

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

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



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

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

Présenté par

TAYEBBEY Yasser

CHARIFE Tayeb

Intitulé

*Etude d'un isolateur pollué d'une ligne 220 kV en
présence d'un anneau de garde en appliquant la
méthode ANOVA*

Soutenu le : 20 / 06 / 2023 devant le jury composé de :

Dr. Abdelmadjid CHOUCOU	Université Mohamed Boudiaf -M'SILA	Président
Dr. Khaled BELHOUCHE	Université Mohamed Boudiaf -M'SILA	Encadreur
Dr. El'hadi BELHITECHE	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciements

Tous d'abord, nous souhaitons remercier « Allah » qui nous a donné la puissance et la volonté pour achever ce mémoire

*Ainsi, nous adressons nos sincères remerciements à notre directeur de recherche, « **Dr. BELHOUCHE Khaled** », pour son suivi, sa patience, sa disponibilité et ses conseils durant la rédaction et la réalisation de ce mémoire.*

Nos remerciements s'adressent avec gratitude à nos enseignants(e) et le chef de département de Génie électrique pour la qualité de l'enseignement donnée, leurs contributions et leur sérieux.

Nos Respectueuses reconnaissances vont aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer la qualité de ce travail.

Nous remercions tous nos amis et collègues de l'université qu'ils nous ont soutenu.

Enfin, Merci à toutes les personnes qui nous ont encouragé et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci !

Dédicace

*Nous dédions ce travail à nos chers parents (ma Chère mère rabbi
Yarhamha, Yasser) pour leurs sacrifices Et leurs
encouragements durant toutes nos études*

A nos chers frères et nos très chères sœurs

A toute notre grande famille à tout ce qui nous connaît

*A tous nos amis et collègues de la promotion du
Master «RESEAUX ELECTRIQUES»2022/2023*

*En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs
de tous les moments que nous avons passé ensemble,
Nous vous dédions Ce travail et on vous souhaite une vie
pleine de santé et de Bonheur*

Yasser et Tayeb

Résumé

L'utilisation des anneaux de garde sur les postes de distribution et de transport et les lignes de transmission aériennes offrir une bonne distribution du de tension et de champ électrique tous au long de l'isolateur dans le but d'éviter toute contrainte et décharge électrique près de régions portées à la haute tension. La dégradation de l'isolation électrique est principalement affectée lors des décharges électriques résultant de changements climatiques à haute pression électrique tels que la pollution près de l'extrémité des isolateurs. Le but de ce travail est de réaliser une étude numérique (de simulation) sur le bon usage et l'amélioration de l'anneau de garde qui équipe un isolateur polymère sous conditions de pollution. Tous d'abord, une étude simulation basée sur l'utilisation des éléments finis a été réalisée pour évaluer la distribution de champ électrique le long de l'isolateur. Afin de contrôler la pression du champ électrique sur la surface isolante en présence de pollution, une nouvelle méthode statistique d'analyse et d'optimisation a été introduite pour traiter la relation entre le champ électrique et les paramètres de l'anneau de garde (le rayon T de l'anneau de garde, le diamètre D_r du tube et la position H). Ces paramètres sera variés à chaque fois dans cette recherche. La technique statistique de la variance (ANOVA) est utilisée pour évaluer l'impact de chaque paramètre. Le champ électrique maximal et les paramètres choisis sont modélisés par la méthodologie de surface de réponse (RMS). L'analyse des résultats obtenus de cette étude a permis d'obtenir une conception d'anneau de garde optimale dans laquelle une valeur minimale de champ électrique en utilisant la technique d'optimisation. Par conséquent, cela indique la capacité et l'efficacité des méthodes proposées dans la réalisation de la conception optimale d'un anneau corona sur un isolateur composite sous conditions polluées.

Mots-clés : Isolateur composite, Anneau de garde, Champ électrique, Méthode des éléments finis (FEM), Méthodologie de la surface de réponse, Pollution.

Abstract

The use of corona rings on overhead transmission lines, distribution and interconnection substations makes it possible to ensure a better distribution of the voltage gradient inside and outside the dielectric constituting the insulator in order to avoid any partial electrical discharge, specifically in the vicinity of high voltage parts. Electrical insulation degradation is mainly affected during electrical discharges resulting from high electrical pressure weather changes such as pollution near the end of insulators. The objective of this research is to conduct a numerical study on the use and optimization of guard rings equipping a composite insulator under pollution conditions. First, a simulation study based on the use of finite elements was carried out to evaluate the electric field distribution along the insulator. In order to control the pressure of the electric field on the insulating surface in the presence of pollution, a new statistical method of analysis and optimization has been introduced to deal with the relationship between the electric field and the parameters of the guard ring (the radius T of the guard ring, the diameter D_r of the tube and the position H). These parameters will be varied each time in this search. The statistical technique of variance (ANOVA) is utilized to evaluate the influence of each parameter. The maximum E- field and the chosen parameters are modeled by response surface methodology (RMS). The analysis of the results from the study made it possible to obtain an optimal guard ring design in which a minimum value of electric field using the optimization technique. Therefore, this indicates the capability and efficiency of the proposed methods in achieving the optimal design of a corona ring on a composite insulator under polluted conditions.

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

ملخص

يتيح استخدام حلقات الحماية على خطوط النقل العلوية ومحطات التوزيع والربط، ضمان توزيع أفضل لتدرج الجهد داخل وخارج العازل العازل من أجل تجنب أي تفريغ كهربائي جزئي ، وتحديدًا في المناطق المجاورة للتيار العالي. يتحقق تدهور العزل الكهربائي بشكل أساسي أثناء عمليات التفريغ الكهربائية الناتجة عن تغيرات الطقس بسبب الضغط الكهربائي المرتفع مثل التلوث بالقرب من نهاية العوازل. الهدف من هذا البحث هو إجراء دراسة عددية لاستخدام وتحسين حلقات الحماية لتجهيز عازل مركب تحت ظروف التلوث. أولاً، تم إجراء دراسة محاكاة تعتمد على استخدام العناصر المحدودة لتقييم توزيع المجال الكهربائي على طول العازل. من أجل التحكم في ضغط المجال الكهربائي على السطح العازل في وجود التلوث ، تم إدخال طريقة إحصائية جديدة للتحليل والتحسين لدراسة العلاقة بين المجال الكهربائي ومعلمة حلقة الحماية (نصف القطر، للحلقة الواقية ، وقطر الأنبوب ، والموضع)، وستتنوع هذه المعلمة في كل مرة في هذا البحث. يتم استخدام تقنية التباين الإحصائية (ANOVA) لتقييم تأثير كل معلمة. يتم نمذجة المجال الكهربائي الأقصى والمعلمة المختارة من خلال منهجية سطح الاستجابة. أتاح تحليل نتائج الدراسة إمكانية الحصول على تصميم حلقة حراسة أمثل تكون فيه قيمة دنيا للمجال الكهربائي باستخدام تقنية التحسين. لذلك ، يشير هذا إلى قدرة وكفاءة الطرق المقترحة في تحقيق التصميم الأمثل للحلقة الإكليلية على عازل مركب في ظل ظروف ملوثة.

الكلمات الرئيسية: عازل مركب، حلقة إكليلية، مجال كهربائي، طريقة العناصر المحدودة، منهجية سطح الاستجابة، التلوث.

Table des matières

Remerciements	<i>i</i>
Dédicace	<i>ii</i>
Résumé	<i>iii</i>
Abstract	<i>iv</i>
ملخص	<i>v</i>
Table des matières	<i>vi</i>
Liste des Figures	<i>viii</i>
Liste des Tableaux	<i>x</i>
Symboles et abréviations	<i>xi</i>

Chapitre I Introduction Générale

I.1.Contexte Général.....	13
I.2. problématique.....	14
I.3. objectifs	15
I.4. Structure du mémoire	15

Chapitre II Les isolateurs polymères: Revue de littérature

II.1. Introduction.....	17
II.2 Types des isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique.....	17
II.2.1. Isolateurs en céramique.....	17
II.2.2 Isolateurs en Verre.....	18
II.2.3.Isolateurs composites.....	18
II.3. Modes de défaillance des isolateurs composites.....	24
II.3.1. Les contraintes électriques.....	24
II.3.2. Contraintes environnementales.....	25
II .3.2.1. Pollution	27
II.3.3. Contraintes mécaniques.....	27
II.4. Définition et utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs	28
II.4.1. Présentation générale des anneaux de garde	28
II.4.2. Fonctionnalité des anneaux de garde	29
II.5. Conclusion	31

Chapitre III

Modélisation et simulation d'un isolateur polymère

III.1 Introduction.....	33
III.2. Modélisation et Simulation d'un isolateur polymère III.2.1. Géométrie de l'isolateur sans anneau de garde.....	33
III.3. Présentation générale du logiciel COMSOL.....	34
III.3.1. L'interface graphique de COMSOL.....	35
III.3.2. Les modèles D'application.....	35
III.3.3. Conditions aux limites.....	36
III.3.4. Maillage.....	36
III.4. Géométrie de l'isolateur avec anneau de garde.....	37
III.4.1. Anneau de garde.....	37
III.5. Propriétés des matériaux.....	38
III.6. Conditions aux limites.....	39
III.7. Maillage.....	39
III.8. Conclusion.....	40

Chapitre IV

Distributions de champ électrique et du potentiel le long d'isolateur polymère sous des conditions polluées

IV.1. Introduction.....	42
IV.2. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R).....	42
IV.3. Analyse des variances ANOVA.....	42
IV.4. Conception de Taguchi.....	43
IV.5. Optimisation de la structure de l'anneau de garde.....	44
IV.5.1. Formulation de problem.....	44
IV.6. Résultats et discussion.....	46
IV.6.1. Tracés des effets principaux et effets des interactions des paramètres de l'anneau de garde.....	46
IV.6.2. Simulations avec sans anneau de garde.....	50
IV.6.3. Simulations sans anneau de garde et en présence de couche de pollution.....	52
IV.6.4. Simulations avec anneau de garde et en présence de couche de pollution.....	53
IV.6.5. Simulations avec optimisation.....	56
IV.7. Conclusion.....	58

Chapitre V

Conclusions Générales

Références Bibliographiques.....	61
----------------------------------	----

Liste des Figures

Chapitre 2

Les Isolateurs Polymères: Revue de la littérature

Figure II.1. Photo représente un isolateur en céramique	17
Figure II.2. Isolateur en verre	18
Figure II .3. Détails de construction d'un isolateur composite	19
Figure II. 4. Coupe transversale d'un isolateur composite	20
Figure II.5. Isolateur de suspension composée	21
Figure II. 6. Isolateur composé de poste de suspension	21
Figure II. 7. Illustration d'une décharge couronne	25
Figure II. 8. Arcs partiels établis le long de bandes sèches (a) qui peut résulter en une importante fissuration de l'enveloppe (b)	26
Figure II. 9. Exemples de géométries d'anneaux de garde.....	28
Figure II. 10. Exemples d'utilisation des anneaux de garde sur un isolateur de poste (a) et un isolateur de ligne en composite (b).....	29
Figure II.11. Exemple de paramétrage de la géométrie d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne.....	31

Chapitre 3

Modélisation et simulation d'un isolateur polymère

Figure III. 1. La géométrie de l'isolateur étudié $D = 25$ mm (Diamètre de la tige), $D1/D2 = 140/110$ mm (diamètre principal), $d1/d2 = 36/5$ mm (Espace entre ailettes)	33
Figure III. 2. Logiciel COMSOL Multiphysics.....	34
Figure III. 3. Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL	35
Figure III. 4. Maillage de la géométrie	36
Figure III. 5. Modèle d'isolateur composite et anneau de garde.....	38
Figure III. 6. Vue du maillage du modèle étudié avec anneau de garde	40

Chapitre 4

Distributions de champ électrique et du potentiel le long d'isolateur polymère sous des conditions polluées

Figure IV. 1.Distribution de potentiel électrique sans anneau de garde 44

Figure IV. 2.Les effets principaux des paramètres d'anneau de garde H, Dr et T et Pollution sur la valeur maximale du champ E 46

Figure IV. 3.Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l'anneau de garde 48

Figure IV. 4.Tracés de normalité avec des intervalles de confiance à 95% du champ E 49

Figure IV. 5.Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau corona (les valeurs optimales sont en rouge)..... 49

Figure IV. 6.Distribution de champ électrique sans anneau de garde. 50

Figure IV. 7. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en absence de l'anneau de garde 51

Figure IV. 8.Distribution de champ électrique en fonction de la ligne de fuite, sans anneau de garde et en présence de pollution..... 52

Figure IV. 9.Variation du champ E sur la longueur de l'isolateur des trois cas étudié 54

Figure IV. 10.Distribution du champ électrique..... 55

Figure IV. 11.Champ électrique en fonction de la ligne de fuite 57

Figure IV. 12. Distribution de champ électrique en présence de l'anneau de garde optimisé..... 57

