Le facteur le plus important qui détermine les dimensions physiques des isolateurs d'extérieur est leur performance dans des conditions de pollution. Selon la gravité de la pollution et les conditions de mouillage du site, les isolateurs d'extérieur doivent avoir une longueur de fuite de surface suffisante pour garantir que la formation de bandes sèches et l'arc de surface soient minimisés. Le contournement de la pollution est l'un des principaux problèmes qui mettent en danger la fiabilité d'un système d'alimentation électrique. La présence de contamination sur la surface de l'isolateur, combinée à des conditions très humides et humides telles que le brouillard, la rosée ou la pluie, est particulièrement responsable de nombreux contournements de pollution par l'isolateur [3]. Avec des tensions de plus en plus élevées, le problème du contournement de la pollution de l'isolant augmente et les pénalités augmentent fortement en raison des dommages à l'équipement. Par conséquent, une attention accrue doit être portée à l'amélioration des performances de pollution des isolateurs.

I.2. problématique

La plupart des isolateurs utilisés de nos jours sont des isolateurs en porcelaine et en verre, compte tenu de leurs performances bien connues sur le terrain. Cependant, il y a une amélioration favorable dans l'utilisation d'isolateurs non céramiques qui ont montré des avantages par rapport aux isolateurs en céramique et en verre tels qu'une construction de faible poids, de bonnes performances dans des environnements contaminés et une manipulation facile. À des tensions plus élevées, les champs électriques peuvent être suffisamment élevés pour provoquer un contournement de

surface sur l'isolateur en porcelaine / verre, en cas d'endommagement de l'isolateur de type polymère à la gaine d'isolateur en raison de la décharge corona. Les performances des isolateurs polymères sont importantes pour les conditions sèches et humides. Ces isolateurs sont exposés à diverses contraintes environnementales, qui comprennent de nombreuses formes de précipitations, de rayonnement UV et de pollution. La tension et le champ électrique à proximité des conducteurs sont beaucoup plus élevés que les autres zones de l'isolateur, ce qui peut entraîner une décharge corona et même un contournement. L'étude du champ électrique sur un isolateur polymère lorsqu'il est soumis à une haute tension fournit un aperçu important pour améliorer les performances de l'isolateur. La conception d'un poste isolant joue un rôle important dans les performances de l'isolateur. Les performances et la fiabilité des isolateurs peuvent s'améliorer avec l'amélioration continue de la conception. Plusieurs chercheurs se sont concentrés sur la distribution optimale du champ électrique le long de la chaîne d'isolateurs non céramiques afin de réduire la dégradation corona. De plus, différentes techniques et matériaux isolants sont développés. Parmi eux, l'installation d'anneaux de garde.

I.3. objectifs

La fiabilité de l'isolateur est la propriété la plus importante qui doit prendre en considération. Les performances et la fiabilité des isolateurs peuvent s'améliorer avec l'amélioration continue de la conception. L'étude du champ électrique sur les isolateurs soumis à une haute tension fournit un aperçu important pour améliorer les performances de l'isolateur. L'objectif principal de ce travail c'est l'optimisation du champ électrique autour de l'isolateur composite et identifier l'emplacement optimal de l'anneau garde sur l'isolateur composite.

Pour atteindre ces objectifs, on a utilisé des techniques informatiques pour évaluer le champ électrique comme ;

COMSOL MULTIPHYSICS ; MINITAB et les simulations sont effectuées à l'aide de méthodes par éléments finis (FEM).

I.4. structure du mémoire

Le présent mémoire est organisé en six chapitres qui se présentent comme suit :

Le chapitre 1 est une introduction du travail. Il explique la problématique, les objectifs, la méthodologie pour cette étude.

Le chapitre 2 donne un aperçu général des différents isolateurs d'extérieur ainsi que de leur rôle dans les réseaux du réseau électrique. De plus, les facteurs accélérant la dégradation des isolateurs.

Le chapitre 3 discute l'influence de l'anneau de garde sur la distribution du champ électrique tout au long de l'isolateur composite ainsi que les méthodes utilisées pour déterminer le champ électrique

Le chapitre 4 Etude et évalue la méthodologie des surfaces de Réponse pour définir l'emplacement optimal de l'anneau de garde.

Le chapitre 5 présente les résultats et l'analyse. L'un des facteurs régissant les performances électriques de l'isolateur polymère est caractérisé par sa distribution de champ sur toute sa longueur. En améliorant la distribution du champ électrique, il contribuera à améliorer leurs performances à long terme d'isolateur.

Le chapitre 6 présente les conclusions générales.

CHAPITRE II

LES ISOLATEURS HAUTES TENSION

Les isolateurs haute tension

II.1 Introduction

Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique. En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension.

Dans ce chapitre nous allons présenter les isolateurs de haute tension et leurs types.

II.2 Généralité sur les isolateurs

II.2.1. Définitions

II.2.1.1. Isolateur

Les isolateurs sont des éléments essentiels dans la conception des ouvrages haute tension. Leur principal rôle est d'assurer l'isolement électrique entre les parties sous tension et celles mise à la terre [4]. L'isolateur est constitué principalement d'un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [5]. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les courtes circulations, les pertes de courant et les charges d'électrocution [6]. Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique. En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension.



Figure II. 1. Photo représente un isolateur en ligne

II.2.1.2 Contournement

Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale, Le contournement est dû au déplacement des charges libres accélérées par le champ électrique appliqué [6].

II.2.1.3 Ligne de fuite

La ligne de fuite (L_f) est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolateur entre les deux électrodes [7].

II.2.1.4 Ligne de contournement

La ligne de contournement (L) est la distance la plus courte dans un gaz entre les électrodes [7].

II.3. La pollution des isolateurs

La pollution est un phénomène qui constitue un sérieux problème sur l'isolement des ouvrages de haute tension, dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de haute tension. Ceci est dû à la formation de couches plus ou moins conductrices sur la surface de l'isolateur.

Ces couches peuvent engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle des surfaces isolantes et par suite la diminution de la tension de tenue des isolateurs.

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution. Les divers types de pollution atmosphérique les plus fréquemment observés peuvent être regroupés selon leurs origines et classés comme suit :

II. 3.1. Pollution naturelle

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents. ü Pollution marine ü Pollution désertique ü Autres sources de pollution naturelle (pluie)

II.3.2. Pollution industrielle

Ce type de pollution est fréquent dans les zones industrielles surtout à proximité des usines, entreprises de production éjectant des fumées (raffinerie, cimenterie,). Par ailleurs les gaz d'échappements (centrale thermiques) et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs [8].

II.3.3. Pollution mixte

Ce type de pollution résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées, comme exemple les pollutions marine et industrielle lorsque les installations électriques sont situées en bord de mer [8].

II.4. Phénomène de contournement

Le contournement est représenté par une décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne cette dernière. Aussi, le terme contournement est employé pour des décharges par amorçage dans l'air. L'échauffement de la couche polluante conductrice humidifiée, provoqué par la circulation des courants sur la surface de ces isolateurs, entraîne des assèchements locaux de la couche de pollution et

l'apparition d'arcs de petite longueur (arcs partiels) [9]. Dans certaines conditions, ces arcs partiels peuvent se développer jusqu'à provoquer le contournement total des isolateurs, en connectant l'extrémité sous haute tension à celle mise à la terre, et conduisant ainsi à la mise hors service de l'ensemble de l'installation.

II.5 Isolateurs de haute tension

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dues surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent, etc.

II.6 Types d'isolateurs de haute tension

Vu les différentes façons d'utilisations et les différentes conditions de fonctionnement des isolateurs, on en distingue des types différents des isolateurs. La différence entre ces types se fait soit par leur fonction (support ou traversée), soit par le matériau isolant utilisé pour la fabrication de ces isolateurs, soit encore par leur profil ou par leur mode de fixation.

II.6.1 Isolateurs rigides

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'un ou plusieurs isolateurs encastrés et scellés entre eux, ils sont fixés aux pylônes par des ferrures de différentes formes (Figure II.2). Ils sont montés sur pylônes soit d'une façon verticale, horizontale ou oblique (inclivée). Mais ce type d'isolateur est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 KV [10].



Figure. II. 2 : Isolateur rigide [11]

II.6.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs [10, 12]. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage).

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- L'isolateur capot et tige.
- L'isolateur long fut.

II.6.2.1. Isolateur long fut

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques muni d'ailettes. A chaque extrémité il y a une pièce métallique pour les liaisons [13]. Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe les extrémités tronconiques sur le cylindre (Figure II.3), soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (Figure II.4) [11, 10].

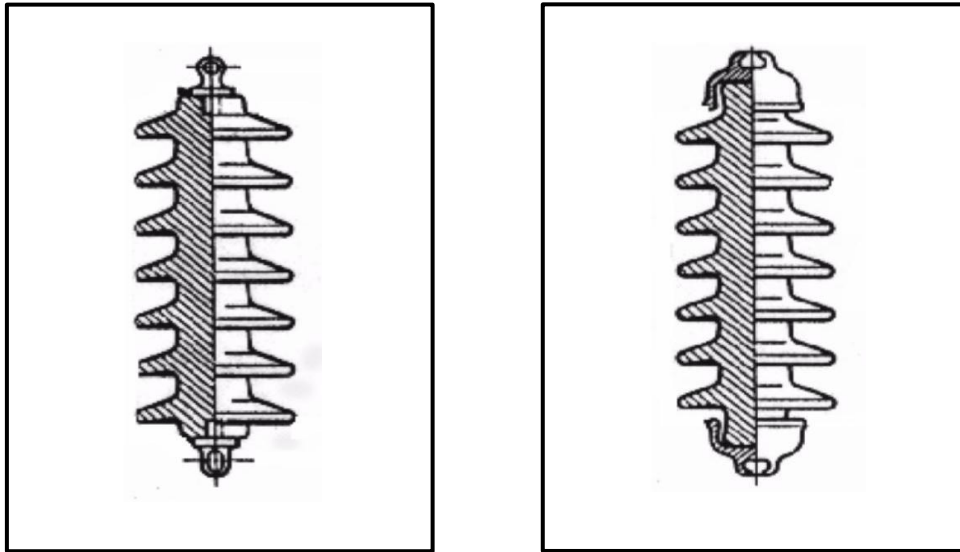


Figure. II. 3 : Extrémités Tronconiques **Figure. II. 4:** Extrémités en forme de tige

II.6.2.2. Isolateur capot et tige

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine. L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment (Figure II.5) [11].

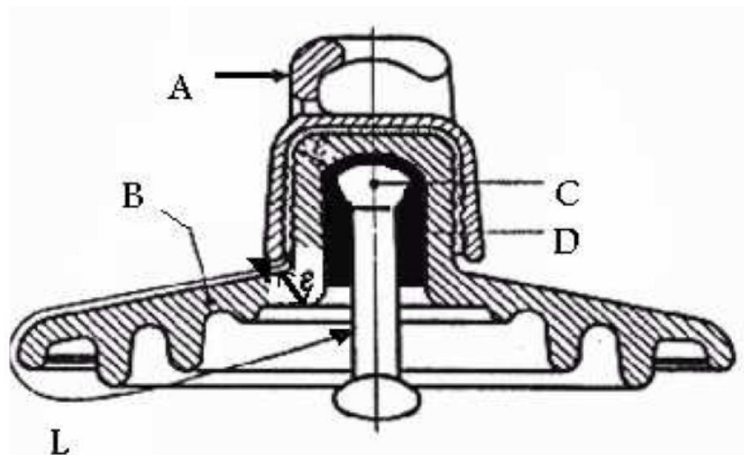


Figure .II. 5. Isolateur capot et tige

A : le capot.

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique).

D : le ciment de fixation.

C : la tige.

L : Plus courte distance dans l'air entre le capot et la tige.

ε : Longueur du canal de perforation, $\varepsilon \ll L/2$.

On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement.

II.7 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 [10, 13].

II.7.1 Isolateurs en 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, 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 [13].

II.7.2 Isolateurs en Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre [10, 13]. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

II.7.2.1. Le verre trempé

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100° C [10, 13].

II.7.2.2. Le verre recuit

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension [11, 10].

II.7.3. Isolateurs composites

II.7.3.1. Introduction

Depuis leur développement dans les années soixante, les isolateurs composites remplacent de plus en plus les isolateurs en porcelaine dans les réseaux de transport de l'énergie électrique.

Ils présentent de nombreux avantages par rapport aux isolateurs traditionnels en porcelaine et céramique. L'utilisation massive des isolateurs polymériques a entraîné de nombreuses études visant à maîtriser et améliorer les performances en service de ce type d'isolateurs. Dans ce chapitre, plusieurs questions liées à l'état de l'art sur les isolants polymériques sont abordées.

Dans la première partie, la structure des isolateurs polymériques est introduite. Ensuite, les principales caractéristiques des surfaces composites sont traitées. La dernière partie porte sur les mécanismes de vieillissement de ces surfaces.

II.7.3.2. Les isolateurs composites de haute tension

Les matériaux composites ont connu une utilisation croissante dans les systèmes et composants haute tension au cours des dernières décennies. La Figure II.6 présente des isolateurs composites sur une ligne électrique. Au début de leur utilisation, les industriels et les équipes de recherches attendaient qu'ils présentent une très bonne résistance à la dégradation due aux conditions de service rencontrées (humidité,

oxygène, rayon ultra-violet, variation de température). Cependant, l'expérience, l'observation et les recherches menées ces dernières années ont montré que tous les diélectriques polymères font l'objet de dégradation sous contraintes appliquées ou induites durant leur exploitation pouvant mener à un avarie du système [14][15][16][17].

Ces dernières années, des matériaux isolants composites présentant une excellente résistance aux contraintes environnementales ont été développés. La recherche et le développement relatifs à ce type de matériaux ont été intensifiés [18].



Figure II. 6. Isolateurs composites sur une ligne électrique 220 kV

II.7.3.3. Constitution

Un isolateur composite est fondamentalement constitué de trois (3) éléments principaux (figure II.7) qui sont : la tige (partie centrale de l'isolateur), une enveloppe entourant la tige qui comporte les ailettes (ou jupes) et deux (2) pièces métalliques aux extrémités.

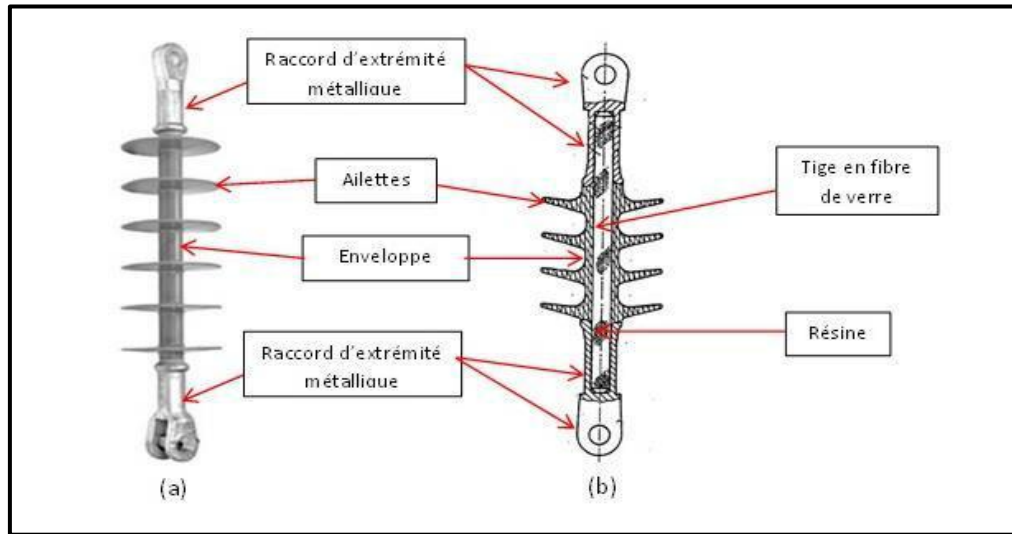


Figure II. 7. Image réelle (a) et vue en coupe (b) d'un isolateur composite.

II.7.3.3.1 La tige

La tige est la partie centrale de l'isolateur qui assure à la fois l'isolation électrique et la liaison mécanique entre le conducteur nu et le pylône. Elle est constituée de résine époxy renforcée de fibres de verre pour fournir la résistance mécanique appropriée [19]. Les résines époxy offrent de meilleures propriétés électriques que les résines de polyester qui sont appliquées dans certains cas pour réduire les coûts.

En dépit de leur fonction de protéger la fibre de verre contre l'infiltration d'eau pouvant provoquer des microfissures, les propriétés de la résine changent avec le temps et sont affectées par la température. En effet, l'infiltration d'eau diminue la résistivité des fibres de verre conduisant à des décharges partielles internes qui entraînent à long terme une défaillance mécanique de l'isolateur composite.

II.7.3.3.2 Les pièces d'accrochage métalliques

Elles sont fixées aux deux extrémités de la tige pour lui transmettre les charges mécaniques. Les matériaux plus communément utilisés sont : la fonte, l'aluminium forgé ou usiné, le fer et l'acier forgé [20]. La forme des pièces d'accrochage constitue un facteur important dans la limitation des décharges couronnes qui entraînent une dégradation prématurée de l'enveloppe de l'isolateur.

II.7.3.3 L'enveloppe

Moulée autour de la tige, l'enveloppe (qui comprend des jupes) permet de créer la ligne de fuite nécessaire afin d'assurer l'isolation électrique adéquate entre le conducteur nu et le pylône. L'enveloppe permet aussi de protéger la tige contre les agressions extérieures (infiltration d'eau, rayonnement ultra-violet et décharges partielles).

Durant des années, différents matériaux polymères ont été utilisés dans la fabrication de l'enveloppe afin de lui conférer en priorité des propriétés hydrophobes. De telles propriétés permettent à l'isolateur d'avoir un meilleur comportement sous des conditions de pollution atmosphérique et sous la pluie, ce qui représente l'un des principaux avantages des isolateurs composites comparés à ceux en céramique.

Parmi les matériaux les plus utilisés, on retrouve l'Éthylène Propylène Diène Monomère (EPDM) et le caoutchouc de Silicone RTV (vulcanisation à température ambiante) ou HTV (vulcanisation à haute température).

L'EPDM offre de bonnes propriétés mécaniques et une haute résistance aux dégradations induites par les rayonnements ultra-violet et l'ozone [21]. Les résultats expérimentaux publiés par V. M. Moreno et al. [22] indiquent que les isolateurs composites EPDM subissent moins d'impact dans un test à l'érosion de surface que d'autres matériaux polymères, y compris le caoutchouc de silicone.