Liste des Tableaux

Chapitre 3

Modélisation et simulation d'un isolateur polymère

Tableau III. 1. Paramètres de conception de l'isolateur composite étudié en mm.....	34
Tableau III. 2. Paramètres de l'anneau de garde avec ses niveaux	37
Tableau III. 3. Propriétés de chaque paramètre de l'isolateur	38
Tableau III. 4. Frontière du champ électrique	39

Chapitre 4

Distributions de champ électrique et du potentiel le long d'isolateur polymère sous des conditions polluées

Tableau IV. 1. Paramètres de l'anneau de garde et pollution de garde	45
Tableau IV. 2. Les différents paramètres par Taguchi L9	45
Tableau IV. 3. Les cas de étudiés avec la présence de la couche de pollution	53
Tableau IV. 4. Résultats de paramètres optimisés.....	56

Symboles et abréviations

Mm	Millimètre
cm	Centimètre
H	Hauteur de l'anneau de garde
Dr	Rayon de l'anneau de garde
T	Diamètre de l'anneau de garde
E	Champ Electrique kV Kilovolt
HT	Haute Tension
FEM	Finite Element Method
2D/3D	deux/trois Dimensional
RMS	Response Surface Methodology

Chapitre I

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I

Introduction Générale

I.1.Contexte Général

Ces dernières années, l'électricité est devenue l'une des nécessités les plus importantes dans la vie humaine. Les lignes électriques à haute tension ont été largement utilisées pour l'énergie électrique des centrales aux utilisateurs finaux. Les isolateurs font partie des principaux dispositifs des systèmes de transmission d'électricité. Ils jouent un rôle dans la fiabilité du réseau. Ils sont utilisés pour soutenir, séparer et de garantir l'isolement électrique entre les parties haute tension, et les parties qui sont mises à la terre. Les isolateurs doivent non seulement résister aux tensions régulières et surtensions, comme la foudre, mais aussi divers stress environnementaux tels que la pluie, la neige et la pollution [1,2]. La décharge couronne provoque une perte de puissance considérable et se traduit souvent par détérioration de l'isolation. Ce phénomène a attiré l'attention de plusieurs Ingénierie haute tension où les champs électriques irréguliers sont inévitables [3,4] chaîne de magasins isolateurs sont équipés de dispositifs auxiliaires pour assurer la connexion et améliorer les performances des chaînes d'isolateurs. La Géométrie et la conception de ces dispositifs dépend du niveau de tension de transmission et du type isolation. Les isolateurs de ligne haute tension sont classés en deux classes bien connues ; les isolateurs formés de céramiques et les isolateurs non-céramiques, polymère ou dites composites [1]. Les isolateurs classiques qui sont produit à partir de céramiques à capot et tige ont leur partie isolante verre ou en porcelaine. L'avantage de ce type d'isolateurs est la grande résistance aux arcs électriques et les décharges partielles. Ils offrent également une meilleure résistance aux perturbations et contraintes de l'extérieure tel que rayonnements ultra-violets. L'usage des isolateurs polymères sur les lignes hautes tension est devenu plus en plus exploités ces récentes années [2] à cause aux ses plusieurs avantages en comparaison avec les isolateurs classiques. En plus, la propriété de l'hydrophobicité qu'un isolateur polymère possède est considérée comme l'une des principales caractéristiques qui permet au isolateur de bien se comporter dans les milieux et les circonstances gravement pollués.

D'une autre part, si in y on a une application d'une tension élevée en présence de mauvaises circonstances par exemple, contraintes électrique, environnementale, mécanique et thermique, causent malheureusement une détérioration et des dégradations externes ou internes ces composants. Face à ce problème, il est nécessaire de bien évaluer l'usage des anneaux de garde équipant certains isolateurs aériens. Ils sont en général installés pour avoir une distribution du potentiel uniforme le long de l'isolateur. Donc, l'installation des anneaux de garde peut considérer comme une intéressante technique qui permet d'améliorer les performances électriques des isolateurs standards de poste sous conditions de pollution. Ce présent travail de recherche a pour but de contribuer à une conception optimale de l'anneau de garde permettant d'uniformiser la distribution du potentiel le long de l'isolateur composite et rendre la valeur de champ minimale.

I.2. problématique

Les composants constituant les équipements à haute tension installés sur les réseaux aériens électrique doivent offrir une certaine qualité de performance surtout en présence de circonstances défavorables, soit environnementales ou météorologiques auxquelles ils sont exposés. Suite à l'introduction plus large des isolateurs composites, il est noté que ces derniers se dégradent plus rapidement par rapport aux isolateurs en céramique en raison de la dégradation des UV, de la pollution, du stress mécanique et de la faible résistance aux décharges couronne, ralentissant ainsi leur usage sur l'ensemble des lignes des réseaux électriques haute tension dans le monde. La dégradation des isolateurs est un problème connu, par ce qu'ils peuvent causer des défauts internes entre la tige et l'enveloppe de l'isolateur au prés de son électrode H.T où on note une activité importante des décharges partielles. Les défauts internes constituent la deuxième cause de défaillance des isolateurs composites [5] provoquant un contournement interraccial créant un court-circuit entre la H.T. et la mise à la terre. 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 les

décharges couronnes. De plus, différentes techniques et matériaux isolants sont développés. Parmi eux, l'installation d'anneaux de garde.

I.3. objectifs

Dans ce travail, on présente les principales notions de base sur les isolateurs et la dégradation de l'isolateur qui est causée par un champ électrique élevé sur les bornes haute tension. L'objectif principal de cette étude est d'optimiser le champ électrique autour de l'isolateur composite dans des conditions polluées, en particulier dans la les bornes haute tension ;

1. Etude de l'effet d'un anneau de garde autour d'un isolateur composite de ligner 220kV.
2. Identifier le meilleur emplacement de l'anneau de garde proposé pour améliorer le champ électrique autour de l'isolateur.

Pour atteindre ces objectifs, on a utilisé des techniques informatiques pour évaluer le champ électrique comme et on a effectué des études de simulations l'aide de méthodes par éléments finis (FEM).

I.4. Structure du mémoire

Ce mémoire est organisé en 5 chapitres et qui peut se présenter comme suit :

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

Le chapitre 2 présente les concepts et les notions de base liés aux isolateurs composites, les avantages et les inconvénients, pollution et dégradation des isolateurs. Un intérêt particulier a été porté sur l'utilisation de l'anneau de garde et son optimisation.

Le chapitre 3 est consacré à la modélisation et simulation des isolateurs composites.

Le chapitre 4 présente l'étude de la distribution du potentiel et du champ électrique le long d'isolateur avec pollution et obtenus par l'analyse ANOVA.

Le chapitre 5 présente des conclusions générales.

Chapitre II

Les isolateurs polymères:
Revue de littérature

CHAPITRE II

Les isolateurs polymères : revue de littérature

II.1. Introduction

Les lignes à haute tension sont le principal composant du transport d'électricité, car elles permettent le transport d'électricité des usines de production d'électricité vers le consommateur et atteignent parfois de longues distances, des milliers de kilomètres indépendamment des connecteurs. Le réseau électrique contient des éléments clés, qui sont les isolateurs. Les isolateurs jouent un rôle important dans la sécurité des transports et la distribution d'électricité. Ils doivent transporter des lignes pour les isoler de. Les isolateurs doivent résister à la fois aux pressions électriques en tension normale ou excessive ou dans des circonstances inhabituelles imposées par la nature, comme les coups de foudre et pollution. Par conséquent, un bon choix d'isolateur est nécessaire pour la qualité de l'isolation haute tension.

II.2 Types des isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique

II.2.1. Isolateurs en céramique

Ce type d'isolateur a été exploité depuis plusieurs années grâce de leurs performances connus. L'utilisation des céramiques à grains très fins est préférable au niveau des lieux contenant des contraintes mécaniques importantes. Ils se trouvent en général sur les postes: isolateurs supports, des bornes de traversées des transformateurs de puissance, des disjoncteurs, des couverture isolante, des sectionneurs transformateurs de potentiel [5].



Figure II.1. Photo représente un isolateur en céramique

II.2.2 Isolateurs en Verre

D'une manière générale, les isolateurs en verre sont les plus répondus en Algérie. Ils sont utilisés au niveau des lignes de haute tension et à moyenne. Ce type offre un le bas prix et la facilité de détecter les défauts comme des avantages. Il existe 2 types de verre pour l'élaboration des isolateurs : le verre recuit et le verre trempé [6].



Figure II.2. Isolateur en verre

II.2.2.1. Le verre trempé

Ce verre possède une résistance à la traction supérieure à celle du verre recuit. Il supporte des changements brusques de températures élevées [7].

II.2.2.2. Le verre recuit

Contrairement au verre trempé, Le verre recuit ne résiste pas aux changements brusques de température possibles et il supporte des tensions mécaniques faibles. Pour cela, il n'est pas vraiment utilisé pour l'élaboration des isolateurs de suspension [8].

II.2.3. Isolateurs composites

Durant les années 1970, les isolateurs polymères sont apparus et ont été largement utilisés dans en raison de son poids léger et meilleure performance dans les environnements pollués. Des recherches approfondies ont été effectuées sur l'isolation en polymère pour de meilleures performances. Les isolateurs polymères sont également connus sous le nom d'isolateurs non céramiques ou des isolateurs composites. Deux matériaux principaux ont été largement utilisés comme ; en caoutchouc de silicone et en éthylène propylène diène monomère (EPDM) [9.10]. L'utilisation de leur combinaison éthylène-propylène-silicium (EPS) est pour améliorer les propriétés de surface et la résistance des matériaux. Les

isolateurs des polymères sont plus légers car il a un noyau de tiges de fibres. Le matériau polymère est utilisé comme gaine externe. Leurs surfaces hydrophobes sont le plus important sont qui empêchent la formation de voies humidité continue le long de sa surface. Avec cet avantage, ils peuvent mieux travailler dans des conditions de pollution, lorsque d'autres types d'isolateur externes souffrent de formation de bandes sèches à la surface de l'isolateur suivie de décharges partielles le long de la bande sèche.

Les isolateurs polymères se composent de trois parties :

- i) des bornes d'extrémité en acier/aluminium pour supporter les charges mécaniques sur les conducteurs.
- ii) un noyau de tige renforcé de fibres (FRP) pour supporter la charge mécanique et l'isolation entre deux bornes.
- iii) un boîtier de protection contre les intempéries en polymère pour protéger la tige FRP contre les influences environnementales, la pollution extérieure et l'humidité.

La figure (II.3.) montre la structure des isolateurs polymères avec les trois composants des brides sertis sur une tige renforcée de fibres (FRP) encapsulée dans un boîtier polymère résistant aux intempéries [11].

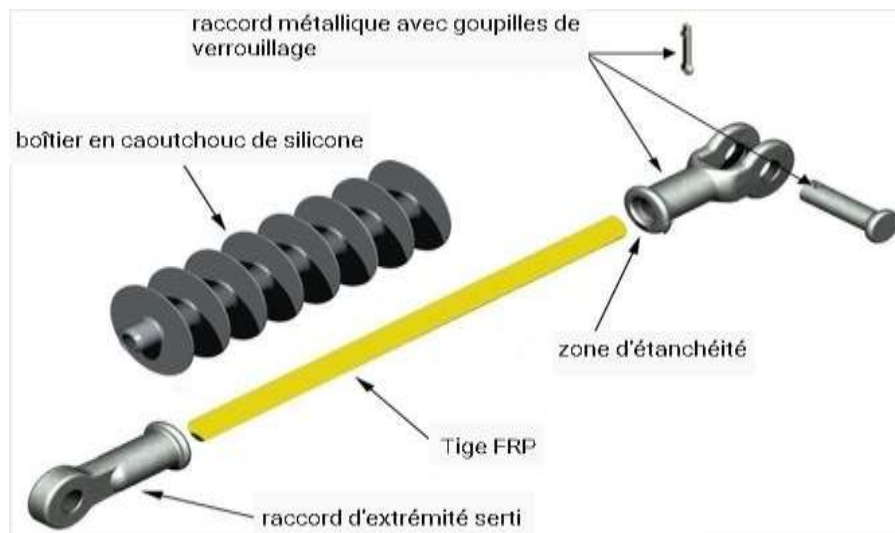


Figure II .3.Détails de construction d'un isolateur composite

II.2.4 Construction et matériaux

Les isolateurs composites se composent essentiellement de trois (3) éléments Les pièces principales sont : l'âme (partie centrale de l'isolant), l'enveloppe Autour d'une tige

comprenant des ailettes (ou jupes) et deux pièces métalliques.

II.2.4.1 Noyau

Ce composant constitue la partie centrale de l'isolateur qui offre la connexion mécanique et l'isolation électrique entre le pylône et le conducteur nu. Il est formé de résine époxy renforcé avec des fibres de verre pour offrir une bonne résistance mécanique. Les résines époxy ont de meilleures propriétés électriques que les résines polyester. Il est convient pour la réduction des coûts dans certains cas.

II.2.4.2 Rembourrage et jupes

Moulée autour du noyau, la doublure (y compris la jupe) aide à créer Lignes de fuite nécessaires pour assurer une isolation électrique adéquate entre les conducteurs nus et tour. Le revêtement permet aussi de protéger le noyau contre les agressions extérieures, il peut être fabriqué à parti de matériaux variés, y compris des élastomères (par exemple : silicone, éthylène, propylène) des résines (par exemple : époxy cyclo-aliphatique).

II.2.4.3 Armatures métalliques d'un isolateur composite

Les armatures métalliques d'un isolateur composite sont installées aux deux extrémités du noyau pour transmettre les charges mécaniques à ce dernier. Les matériaux les plus utilisés sont : la fonte, l'aluminium forgé, le fer et l'acier forgé. La forme des pièces d'accrochage constitue un facteur nécessaire dans la diminution des décharges couronnes qui provoque une dégradation prématurée de l'enveloppe de l'isolateur.

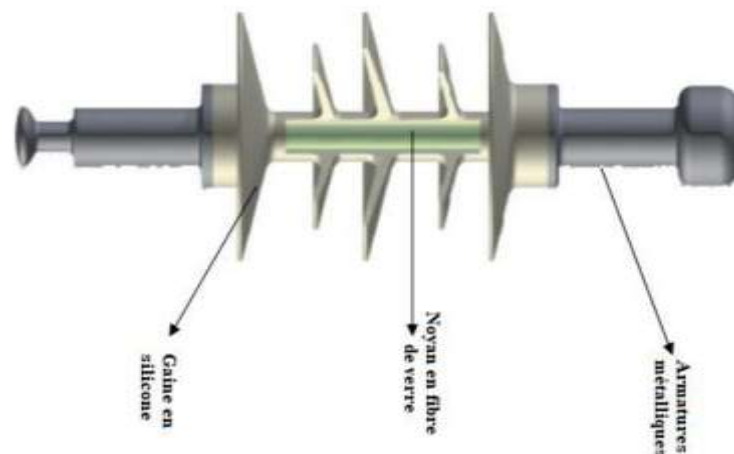


Figure II. 4.Coupe transversale d'un isolateur composite



Figure II.5. Isolateur de suspension composée

Une distinction est faite entre deux principaux types d'isolateurs composites couramment utilisés dans le secteur de l'énergie :

1-utilisés dans les lignes Transmission et distribution haute tension et pour les systèmes BT, MT et HT.

2-Isolateur composé de poste de suspension est illustré à la figure 2.6, il est utilisé sur les sous-stations et les centrales électriques.



Figure II. 6. Isolateur composé de poste de suspension

Chaque isolateur composite a les propriétés suivantes :

- Tension nominale.
- Tension nominale de tenue aux impulsions de fréquence électrique de la foudre et de la pluie.
- Charges mécaniques spécifiées.
- Longueur nominale minimale de ligne de fuite.

- espacement des ailettes.
- L'hydrophobicité du matériau [16].

II.2.4.4 Conditions d'utilisation

Les isolateurs installés à l'extérieur doivent résister aux changements de températures et supporter les effets de la condensation, pluie, changements rapides de température et rayonnement solaire.

II.2.4.5 Avantages et inconvénients des isolateurs polymères

Les avantages et les inconvénients des isolateurs polymères haute tension ont une grande importance pour comprendre l'application et le développement des isolateurs électriques. Les isolateurs polymères de ligne de transmission présentent des avantages significatifs par rapport aux isolateurs en porcelaine et en verre dans les lignes de transmission ultra haute pression. En raison des nombreux avantages des isolateurs composites par rapport aux isolateurs Classique, l'application du premier se multiplie dans le monde entier.

II.2.4.5.1. Avantages des isolateurs composites

Les causes de l'utilisation intensive d'isolateurs polymères se diffèrent selon les fournisseurs d'énergie électrique [17-22]. On peut citer :

- Poids réduit (jusqu'à 80% par rapport aux types conventionnels). Cela mène à Conception de tour plus économique (et plus légère).
- l'installation Les isolateurs polymères ont une tension de tenue égale ou supérieure que les isolants en porcelaine et en verre. Avec distance d'arc sec 30% inférieur aux conceptions céramiques standard à 230 Kv, Il a été démontré que les isolateurs composites s'enflamment à des niveaux de tension plus élevés 30% à ceux de la porcelaine au pire niveau de contamination.
- L'isolation en polymère est moins susceptible d'être gravement endommagée Par vandalisme, comme un coup de feu qui provoque la rupture de l'isolation céramique
- L'utilisation d'isolateurs composites réduit les coûts de maintenance tels que le nettoyage Les isolateurs en céramique et en verre nécessitent généralement des isolateurs Environnement très pollué, coût moindre par rapport aux chaînes 36-44%

équivalent verre trempé, moins cher à expédier, moins Coût élevé lors de l'installation avec un gain de 37%.

➤ Profil des ailerons de forme aérodynamique avec une ligne de vol suffisante : 31 à 68 % de plus que la chaîne en verre trempé équivalente ; ∞ Le calcul de la pente doit éviter l'accumulation de pollution causée par une faible adhérence vent ; L'amélioration du processus de fabrication permet :

✓ Renforcer l'étanchéité entre bague et raccords métalliques, éviter La pénétration d'humidité peut provoquer sous le champ électrique fragile et entraîner la rupture de la chaîne d'isolation

✓ Excellente hydrophobicité, empêche la dissolution Formation de sels solubles contenus dans la pollution et les courants de fuite (Absorption de la pollution par encapsulation, permettant défaillance du mécanisme de dérivation).

- Facile à utiliser
- Installation rapide
- Moins sensible à la corrosion (moins de raccords).

II.2.4.6.2. Inconvénients des isolateurs en composite

Les principaux inconvénients des isolateurs en polymère composite sont :

➤ Les isolateurs polymères organiques sont plus sensibles aux changements de produits chimiques provoquant la corrosion.

➤ Un autre phénomène qui affecte les performances des isolateurs polymères est les décharges couronnes. Ceci est causé par le champ électrique élevé à la surface de l'isolateur.

➤ La fiabilité à long terme est inconnue, tout comme l'espérance de vie et la durée de vie des isolateurs. Les polymères sont difficiles à estimer (20 ans dans un environnement très pollué).

➤ La localisation des défauts est difficile.

➤ Les oiseaux qui picorent le caoutchouc et le rendent inutile sont un gros inconvénient isolant polymère.

➤ Remplacement de toute la chaîne d'isolateurs en cas de conditions anormales.

➤ Possibilité d'intervention sans tension.

➤ Les isolateurs polymères sont constitués de matériaux organiques, modifiés, les produits chimiques sur la surface dus aux intempéries peuvent causer des problèmes sur la surface [17-23].

II.3. Modes de défaillance des isolateurs composites

Lors de son exploitation, les isolateurs composites sont exposés à plusieurs contraintes ; électriques, mécaniques et environnementales qui entraînent des perturbations et des dégradations parfois irréversibles [23]. Sous ces conditions, les matériaux composites sont à l'exposition des agressions chimiques et aux rayonnements à cause de leurs faibles liaisons organiques [24].

II.3.1. Les contraintes électriques

Ce type de contrainte est le plus répandu, dont les performances des isolateurs composites dépendent essentiellement des répartitions du champ électrique le long de l'isolateur. La présence d'un champ électrique augmenté ou élevé et non uniforme provoque le phénomène de décharges électriques partielles.

➤ **Décharges couronnes**

Il est connu que la distribution du champ électrique le long d'un isolateur polymère est considérée non-uniforme et elle est plus condensée près de l'électrode HT [25,26]. Face à cette situation, l'apparition des décharges couronnes (figure II.6) est fortement possible. Elle se forme à la surface de l'isolateur lorsque les valeurs du champ électrique dépassent les normes. Les décharges couronne se passe en formant un rayonnement UV des ultrasons, de la chaleur, de l'ozone et de l'acide nitrique [27]. Dans des circonstances graves, l'activité des décharges couronnes à proximité de l'électrode H.T génère une quantité importante de chaleur et d'acide nitrique qui peut conduire à une détérioration importante de la jupe. Par ailleurs, ce type de défauts visibles n'influe que une partie réduite de l'isolateur si la tige n'est pas touchée ou exposée à l'air libre.



Figure II. 7. Illustration d'une décharge couronne

II.3.2. Contraintes environnementales

II.3.2.1. Comportement des isolateurs sous pollution

Malgré une isolation soigneusement choisie, il est toujours possible qu'un incident survienne. La gravité de la pollution d'un site peut varier, que ce soit en raison de l'arrivée d'une nouvelle usine à proximité d'un poste existant, de la construction d'une route à proximité ou même d'événements météorologiques exceptionnels. Dans ces cas-là, le dimensionnement initial des isolateurs peut ne plus être suffisant et il est important de protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution [10]. Lorsque la pollution atmosphérique et les conditions météorologiques telles que la pluie, le brouillard ou la rosée se combinent, une couche conductrice d'électrolyte peut se former à la surface de l'isolateur, entraînant un courant de fuite le long de celui-ci [28-31]. Cela peut conduire à une chute importante de tension aux bornes des bandes sèches créées par la densité de courant et la puissance dissipée les plus élevées. Si cette chute est suffisante, elle peut provoquer un arc électrique partiel qui peut progresser pour rejoindre d'autres décharges électriques et finalement entraîner un contournement complet de l'isolateur. La présence d'arcs partiels entre les ailettes représente un danger potentiel pour l'isolateur [32].



Figure II. 8. Arcs partiels établis le long de bandes sèches (a) qui peut résulter en une importante fissuration de l'enveloppe (b) [29].

II .3.2.2. Sources de pollution

Il existe 3 catégories ;

- Pollution naturelle (marine, désertique,....)
- Pollution industrielle
- Pollution mixte [11]

II .3.2.1.1. Pollution naturelle

C'est une pollution d'origine marine, désertique, elle provient de présences de poussières transportées par les vents [12].

a) Pollution marine :

Dans les installations en bord de mer, dépôt par pulvérisation éolienne. Forme progressivement une couche de sel sur l'isolant, dont la longueur est plus ou moins Maturité, couvrant toute la surface de l'isolant y compris la meilleure partie Chapitre 01 Informations générales sur la contamination des isolateurs haute tension 1.8 pages Protéger. Cette couche de sel, humidifiée par le spray lui-même, ou par Le brouillard, ou simplement par condensation, devient conductrice. Courant de fuite Un arc peut alors être établi à travers la surface né sous certaines conditions, et développé jusqu'à ce qu'il en résulte contournement total de l'isolateur

b) Pollution désertique :

Dans les zones désertiques, les tempêtes de poussière se déposent fréquemment forme progressivement une couche à la surface de l'isolant contenant Sel. Une fois mouillée, la

couche devient plus conductrice. Actuel La fuite apparaît brutalement et s'accompagne d'un arc partiel qui se propage à la surface de l'isolateur peut également entraîner un by-pass total de l'isolateur [14, 15].

II.3.2.1.2. Autres sources de pollution naturelle

La pluie est considérée comme un phénomène naturel qui favorise l'humidification des isolateurs. Lorsqu'il est intense, il est susceptible de provoquer une désintégration dépôts solides. Cependant, ce type d'auto-lavage est propice à l'amélioration de la qualité Le diélectrique d'un isolant, gêné par le phénomène de ruissellement. En cas de fortes pluies, un film d'eau continu peut se former d'un bout à l'autre provient des chaînes ou poteaux isolants [12, 13, 14]. Comme l'eau jamais entièrement isolé, ce phénomène provoque le contournement l' solateur, c'est un by-pass sous la pluie.

II.3.2.2. Pollution industrielle

C'est une source de pollution fréquente dans les zones industrielles, notamment à coté des usines, entreprises de production (raffineries de pétrole, cimenteries...) émettant du smog. En outre, les gaz d'échappement (centrales thermiques) et pour L'agriculture contribue également aux dépôts observés sur les surfaces des isolants [13, 15]. En présence d'humidité élevée, la teneur en sel de ces polluants est réduite une résistivité de surface considérable des isolants et des contournements peut arriver parfois

II.3.2.3. Pollution mixte

C'est le résultat d'une combinaison de deux ou plusieurs polluants Comme mentionné ci-dessus, par exemple les installations en cas de pollution marine et industrielle électricité en bord de mer [13, 14].

II.3.3. Contraintes mécaniques

L'isolateur a pour fonction principale de soutenir le conducteur nu, qui exerce une contrainte mécanique constante en raison de son poids élevé, pouvant atteindre plusieurs tonnes pour les lignes électriques très haute tension. Au fil du temps, cette charge peut affaiblir progressivement le joint entre le noyau et les pièces d'extrémités, entraînant une défaillance mécanique de l'isolateur. De plus, des vents forts peuvent provoquer des oscillations des conducteurs de phase, créant des vibrations qui peuvent

causer la formation de fissures à l'interface entre la tige et les pièces d'accrochage métalliques. Dans les pays à climat froid, l'accumulation de glace sur les conducteurs et les lignes peut générer des contraintes supplémentaires sur les isolateurs. Enfin, dans les régions désertiques chaudes, la température fluctuante peut desserrer la connexion entre le noyau et les pièces métalliques d'extrémités en raison du processus cyclique de dilatation thermique et de contraction, affectant ainsi la résistance mécanique de l'isolateur.