Le caoutchouc de silicone RTV ou HTV est constitué de polymères ayant une molécule d'atome alternée de silicium et d'oxygène. Il a une résistance à la pollution supérieure à celle de l'EPDM mais présente une faible résistance à la traction. Grâce à sa capacité à transférer sa caractéristique hydrophobe à la surface de la couche de pollution dans des sites fortement pollués, la couche de pollution se comporte alors comme une surface de caoutchouc de silicone en devenant hydrophobe, ce qui empêche l'eau de former un film continu [23]. Aucun autre matériau polymère ne montre cette propriété. Les isolateurs composites avec le revêtement extérieur en caoutchouc de silicone sont les plus utilisés

II.7.3.4. Structure des isolateurs composites

Les isolateurs composites ont été introduits à la fin des années soixante. Le concept de base consiste à combiner divers matériaux qui peuvent répondre, grâce à la combinaison de leurs propriétés spécifiques, aux différentes fonctions remplies par les isolateurs.

Un isolateur composite est globalement constitué d'une partie isolante qui consiste en un noyau interne d'un matériau approprié, d'un revêtement extérieur et d'une partie métallique solidaire du noyau et qui permet de transmettre au noyau la charge mécanique en assurant la fixation de l'isolateur au pylône, à un conducteur ou à un autre isolateur. La Figure II.8 illustre les détails de construction d'un isolateur composite.

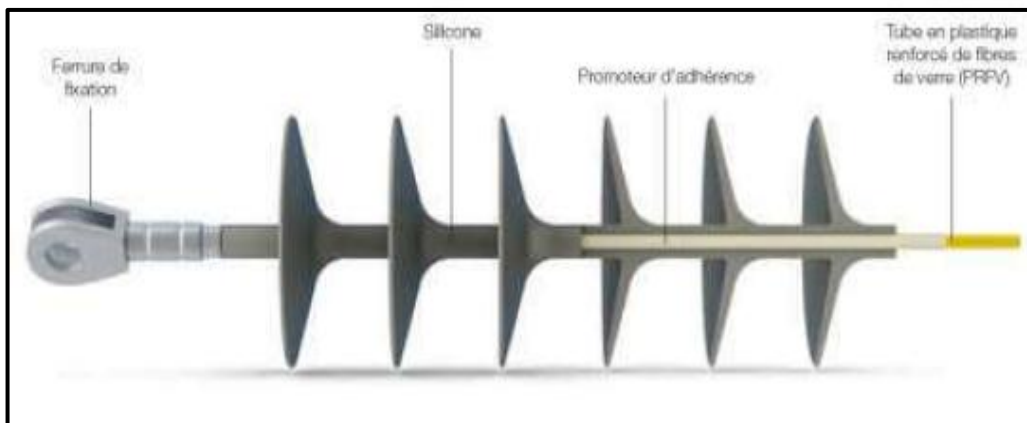


Figure. II. 8. Détails de construction d'un isolateur composite

II.7.3.5. Nature des matériaux

Plusieurs types de matériaux diélectriques composites ont été développés par les fabricants, chacun présentant des propriétés particulières. Dans le domaine des isolateurs extérieurs, trois familles sont particulièrement utilisées : les résines époxy, les élastomères éthylène-propylène et les élastomères silicones.

Les résines époxy sont adaptées aux réseaux de distribution HTA compte tenu de leurs mauvaises performances sous environnement pollué.

Les élastomères éthylène-propylène qui se déclinent sous trois types à savoir l'éthylène propylène monomère (EPM), l'éthylène propylène diène monomère (EPDM) et les alliages éthylène –propylène et silicone sont utilisés sur une large plage de tension des réseaux de transport et distribution. Toutefois, leurs performances en environnement pollué sont limitées.

Les élastomères silicones sont les plus utilisés dans les systèmes d'isolation extérieurs des réseaux de transmission. Une étude réalisée par le groupe de travail 22.03 de la CIGRE [24] a montré que les isolateurs composites utilisent pour la plupart l'élastomère de silicone comme matériau de revêtement. L'EPDM et les autres matériaux ne sont utilisés que minoritairement.

Selon S. Gurbanski et A. E Vlastos [25] les isolateurs en silicone ont un meilleur comportement que les isolateurs en EPDM. En effet, tous les isolateurs en Silicone qu'ils ont testés ont pu recouvrir leur hydrophobicité, ce qui ne fut pas le cas des isolateurs en EPDM.

De nombreux travaux ont montré que les surfaces en élastomère de silicone recouvraient plus rapidement leur hydrophobicité que les surfaces en EPDM [26][27][28][29].

II.8 Les avantages et les inconvénients d'isolateurs composites

II.8.1. Les avantages

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

[30, 31, 32] :

- Un bon comportement dans les zones de pollutions naturelles ou industrielles sévères de part une excellente hydrophobicité de la surface de l'enveloppe;
- Une masse d'environ 10 fois inférieure à celle d'un isolateur en verre ou céramique pour la même tension nominale de ligne, permettant ainsi de réduire les coûts;
- Un coût d'installation faible (simplification du montage d'une chaîne d'isolateurs et de leur installation);
- Une Résistance élevée à la rupture pour des efforts mécaniques longitudinaux.

Malgré leurs nombreux avantages, les isolateurs composites présentent aussi quelques faiblesses dont les plus pertinentes sont soulignées dans la section suivante.

II.8.2 Inconvénients

L'amélioration de la technologie de fabrication et le contrôle de qualité stricte ont permis d'améliorer substantiellement la fiabilité des isolateurs composites entraînant une augmentation de leur compétitivité par rapport aux isolateurs classiques. Toutefois, les isolateurs composites ont encore quelques faiblesses. Parmi celles-ci, il convient de relever les points suivants :

- Ils doivent être manipulés avec précaution pendant le transport et les opérations d'assemblage afin de ne pas endommager la surface de l'enveloppe et ainsi diminuer ses caractéristiques diélectriques et hydrophobes.
- Ils ont besoin de condition de stockage adéquate;
- Le caoutchouc de silicone étant sensible aux attaques de champignons, leur dépôt sur la surface de l'isolateur, en zone humide, conduit à la rétention d'eau en surface qui compromet ses caractéristiques hydrophobiques;
- la masse réduite de l'isolateur composite favorise le balancement des conducteurs sous l'action du vent;
- la tige en fibre de verre peut se fracturer sous l'action des contraintes mécaniques et électriques.

II.9. Dégradations des isolateurs composites

Les isolateurs composites sont soumis au cours de leur durée de vie à diverses contraintes combinées qui provoquent des dégradations plus ou moins irréversibles. Ces contraintes peuvent être regroupées en trois catégories principales : électriques, mécaniques et environnementales [33]. Sous l'action de ces contraintes et en raison de leurs faibles liaisons organiques, les matériaux polymères utilisés sont vulnérables aux agressions chimiques et aux rayonnements, ce qui entraîne des dégradations de la

surface des isolateurs composites et leur vieillissement prématuré [34].

II.9.1. Les contraintes électriques

Les performances électriques des isolateurs composites en H.T. dépendent des distributions du champ électrique le long de ces derniers. Un champ électrique élevé et non uniforme peut conduire à l'apparition de décharges électriques partielles (décharge couronne, arc de bande sèche, etc.).

II.9.1. 10. Décharges couronnes

La répartition du champ électrique le long d'un isolateur composite est généralement non uniforme avec l'amplitude la plus élevée à proximité de l'électrode H.T. [35, 36]. La zone située à proximité de la H.T. est donc la plus propice à l'apparition des décharges couronnes (figure II.9). Une décharge couronne se produit à la surface de l'isolateur lorsque l'intensité du champ électrique dépasse une certaine valeur dépendamment des facteurs géométriques et environnementaux. Les décharges couronne génèrent un rayonnement UV (longueurs d'onde comprise entre 230-405 nm), des ultrasons, de la chaleur, de l'ozone et de l'acide nitrique [37].

L'acide nitrique est particulièrement nocif pour l'enveloppe puisqu'il peut provoquer l'érosion de cette dernière. L'activité intermittente des décharges peut percer (figure II.10-a) l'enveloppe de l'isolateur jusqu'à la tige, créant ainsi un canal propice à l'infiltration d'eau.

La création de ce canal et l'infiltration d'eau qui en découle entraîne généralement la formation d'un chemin conducteur interne à l'interface tige-enveloppe de l'isolateur conduisant ainsi à la création d'un défaut interne. Ce type de défaut peut donner naissance, sous certaines conditions qui sont expliquées plus en détail dans les pages suivantes, à un contournement interne (flashunder).

Dans des cas plus extrêmes, l'activité soutenue des décharges couronnes au voisinage de l'électrode H.T. produit une quantité importante de chaleur et d'acide nitrique qui peut conduire à une destruction importante de la jupe, tel que présenté à la figure II.10-b [38]. Cependant, ce type de défauts visibles n'affectent que très peu l'intégrité de

l'isolateur tant que la tige n'est pas touchée ou exposée à l'air libre.

Les décharges couronnes au voisinage de l'électrode H.T. sont généralement présentes en tout temps et résultent d'une géométrie inadéquate de la pièce d'accrochage portée à la H.T. ou de l'absence d'anneaux de garde qui permettent une réduction importante du champ électrique [35].



Figure II. 9. Illustration d'une décharge couronne au voisinage de l'électrode H.T d'un isolateur composite [39].

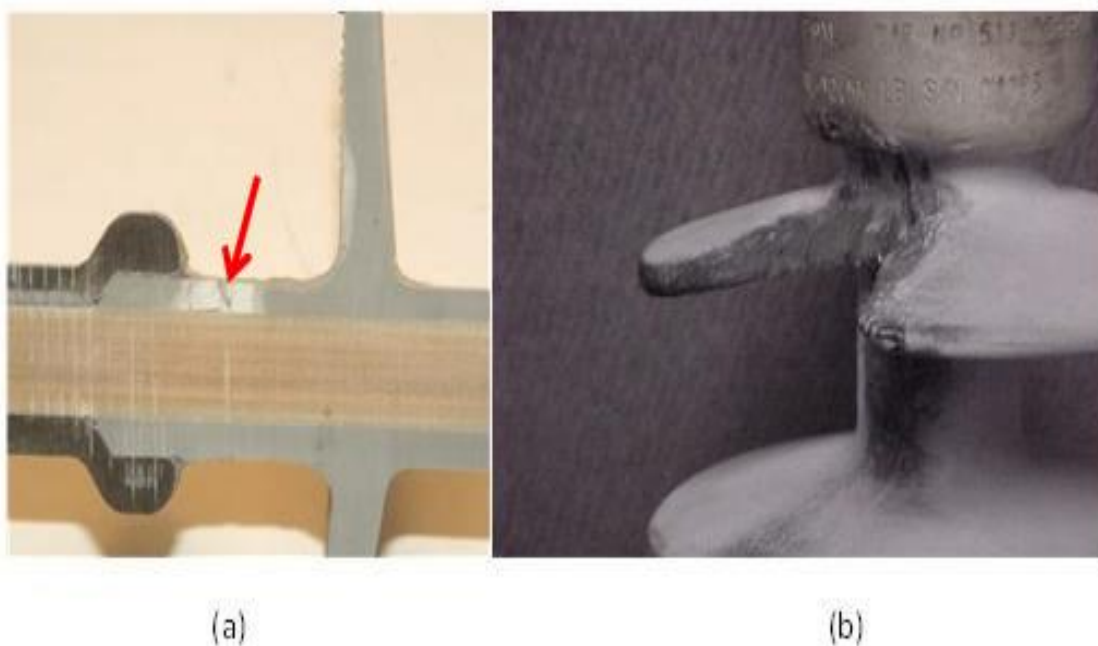


Figure II. 10. Dégradation due à une décharge couronne [39].

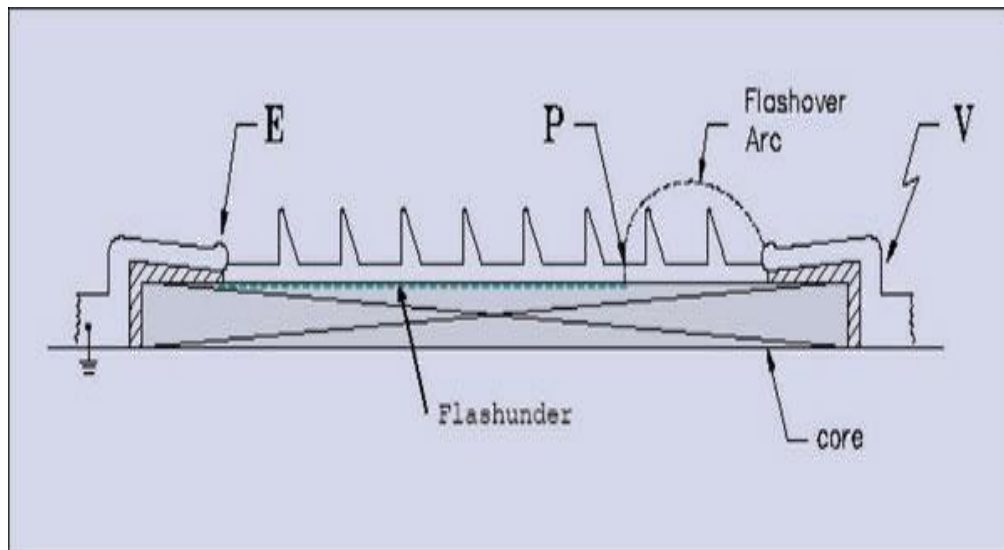


Figure II.11. Processus de contournement interne (flashunder) [40]

- **Contournement interne (flashunder)**

Les activités intermittentes de décharge électrique (figure II.9) peuvent perforer l'enveloppe de l'isolateur (figure II.10-a) jusqu'à la tige, créant ainsi un canal propice à l'infiltration d'eau. La création de ce canal et l'infiltration d'eau qui en découle entraîne généralement la formation d'un chemin conducteur entre la surface de l'enveloppe de l'isolateur et son interface avec la tige. Il en résulte une augmentation localisée du champ électrique à l'extrémité de ce chemin conducteur et l'apparition de décharges partielles qui vont contribuer à l'extension du chemin conducteur à l'intérieur de l'isolateur. Ce chemin conducteur peut se créer à l'interface entre l'enveloppe et la tige ou encore à l'intérieur de la tige. Lorsque le chemin atteint une certaine longueur, un contournement (figure II.11) peut se produire et ainsi endommager définitivement l'isolateur, comme le présente la figure II.12. En outre ce chemin conducteur fragilise la tige par la diminution de sa résistance mécanique. Ceci peut, non seulement entraîner la chute du conducteur nu, mais constituer un danger pour la sécurité des opérateurs pour les travaux en ligne sur les réseaux électriques.

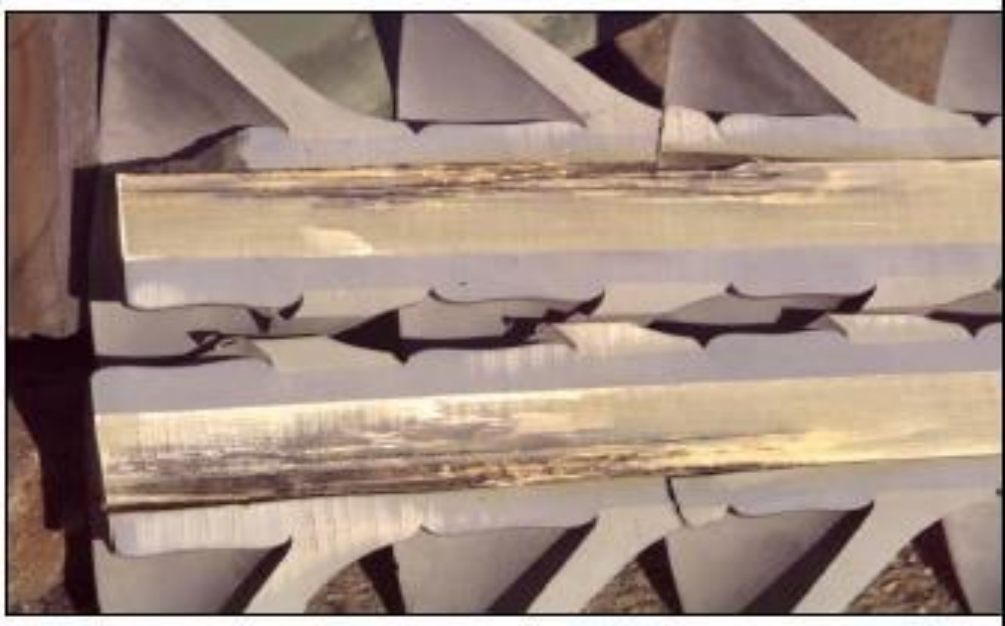


Figure. II. 12. Chemin conducteur à l'intérieur de la tige d'un isolateur composite résultant d'un contournement interne [39].

II.9.2. Contraintes environnementales

II.9.2.1. La pollution

Sous des conditions combinées de pollution atmosphérique et de pluie, de brouillard ou de rosée, la formation d'une couche d'électrolyte conductrice à la surface de l'isolateur conduit à la circulation d'un courant de fuite le long de ce dernier. L'effet Joule qui en résulte conduit à l'évaporation de l'eau et au séchage de la surface de l'isolateur. Des bandes sèches se forment dans les zones où la densité de courant et la puissance dissipée sont les plus importantes [41]. Il s'ensuit une importante chute de tension aux bornes des bandes sèches ainsi créées. Si cette dernière est suffisante, cela peut entraîner l'apparition d'arc électrique partiel résultant du claquage des bandes sèches, tel qu'illustré

la figure II.13-a. Si la décharge s'éteint, il n'y a pas de contournement. Dans le cas contraire, elle progresse pour rejoindre d'autres décharges électriques conduisant alors à un contournement complet (figure II.14) de l'isolateur [42]. La présence des arcs partiels entre les ailettes présentent un danger potentiel pour l'isolateur (figure II.13-b).

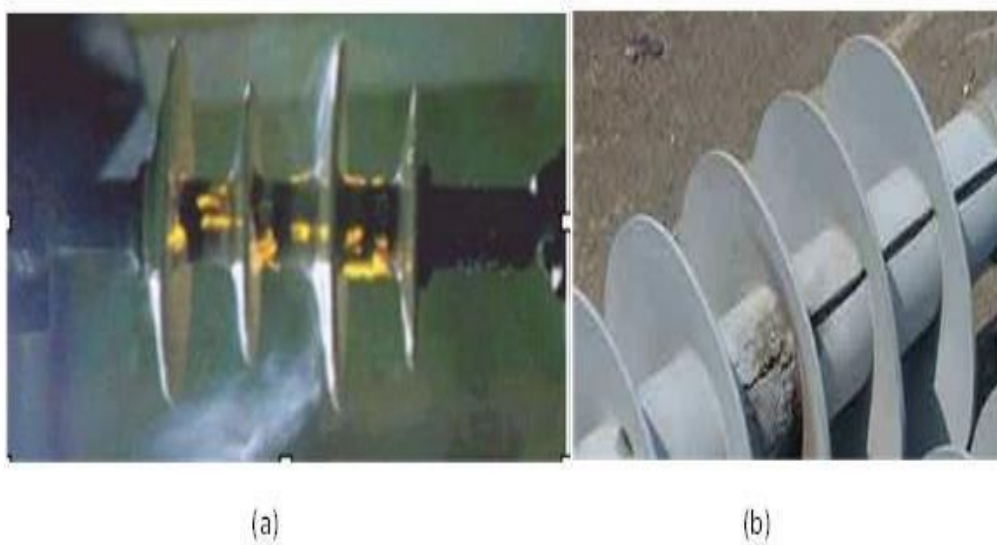


Figure II. 13. Arcs partiels établis le long de bandes sèches (a) qui peut résulter en une importante fissuration de l'enveloppe (b) [39].

En outre, sous conditions de pluie, en plus des décharges couronnes présentes au voisinage de la H.T, les gouttelettes d'eau présentes à la surface d'un isolateur entraîne une augmentation localisée du champ électrique [43]. Les figures II.15-a et 15-b montrent respectivement des exemples de lignes équipotentielles et de distribution du champ électrique qui mettent en exergue la région où le champ électrique est intense (à la triple jonction eau-air-enveloppe). Si le champ électrique est suffisamment élevé, des décharges partielles aléatoires peuvent s'initier sur la surface de l'isolateur. Ces activités intenses et continues de décharges peuvent détruire l'hydrophobicité et conduire progressivement au cheminement et à l'érosion de la surface de l'enveloppe et de ses jupes, comme le montre la figure II.16.

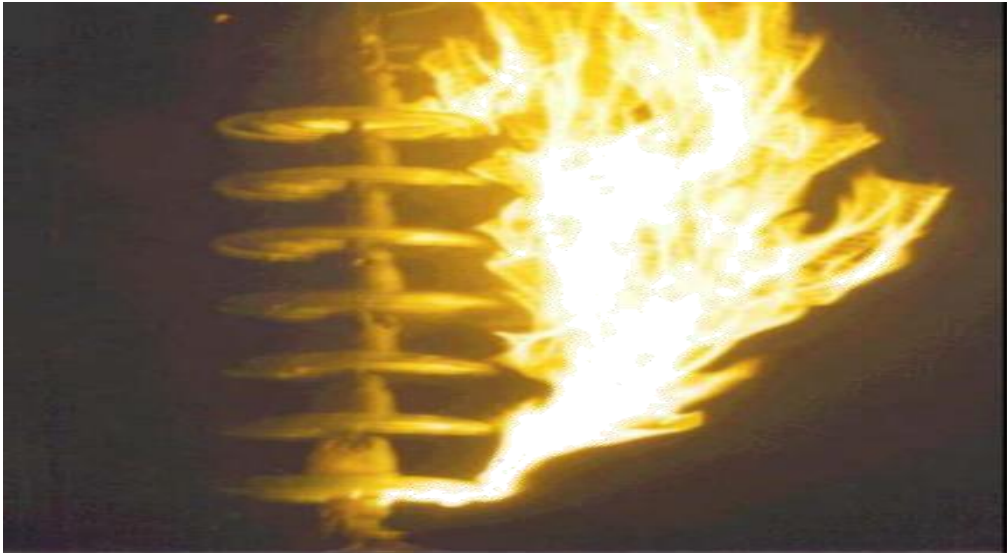


Figure. II. 14. Image réelle d'un contournement [39].

Dans des expériences à l'échelle macroscopique, les premiers signes de dégradations dues des décharges électriques ont été des craquelures de la surface ($< 5 \mu\text{m}$ de profondeur), la fissuration ($> 50 \mu\text{m}$ de profondeur) et la décoloration [38].

Dans d'autres cas, l'érosion induite par les décharges partielles générées par la présence des gouttes d'eau peut conduire à la perforation de l'enveloppe. Si cette perforation se situe entre les ailettes au niveau de la tige, un chemin conducteur peut ainsi naître entre l'enveloppe de l'isolateur et la tige, donnant ainsi naissance à un défaut interne.

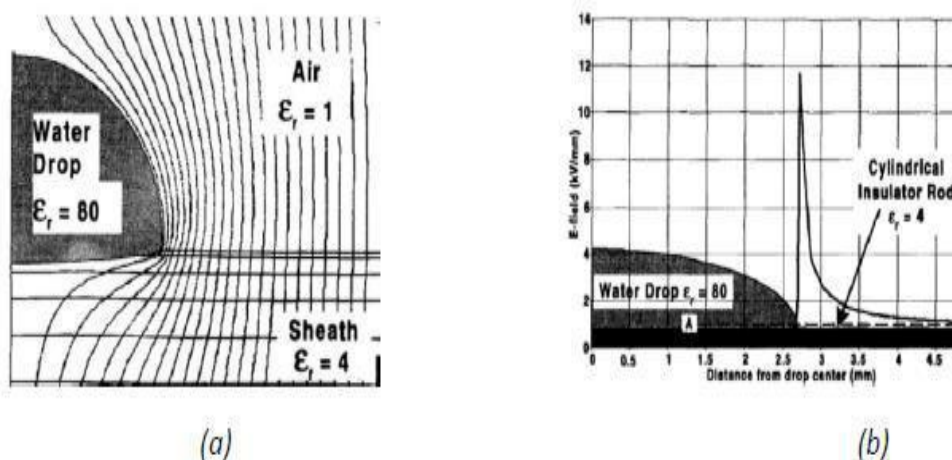


Figure. II. 15. Lignes équipotentielles (a) et lignes de champ électrique (b) à la triple jonction des gouttelettes d'eau [44].

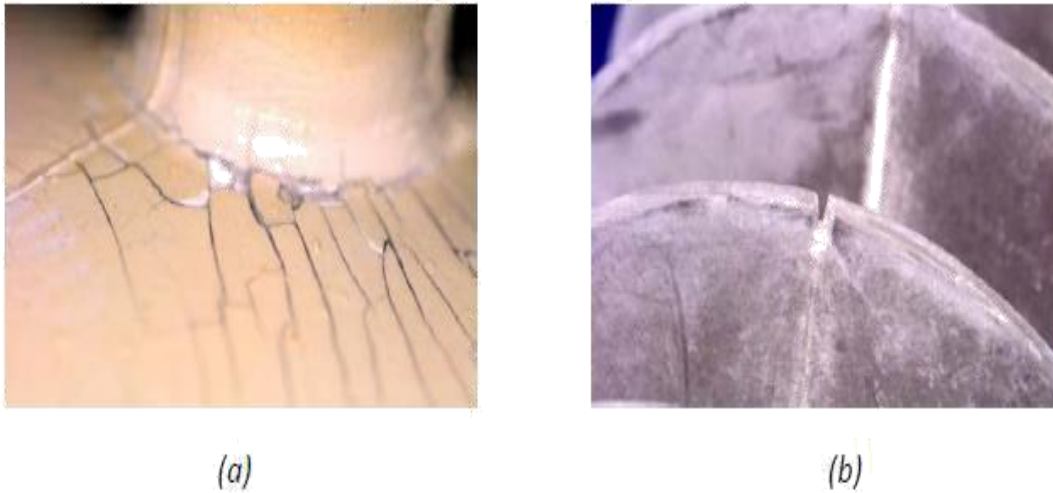


Figure. II. 16. Craquelure (a) et érosion (b) à la surface d'un isolateur [39].

II.9.2.2. Rayonnement ultra-violet (UV)

Les isolateurs composites installés à l'extérieur sont soumis aux rayonnements (UV) du soleil. Les surfaces sont alors attaquées par des photons UV qui libèrent l'énergie nécessaire pour pouvoir briser les liaisons moléculaires [45, 46]. En outre, l'enveloppe en matériau polymère des isolateurs composites contient des impuretés telles que les agents de vulcanisation, des catalyseurs et des charges qui sont vulnérables aux rayonnements UV en raison de leur faible liaison moléculaire. La présence de ces additifs affaiblit le polymère solide à base de carbone, réduisant ainsi la résistance de l'enveloppe aux rayons UV. La chaleur et la photo-oxydation provoquent des ruptures de chaînes détruisant l'hydrophobie de la surface de l'enveloppe, ce qui conduit à la fissuration et à la dégradation du matériau polymère. Les effets des radiations UV sur les isolateurs composites sont le faïençage, le farinage ou la fissuration de la surface (figure II.16-a), la décoloration et la perte de l'hydrophobicité.

II.9.3. Contraintes mécaniques

La fonction principale d'un isolateur est de supporter le conducteur nu qui exerce une contrainte mécanique constante à cause de son poids pouvant atteindre jusqu'à plusieurs tonnes pour les lignes électriques très haute tension.

Au fil du temps, la charge peut progressivement affaiblir le joint entre le noyau et les pièces d'extrémités, conduisant à une défaillance mécanique de l'isolateur. En outre,

une contrainte mécanique supplémentaire peut également se développer lorsque de forts vents provoquent l'oscillation des conducteurs de phase. Les vibrations qui en découlent peuvent provoquer la formation de fissures à l'interface entre la tige et les pièces d'accrochage métalliques. Également, dans certains pays à climat froid, l'accumulation de glace sur les conducteurs de phase et les lignes peuvent générer des contraintes de poids supplémentaire sur les isolateurs. Enfin, dans les régions désertiques chaudes, la température moyenne peut facilement atteindre 40°C pendant la journée et descendre en dessous de 10°C la nuit. Ce changement considérable de température entraîne un processus de dilatation thermique cyclique et de contraction qui peut desserrer la connexion entre le noyau et les pièces métalliques d'extrémités, affectant la résistance mécanique de l'isolateur.

II.10. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter les notions utiles à la bonne conduite de ce projet de recherche. Nous avons pu noter que nonobstant les avantages des isolateurs composites, ces derniers présentent des inconvénients. En outre, l'application de la tension de service combinée au diverses contraintes et leurs interactions mutuelles provoquent la dégradation des isolateurs composites qui doit être détectée le plutôt possible pour éviter la défaillance de ces derniers.

L'existence de plusieurs outils de diagnostic permet de détecter la plupart des dégradations des isolateurs composites. Cependant, l'état d'avancement des travaux de recherche en rapport avec notre problématique, indiquent que très peu d'études ont été consacrées aux défauts internes au sein des isolateurs composites. Ceci justifie l'intérêt de ce travail de recherche.

CHAPITRE III

L'INFLUENCE DE L'ANNEAU DE
GARDE SUR LA DISTRIBUTION DU
CHAMP ELECTRIQUE

L'influence de l'anneau de garde sur la distribution du champ électrique

III.1 Introduction

Les effets électriques peuvent être décrits par deux grandeurs le champ et le potentiel électrique. La distribution de champ électrique dans les isolateurs composites sont généralement plus élevées aux extrémités des bornes haute tension donc il est important de contrôler le champ électrique dans cette région. Le champ électrique sur l'isolateur composite est non linéaire car il dépend de la géométrie de l'isolateur qui se traduit par une capacité différente pour une forme différente. Le processus continu de décharge corona sur l'isolateur contribue à sa dégradation prématurée. Ainsi, diverses techniques peuvent être utilisées pour minimiser le facteur de dégradation tel que l'installation des anneaux de garde. Dans ce chapitre, des méthodes pour étudier le champ électrique le long de l'isolateur composite sont présentées. Le but est de localiser la région de champ la plus élevée et à partir du résultat, une technique d'optimisation du champ électrique est appliquée pour minimiser le champ électrique et, par conséquent, améliorer la fiabilité de l'isolateur. Il existe deux méthodes pour déterminer la distribution du champ électrique, i) les mesures expérimentales et ii) les calculs numériques. Pour ce mémoire, le calcul numérique utilisant la méthode des éléments finis est utilisé pour étudier la distribution du champ électrique. Les progrès de la technologie informatique ont permis à diverses simulations de calcul numérique de résoudre divers problèmes d'ingénierie. La méthode des éléments finis offre des résultats de calcul précis et, par conséquent, minimise les erreurs. Il est très intéressant d'avoir un environnement de simulation qui inclut la possibilité d'ajouter différents phénomènes physiques au modèle étudié. C'est dans cette philosophie que COMSOL Multiphysics a été développé. C'est un logiciel de calcul numérique par éléments finis modulaire permettant de modéliser une grande variété de phénomènes physiques caractérisant un problème réel.

III.1. Le champ Electrique

Le champ électrique est défini comme la force électrique par unité de charge et c'est une quantité vectorielle car elle dépend de la direction. La direction du champ est supposée être la direction de la force qu'il exercerait sur une charge d'essai positive. Le champ électrique est radialement vers l'extérieur à partir d'une charge positive et radialement vers une charge ponctuelle négative. Les champs électriques en haute tension provoquent une polarisation et des pertes électriques dans les isolateurs composites. Des champs plus élevés induiront des mécanismes supplémentaires dans l'isolateur tels que les décharges dans la cavité et l'accumulation de charges d'espace pendant la conduction et la polarisation. La polarisation se produit lorsque les électrons et les molécules de polymère ont tendance de réarranger sous les effets du champ électrique. Lorsque le polymère atteint une panne électrique diélectrique, la conduction se produit là où l'isolateur devient conducteur. À long terme, l'accumulation de charges d'espace peut persister à l'intérieur de l'isolateur et de sa surface, ce qui peut produire une dégradation localisée dans les régions de champ électrique intense, ce qui peut entraîner une érosion sur l'isolateur. Dans ce chapitre, les méthodes pour étudier le champ électrique le long de la ligne de fuite le long du de l'isolateur composite sont présentées.

III.2. Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis a pris un essor considérable avec le développement des moyens informatiques. Dès les années 1960, elle est devenue, par sa souplesse d'emploi et sa très grande généralité, une méthode numérique indispensable pour la résolution des problèmes aux dérivées partielles [47].

III.2.1. Principe

Le principe de cette méthode consiste à diviser le domaine d'étude en plusieurs éléments finis (appelé maillage). C'est une étape très importante, puisque le choix de la forme de l'élément de maillage est primordial dans la précision des résultats obtenus. Il est donc nécessaire de trouver la forme et le degré d'approximation de

celui-ci, qui soient les plus adaptés à la géométrie du domaine d'étude [48]. Il existe un grand nombre de formes géométriques pour les éléments de maillage tels que:

- Des triangles, des rectangles, des quadrilatères arbitraires pour les problèmes
- Des tétraèdres, des hexaèdres, des cubes, des prismes pour des problèmes à trois à deux dimensions.

III.2.2. Etapes de la méthode des éléments finis

Pour une analyse par éléments finis, tout un travail de préparation et de finalisation doit être effectué, c'est ce que nous décrivons dans les étapes suivantes :

1. L'équation différentielle.
2. L'équation différentielle à une intégrale.
3. Approximation par éléments finis.
4. Equation matricielle.
5. Résolution du système matricielle.

Actuellement, il existe différents logiciels qui utilisent cette méthode comme le Femlab, Maxwell, Flux2D et FEMM. Dans la suite de ce travail, nous allons utiliser le logiciel COMSOL Multiphysics [47].

III.2.3 Avantages de la MEF

- La flexibilité est l'un des plus importants avantages de la MEF. Les éléments peuvent avoir plusieurs formes variées et peuvent donc s'adapter facilement à n'importe quelles formes géométriques complexes, et aussi tenir compte des propriétés inhomogènes et non linéaires des matériaux.
- Les matrices formant le système final d'équations sont symétriques.
- La programmation de la méthode est assez simple surtout lorsqu'il s'agit de tenir compte de l'introduction des conditions aux limites.

La MEF a fait ses preuves dans beaucoup de domaines en ingénierie. De plus, avec son développement important, il existe de très bons logiciels commerciaux qui sont basés sur cette méthode et qui la rendent très accessible. Et par conséquent, elle est applicable à beaucoup de problèmes sans que nous connaissions nécessairement la MEF en détail [48].

III. 2.4 Inconvénients de la MEF

- La solution calculée reste toujours dépendante des données numériques initiales (caractéristiques des matériaux, ...) conditions aux limites. En ce sens, l'influence de ces paramètres sur les résultats requiert un nouveau calcul avec d'autres valeurs.
- La modification d'une partie de la géométrie entraîne un nouveau maillage et, donc, une remise à zéro dans les calculs.
- Un mauvais choix du maillage proposé automatiquement par les logiciels, limite la précision des résultats. L'utilisateur doit donc porter une attention particulière lors de cette étape.
- Le traitement d'une problématique par la MEF implique une connaissance parfaite du domaine géométrique et des conditions aux limites. Ce qui complique la mise en œuvre de ce traitement lorsque ce n'est pas le cas [48].