II.4. Définition et utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs

II.4.1. Présentation générale des anneaux de garde

Les anneaux de garde sont des anneaux métalliques ouverts ou fermés, comme il est indiqué sur figure II.9, généralement en aluminium pour leur légèreté, résistance à la corrosion et facilité de mise en forme. Ils sont fixés aux extrémités métalliques des isolateurs de poste (figure II.10-a) ou de ligne (figure II.10-b) et sont soumis au même potentiel que ces derniers en raison de leur fonctionnalité, comme expliqué dans la section suivante.



Figure II. 9. Géométries d'anneaux de garde [33]

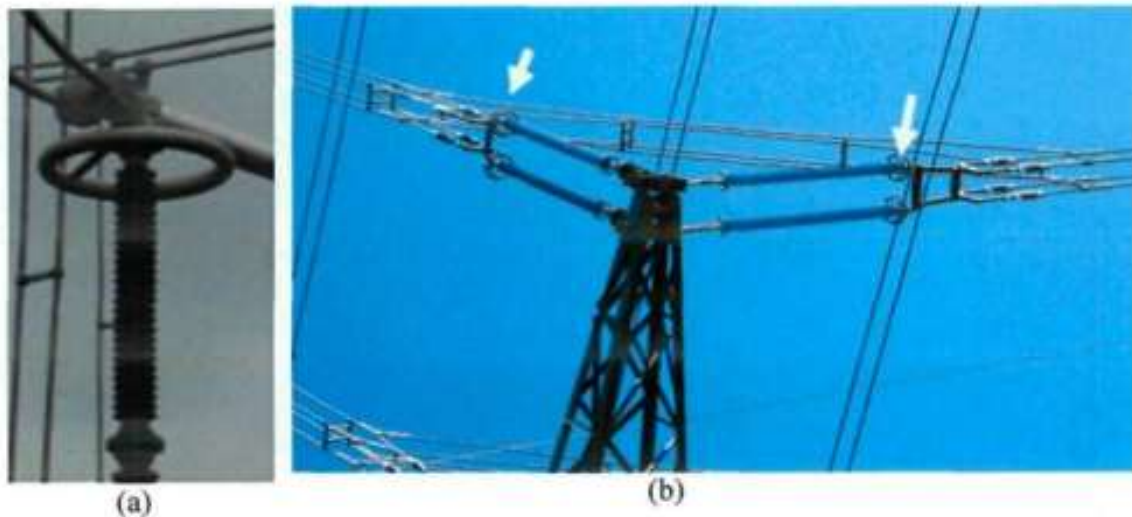


Figure II. 10.Exemples d'utilisation des anneaux de garde sur un isolateur de poste (a) et un isolateur de ligne en composite (b) [34].

II.4.2. Comment se Fonctionnalité les anneaux de garde

En se basant sur la revue de littérature, il a été constaté que l'ajout d'un ou plusieurs anneaux aux isolateurs, qu'ils soient de ligne ou de poste, peut remplir diverses fonctions [14]. Ces fonctions incluent une meilleure répartition du champ électrique à l'intérieur ou à l'extérieur du matériau isolant pour éviter les décharges électriques partielles dans les diélectriques (micro-cavités ou défauts), à l'interface entre différents matériaux ou encore à la surface des matériaux sous des conditions de pluie ou de pollution atmosphérique. Afin de prévenir les perturbations radiophoniques, les bruits audibles et les pertes énergétiques causées par les décharges couronnes, il est nécessaire de réduire l'intensité du champ électrique dans l'air autour des extrémités métalliques de l'isolateur et des équipements avoisinants. Pour protéger l'électrode métallique de l'isolateur contre l'arc électrique, il est important de garder l'arc à distance de l'isolateur et de fixer la racine de l'arc à l'anneau de garde. Cependant, la décision d'ajouter des anneaux de garde aux isolateurs dépend de plusieurs facteurs et il n'existe pas encore de règles précises à ce sujet. Les arcs électriques partiels peuvent endommager non seulement la surface isolante mais aussi les parties métalliques et entraîner des bris mécaniques en cas de pollution ou de précipitations froides. Dans des conditions atmosphériques particulières, le contournement complet de l'isolateur peut être nécessaire pour éviter ces dommages. Ces activités électriques sont dues à une modification partielle ou totale des distributions du potentiel et du champ électriques à

la surface des isolateurs [35-37]. La présence de divers éléments tels que des gouttes d'eau, de la pollution, des bandes sèches, des dépôts de glace, des intervalles d'air ou un film d'eau peut entraîner une redistribution inégale du potentiel le long de l'isolateur. Cette non-uniformité peut causer des activités électriques nuisibles qui endommagent les isolateurs. Pour éviter cela, on peut utiliser des isolateurs recouverts d'un revêtement semi-conducteur qui a prouvé son efficacité dans les zones très polluées. Cependant, ces isolateurs sont plus coûteux à l'achat et à l'utilisation en raison des pertes causées par le courant circulant en permanence dans le revêtement semi-conducteur. Une autre solution consiste à ajouter des anneaux de garde sur les isolateurs existants pour uniformiser la distribution du potentiel sous conditions climatiques critiques. Les anneaux de garde peuvent réduire l'activité électrique au voisinage des isolateurs propres et sont souvent utilisés à cette fin [38]. Cependant, il reste à savoir comment les anneaux de garde sont utilisés et influencent les conditions climatiques extrêmes. D'après la revue de littérature, il y a très peu d'études sur ce sujet. La plupart des études portent sur l'optimisation des anneaux de garde pour des applications avec des isolateurs propres. Il y a très peu d'études qui se concentrent sur l'efficacité potentielle des anneaux de garde pour réduire l'activité électrique causée par une modification de l'état de surface des isolateurs [35].

II.4.3. Optimisation des anneaux de garde

Comme mentionné, le rôle de l'anneau de garde est en partie de réduire les champs électriques près des pièces métalliques situées aux deux extrémités isolante et normaliser la distribution de potentiel le long de celui-ci. Par conséquent, l'utilisation correcte des anneaux de garde dépend en grande partie de la géométrie des anneaux de garde. Pour faire des études d'optimisation, les chercheurs ont deux solutions pour bien ajuster la taille et la position de l'anneau de garde : essais expérimentaux et simulations numériques. Les simulations numériques surpassent les tests expérimentaux dans la plupart des cas parce qu'il nécessite peu d'infrastructure, les coûts de recherche sont réduits et plusieurs configurations d'anneaux de garde peuvent être testées en utilisant des méthodes d'optimisation. Des tests expérimentaux sont souvent utilisés pour valider la configuration finale de l'anneau de garde obtenue à partir de résultat numérique. L'optimisation des anneaux de garde a été largement étudiée [38]. Diverses études d'optimisation ont été réalisées par des simulations numériques en utilisant la méthode

des éléments finis (FEM) [38] ou Éléments finis aux frontières (MEFF) [39]. Les deux méthodes conviennent à Calcul de champ électrique et problèmes d'optimisation. En termes de méthodes d'optimisation utilisées, une seule méthode est recommandée dans diverses études rapportées pour une utilisation optimale de l'anneau de garde. Une étude paramétrique consiste donc à étudier l'effet de chaque facteur des paramètres géométriques de l'anneau de garde qui ont un effet sur la répartition du potentiel et Champ électrique le long d'un isolateur pour déterminer la configuration optimale.

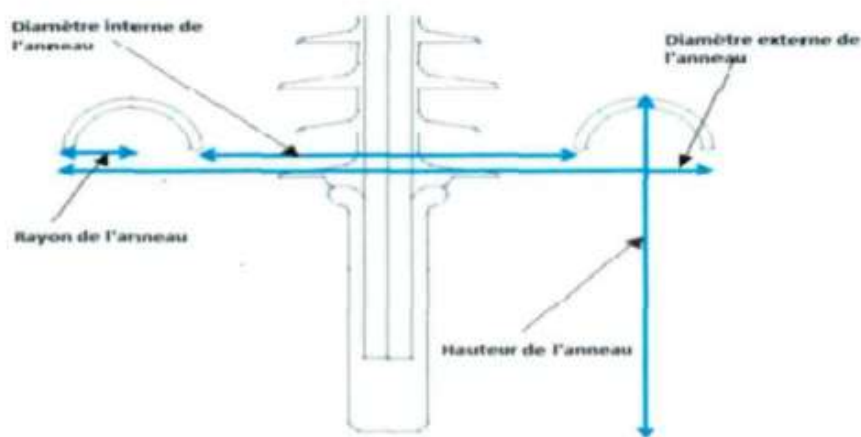


Figure II.11. Paramétrage d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne [40]

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts clés pour mener à bien rédiger notre mémoire . Nous avons noté que malgré les avantages des isolateurs composites, ils ont également des inconvénients. De plus, l'application de la tension de service combinée à diverses contraintes et leurs interactions peut entraîner la dégradation des isolateurs composites, ce qui doit être détecté rapidement pour éviter leur défaillance. L'utilisation d'anneaux de garde est nécessaire pour uniformiser les distributions de potentiel et de champ électrique le long de l'isolateur afin de le protéger et d'assurer une meilleure performance. Cependant, il y a un manque notable d'études systématiques sur l'utilisation des anneaux de garde dans des conditions polluées. Dans les prochains chapitres, nous tenterons d'identifier l'influence des anneaux de garde sur la distribution du potentiel et du champ électrique dans des conditions de pollution.

Chapitre III

**Modélisation et simulation d'un
isolateur polymère**

Modélisation et simulation d'un isolateur polymère

III.1 Introduction

Dans presque toutes les simulations numériques, la modélisation est considérée comme une étape nécessaire. Elle nous permet, de définir et en étudier les caractéristiques physiques et géométriques du problème posé et également de donner un modèle qui soit simple et qui soit plus proche de la réalité, cela permet d'avoir des résultats plus fiables. Dans le système haute-tension, l'identification de la répartition du champ et du potentiel électrique est une problématique un peu difficile à calculer à cause de la forme non uniforme des matériaux utilisées, et non pas par la simplicité des équations aux dérivées partielles qui les décrivent. Actuellement et avec les progrès de l'informatique, des codes de calcul ont été développés afin de déterminer de façon précise la répartition du champ et du potentiel électrique. Parmi ces codes de calcul, l'outil informatique COMSOL Multiphysics qui a été sélectionné pour avoir des simulations proposées dans cette étude.

III.2. Modélisation et Simulation d'un isolateur polymère

III.2.1. Géométrie de l'isolateur sans anneau de garde

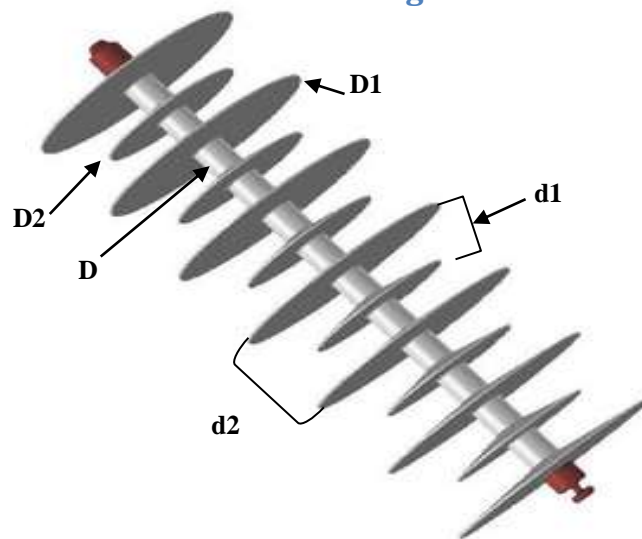


Figure III. 1. La géométrie de l'isolateur étudié $D = 25$ mm (Diamètre de la tige), $D1/D2 = 140/110$ mm (diamètre principal), $d1/d2 = 36/5$ mm (Espace entre ailettes)

La recherche a été effectuée avec un modèle d'un isolateur composite 220 kV ou son enveloppe est formé de matériau « silicone Rubber ». L'isolateur étudié est illustré à la figure (III.1). Les valeurs des paramètres de base sont présentées dans le Tableau (III.1). P est la distance de l'arc sec et L est la ligne fuite, d1/d2 est l'espace entre ailettes, N1/N2 est le nombre d'ailettes, D1/D2 sont le diamètre des ailettes et D est le diamètre de la tige, respectivement.

Tableau III. 1. Paramètres de conception de l'isolateur polymère étudié en mm.

N0	P	L	d1/d2	N1/N2	D1/D2	D
A	2037	6510	36/75	25/25	140/110	25

III.3. Présentation générale du logiciel COMSOL

La technologie informatique nous a offrir, de plus en plus de logiciels informatiques qui ont été largement développés et utilisés dans le domaine de l'ingénierie. L'utilisation du logiciel peut aider les ingénieurs à résoudre efficacement les problèmes. COMSOL Multiphysics est le logiciel grâce auquel l'ingénieur peut non seulement faire des dessins mais aussi faire des analyses physiques. COMSOL Multiphysics est un outil d'analyse par FEM, de de simulation package pour résoudre diverses applications de physique et d'ingénierie. L'environnement de simulation COMSOL facilite toutes les étapes du processus de modélisation, de définir la géométrie, spécifier la physique, maillage, résolution et post-traitement de nos résultat.