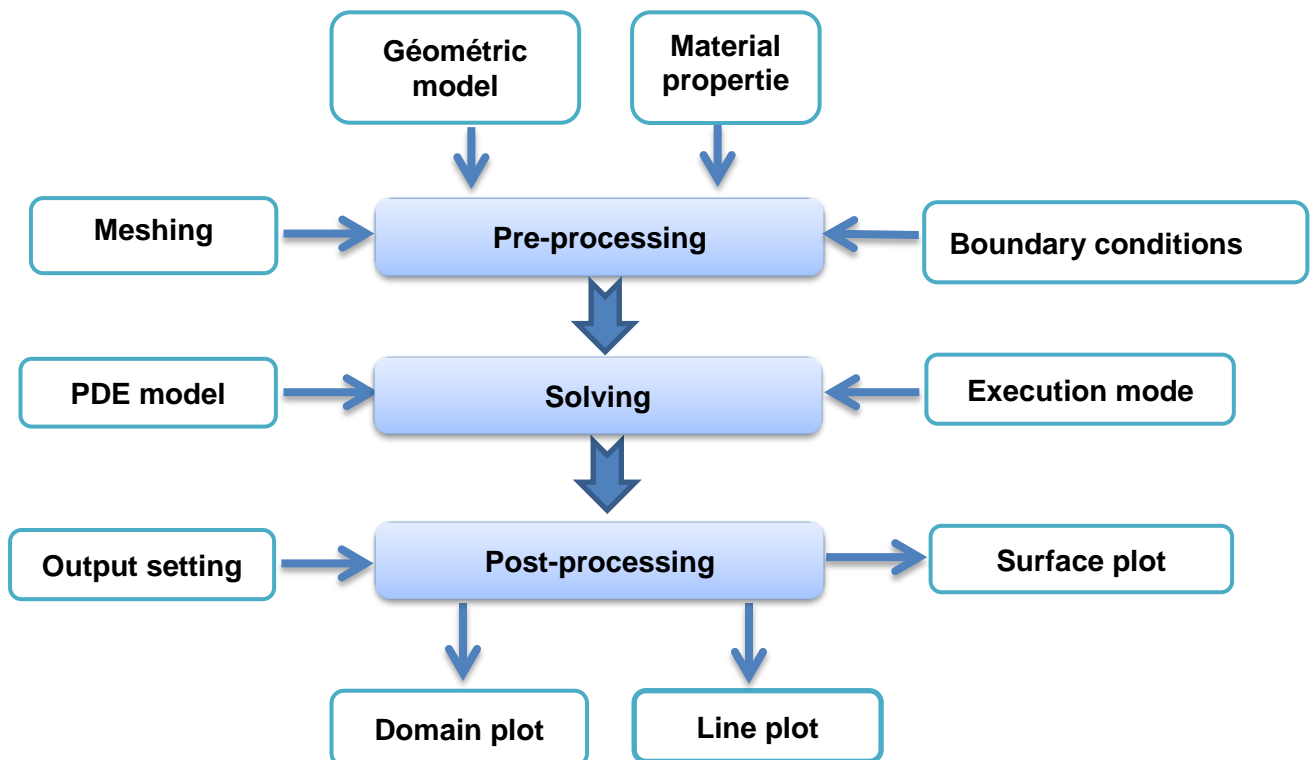


Figure. III. 1. Procédure générale des simulations MEF

III.3. COMSOL Multiphysics :

III.3.1. Description de logiciel COMSOL Multiphysics :

COMSOL Multiphysics est un logiciel d'analyse et solveur par éléments finis, qui a diverses application en physique et ingénierie en particulier les phénomènes couplés, ou multiphasiques. COMSOL Multiphysique offre aussi une vaste et bonne gérance d'interface MATLAB et ses boites à outils pour une grande variété de programmation et de post procédures possible. Une interface similaire est offerte COMSOL script [29]. Les paquets sont multi plateformes (Windows, Mac, Linux, Unix) En plus de la physique classique à base d'interfaces utilisateur, COMSOL Multi physique permet également d'entrer dans des systèmes couplés d'équation aux dérivées partielles ; elles peuvent être saisies directement ou en utilisant la soi-disant forme faible.

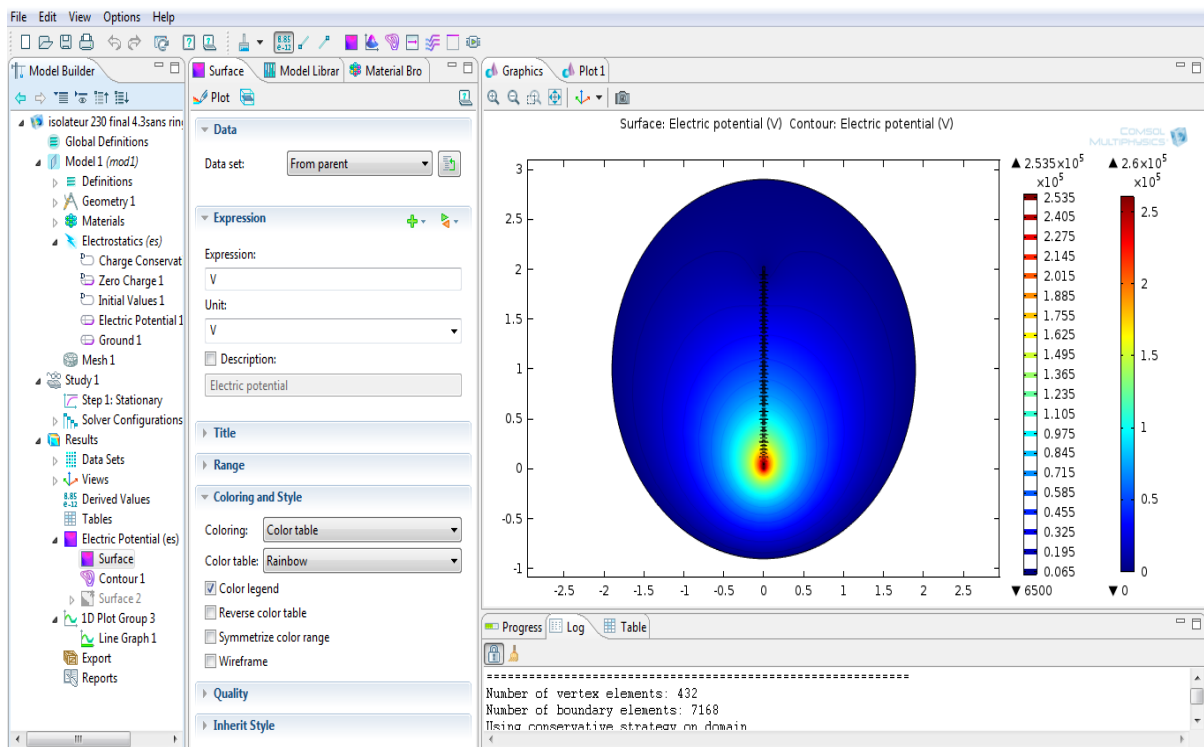


Figure. III. 2. Interface du logiciel COMSOL Multiphysics

COMSOL a été lancé par les étudiants diplômés à Germund Dahlquist reposant sur des codes mis au point pour une cour universitaire à l'Institut royal de technologie à Stockholm, en suède. COMSOL Multiphysics est un outil très employé dans des

secteurs divers de recherche, car il facilite amplement les étapes de modélisation et de simulation, soit : la définition de la géométrie, des propriétés physiques des matériaux présents et des conditions aux frontières, le maillage, la résolution et l'affichage des résultats. Par ailleurs, le logiciel ne demande pas de connaissances approfondies dans les dynamiques ou les analyses numériques. En effet, toutes les équations nécessaires à la résolution sont déjà prédéfinies, il suffit alors de préciser dans quel domaine (électromagnétisme, transfert de chaleur, acoustique...) et dans quel régime (stationnaire, temporel...) le modèle doit être construit [47]. Selon ce choix, la modélisation est disponible en 1D, 2D, 2D axisymétrique ou encore en 3D.

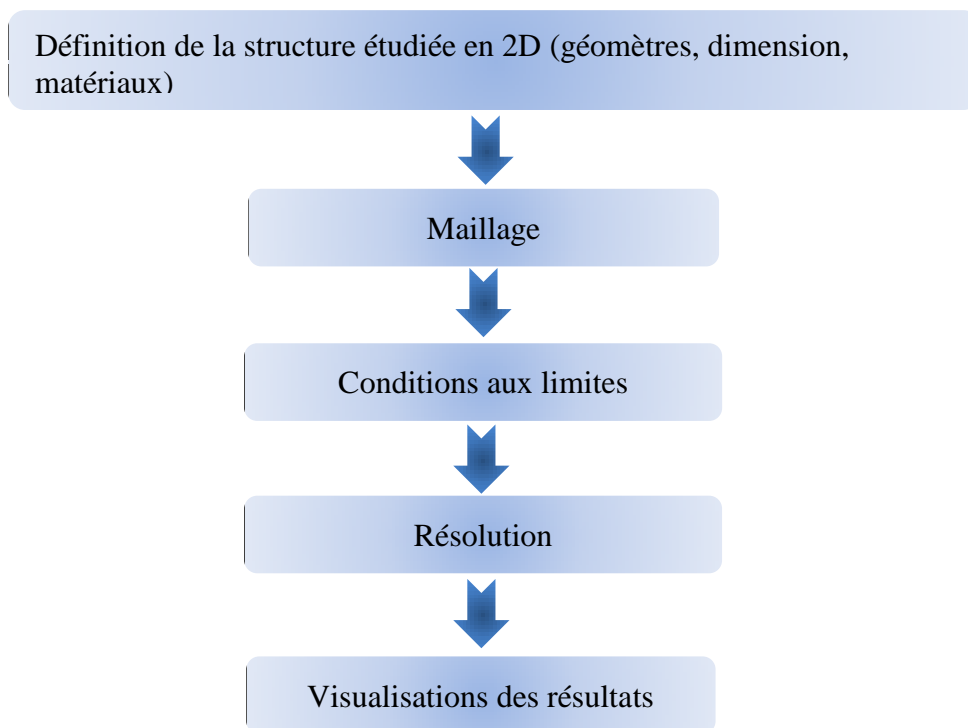


Figure. III. 3. Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL

III.3.2. Les modèles

Plusieurs modèles spécifiques à l'application sont disponibles pour COMSOL Multiphysique:

- AC/DC Module.
- Acoustiques Module.

- CAD Import Module.
- Chemical Engineering Module.
- Structural Mechanics module.
- Earth Science Module.

IV.3.2.1. AC/DC Modèle

Ce modèle simule composants électriques et les dispositifs qui dépendent de les l'électrostatique, et électromagnétique quasi-statique application, en particulier Magnétostatique associée à d'autres physiques [49].

III.3.3. Procédure de simulation

Les étapes essentielles de conception d'un modèle en utilisant COMSOL Multiphysiques son [49] :

- Utilisation d'un physique prédéfinie.
- Implémentation et résolution d'un modèle Multi physique.
- Définition de propriétés physiques dépendent de la solution recherché.
- Analyse temporelle.

Les étapes de construction d'un modèle comprennent notamment :

- Définition de la géométrie.
- Définition de la physique et des conditions aux limites.
- Maillage.
- Résoudre.
- Post-traitement et analyse des résultats.

III.3.4. Choix du mode d'application

Ce modèle commence par le choix de la dimension géométrique et d'un mode d'application dans la fenêtre Model navigateur qui s'ouvre lorsqu'on lance le logiciel COMSOL Multi Physique. Pour traiter le problème de la pollution des isolateurs, nous avons choisi de travailler en deux dimensions.

III.3.5. Définition de la géométrie

Une fois le mode choisi, l'interface graphique s'ouvre. On doit d'abord commencer par déterminer la géométrie du modèle qui définit concrètement l'espace ou l'on doit résoudre notre problème.

III.3.6. Propriété des matériaux

Le logiciel COMSOL permet de visualiser la propriété standard, optiques, électriques, et mécanique du matériau, dans cette étude on va définir les propriétés électriques la constante diélectrique et la conductivité qui définissent le sous-domaine. Pour résoudre les EDP, il est nécessaire de définir un certain nombre de conditions aux limites cohérentes.

III.3.7. Maillage

Le maillage correspond à la discrétisation spatiale de la géométrie en volumes élémentaires (appelés mailles) définis par des points (appelés nœuds).

Ces nœuds constituent les connexions entre les mailles, les maillages est réalisé automatiquement par le logiciel, l'algorithme prend pour point de départ les éléments de la géométrie et crée des nœuds supplémentaires jusqu'à satisfaire des critères prédéfinis comme le nombre de mailles ou la taille maximal de mailles. On peut utiliser les tailles prédéfinies (extra grossier, grossier, normale, fine, extra fine ...) par le logiciel ou agir sur les paramètres de génération du maillage [49].

III. 4. Identification des domaines dans le logiciel

Dans les méthodes des éléments finis, les propriétés et les limites de chaque matériau du composant doivent être attribuées pour le calcul mathématique. Le matériau des composants est disponible dans la bibliothèque de matériaux standards où chaque propriété de matériau peut être modifiée en fonction des spécifications requises. La borne HT et la borne de terre sont en acier forgé avec une conductivité, $\sigma = 5,99 \times 10^{-7}$ S /m. Le noyau FRP et le boîtier en caoutchouc de silicone ont une faible conductivité,

$\sigma = 1,0 \times 10^{-13}$ S / m. L'isolateur d'air environnant a été spécifié avec une très faible conductivité, $\sigma = 1,0 \times 10^{-14}$ S / m.

III. 5. Conditions aux limites

Pour le cas étudié, nous avons pris comme conditions aux limites pour l'électrode un potentiel constant de valeur 230kV (haute tension) et celui de l'électrode inférieur un potentiel nul (0V) ou encore prendre la condition prédéfinie dans le logiciel "terre". L'air est rendu suffisamment grand pour minimiser son effet sur la distribution du champ électrique le long de l'isolateur et des deux terminaux. Les bords extérieurs de la zone de fond de l'air supposent un courant externe nul

III.6. Définition et utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs

III.6.1. Présentation générale des anneaux de garde

Les anneaux de garde se présentent sous la forme d'un anneau métallique ouvert ou fermé (figure III.4), généralement en l'aluminium, pour des questions de mise en forme, de légèreté et de résistance à la corrosion. De par leur fonctionnalité, telle qu'expliquée à la section suivante, les anneaux de garde sont fixés aux extrémités métalliques des isolateurs de poste (figure III.5-a) ou de ligne (figure III.5-b) et sont donc soumis au même potentiel que ces dernières.



Figure. III. 4. Exemples de géométries d'anneaux de garde [50]



Figure. III. 5. Exemples d'utilisation des anneaux de garde sur un isolateur de poste (a) et un isolateur de ligne en composite (b) [51].

III.6.2. Fonctionnalité des anneaux de garde

La revue de littérature permet de mettre en évidence que l'ajout d'un ou plusieurs anneaux aux isolateurs, qu'ils soient de ligne ou de poste, permet d'assurer une ou plusieurs fonctions qui sont les suivantes [52] :

- Une meilleure répartition du champ électrique à l'intérieur ou extérieur du matériau constituant l'isolateur afin d'éviter toute décharge électrique partielle à l'intérieur des diélectriques (micro cavités ou défauts), à l'interface entre les différents matériaux ou encore à la surface des matériaux sous conditions de pluie ou de pollution atmosphérique.

- Une réduction de l'intensité du champ électrique dans l'air autour des extrémités métalliques de l'isolateur et des équipements avoisinants afin de prévenir l'apparition des décharges couronnes qui sont responsables des perturbations radiophoniques, bruits audibles et pertes énergétiques.

- La protection de l'électrode métallique de l'isolateur contre l'arc électrique en gardant l'arc à distance de l'isolateur et en permettant de fixer la racine de l'arc à l'anneau de garde pour prévenir toute détérioration.

L'ajout des anneaux de garde aux isolateurs de poste et de ligne n'est pas automatique du fait qu'il existe plusieurs facteurs à prendre en compte dans la décision et qui plus est, il n'existe pas réellement de règles établies précisément [52]. Les facteurs principaux à considérer sont relatifs aux dimensions des parties métalliques des extrémités des isolateurs ainsi que les dimensions et les types de connexion entre ces derniers et les parties portées à la haute tension ou mises à la terre. La recommandation d'installer ou pas des anneaux de garde est généralement émise par les fabricants qui doivent non seulement tenir compte des différentes dimensions géométriques mais aussi des conditions locales environnementales (humidité, pollution, altitude, ect.) en procédant, soit à des tests expérimentaux, soit à des simulations numériques dans le but de guider leur choix [52, 53].

Cependant, en règle générale, certains fabricants recommandent, pour les isolateurs de poste en porcelaine, l'ajout d'un anneau de garde pour des niveaux de tension allant jusqu'à 500kV et deux anneaux de garde pour des niveaux de tension supérieurs [52, 53]. Pour les isolateurs composites de ligne, l'utilisation d'un anneau de garde est recommandée à partir de niveaux de tension de 220/230 kV pour les parties portées à la haute tension et un anneau de garde à chaque extrémité de l'isolateur composite (un à la H.T. et un à la mise à la terre) à partir de 500kV.

III.7. Utilisation des anneaux de garde sous différentes conditions atmosphériques

Les isolateurs des lignes aériennes et des postes de transport et d'interconnexion des réseaux électriques sont exposés à diverses conditions climatiques comme la pluie, la pollution atmosphérique ou encore les accumulations de glace. Le point commun entre ces différentes conditions atmosphériques est qu'elles affectent et modifient les conditions surfaciques des isolateurs qui provoquent une augmentation de l'activité électrique pouvant contribuer à :

- une dégradation accélérée de la surface de l'isolateur dans le cas de décharges partielles initiées à l'extrémité des gouttes d'eau et une augmentation des perturbations Radiophoniques et du bruit audible [54-55].

- l'apparition d'arcs électriques partiels dont les pieds en contact avec l'isolateur peut endommager non seulement la surface isolante mais aussi les parties métalliques et même entraîner des bris mécaniques dans des cas de pollution ou de précipitations froides [52].

- le contournement complet de l'isolateur sous condition de pollution sévère couplée avec la pluie ou encore sous conditions de précipitations verglaçantes importantes [56-57, 54-58].

L'initiation des activités électriques à la surface des isolateurs sous différentes conditions atmosphériques sont toutes dues à la modification partielle voir totale des distributions du potentiel et du champ électriques. En effet, que ce soit la présence des gouttes d'eau, d'une couche de pollution, de bandes sèches ou encore de dépôts de glace, d'intervalles d'air ou de film d'eau ou un amalgame de toutes ces conditions, une redistribution du potentiel le long de l'isolateur s'effectue. La non-uniformité de la redistribution du potentiel qui en découle est à l'origine des activités électriques nuisibles qu'il convient d'amoindrir afin de protéger les isolateurs contre tout dommage éventuel.

Cela peut être réalisé en utilisant des isolateurs recouverts d'un revêtement semi-conducteur dont l'efficacité a été démontrée dans le cas de pollution sévère [59].

Cela dit, ce type d'isolateur sont généralement utilisés dans des zones de pollution atmosphérique importante puisque qu'ils sont plus coûteux que les isolateurs standard à l'achat mais aussi à l'utilisation (pertes causées par le courant circulant en permanence dans le revêtement Semi-conducteur) [59].

L'autre solution pouvant être utilisée concernant l'uniformisation de la distribution du potentiel sous conditions climatiques critiques consiste en l'ajout d'anneaux de garde sur les isolateurs existants. Tel que décrit à la section précédente, les anneaux de garde, utilisés adéquatement, sont en mesure de réduire l'activité électrique au

voisinage des isolateurs propres et ces derniers sont généralement utilisés pour cela. Mais qu'en est-il de leur utilisation et de leur influence sous des conditions climatiques sévères. À cet effet, la revue de littérature montre qu'il existe, au meilleur de nos connaissances, très peu d'études réalisées sur ce sujet. La majorité des études relatives à l'utilisation des anneaux de garde se concentrent exclusivement sur l'optimisation de ces derniers pour des applications impliquant des isolateurs propres [55-54]. Très peu d'études se sont concentrées exclusivement sur le potentiel effectif des anneaux de garde à réduire l'activité électrique engendrée par une modification de l'état de surface des isolateurs.