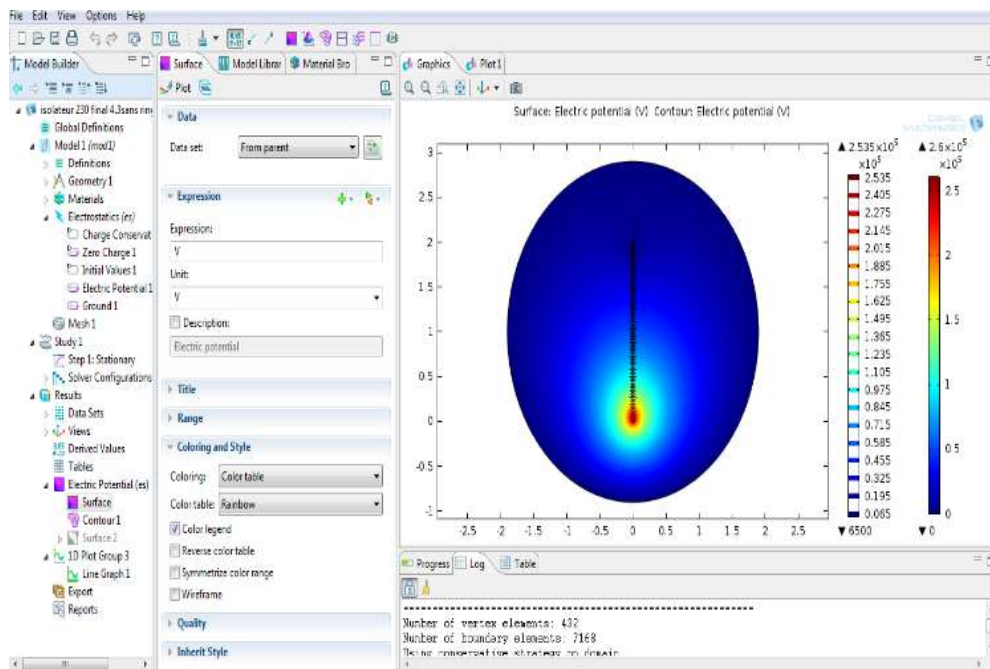


Figure III. 2. Logiciel COMSOL Multiphysics

III.3.1. L'interface graphique de COMSOL

Lorsque le logiciel est lancé, l'utilisateur est dirigé vers le navigateur de modèles. Ce dernier permet de sélectionner le ou les modèles physiques à utiliser et de définir la dimension de l'espace. Les variables spécifiques à chaque modèle sont également indiquées dans cette section. (Figure III.2)

III.3.2. Les modèles D'application

COMSOL Multiphysique offre divers spécifiques à l'application :

- AC/DC Module .
- Acoustiques Module .
- CAD Import Module .
- Chemical Engineering Module.
- Structural Mechanics module.
- Earth Science Module.

La modélisation avec COMSOL Multiphysics se résume dans le diagramme suivant :

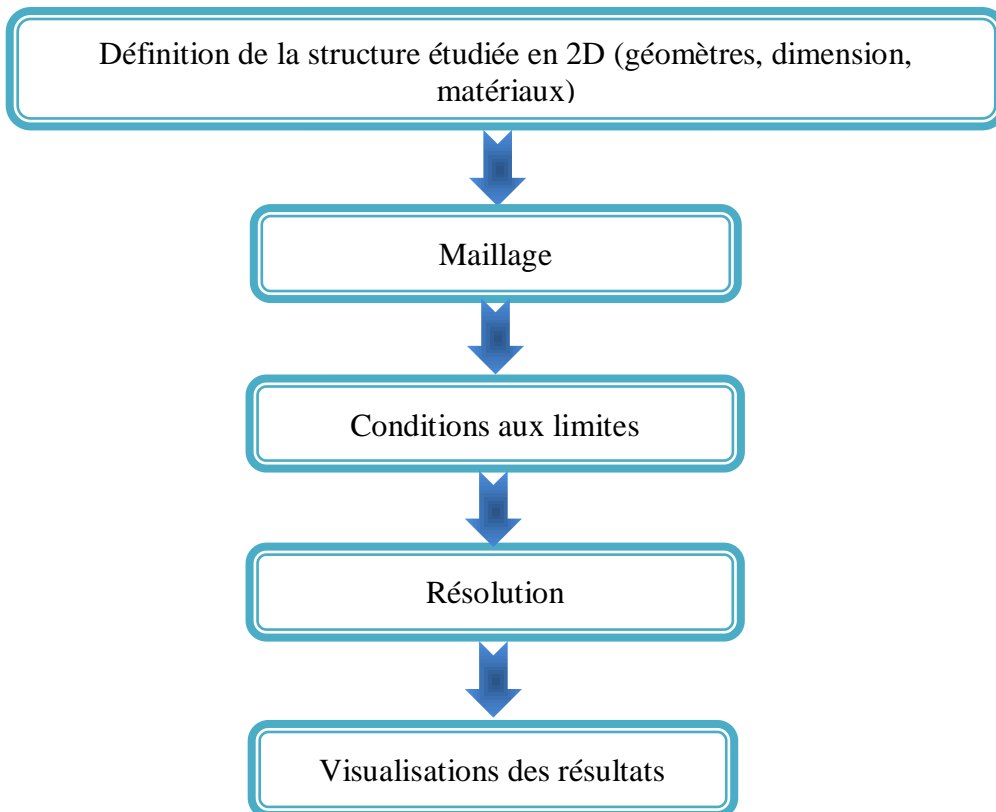


Figure III. 3.Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL

III.3.3. Conditions aux limites

La tension appliquée aux bornes de l'isolateur composite pour toutes les simulations est équivalente à la tension de service entre la phase et la terre. L'une des électrodes est exposée à la valeur efficace de la tension simple du réseau, tandis que l'autre électrode et les bords extérieurs de la région d'air entourant l'isolateur sont maintenus à un potentiel nul (0).

III.3.4. Maillage

Pendant le processus de maillage, le problème de domaine entier est discrétisé en éléments finis sous un type tétraèdre. Cela s'effectuera après la réalisation de notre étape initiale qui concerne la structure du modèle choisi, et même après la spécification des propriétés matériels choisi et des conditions aux limites. Pour augmenter la précision des résultats de simulation calculés, le raffinement du maillage dans la région d'intérêt a été réalisé en augmentant le nombre d'éléments de maille le long de la surface de l'isolateur. Le raffinement qui se traduit par une taille d'élément réduite peut évidemment être vu du maillage concentré le long du chemin de fuite. La sélection du nombre de mailles est nécessaire, car moins d'éléments de maille peuvent diminuer la précision des résultats de simulation, tandis que des éléments excessifs conduisent à des consommations de mémoire et temps de traitement plus long. Un nombre optimisé fournit un temps de calcul plus rapide sans toucher la précision du résultat.

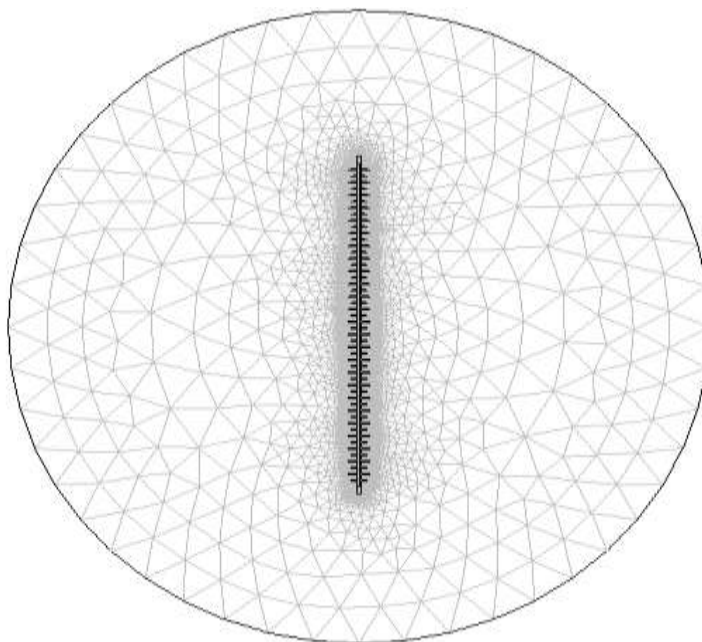


Figure III. 4. Maillage de la géométrie

III.4. Géométrie de l'isolateur avec anneau de garde

L'isolateur étudié mené d'un anneau de garde est illustré à la figure (III.5).

III.4.1. Anneau de garde

l'installation des anneaux de garde sur les lignes de transmission aériennes, permet d'assurer une optimale distribution de tension le long de l'isolateur afin de prévenir toute décharge électrique partielle, spécifiquement à proximité des zones HT. Les anneaux de garde simples sont principalement installés au niveau des postes sur les colonnes isolantes qui se trouve aux limites des jeux de barres.

L'anneau de garde testé se présente sous forme d'un anneau métallique fermé en aluminium. Pour la présente étude, la géométrie de l'anneau de garde a été définie par trois paramètres (figure III.5), soit le rayon T de l'anneau de garde, le diamètre D_r du tube et la position H de l'anneau par rapport à l'électrode. Dans ce mémoire, les trois paramètres de l'anneau sont variables comme il est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III. 2. Paramètres de l'anneau de garde avec ses niveaux

Paramètres	significations	Variation des ranges		
Position de l'anneau de garde	H	0	200	400
Rayon de l'anneau de garde	Dr	150	250	350
Diamètre de l'anneau de garde	T	30	60	90

Ces dimensions ont été définies comme variables pour la méthode d'optimisation proposée dans cette étude afin d'obtenir le champ électrique minimum le long de la chaîne d'isolateurs. La taille de l'anneau de garde installé avec l'isolateur a une influence sur le champ électrique distributions. Cet anneau de garde et ses dimensions sont appliqués à 220 kV.

Le modèle d'isolateur composite avec un anneau de garde, comme il est indiqué sur la figure III.5, 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).

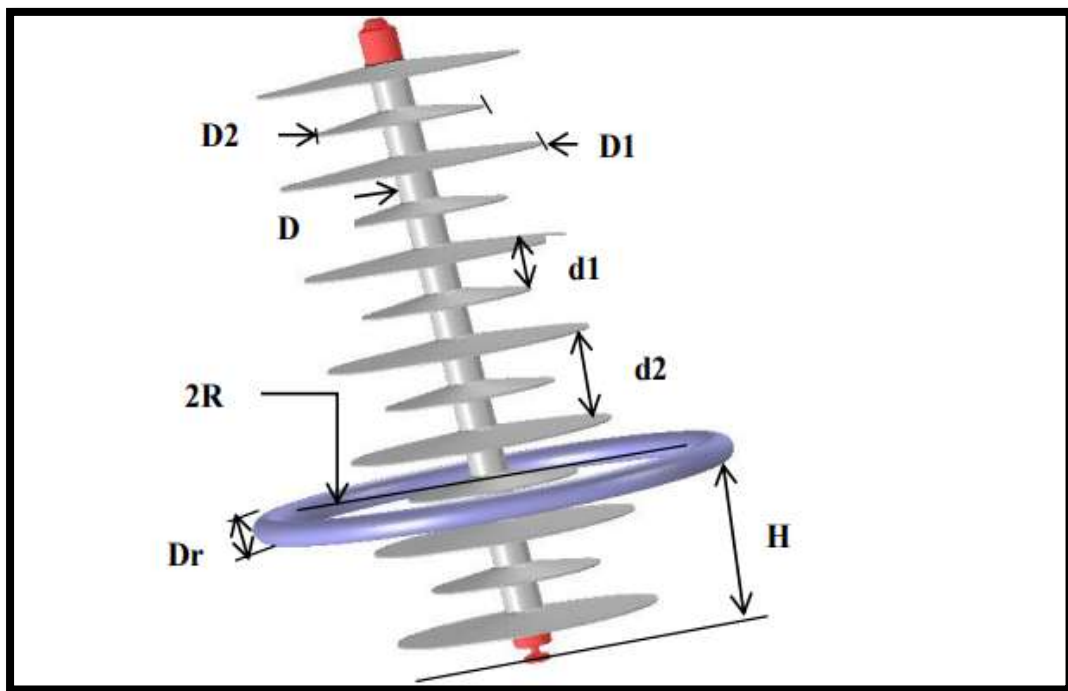


Figure III. 5. Modèle d'isolateur composite et anneau de garde

III.5. Propriétés des matériaux

Pour notre modèle étudié, on a spécifié les propriétés appropriées des matériaux choisis. Des faibles conductivités qui se diffèrent de zéro ont été sélectionnées au noyau et à l'enveloppe de l'isolateur et l'air entourant.

La conductivité électrique σ et la permittivité relative ϵ_r de chaque partie du matériau dans le modèle étudié ont été présentées comme il est illustré dans le tableau III.3.

Tableau III. 3. Propriétés de chaque paramètre de l'isolateur

Matériels	Permittivité Relative ϵ_r	conductivité électrique σ
Silicone rubber	4.3	0
Fibre de verre	7.2	0
Fer	1	$3.77 \cdot 10^7$
l'air	1	0

III.6. Conditions aux limites

La tension appliquée aux bornes de l'isolateur composite pour toutes les simulations est équivalente à la tension de service entre la phase et la terre. L'une des électrodes est exposée à la valeur efficace de la tension simple du réseau, tandis que l'autre électrode et les bords extérieurs de la région d'air entourant l'isolateur sont maintenus à un potentiel nul.

Le tableau III.4 montre l'état de toutes les limites du modèle qui ont été fixées avec les paramètres d'interface appropriés. Une tension de 220 kV a été appliquée aux électrodes alors que le bas de l'isolateur était mis à la terre avec 0 V. La partie extérieure de l'isolateur était entourée d'une couche d'air et tous les intérieurs ont été placés dans la continuité. Les résultats de la simulation sont sensibles aux propriétés des matériaux.

Tableau III. 4. Frontière du champ électrique

Matériels	Niveau de tension
Electrode	Tension appliquée 220kV
Air	Isolation électrique
Terre	0

III.7. Maillage

Une fois le matériau et la limite définis, le modèle a été maillé. En utilisant les fonctions de forme élémentaires telles que les éléments cubiques, rectangulaires, d'arête et solides, le modèle dans la FEA évalue la solution de tous les domaines, frontières, arêtes et points de la chaîne isolante. La fonction de forme dans le modèle peut être constante, linéaire ou supérieure commande. Différentes tailles de mailles ont été testées pour s'assurer que les résultats FEM convergeaient. Un plus fin ou un maillage plus grossier est nécessaire pour obtenir un résultat précis basé sur la séquence d'éléments dans le modèle de chaîne d'isolateurs. La taille des éléments cubiques utilisés pour l'air était normale et tous les domaines du modèle utilisaient un élément plus fin puisque les éléments cubiques eu un effet substantiel sur le temps de simulation. Pour le domaine de la chaîne d'isolateurs, les éléments du cube ont été utilisés, et les éléments solides pour

les éléments de frontière et de bord ont été utilisés pour toutes les arêtes. La figure 3 montre les éléments de maillage dans le modèle 2D.

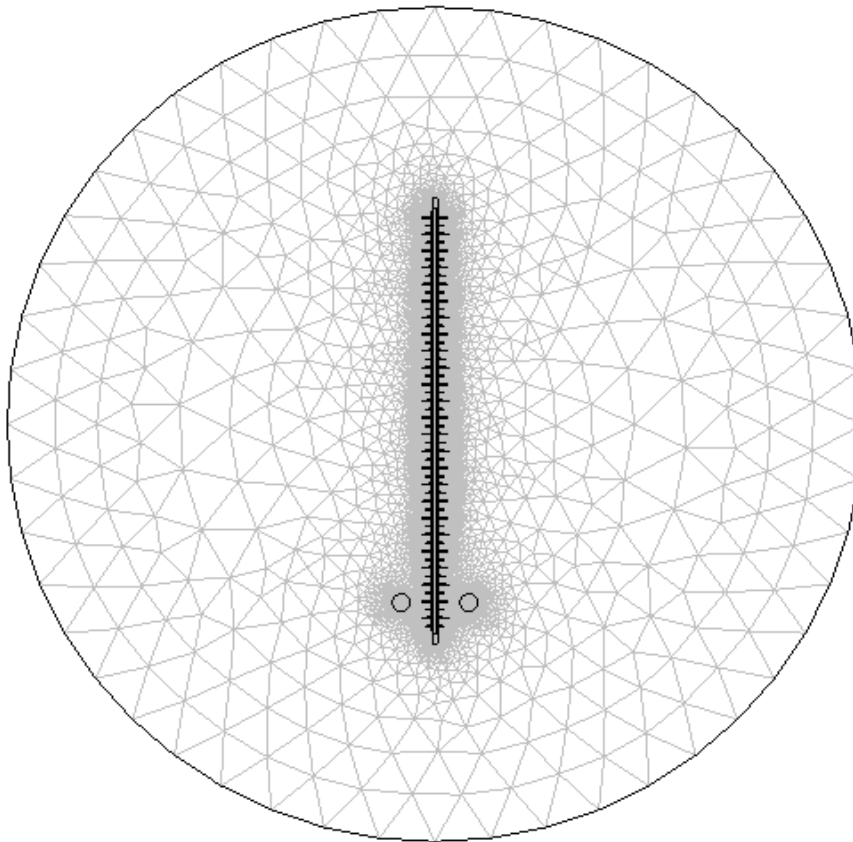


Figure III. 6. Vue du maillage du modèle étudié avec anneau de garde

III.8. Conclusion

Dans ce chapitre, on a effectué des modélisations numériques via le logiciel Comsol Multiphysics avec un isolateur composite 220 kV présentant l'emplacement de l'anneau de garde. Une géométrie de l'isolateur polymère non céramique avec et sans anneau de garde a été modélisé dans une analyse par éléments finis et utilisé pour obtenir la distribution du champ et du potentiel électrique tout au long de l'isolateur. La répartition du champ électrique a été évaluée à l'aide d'une variation de l'anneau de garde ; le diamètre de l'anneau, le diamètre du tube de l'anneau et la position verticale de l'anneau le long de notre isolateur. Les résultats de simulations seront présentés dans le chapitre qui se suit.

Chapitre IV

**Distributions de champ électrique et du
potentiel le long d'isolateur polymère
sous des conditions polluées**

CHAPITRE IV

Distributions de champ électrique et du potentiel le long d'isolateur polymère sous des conditions polluées

IV. Introduction

Un modèle bidimensionnel de géométrie d'isolateur polymère de 220 kV a été modélisé simulé et optimisé avec de succès. Dans ce travail, l'effet des différentes dimensions de l'anneau de garde le long de l'isolateur et les distributions du champ et du potentiel électrique ont été analysées avec succès à l'aide des études de simulations. Les cas avec un anneau de garde, sans anneau de garde et en présence de pollution sont analysés par la méthode des éléments finis (FEA) via le logiciel Comsol pour obtenir la distribution de du champ électrique. Une méthode d'optimisation a été exécutée dans ce travail de recherche pour atteindre la conception optimale de l'anneau de garde le long de l'isolateur étudié. L'analyse de l'effet des paramètres de l'anneau de garde ; la hauteur de l'anneau, l'épaisseur du tube et le rayon de l'anneau, sur la distribution de champ a été effectuée à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA). Ensuite, sur la base de l'optimisation, une approche de surface de réponse (MSR) a été effectuée pour optimiser et minimiser le champ électrique au-dessous de la valeur critique d'amorçage de la décharge corona ; après cela, les paramètres optimisés sont par la suite vérifiés par FEM.

IV.2. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R)

D'une manière générale, une surface de réponse c'est la présentation de la géométrie de la réponse correspondante à un processus spatio-temporel physique aléatoire à des variétés simulées. La propriété étudiée, c'est le résultat de transfert à travers une fonction de transfert ou une fonction de réponse explicite, des variables d'entrée du système, faire changer des valeurs de telles variables peut changer la valeur de la fonction de réponse. Le calcul d'erreur, le choix des variables stimuli et la définition des périodes d'observation doivent être pris en considération par les modèles expérimentaux des

surfaces de réponse. On note X_i ($i= 1..... n$) toutes variables d'entrée stimuli qui représentent le phénomène. Elles sont appelées aussi variables de base. Cette méthode peut permettre de faire une lecture et une interprétation rapide et cela fournit un plan expérimental bien précis de notre système étudié. Le déroulement de l'analyse par cette méthode passe par les points suivants : bien définir la réponse du système qu'on peut modéliser ou à connaître, les facteurs capable de modifier cette réponse choisie. Puis, le nombre de facteurs et le nombre de niveaux pour l'étude, ont défini. Dans cette étude, la méthodologie de surface de réponse est utilisée pour modéliser la relation entre les facteurs étudiés et la tension appliquée sur l'isolateur. 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.

IV.3. Analyse des variances ANOVA

La connaissance de l'approche de la surface de réponse est avérée nécessaire pour évaluer les paramètres et identifier les conditions optimales pour résoudre le problème appris. Cependant, à ce stade, nous ne pouvons pas être sûrs à 100 % de nos résultats Par conséquent, on a besoin d'un outil supplémentaire pour nous dire où le degré auquel nous pouvons de valider nos résultats. Cet outil est le résultat d'une analyse de variance, ANOVA.

IV.4. Conception de Taguchi

La méthode Taguchi inventée par Genichi Taguchi, est une méthode statistique de création d'un plan d'expérience. La méthode se concentre principalement sur la minimisation des variations autour du point de consigne. Dans ce travail, nous avons choisi le design de Taguchi L9, qui permet l'utilisation la modélisation de la surface de réponse. La première étape du RSM consiste à déterminer une approximation adéquate de la relation fonctionnelle réelle entre les variables de Réponse « y » et un ensemble de variables indépendantes.

IV.5. Optimisation de la structure de l'anneau de garde

IV.5.1. Formulation de problème

Le logiciel MINITAB® en combinaison avec COMSOL® a été utilisé pour obtenir une conception d'un anneau de garde optimale. Une analyse statistique ANOVA a été effectuée pour obtenir une réponse optimale à l'aide d'un modèle polynomial du 2^{ème} degré. L'analyse des résultats obtenus tient compte les effets des facteurs et de leurs interactions. Un quadratique modèle par régression a été établi et donné sous la forme suivante :

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

Où, Y est la valeur de réponse souhaitée, a_0 est une constante, a_i , a_{ii} et a_{ij} sont les coefficients des termes linéaire, quadratique et de produit croisé, respectivement. X_i le facteur de codage associé au paramètre considéré. Donc, la tension maximale appliquée aux extrémités de l'isolateur était de $220 * \sqrt{2} / \sqrt{3} \sim 180\text{kV}$ comme il est illustré à la Figure IV.1.

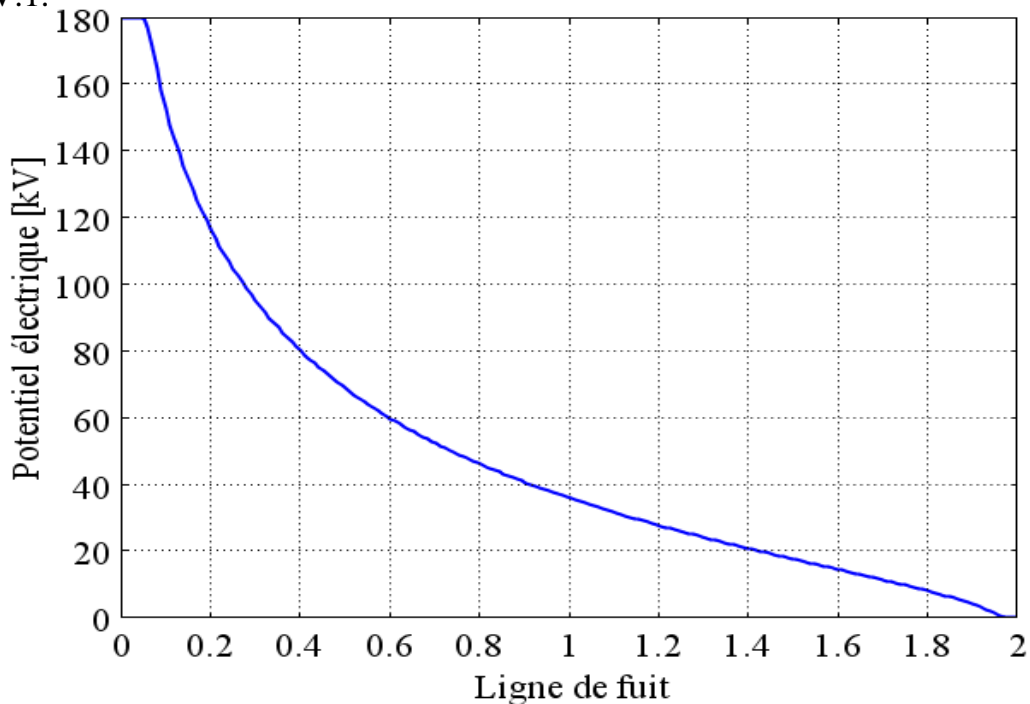


Figure IV. 1.Distribution de potentiel électrique sans anneau de garde

Afin de résoudre des problèmes de conception à l'aide de techniques d'optimisation, il est nécessaire de formuler une fonction objective. Une conception optimale est obtenue en réduisant le champ électrique via cette fonction. La fonction objective consiste en une relation de calculs mathématiques entre l'amplitude du champ électrique et les paramètres de l'anneau de garde. Elle est exprimée comme suit :

$$E=4,206 - 0,003617 Dr - 0,005800 H - 0,04040 T - 0,01283 Pollution + 0,000013 Dr*Dr + 0,000012 H*H + 0,000259 T*T - 0,02183 Pollution*Pollution$$

Les plages de variation de tous les paramètres de conception de l'anneau de garde en présence de pollution sont indiquées dans le tableau.