D'après certaines études [52], l'utilisation des anneaux de garde serait en mesure d'éviter, sous certaines conditions de pollution, l'amorçage des bandes sèches à proximité de l'électrode haute tension de l'isolateur, mais cela reste encore à démontrer par des recherches plus poussées. De même, dans le cas des accumulations de glace sur les isolateurs, quelques études expérimentales et observations faites sur sites naturels ont été effectuées concernant l'influence des anneaux de garde sur la tenue diélectrique des isolateurs de poste recouverts de glace [61]. En effet, il a été observé que les isolateurs de poste équipés d'anneaux de garde semblaient présenter une distribution de glace plus uniforme mais que cette uniformité des dépôts de glace ne conduisait pas forcément à une amélioration des performances électriques des isolateurs. Dans d'autres cas, l'utilisation des anneaux de garde avec les isolateurs de poste semblaient conduire à la création d'un intervalle d'air de dimension importante (voir figure III.6) pouvant être suffisant pour éviter le contournement de l'isolateur sous tension de service [61].

Au regard de la revue de littérature, il est remarquable de constater qu'il existe un manque flagrant d'études systématiques portant sur le potentiel d'utilisation des anneaux de garde pour réduire l'activité électrique à la surface des isolateurs sous conditions climatiques sévères, aussi bien dans le cas de la pollution atmosphérique que dans le cas d'accumulations de glace.



Figure. III. 6. Isolateurs semi-conducteurs de poste 500 KV, équipés d'anneau de garde dans des conditions givrage en Virginie [61].

III.8. Optimisation des anneaux de garde

Tel que discuté à la section précédente, le rôle des anneaux de garde consiste en partie à réduire le champ électrique près des parties métalliques situées aux extrémités des isolateurs et d'uniformiser la distribution du potentiel le long de ces derniers. L'utilisation adéquate des anneaux de garde dépend donc beaucoup de la géométrie du champ électrique et des parties métallique environnantes. Les manufacturiers et chercheurs ont donc deux solutions afin de dimensionner et positionner adéquatement les anneaux de gardes : les tests expérimentaux et la simulation numérique. Dans la majorité des cas, la simulation numérique est préférée aux tests expérimentaux puisqu'elle requière peu d'infrastructure, réduisant ainsi les coûts d'étude, et permet de tester des nombreuses configurations d'anneaux de garde par l'utilisation de méthodes d'optimisation. Les tests expérimentaux sont généralement utilisés pour valider les configurations finales d'anneaux de garde obtenues à partir des résultats numériques. Nombreuses études ont été réalisées sur l'optimisation des anneaux de garde [52-62]. La majorité des études recensées se sont concentrées sur les isolateurs de lignes en composite puisque ces derniers sont plus sensibles aux dégradations engendrées par les

activités électriques inhérentes à une distribution du potentiel non uniforme [52]. Les différentes études d'optimisation ont été réalisées par modélisation numérique en utilisant soit la méthode des éléments finis (MEF) [63-64], soit la méthode des éléments finis de frontière (MEFF) [64-62]. Ces deux méthodes sont tout à fait adaptées au calcul de champ électrique et au problème d'optimisation.

Pour ce qui est des méthodes d'optimisation utilisées, une seule approche est en générale préconisée dans les différentes études rapportées afin d'optimiser l'utilisation des anneaux de garde. Le choix se porte généralement sur l'utilisation de l'étude paramétrique [63-62] où la géométrie de l'anneau est paramétrée par un nombre réduit de variables ce qui limite considérablement la variété des formes possibles (ou admissibles). L'étude paramétrique consiste donc à étudier l'influence de chacun des paramètres géométrique de l'anneau de garde sur les distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur afin de déterminer la meilleure configuration de paramètres ou la meilleure géométrie conduisant à la meilleure uniformisation de la distribution du potentiel et du champ électrique.

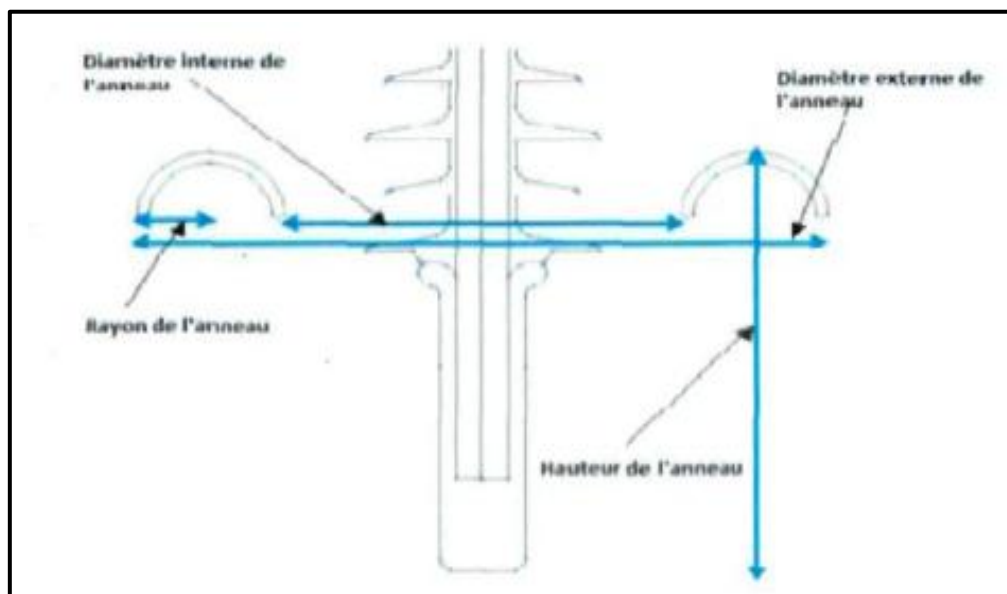


Figure. III. 7. Exemple de paramétrage de la géométrie d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne [62].

Toutes les études recensées dans la présente revue de littérature ont été réalisées sur des isolateurs composites de ligne [52-62]. De plus, la grande majorité de ces études paramétriques se sont attachées à étudier une à une l'influence de trois paramètres principaux permettant de caractériser l'anneau de garde, soit le diamètre externe de l'anneau, sa position et le rayon de l'anneau (figure III.7). Toutes ces études confirment que ces trois paramètres ont une influence à différents niveaux sur les distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur. Les résultats obtenus peuvent ainsi être résumés comme suit :

- L'augmentation du rayon de l'anneau (en gardant les deux autres paramètres constants) a une influence notable sur la réduction de l'intensité du champ électrique à la surface de l'anneau de garde et une influence moindre sur les distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur.

- L'augmentation du diamètre externe de l'anneau de garde (en gardant les deux autres paramètres constants) diminue sensiblement le champ électrique à la surface de l'anneau et plus moindrement affecte les distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur.

- La modification de la hauteur de l'anneau de garde (en gardant les deux autres paramètres constants) procure une modification notable des distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur, beaucoup plus que celles obtenues avec la modification du diamètre externe de l'anneau et de son rayon.

D'autres études se sont concentrées sur l'influence de la géométrie du tube constituant l'anneau de garde en gardant les autres paramètres constants, tel qu'illustré à la figure III.8 [65]. Ainsi, pour la même position, le même diamètre externe et le même rayon de l'anneau, ces études ont montré que l'utilisation d'un tube de section circulaire permet d'obtenir les meilleurs résultats en termes de réduction du champ électrique et d'uniformisation de la distribution du potentiel.

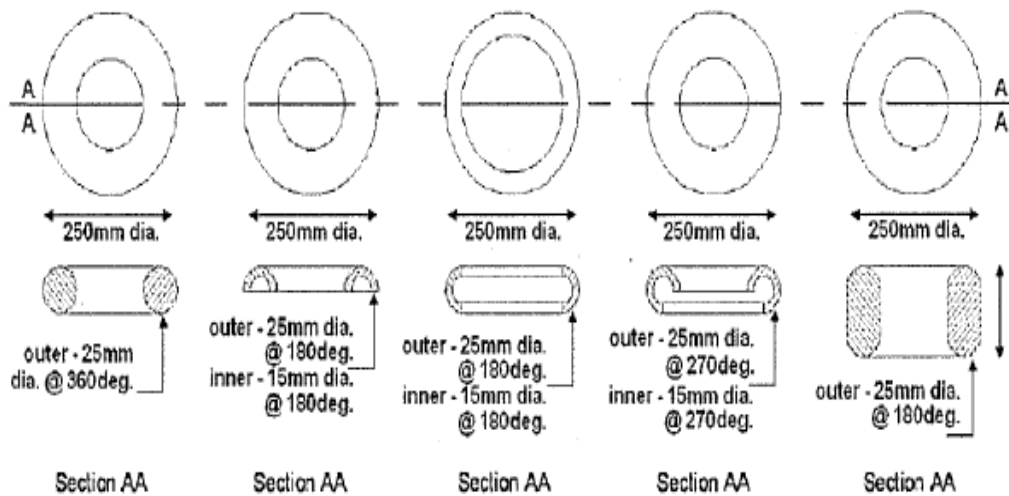


Figure. III. 8. Différentes géométries du tube constituant l'anneau de garde [65].

III.9. Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en évidence le rôle important de l'anneau de garde sur les lignes aériennes d'après la littérature. Ces anneaux ont une influence sur la distribution du champ électrique et le potentiel. Ils permettent d'avoir des valeurs minimisées du champ potentiel électrique uniforme. A cet effet, plusieurs méthodes numériques sont utilisées pour évaluer l'influence de l'anneau de garde. Dans cette partie, on a défini les principales méthodes impliquées dans la mesure et l'analyse de la distribution du champ afin d'évaluer l'efficacité des techniques d'optimisation.

CHAPITRE IV

ANALYSE DU CHAMP
ELECTRIQUE ET METHODOLOGIE
DES SURFACES DE RECONS

Chapitre 04

Analyse du Champ Electrique Méthodologie des Surfaces de Réponse

IV.1. Introduction

Les performances des isolateurs composites dépendent de la distribution du champ E le long de la surface des isolateurs. Il est essentiel de comprendre la distribution du champ E sur la longueur de l'isolateur. La répartition du champ électrique de l'isolateur non céramique est différente de celle des isolateurs en porcelaine. Généralement, la distribution du champ électrique d'un isolateur non céramique est plus non linéaire que celle d'un isolateur en porcelaine. Pour analyser le champ électrique sur l'isolateur composite, un model 3D a été construit en COMSOL Multyphysics. L'effet des paramètres de l'anneau de garde est étudié à l'aide de l'analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel « Minitab ». Ensuite, une optimisation basée sur la méthodologie de la surface de réponse est effectuée pour réduire le champ E en dessous de la valeur critique.

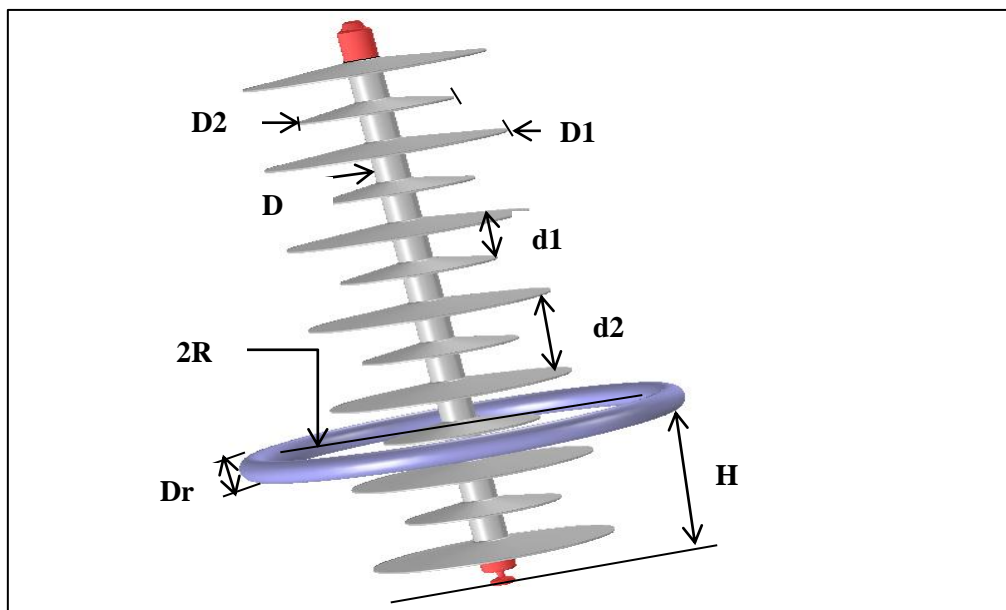
IV.2. Modèle d'isolateur

Ce chapitre présente l'optimisation proposée de l'anneau de garde pour un isolateur composite composé d'une tige en fibre de verre et d'un embout métallique. Le profil de l'isolateur est illustré à la figure IV. 1. Les valeurs numériques des paramètres de base sont répertoriées dans le tableau IV.1, si P est la distance d'arc sec, L est la ligne de fuite, $d1 / d2$ est l'espacement des hangars, $N1 / N2$ est le nombre des ailettes, $D1 / D2$ est le grand diamètre et D est le diamètre de la tige, respectivement. L'unité d'isolateur contient 25 grands et 25 petites ailettes.

Tableau. VI. 1. Paramètres de conception de l'isolateur composite étudié en mm.

N_0	P	L	d_1/d_2	N_1/N_2	D_1/D_2	D
A	2037	6510	36/75	25/25	140/110	25

Le modèle d'isolateur composite comme indiqué sur la figure IV.1 a été créé à l'aide de COMSOL Multiphysics. Afin de rendre la simulation plus rapide sans affecter la précision des résultats, le modèle d'isolateur est simplifié en un problème bidimensionnel (2D).

**Figure. IV. 2.** Modèle d'isolateur composite et anneau de garde.

IV.3. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R); principes et définitions

Dans le cas général, on appelle surface de réponse, la représentation géométrique de la réponse d'un processus physique spatio-temporel aléatoire à des variables stimuli. La propriété étudiée, ou réponse Y , résulte alors du transfert par une fonction de réponse explicite, ou fonction de transfert, des variables d'entrée du système, le changement de valeurs de ces variables entraînant un changement de la valeur de la fonction de réponse. Les modèles expérimentaux des surfaces de réponse

Prennent en considération le choix des variables stimuli, la définition des périodes

d'observation et le calcul d'erreur. Les variables d'entrée, stimuli représentatifs du phénomène, sont notées X_i ($i= 1 \dots n$), et sont appelées aussi variables de base du phénomène.

Elle permet aussi de faire une interprétation rapide et sans équivoque en fournissant un modèle expérimental précis du système étudié. Le déroulement de l'analyse par cette méthode passe par les étapes suivantes : la définition du système ainsi que de la réponse du système à connaître ou modéliser, ainsi que les facteurs susceptibles de modifier cette réponse. Ensuite, le nombre de facteurs pour l'étude, ainsi que le nombre de niveaux est défini. Dans le cadre de cette étude. Le nombre de facteur permet ensuite de choisir le niveau de précision du plan d'expériences en fonction de la réduction choisie. L'étape suivante est la définition de la table orthogonale correspondante au plan d'expériences. Cette table orthogonale constitue la liste des expériences. Enfin, l'analyse statistique peut être réalisée à partir des résultats des expériences. La méthodologie de surface de réponse est utilisée pour modéliser la relation entre les facteurs étudiés et la tension appliquée sur l'isolateur. Cette étude présente de nombreux avantages, car elle enrichit les connaissances sur ce sujet ce qui peut réduire le temps, l'argent et le travail impliqués dans les tests de laboratoire pour le dimensionnement et la conception des isolateurs.

IV.4. Analyse des variances ANOVA

Après avoir connu la méthodologie des surfaces de réponse pour évaluer les effets des paramètres et déterminer quelles sont les conditions idéales pour répondre au problème étudié. Néanmoins, à ce stade on ne peut pas être certains de nos résultats à 100 %. Nous avons donc besoin d'un outil supplémentaire qui puisse nous dire dans quelle mesure on peut faire confiance à nos résultats. Cet outil est l'analyse de variance issue des théories statistiques ANOVA. C'est un test statistique qui permet de juger la confiance qu'on peut accorder aux paramètres influents. Il nous informe également, pour le plan envisagé, sur le taux de contribution de chaque paramètre au Phénomène et sur l'importance des résidus.

L'ANOVA permet de dire si l'effet observé est significatif face à la dispersion

(L'étalement) des résultats. Elle consiste à comparer la dispersion des résultats due aux paramètres à celle due aux répétitions. Cette dispersion (ou écart par rapport à la moyenne) s'exprime par une quantité mathématique appelée variance.

Dans cette étude, les effets de paramètres de l'isolateur et leurs interactions ont été étudiés et évalués par la technique statistique d'analyse des variances ANOVA.

IV.5. Méthode de Taguchi

La méthode Taguchi, inventée par Genichi Taguchi, est une méthode statistique pour réaliser des plans d'expériences. Cette méthode se concentre avant tout à minimiser les variations autour de la valeur de consigne. L'objectif est d'obtenir des produits, processus et systèmes aussi robustes et insensibles aux perturbations externes que possible.

Dans ce travail, nous avons opté pour la conception de Taguchi, qui permet d'utiliser la modélisation des surfaces de réponse, qui est généralement considérée dans le contexte de la conception expérimentale comme une méthode statistique de modélisation et d'optimisation des problèmes dans lesquels différentes variables affectent une réponse d'intérêt. La première étape de RSM consiste à déterminer une approximation appropriée de la relation fonctionnelle réelle entre la variable de réponse y et un ensemble de variables indépendantes. Par conséquent, le modèle mathématique reliant la réponse Y aux différents facteurs est le suivant:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i X_i + \sum_{i=1}^3 a_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^3 a_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

Où, Y représente la réponse souhaitée. a_0 est constant. a_i , a_{ii} et a_{ij} sont respectivement les coefficients des termes linéaire, quadratique et produit croisé. X_i représente les facteurs codés liés aux paramètres considérés. L'analyse de variance est ensuite utilisée pour résumer le test de signification des coefficients du modèle. La qualité de l'ajustement du modèle quadratique est évaluée à l'aide des coefficients

De détermination (F^2), qui montre le rapport de la variation expliquée à la variation totale et est une mesure du degré d'ajustement, lorsque F^2 se rapproche de l'unité, le modèle obtenu est meilleur.