Tableau IV. 1. Paramètres de l'anneau de garde et pollution de garde

Paramètres	significations	Variation des ranges		
Position de l'anneau de garde	H	0	200	400
rayon de l'anneau de garde	Dr	150	250	350
Diamètre de l'anneau de garde	T	30	60	90
POLLUTION	POLLUTION	-1	0	1

La conception expérimentale adoptée est un réseau orthogonal standard L9Taguchi a été réalisée. Les paramètres à étudier et leurs niveaux sont indiqués dans le tableau IV.2.

Tableau IV. 2. Les différents paramètres par Taguchi L9

Paramètres de l'anneau de garde				Résultats
H	Dr	T	Pollution	E
0	150	30	-1	2.960
0	250	60	0	2.600
0	350	90	1	2.915
200	150	60	1	1.738
200	250	90	-1	1.860
200	350	30	0	2.830
400	150	90	0	1.997
400	250	30	1	2.670
400	350	60	-1	2.580

D'après ce tableau, la valeur minimale du champ électrique est de 1.738 kV/cm. Elle correspond à l'interaction des trois paramètres H ,T , Dr et pollution avec les valeurs de 200,150.60 et 1 respectivement.

IV.6. Résultats et discussion

IV.6.1. Tracés des effets principaux et effets des interactions des paramètres de l'anneau de garde

Figure IV.2 affiche les principaux tracés d'effet des paramètres de l'anneau de garde sur la valeur du champ électrique maximale. Il est remarqué que l'augmentation de l'épaisseur du tube T diminue fortement le champ électrique. En outre, l'augmentation de rayon de l'anneau D a une influence croissante sur le champ E. La hauteur H a un effet décroissant sur le champ E maximum jusqu'à une valeur minimale à 200 mm et après cette durée, il aura un effet croissant. Un effet croissant de pollution de -1 à 0, après cela se décroît.

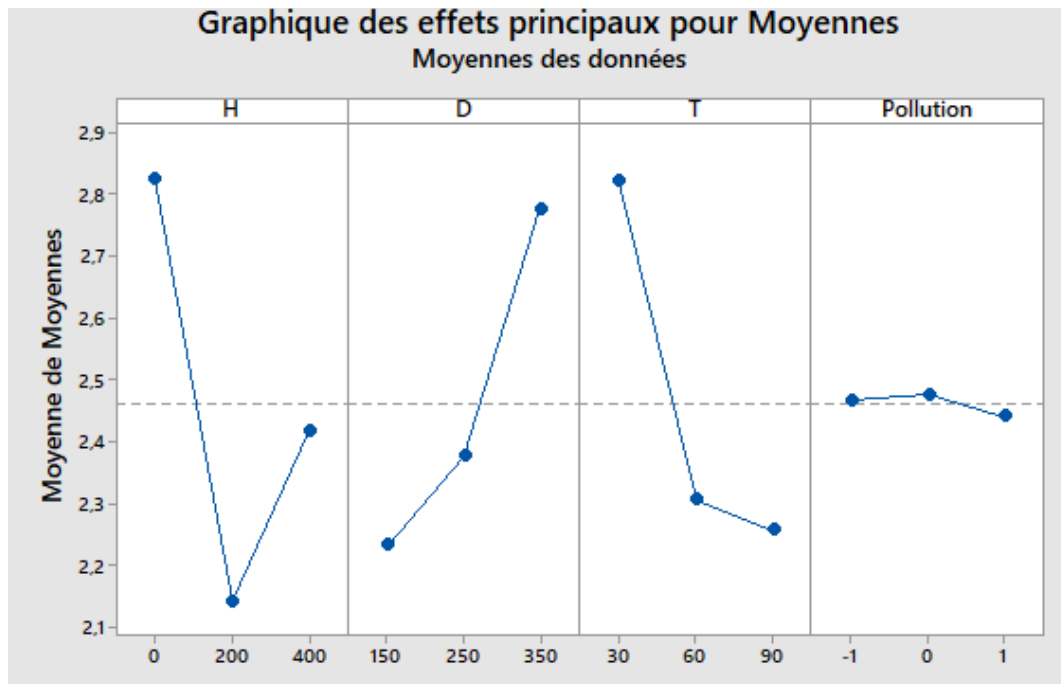
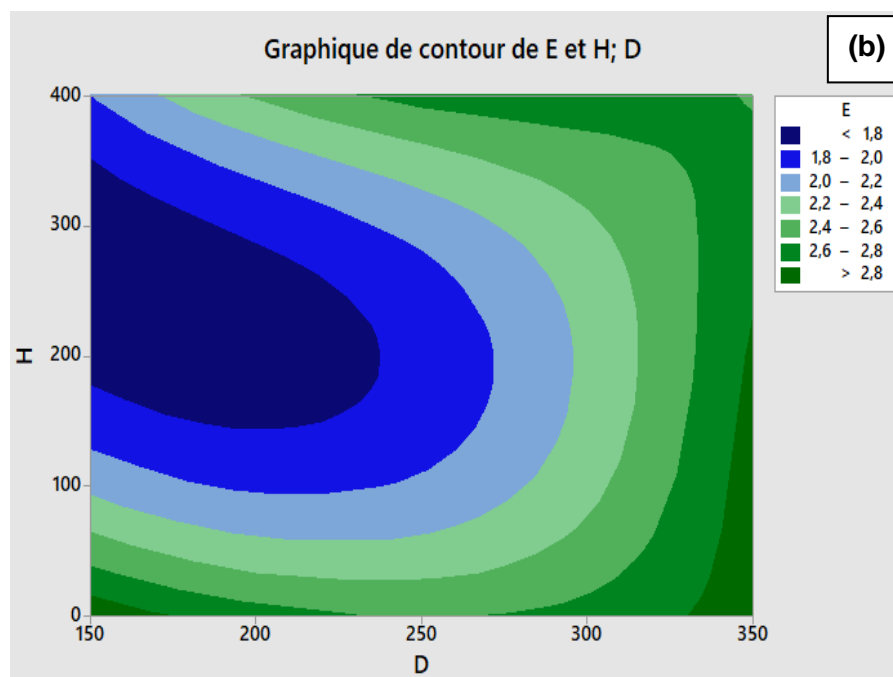
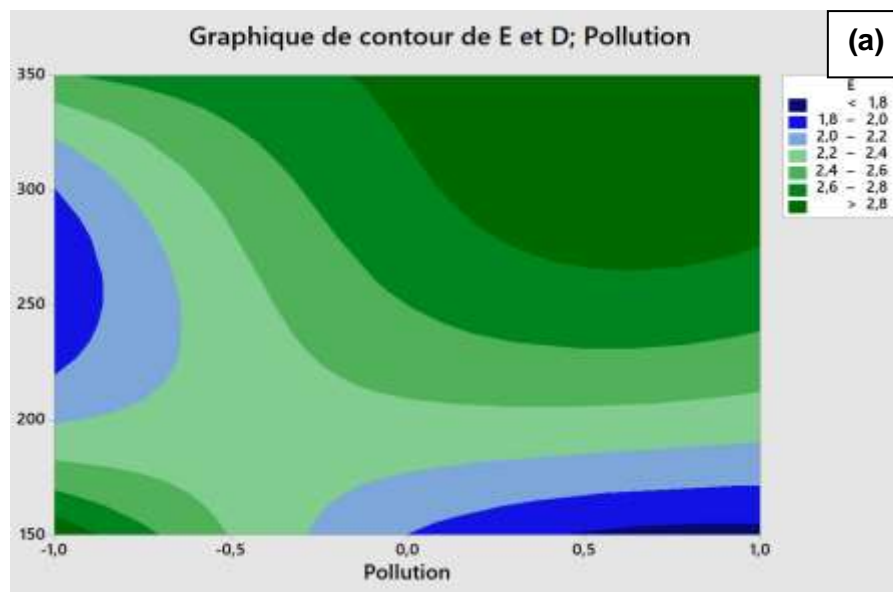


Figure IV. 2. Les effets principaux des paramètres d'anneau de garde H, Dr et T et Pollution sur la valeur maximale du champ E

La Figure IV.3 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 prédicateurs 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 IV.3(a) représente l'influence de rayon en présence de pollution. La figure IV.3(b) 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 hauteur depuis l'extrémité et l'épaisseur du tube annulaire sont indiqués dans la Figure. IV.3(c), tandis que le rayon de l'anneau est maintenu au niveau intermédiaire [41].



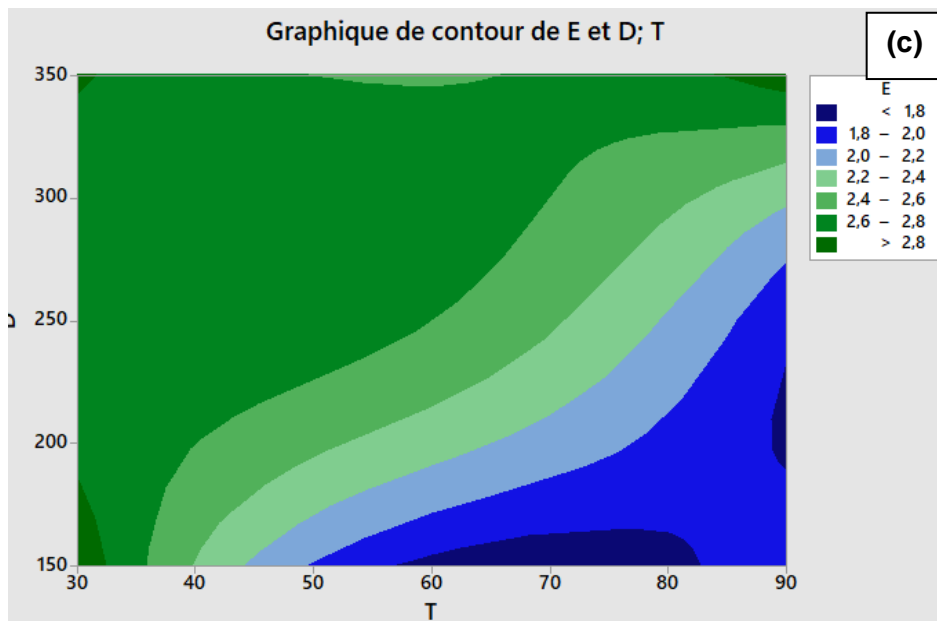


Figure IV. 3. Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l'anneau de garde

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 IV.4. Dans notre cas, la valeur P est de 0,103, ce qui est supérieur à l'alpha de 0,05, par conséquent, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle [41]. Cela signifie que les données suivent une distribution normale, ce qui implique l'adéquation du modèle proposé. 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.

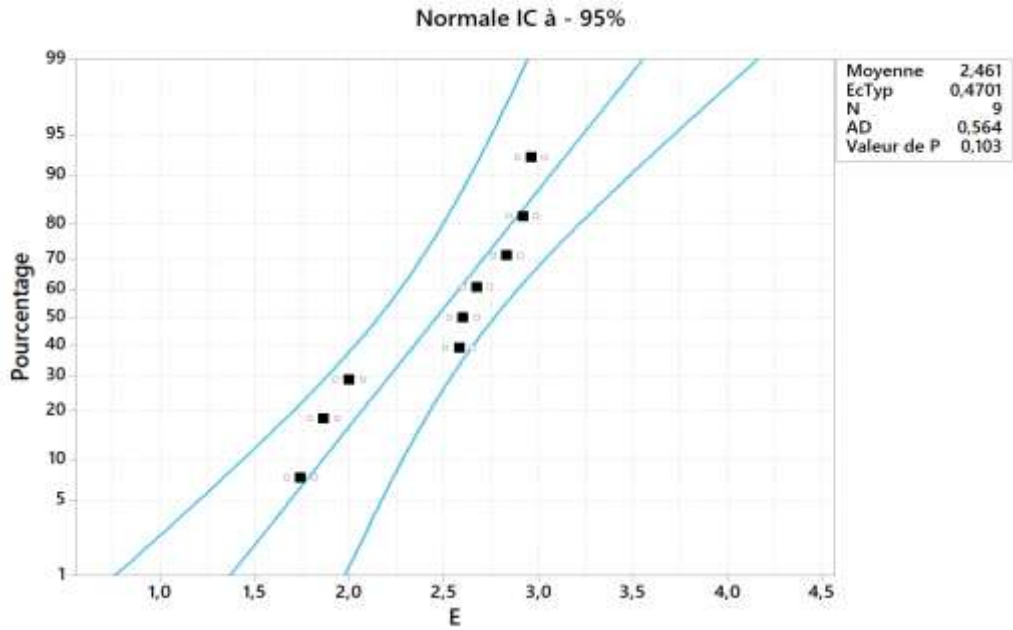


Figure IV. 4. Tracés de normalité avec des intervalles de confiance à 95% du champ E Maximal

La figure IV.5 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 242.4242 mm et le diamètre de tube d'anneau de 77.8788 m. ils peuvent être considérés comme des dimensions optimales. Donc, lorsque l'anneau corona optimisé est installé avec une pollution 1, le champ E maximal est devenu d'environ 1.6 kV / cm, ce qui est bien inférieur au seuil de champ E recommandé.