La tension maximale appliquée aux extrémités de l'isolateur était de 180 kV, comme le montre la figure IV.2

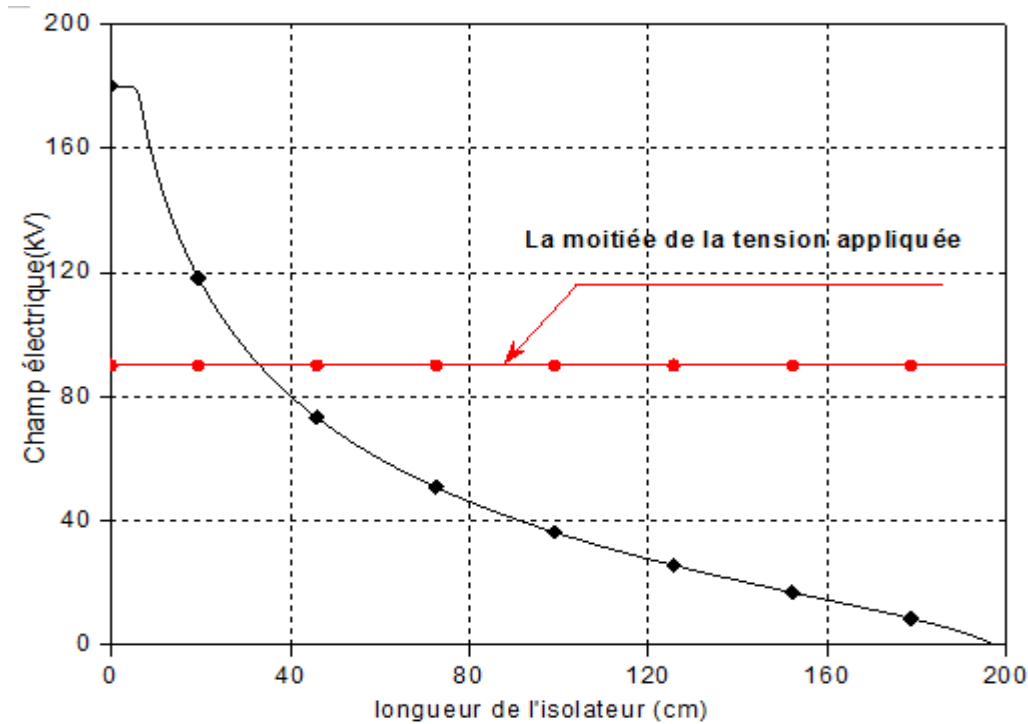


Figure. IV. 3. Distribution de potentiel électrique sans anneau de garde

Pour résoudre les problèmes de conception par les techniques d'optimisation, il faut formuler une fonction objective. La conception optimale est obtenue en réduisant le champ électrique via cette fonction. La fonction objective consiste en une relation mathématique entre les amplitudes du champ électrique et les paramètres de l'anneau de garde. Il est représenté comme suit:

$$E = 4.296 + 10^{-6}(13H^2 + R^2 + 113Dr^2 - 4HR + 13HDr + 19RDr - 4383H + 21 - 37910Dr) \quad (2)$$

À l'aide d'une analyse statistique, le coefficient de détermination (F^2) s'est avéré être proche de 0,98 (F^2 , s'approche de l'unité), ce qui peut être considéré comme une bonne

estimation. Dans ce travail; nous avons étudié l'influence de paramètres de conception importants sur les contraintes de champ électrique maximales. Les plages de variation de tous les paramètres de conception importants sont indiquées dans le tableau IV.2 La position de l'anneau de garde (H), le rayon de l'anneau de garde (R) et le diamètre du tube de l'anneau de garde (Dr) sont les paramètres de conception importants.

Tableau.VI. 2. Paramètres de l'anneau de garde et leurs niveaux

Paramètres	significations	Variation des ranges		
Position de l'anneau de garde	H	0	200	400
Le rayon de l'anneau de garde	R	150	250	350
Diamètre de l'anneau de garde	Dr	20	50	80

La conception expérimentale adoptée est un réseau orthogonal standard L27 Taguchi. Les paramètres à étudier et leurs niveaux sont indiqués dans le tableau IV.3

Tableau.VI. 3. Résultats informatiques.

CR Parameters				Results
H	R	Dr	E	
0	150	20		4.100
0	150	50		3.235
0	150	80		2.610
0	250	20		4.260
0	250	50		3.545
0	250	80		3.035
0	350	20		4.480
0	350	50		3.860
0	350	80		3.410
200	150	20		3.460
200	150	50		2.650
200	150	80		2.093
200	250	20		3.850
200	250	50		3.120
200	250	80		2.615
200	350	20		4.200
200	350	50		3.550
200	350	80		3.100
400	150	20		4.140
400	150	50		3.580
400	150	80		3.205
400	250	20		4.240
400	250	50		3.665

400	250	80	3.280
400	350	20	4.420
400	350	50	3.870
400	350	80	3.490

D'après ce tableau, la valeur minimale du champ électrique est de 2.093 kV/cm. Elle correspond à l'interaction des 3 paramètres H, R et Dr avec les valeurs de ; 200,150 et 80 mm respectivement. En appliquant la méthode d'optimisation proposée dans ce projet, cette valeur va s'améliorer et le champ électrique va prendre sa valeur minimale, ce qui lui offre une protection contre les différentes contraintes.

IV.6. Conclusion

Ce chapitre a pour but de définir tous les moyens et méthodes utilisés pour l'analyse du champ électrique tout au long d'un isolateur composite et avoir un meilleur emplacement de l'anneau de garde sur l'isolateur composite et cela par l'optimisation des paramètres de cet anneau en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse

CHAPTRE V
RESULTATS
ET
DISCUSSION

Résultats et discussion

V.1. Introduction

Dans ce travail, le champ E à la surface de l'isolateur composite 230 kV avec et sans anneaux corona est étudié par FEM. L'effet des paramètres de l'anneau de garde, à savoir hauteur de l'anneau, l'épaisseur du tube de l'anneau et le rayon de l'anneau, est analysé à l'aide de l'analyse de la variance (ANOVA). Ensuite, une optimisation basée sur la méthodologie de la surface de réponse (MSR) est effectuée pour réduire le champ E en dessous de la valeur critique de l'initiation de la décharge corona; les paramètres optimisés sont ensuite vérifiés par FEM. Cela présente de nombreux avantages car il réduit le gain de temps et de travail impliqués lors de l'optimisation de la conception de l'isolateur composite.

V.2. Valeur de champ électrique recommandées

Généralement, l'activité de décharge corona est montrée près des raccords d'extrémité, ce qui peut à son tour endommager le matériel isolant et entraîner une défaillance de l'isolateur. Afin d'améliorer la fiabilité, il est important de maintenir les valeurs maximales du champ E en dessous du niveau critique. Les valeurs maximales autorisées sont différentes car il n'existe pas de normes universelles fixées pour limiter le champ E sur la surface de l'isolateur, l'Electric Power Research Institute (EPRI) a adopté pour les conditions sèches non contaminées la valeur de 4,2 kV / cm (valeur efficace), cette valeur est supposée à travers une recherche approfondie effectuée par (EPRI) pour déterminer une limite pratique pour les surfaces d'isolateur de champ E autorisées à des fins de conception, dans lesquelles aucune indication de vieillissement a été montrée pour les isolateurs exposés à un champ E inférieur à 4,2 kV / cm.

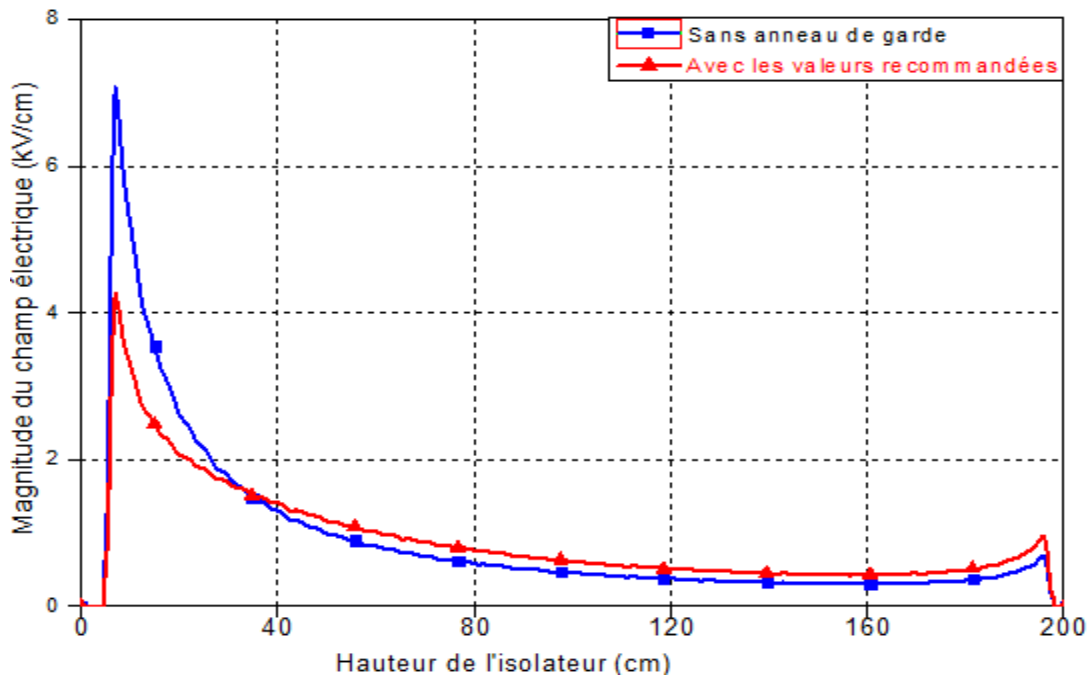


Figure V.1. Distribution de champ électrique sans anneau corona.

D'après la figure V.1, Il est clairement indiqué que le champ E à l'extrémité HV de l'isolateur atteint une valeur qui dépasse la valeur recommandée. Pour cette raison, les anneaux de garde sont utilisés pour améliorer la distribution du potentiel électrique et pour réduire le champ E près des extrémités. Il est crucial de définir les paramètres d'anneau de garde appropriés pour minimiser le champ E en dessous du seuil critique.

Afin de minimiser le temps nécessaire pour optimiser la géométrie de l'anneau de garde, une nouvelle approche basée sur la méthode de conception de l'expérience est adoptée, une conception optimale nécessite un plus petit nombre d'expériences pour estimer les paramètres avec la même précision qu'une conception non optimale. Les résultats sont valables sur toute la région expérimentale couverte par les facteurs contrôlés et leurs paramètres. L'analyse de la variance est effectuée et montrée dans le **tableau V.1**. On peut remarquer que la provient de l'épaisseur du tube annulaire (T) avec une contribution de 84,67% dans la variation totale. La deuxième contribution forte provient du rayon de l'anneau (D) avec 7,24% dans la variation totale. La contribution la plus faible sur le champ E provient de la projection de l'extrémité (H) avec une contribution de 4,33% dans la variation totale. Cependant, le reste de la contribution provient de l'interaction entre les paramètres étudiés avec 2,73% de la

variation totale.

Tableau. V. 1. Analyse ANOVA de la contribution des paramètres en pourcentage sur la variation totale du champ E maximum pour les paramètres des anneaux de garde.

Source	DL	SomCar ajust	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Régression	9	9,37987	1,04221	73,61	0,000
H	1	0,52124	0,52124	36,82	0,000
R	1	0,01002	0,01002	0,71	0,412
Dr	1	0,51511	0,51511	36,38	0,000
H*H	1	1,55008	1,55008	109,48	0,000
R*R	1	0,00101	0,00101	0,07	0,793
Dr*Dr	1	0,06256	0,06256	4,42	0,051
H*R	1	0,07521	0,07521	5,31	0,034
H*Dr	1	0,07680	0,07680	5,42	0,032
R*Dr	1	0,03991	0,03991	2,82	0,111
Erreur	17	0,24069	0,01416		
Total	26	9,62056			

Où, H est la Hauteur; R est le rayon de l'anneau; Dr est le Diamètre de tube annulaire; la valeur de F est le degré de liberté; F est la statistique «F» standard; La valeur P est la probabilité de tester la signification d'une hypothèse nulle; SomCar ajust est la somme ajustée des carrés; CM est la somme moyenne des carrés.

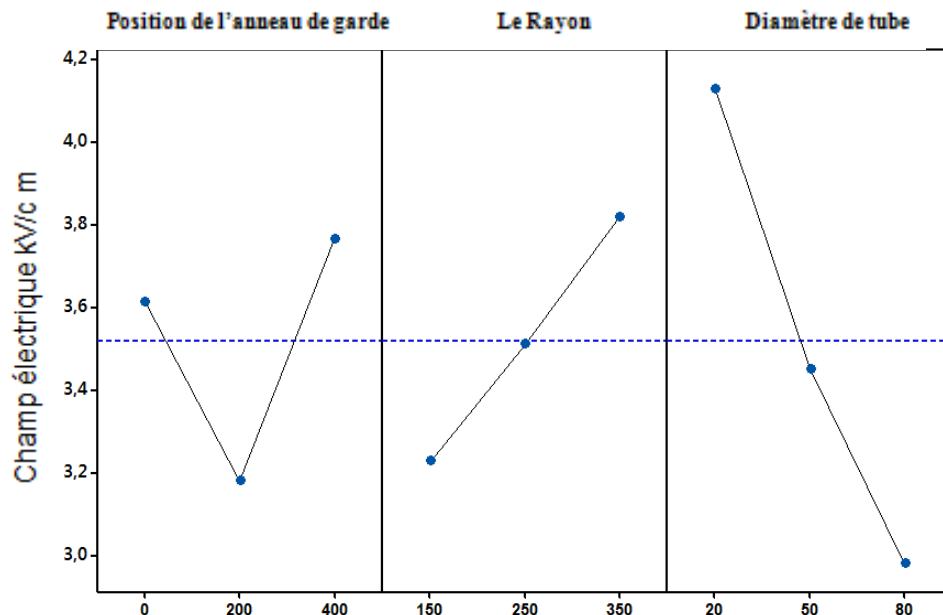


Figure. V. 2 . Les effets principaux des paramètres d'anneau de garde H, R et Dr sur la valeur maximale du champ E.

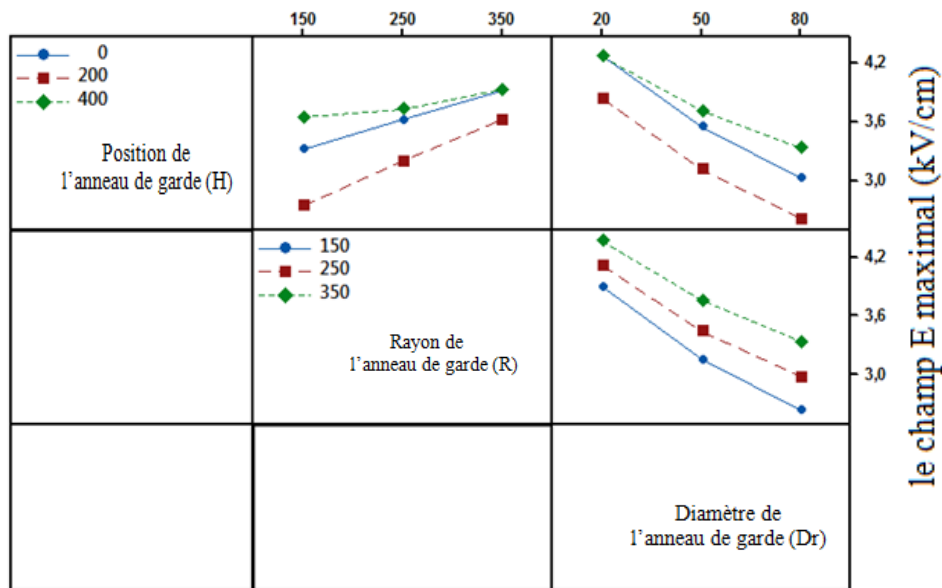


Figure. v. 3. L'effet d'interaction des paramètres d'anneau de garde H, R et Dr sur le champ E maximal

Les graphiques d'effets principaux et les effets d'interaction des paramètres des anneaux de garde peuvent être représentés graphiquement comme indiqué ci-dessus. La figure V.2 présente l'effet des paramètres de l'anneau de garde sur la valeur maximale du champ E. On voit que la position de l'anneau de garde a un effet décroissant sur le champ E maximal. Après 200 mm, la position a un effet croissant sur le champ E maximum. D'un autre côté, le rayon de l'anneau de garde a une influence croissante sur le champ E maximal et le diamètre de tube de l'anneau de garde a un effet décroissant. Les graphiques de l'effet d'interaction des paramètres de l'anneau corona sur le champ E maximal sont présentés dans la figure V.3. Ce graphique montre l'influence des interactions sur la relation entre les facteurs et les réponses. Lorsque les lignes sont parallèles, il n'y a aucune interaction. Des interactions apparaissent lorsque les lignes ne deviennent pas parallèles. L'interaction entre la position (H) et le rayon (R) est la plus observée. Cependant, l'interaction entre la position de l'anneau corona et le diamètre du tube de l'anneau de garde est faible. Un impact décroissant élevé du rayon sur le champ E maximal lorsque le diamètre du tube de l'anneau de garde est plus élevé; si l'interaction entre ces deux paramètres est analysée.

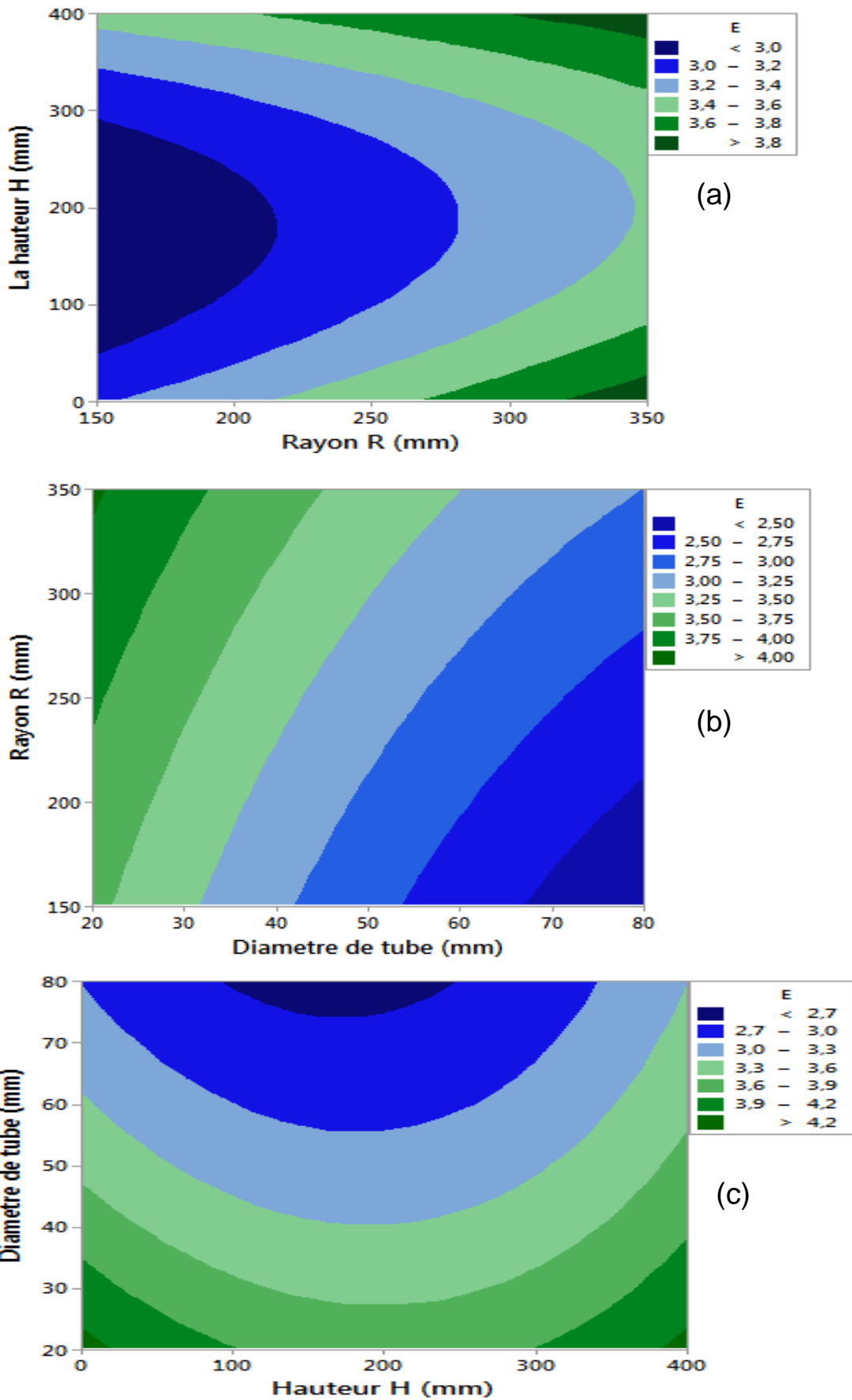


Figure. V. 4. Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l’anneau de garde

La figure V.4 montre les tracés de contour des paramètres de l'anneau de garde sur la variation de champ E maximale. Les courbes de niveau sont utilisées pour explorer la relation potentielle entre trois variables. Les tracés de contour affichent la relation tridimensionnelle en deux dimensions, avec des prédicteurs tracés sur les échelles x et y et les valeurs de réponse représentées par les contours, où les points qui ont la même réponse sont connectés pour produire des courbes de niveau de réponses constantes. La figure V.4(a) représente l'influence de hauteur à partir du rayon de l'extrémité et de l'anneau tandis que diamètre de tube annulaire est maintenue au niveau moyen. L'effet de la projection depuis l'extrémité et l'épaisseur du tube annulaire sont indiqués dans la Figure. V.4(b), tandis que le rayon de l'anneau est maintenu au niveau intermédiaire. La figure V.4(c) montre la surface de réponse estimée en fonction du rayon de l'anneau et de diamètre de tube de l'anneau tandis que la hauteur depuis l'extrémité est maintenue au niveau moyen. Ces tracés de contour confirment la conclusion notant l'analyse des tracés d'effet d'interaction.

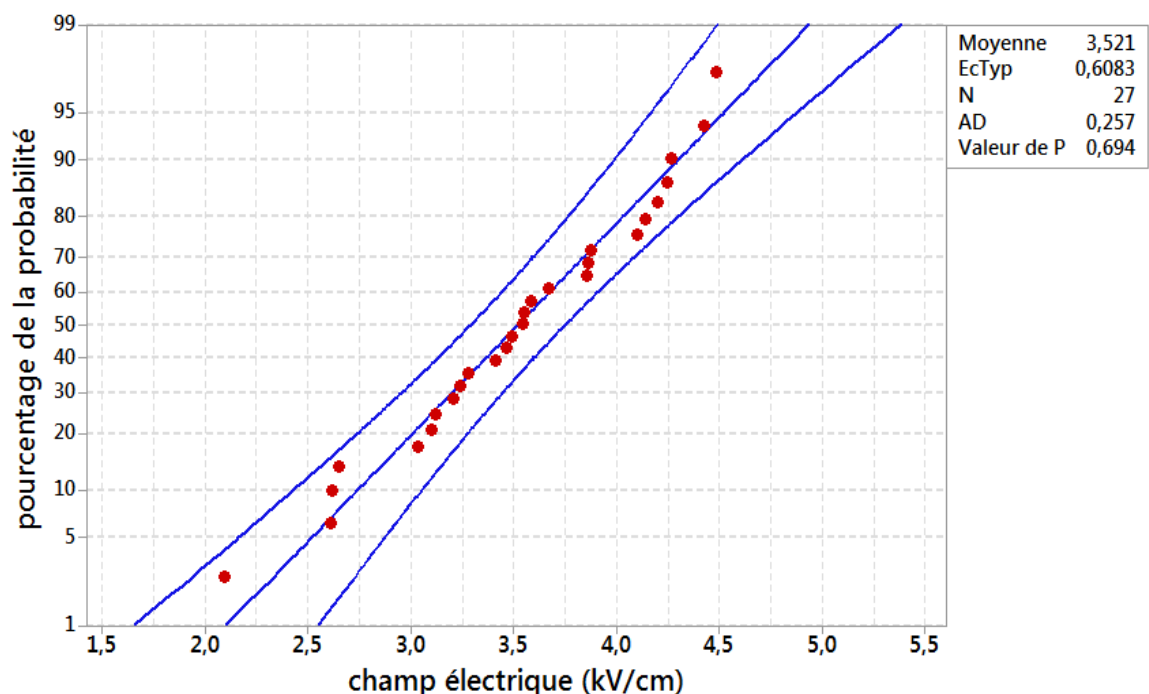


Figure. V. 5. Tracés de normalité avec des intervalles de confiance à 95% du champ E maximal.

Le test d'Anderson – Darling et les diagrammes de probabilité normaux des résidus par rapport à la réponse prévue pour la valeur maximale du champ E sont tracés sur la figure V.5. Les données suivent de près la droite. Dans notre cas, la valeur P est de 0,694, ce qui est supérieur à l'alpha de 0,05, par conséquent, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle. Cela signifie que les données suivent une distribution normale, ce qui implique l'adéquation du modèle proposé. - seuil recommandé par l'EPRI. L'optimiseur de surface de réponse est utilisé pour identifier la meilleure combinaison de paramètres de garde qui minimisent conjointement la valeur maximale du champ E en dessous du seuil recommandé par l'EPRI. L'optimisation conjointe doit satisfaire aux exigences de toutes les réponses de l'ensemble. La réussite de l'optimisation est évaluée par la désirabilité composite qui est la moyenne géométrique pondérée de la désirabilité individuelle pour les réponses sur une plage de zéro à un. L'un représente l'idéal. Zéro indique qu'au moins une réponse est en dehors des limites acceptables.

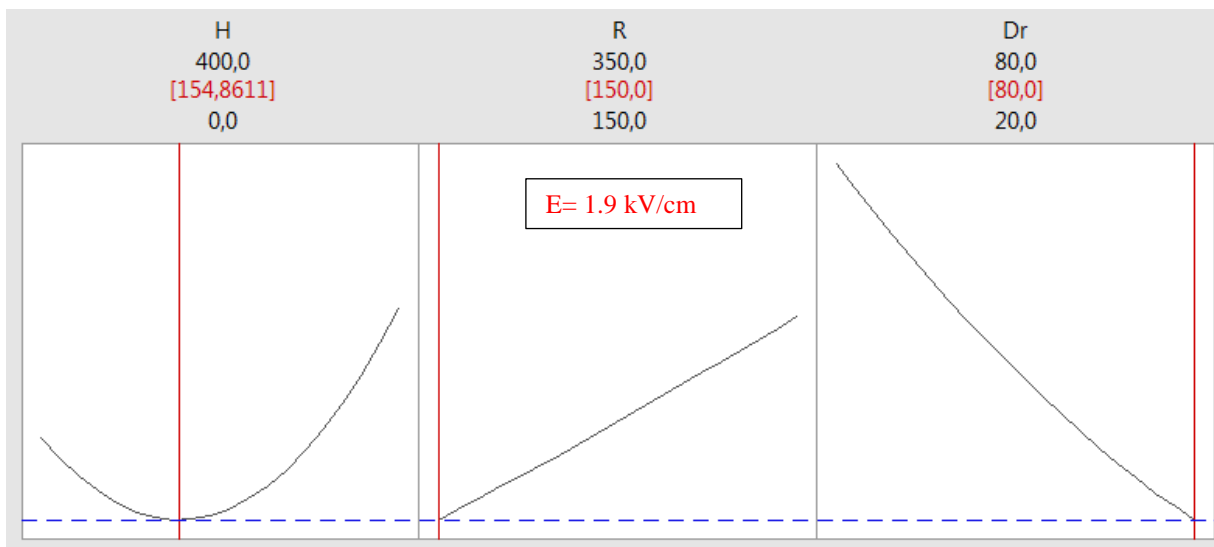


Figure V.6. Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau corona (les valeurs optimales sont en rouge)

La figure V.6 montre les résultats d'optimisation MSR de la valeur maximale du champ E. On peut noter que le rayon de l'anneau de garde est de 150 mm, la hauteur de l'anneau de 154.86 mm et le diamètre de tube d'anneau de 80mm peuvent être

considérés comme des dimensions optimales. Donc, lorsque l'anneau corona optimisé est installé, le champ E maximal est d'environ 1.9 kV / cm, ce qui est bien inférieur au seuil de champ E recommandé.

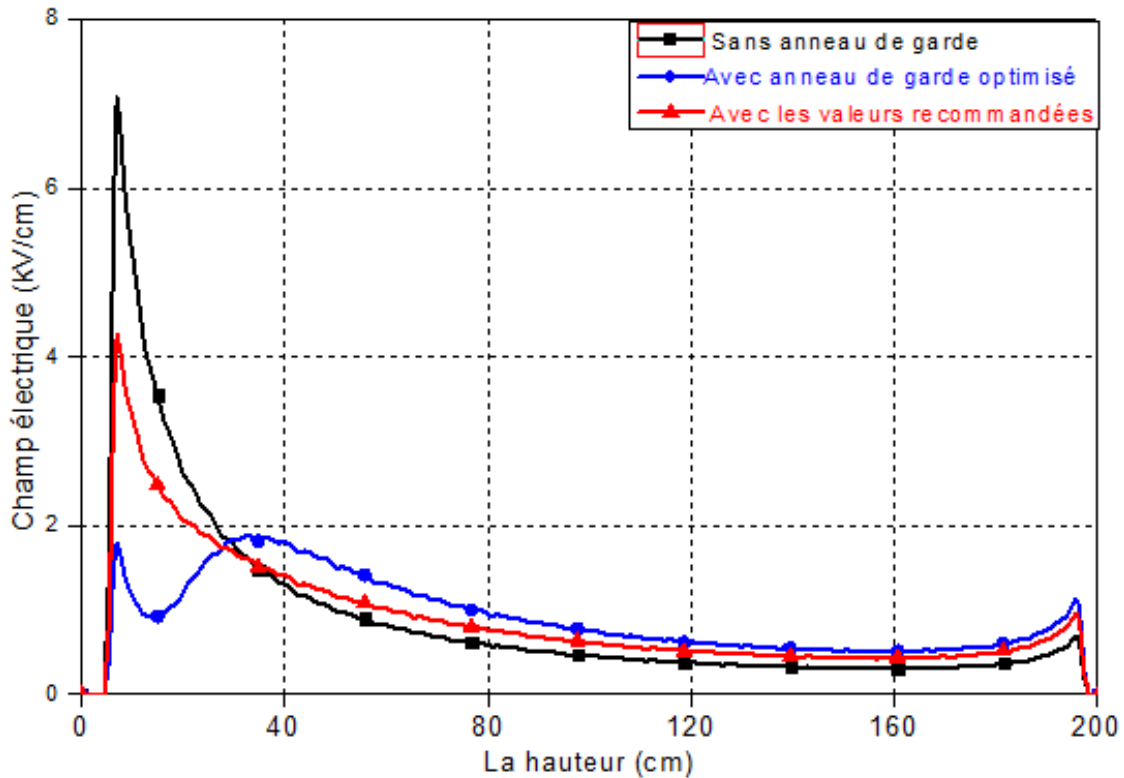


Figure. V. 7. Variation du champ E sur la longueur de l'isolateur Avec et sans anneau de garde

La figure V.7 illustre une comparaison de la distribution du champ électrique le long de l'isolateur composite entre les trois cas étudiés. Il montre une diminution du champ électrique pour les deux cas, avec anneau de garde optimisé et anneau de garde recommandé. En présence d'un anneau de garde optimisé, l'amplitude du champ est diminuée et a lieu loin de l'extrémité excitée. Il peut rendre le champ plus uniforme en le diminuant du côté HT et en l'augmentant légèrement du côté de la terre. La réduction de l'extrémité sous tension est attribuée à la présence du fil de phase et de la pince qui contribue à réduire la non-uniformité du champ électrique à cette extrémité de l'isolateur.

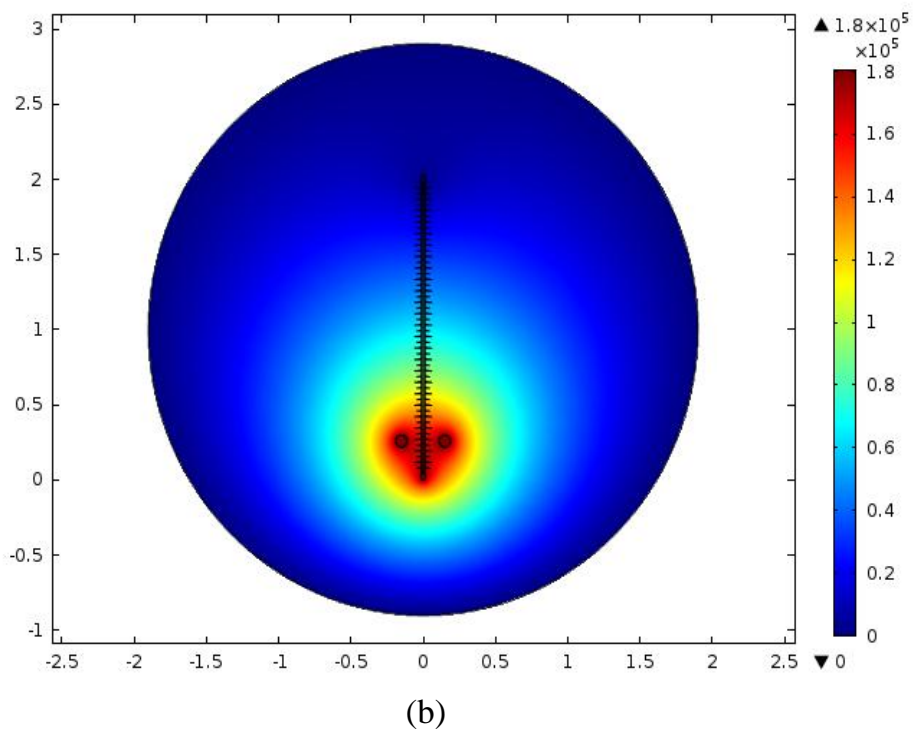
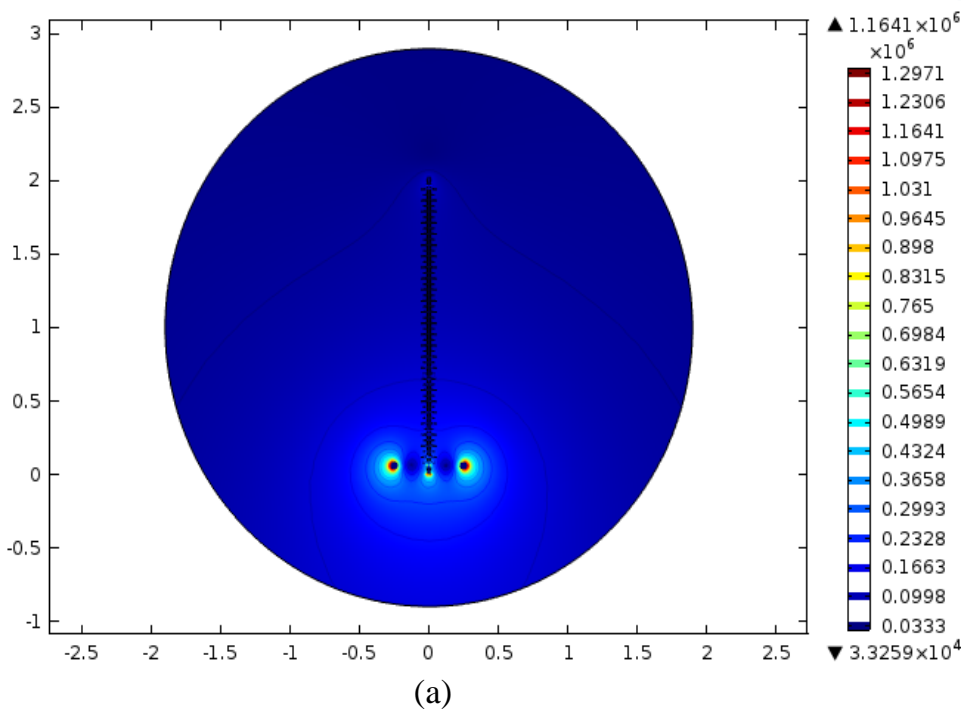


Figure. V. 8. (a): Distribution du champ électrique, (b): Contours équipotentiels autour de l'isolateur composite dans le cas d'un anneau Corona

A partir de la figure V.8, on peut voir que, en utilisant l'anneau optimisé, le gradient de champ électrique près de l'extrémité haute tension et de l'extrémité de masse de l'isolateur composite diminue considérablement. Ainsi, la distribution du champ E le long de l'ensemble des isolateurs composites est améliorée et l'installation de l'anneau de garde optimisé conduit à une distribution de tension uniforme. De plus, les intensités de champ électrique maximales du côté de l'extrémité sous tension diminueront considérablement. Les résultats obtenus conduisent à des performances à long terme de l'isolateur.

V.3. CONCLUSION

Le but de ce chapitre était l'étude de la distribution du champ électrique le long de l'isolateur composite. L'utilisation de l'anneau de garde au niveau du raccord d'extrémité HT pour améliorer la distribution du champ électrique est archivée en utilisant une technique d'optimisation ; la méthodologie de la surface de réponse qui est développé pour obtenir les paramètres optimisés de l'anneau de garde. Les résultats rapportés montrent que les intensités de champ électrique maximales du côté de l'extrémité sous tension ont été considérablement diminuées lorsque les paramètres optimisés de l'anneau de garde sont utilisés. Par rapport au cas sans anneau de garde, la distribution potentielle est devenue plus uniforme dans le cas avec des paramètres optimisés. La technique proposée donne un outil de travail rapide et efficace pour examiner et optimiser les performances de l'isolateur composite.

CHAPTRE VI

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions Générales

VI.1. Conclusions Générales

Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le cadre général de l'étude de l'effet de l'anneau de garde sur la performance des isolateurs de haute tension utilisés dans le réseau de transport d'énergie électrique. Ce travail est divisé en deux parties :

La première partie est une recherche bibliographique qui nous a permis de connaître les principaux types des isolateurs, leurs avantages et inconvénients ainsi que les facteurs provoquant leur dégradation.

La deuxième partie, concerne les travaux de simulation réalisés sur un isolateur composite 230 kV afin d'évaluer l'influence d'un anneau de garde sur la performance électrique de l'isolateur. La distribution du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur composite ont été étudiés en utilisant la méthode des éléments finis (FEM).

La relation entre le champ électrique et les paramètres géométriques (Position de l'anneau à partir de l'extrémité, rayon d'anneau et épaisseur du tube de l'anneau) est modélisée et optimisée par la méthodologie de la surface de réponse.

Les différents résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'étude de simulation a permis de démontrer que l'ajout d'un l'anneau de garde sur l'électrode H.T. de l'isolateur composite permet d'obtenir une uniformité dans la distribution de potentiel.

- D'après les simulations numériques également, l'ajout de l'anneau de garde à l'électrode H.T. permet une diminution importante de l'intensité du champ électrique le long des premières ailettes proches de l'électrode H.T.
- L'utilisation de la méthode d'optimisation proposée dans ce travail permet d'obtenir la meilleure position de l'anneau de garde sur l'isolateur composite.

Ces résultats peuvent donc servir à améliorer l'utilisation des anneaux de garde sous conditions normales afin de diminuer l'activité des décharges couronnes dans les postes de transport électriques.

REFERENCES

Références

- [1] E. Cherney, A. Baker, J. Ku_el, Z. Lodi, and D. S. G. Phillips, A.and Powell."Evaluation of and replacement strategies for aged high voltage porcelain suspension-type insulators," IEEE Transactions on Power Delivery, 2014.
- [2] R Znaidi."Research and Assessment of Insulator Performance in Marine and Desert Environment", Insulator News Marketing Report, pp. 12-22, 2000.
- [3] R. Hackam. "Outdoor HV composite polymeric insulators," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 6, pp. 557-585, 1999.
- [4] S. Tounsi, F. Chikh "Influence du Sol sur le Comportement d'un Modèle d'Isolateur sous Tension" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008
- [5] SATTI Samia, «contribution à l'étude de l'influence de la pollution discontinue Sur le comportement des isolateurs : expérimentation et simulation», thèse de magister en Génie Electrique, Faculté de technologie, Université Ferhat Abbas- Stif
- [6] J.Y. Saison, «Etude du phénomène d'humidification des dépôts naturels et artificiels de pollution sur des isolateurs électriques », Thèse de Doctorat Sciences, Université de Strasbourg, France, 1992
- [7] M. Slama « contribution à l'étude de l'influence de la non uniformité de la pollution basée sur la méthode de la D.D.S.E pour le dimensionnement des isolateurs des lignes THT a courant alternatif ».mémoire de magister ; promotion 2002, université Mohamed Boudiaf, Oran.
- [8] N. Khairoun, E. Abderrahmane, D. Zellouta "Essais sur isolateurs pollues et modélisation" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007/2008
- [9] D.Dumora, "Matériaux isolant céramique en électrotechnique", Technique de l'ingénieur D275
- [10] M. TERKMANI, M.BABOUAMER, " Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension ", PFE, USTO, juin 2005.
- [11] M.TEGUAR, A.BOUBAKEUR, "Pollution des Isolateurs de Haute Tension", Laboratoire de Haute Tension, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger(E.N.P.).

- [12] L. CHOUGUI, R. BELAICHA, " Contribution à l'Etude de la Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région d'Arzew ", PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.), Janvier 1983.
- [13] L.ARRABIY, " Visualisation et Traitement de Signal de Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée ", PFE, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.), 1999
- [14] A. J. Phillips, J. Kuffel, A. Baker, J. Burnham, A. Carreira, E. Cherney, W. Chisholm, M. Farzaneh, R. Gemignani, A. Gillespie, T. Grisham, R. Hill, T. Saha, B. Vancia, and J. Yu, "Electric Fields on AC Composite Transmission Line Insulators,"IEEE Trans. Power Deliv., vol. 23, no. 2, pp. 823–830, Apr. 2008.
- [15] A. J. Phillips, D. J. Childs, and H. M. Schneider, "Aging of nonceramic insulators due to corona from water drops," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 14, no. 3, pp. 1081– 1089, 1999.
- [16] K. Izumi and K. Kadotani, "Applications of polymeric outdoor insulation in Japan," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 6, no. 5, pp. 595–604, 1999.
- [17] E.A. Cherney, "Aging of Composite Insulators," 25th International Power System Conference, Ontario, Canada, 1995
- [18] S. Gubanski and R. Hartings, "Swedish research on the application of composite insulators in outdoor insulation," IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 11, no. 5, pp. 24–31, 1995.
- [19] R. Hackam, "Outdoor HV composite polymeric insulators," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 6, pp. 557-585, 1999.
- [20] R. S. Gorur, E. A. Cherney, and J. T. Burnham, Outdoor insulators: Ravi S. Gorur, 1999.
- [21] A. D. a. D. Sims., "Weathering of polymers," Esses, UK, 1983.
- [22] V. M. Moreno and R. S. Gorur, "Effect of long-term corona on non-ceramic outdoor insulator housing materials," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 8, pp. 117-128, 2001.
- [23] M. S. Weiguo Que, "Electric field and voltage distributions along non-ceramic insulators," Doctor, Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, 2002.
- [23] CIGRE working group 22-03, "Worldwide service experience with HV composite insulators," Electra, no. 191, pp. 27–43, Aug. 2000.
- [25] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, "Wettability of naturally aged silicon and EPDM composite insulators," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 5, no. 3, pp. 1527–1535, 1990.
- [26][27][28][29].
- [26] Y. Zhu, M. Otsubo, C. Honda, and S. Tanaka, "Loss and recovery in hydrophobicity of silicone rubber exposed to corona discharge," Polym. Degrad. Stab., vol. 91, no. 7, pp. 1448–1454, juillet 2006

- [27] J. Kim and M. K. Chaudhury, "Corona-discharge-induced hydrophobicity loss and recovery of silicones," in 1999 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, vol. 2, pp. 703–706, 1999 .
- [28] Y. Liang, L. Ding, K. Yang, C. R. Li, and Y. Tu, "Study on hydrophobicity recovery characteristics and mechanism of HTV silicone rubber after corona deterioration," in Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2007. CEIDP 2007, pp. 308–311, 2007.
- [29] R. S. Gorur, L. J. Johnson, and H. C. Hervig, "Contamination performance of silicone rubber cable terminations," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 6, no. 4, pp. 1366–1373, 1991
- [30,31, 32]
- [30] S. M. Gubanski, A. Dernfalk, J. Andersson, and H. Hillborg, "Diagnostic Methods for Outdoor Polymeric Insulators," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 14, pp. 1065-1080, 2007.
- [31] R. S. Gorur, E. A. Cherney, and J. T. Burnham, Outdoor insulators: Ravi S. Gorur, 1999.
- [32] M. Costea and I. Baran, "a Comparative Analysis of Classical and Composite Insulators Behavior," University" Politehnica" of Bucharest Scientific Bulletin, Series C: Electrical Engineering, vol. 74, pp. 147-154, 2012.
- [33] C. A. Spellman, H. M. Young, A. Haddad, A. R. Rowlands, and R. T. Waters, "Survey of polymeric insulator ageing factors," in High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467), 1999, pp. 160-163 vol.4.
- [34] S. Amin and M. Amin, "Natural aging of SiR insulators in Pakistan," in Emerging Technologies, 2009. ICET 2009. International Conference on, 2009, pp. 114-117.
- [35] R. Hartings, "Electric fields along a post insulator: AC-measurements and calculations," Power Delivery, IEEE Transactions on, vol. 9, pp. 912-918, 1994.
- [36] R. Hernandez-Corona, I. Ramirez-Vazquez, and G. Montoya-Tena, "Evaluation in Laboratory of the Visual Corona and Electric Field Measurement Techniques to Inspect Polymeric Insulators," in Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES, 2006, pp. 601-604.
- [37] B. Pinnangudi, R. S. Gorur, and A. J. Kroese, "Quantification of corona discharges on nonceramic insulators," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 12, pp. 513-523, 2005.
- [38] V. M. Moreno and R. S. Gorur, "Corona-induced degradation of nonceramic insulator housing materials," in Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2001 Annual Report. Conference on, 2001, pp. 640-643.
- [39] D. A. Phillips, "Degradation & Failure Modes of Composite Insulators," IEEE.
- [40] INMER, vol. 2014, Condition Detection of Non-Ceramic Insulators For Live Line Work at Electric Utilities.

- [41] A. Haddad, H. Griffiths, and R. T. Waters, "Principles of Anti-Fog Design for Polymeric Insulators," in Solid Dielectrics, 2007. ICSD '07. IEEE International Conference on, 2007, pp. 302-305.
- [42] G. G. Karady, "Flashover mechanism of non-ceramic insulators," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 6, pp. 718-723, 1999.
- [43] D. H. Shaffner, D. L. Ruff, and G. H. Vaillancourt, "Experience with a composite insulator testing instrument based on the electric field method," in Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance Proceedings. 2000 IEEE ESMO - 2000 IEEE 9th International Conference on, 2000, pp. 318-327.
- [44] M. S. Weiguo Que, "Electric field and voltage distributions along non-ceramic insulators," Doctor, Department of Electrical Engineering, The Ohio State University, 2002.
- [45] N. Yoshimura, S. Kumagai, and S. Nishimura, "Electrical and environmental aging of silicone rubber used in outdoor insulation," Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on, vol. 6, pp. 632-650, 1999.
- [46] H. Chan-Su, Y. Bok-Hee, and L. Sang-Youb, "Degradation in silicone rubber used for outdoor insulator by UV radiation," in Properties and Applications of Dielectric Materials, 2000. Proceedings of the 6th International Conference on, 2000, pp. 367-370 vol.1.
- [47] Bentriou Cherifa, « Simulation Numérique d'un Isolateur de Haute Tension a Fréquence Industrielle 50 Hz », mémoire de master en génie électrique, université de m'sila 2016.
- [48] Mohamed Oussama Meftah, Mourad Rahal, « Performances d'Isolateurs HT Pollués sous Tension Alternative 50Hz et Distributions du Champ et du Potentiel Electriques utilisant COMSOL », Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ENP d'Alger, juin 2011.
- [49] Mesrouk Mehdi, « Etude d'une électrode tri-couches à base de TCO/Métal/TCO pour une cellule solaire organique », Mémoire de magister, université Mouloude Mammeri de Tizi-Ouzou 2013.
- [50] <http://www.alibaba.com/showroom/insulator-grading-ring.html>.
- [51] <http://www.helitecnics.com/index.phplang=fr>.
- [52] CIGRE Working Group 22.03, «Use of Stress control Rings on Composite Insulators », ELECTRA N°.143, pp. 68-71, août 1992.
a.
- [53] Y. Porcheron, « Isolateurs », Techniques de l'ingénieur, section D 4425, pp. 1-9,1996.

- [54] A.J. Phillips, D.J. Childs et H.M. Schneider, « Aging of Non-Ceramic Insulators due to Corona from Water Drops », IEEE Trans, on Power Delivery, vol. 14, No. 3, pp. 1081-1089, juillet 1999.
- [55] E. Nasser, «Contamination Flashover of Outdoor Insulation", ETZ-A, Vol. 93, pp. 321-325, 1972
- [56] M. Farzaneh {Chair} et al, « Selection of Line Insulators with respect to Ice and Snow, Part I: Context and Stresses ». A position paper prepared by the IEEE Task Force on icing performance of line insulators, IEEE Trans, on Power Delivery, vol. 22, no. 4, pp. 2289-2296, octobre 2007.
- [57] CIGRE Task Force 33.04.09, « Influence of ice and snow on the flashover performance of outdoor insulators, part I: Effects of ice », ELECTRA, no.187, pp. 91-111, décembre 1999.
- [58] J. Y. Saison, « Etude du Phénomène d'Humidification de Dépôts Naturels et Artificiels de Pollution sur des Isolateurs Electriques », Thèse de Doctorat de l'Université de Strasbourg, 1992.
- [59] O. Elsasser, K. Feser et F. Messerer, « Flashover Behavior of Semiconducting Glazed Insulators Under Positive Lightning Impulse Stress at Different Climatic Conditions », Annual Report on Electrical Insulation an Dielectric Phenomena, vol.1, pp. 203-206, octobre 2000.
- [60] W. Sima, K. Wu, Q. Yang et C.N Sun, « Corona Ring Design of ±800KV DC Composite Insulator Based on Computer Analysis», Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Chine, pp. 457-460, 2006
- [61] Masoud Farzaneh, William A. Chisholm, Insulators for Icing and Polluted Environments, IEEE Press Series on Power Engineering, octobre 2009.
- [62] S. Dessanti, F. Moro et R. Turri, « A critical field critérium for assessing RIV inception levels on HV devices », Proc. I5ieme Inter. Symp. On High Voltage Engineering, papier T3-479, Ljubljana, Slovénie, 27-31-août 2007.
- [63] T. Xie et Z. Peng, « Study on the voltage-sharing performance of porcelain insulators on 750 KV compact double circuit transmission line», 9th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Harbin, China, pp. 192-195, 19-23 juillet 2009
- [64] K. Eleperuma, T. P. Saha et T. Gillespie. « Electric Field Modelling of Non-ceramic High Voltage Insulators ». Australian Journal of Electrical & Electronics Engineering, Vol. 4, No. 3, 2008.
- [65] B.Vancia, T.K. Saha et T. Gillespie, « Electric Field Modelling of Non-Ceramic High Voltage Insulators », Australasian Universities Power Engineering Conference, 200

الملخص

يتأثر تحلل العازل الكهربائي المركب بشكل أساسي بنشاط التفريغ الكهربائي الناتج عن الضغط الكهربائي العالي بالقرب من التركيبات النهائية للعوازل. ومن أجل التحكم في ضغط المجال الكهربائي على سطح العازل، تم تقديم طريقة جديدة لتحليل تأثير الحلقة الإكليلية على إجهاد المجال الكهربائي في هذا العمل. لقد تمت دراسة تأثير المعاملات الهندسية للحلقات الإكليلية على المجال الكهربائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة. تتيح تقنية التحليل الإحصائي تقييم التأثيرات الرئيسية وتأثيرات التفاعل بين المعاملات الهندسية التي تمت دراستها. العلاقة بين المجال الكهربائي والمعاملات الهندسية (موضع الحلقة من النهاية، نصف قطر الحلقة وسمك أنبوب الحلقة) تم تصميمها وتحسينها من خلال منهجية سطح الاستجابة. أظهرت النتائج تحسنا ملحوظا لقيم المجال الكهربائي للعازل، وكذا توزيعا منتظما للإمكانات الكهربائية له. تعتبر المنهجية المقترحة أداة عمل سريعة وفعالة لفحص هندسة معقدة من حلقات الحراسة دون جهد حسابي إضافي مرتفع، مما يقلل من الوقت المطلوب أثناء التحليل الحسابي.

الكلمات المفتاحية: عازل مركب، الحلقة الإكليلية، الحقل الكهربائي، طريقة الحدود المتناهية (FEM)، منهجية سطح الاستجابة.

Abstract

The degradation of the composite insulator in the field is mainly affected by the corona discharge activity caused by high electrical stress near the end fittings. In order to control the stress of the electric field on the surface of the insulator below the accepted limits, a new approach to analyze the effect of guard ring on the stress of the electric field is presented in this work. The effect of the geometric parameters of the corona ring on the field E is studied using the finite element method (FEM). The analysis of variance (AVOVA) makes it possible to assess the main effects and the interaction effects of the parameters studied. The relationship between the field E and the geometric parameters (Position of the ring from the end, radius of the ring and thickness of the tube of the ring) is modeled and optimized by the response surface methodology. The results show an optimization of the electric fields, and a uniform distribution of the electric potential was noted. The proposed methodology provides a quick working tool and efficient for examining a complex geometry of guard rings without high additional computational effort, which reduces the time required during computational analysis.

Keywords: : Composite insulator, corona ring, Electric field, Finite element method, MEF, response surface methodology.

Résumé

La dégradation de l'isolateur composite sur le terrain est principalement affecté par l'activité de décharge corona causée par une contrainte électrique élevée près des raccords d'extrémité. Afin de contrôler la contrainte du champ électrique sur la surface de l'isolateur en dessous des limites acceptées, une nouvelle approche pour analyser l'effet d'anneau de garde sur la contrainte du champ électrique est présentée dans ce mémoire. L'effet des paramètres géométriques des anneaux de garde sur le champ E est étudié en utilisant la méthode des éléments finis (FEM). L'analyse de variance AVOVA permet d'évaluer les effets principaux et les effets d'interaction des paramètres étudiés. La relation entre le champ E et les paramètres géométriques (Position de l'anneau à partir de l'extrémité, rayon d'anneau et épaisseur du tube de l'anneau) est modélisée et optimisée par la méthodologie de la surface de réponse. Les résultats montrent une optimisation des champs électriques, et une répartition uniforme du potentiel électrique a été marquée. La méthodologie proposée fournit un outil de travail rapide et efficace pour examiner une géométrie complexe d'anneaux de garde sans effort de calcul supplémentaire élevé, ce qui réduit le temps nécessaire lors de l'analyse de calcul.

Mots-clés : isolateur composite, anneau de garde, champ électrique, méthode des éléments finis (FEM), méthodologie de la surface de réponse.