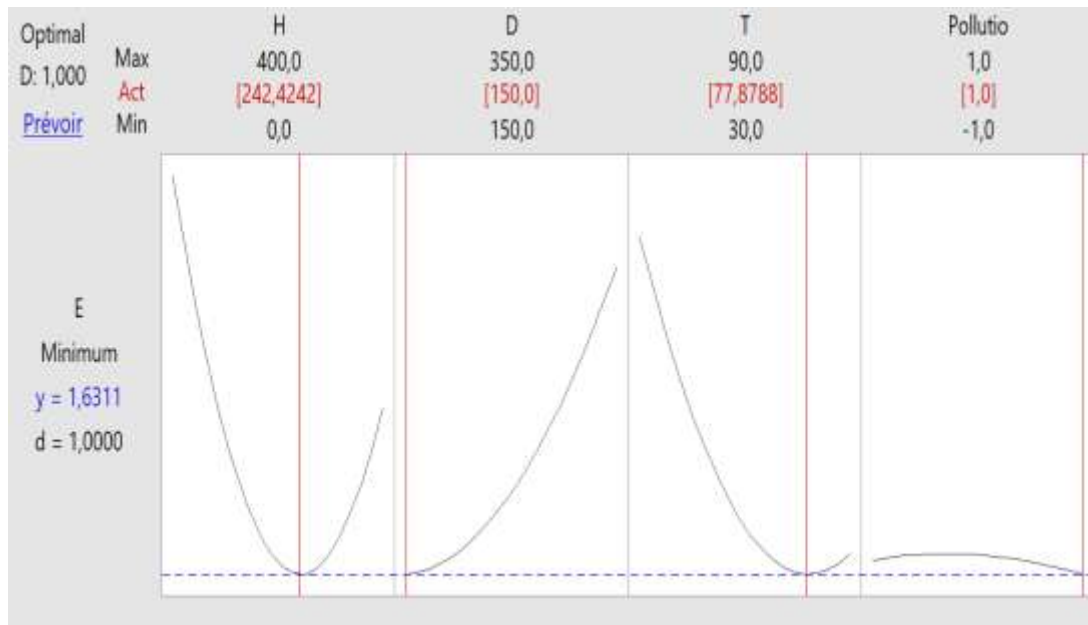


Figure IV. 5. Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau corona (les valeurs optimales sont en rouge)

IV.6.2. Simulations avec sans anneau de garde

IV.6.2.1. Distributions du champ électrique

Généralement, l'activité de décharge couronne est montrée près des raccords d'extrémité, ce qui peut à son tour d'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 $4,2 \text{ kV/cm}$ (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 $4,2 \text{ kV/cm}$.

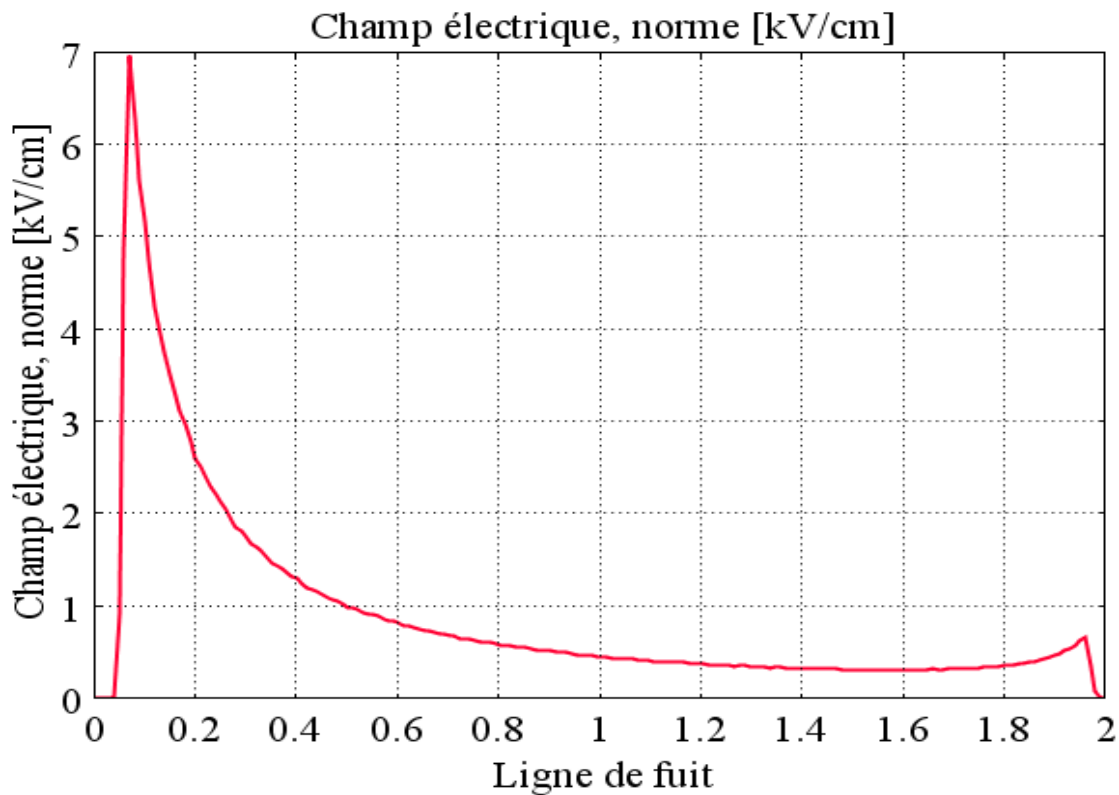


Figure IV. 6. Distribution de champ électrique sans anneau de garde.

Le champ électrique et la distribution de tension sont calculés le long de l'axe central de l'isolateur sans anneau de garde. La figure IV.6 montre que valeur du champ E est clairement augmentée au HV l'électrode de l'isolateur et atteint une valeur maximale et diminue rapidement ensuite.

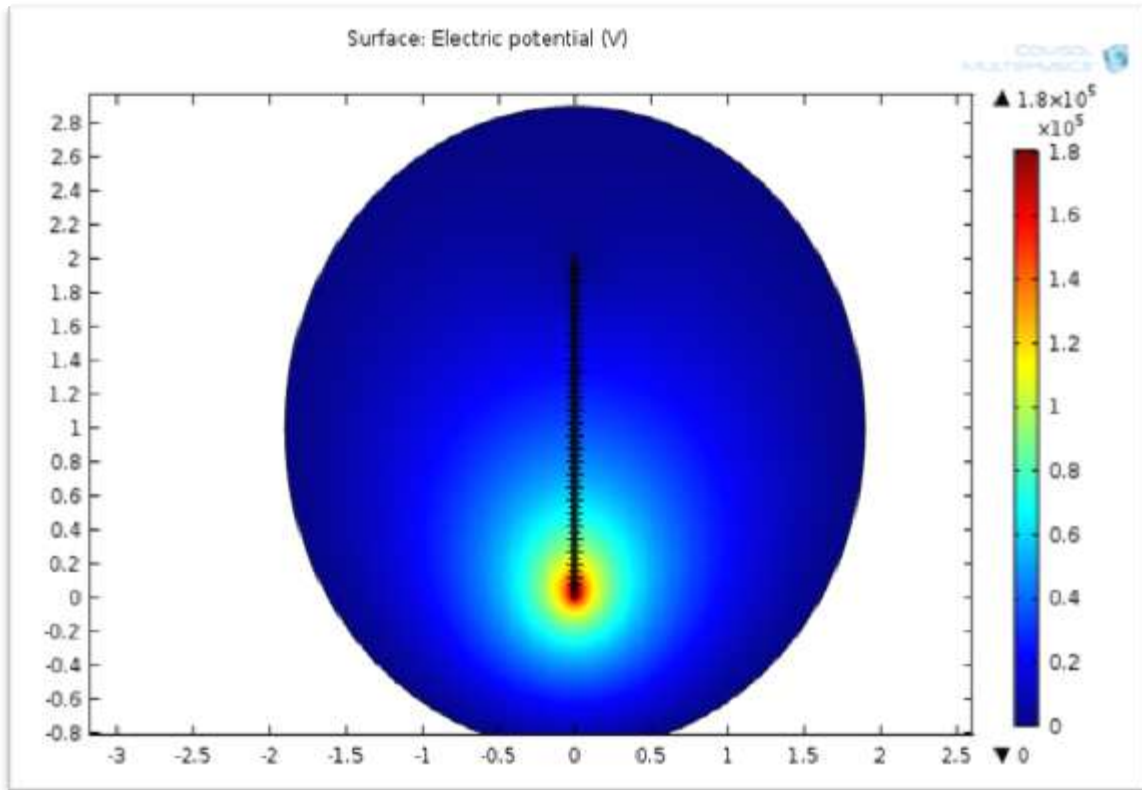


Figure IV. 7. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en absence de l'anneau de garde

Les résultats pour les 220 kV de l'isolateur sans anneau de garde ont été simulés. Les répartitions du champ électrique et du potentiel électrique autour de l'extrémité sous tension le long de l'isolateur sont examinés à l'aide de COMSOL Multiphysics. La figure IV.7 montre la distribution de champ obtenue à partir de la géométrie du modèle créé. Il est remarquable que le gradient de champ électrique à côté de l'extrémité haute tension et de l'extrémité de masse de l'isolateur composite soit élevé. Ainsi, la distribution du champ E le long de l'ensemble des isolateurs composites est non uniforme. De plus, les intensités de champ électrique maximales du côté de l'extrémité sous tension sont augmentées.

IV.6.3. Simulations sans anneau de garde et en présence de couche de pollution

Le dépôt et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs correspondent au profil, hauteur et à la disposition des isolateurs par rapport à la terre. L'action de la pollution sur les isolateurs est très complexe. Le cas d'une pollution uniforme a été déjà étudié par l'auteur de la référence [37]. Dans le présent travail et tenant compte que la pollution n'est pas uniforme, une série de scénarios sera effectuée pour élucider l'impact de la conductivité de la pollution sur la répartition du potentiel et du champ électrique. Conductivité de la pollution $\sigma=10^{-7}\mu\text{S}$ et la permittivité relative =81.

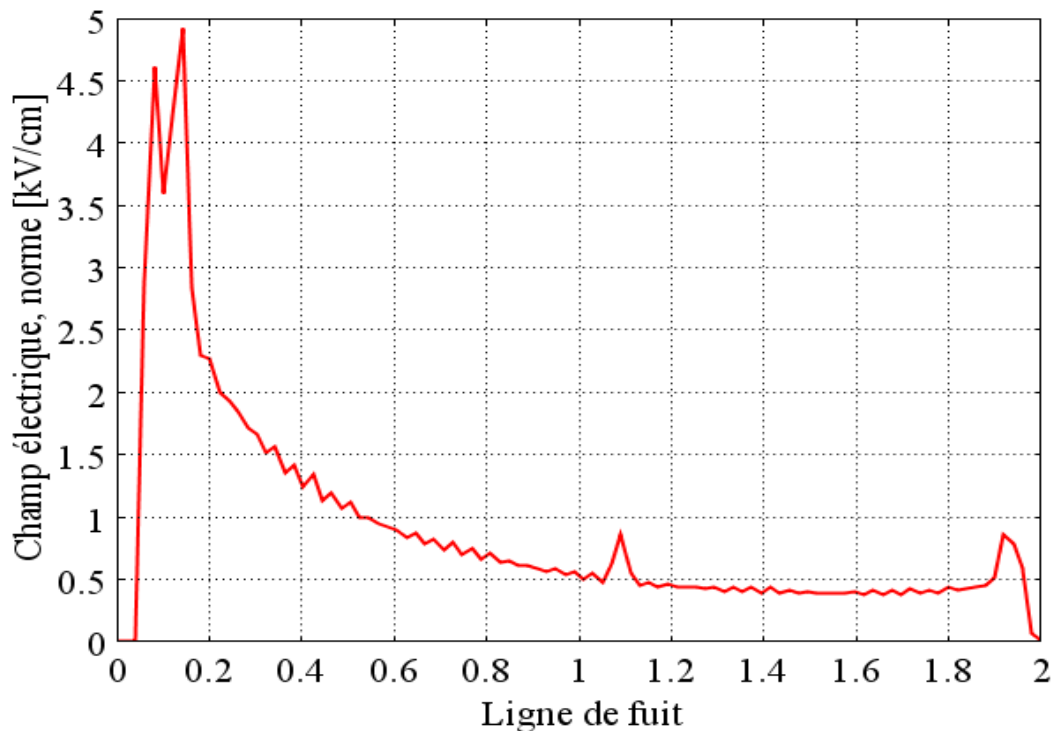


Figure IV. 8. Distribution de champ électrique en fonction de la ligne de fuite, sans anneau de garde et en présence de pollution

La figure IV.8 représente la répartition de champ électrique en fonction de la ligne de fuite en absence anneau de garde et en présence de pollution. On peut remarquer deux étapes dans la fuite de champ électrique, la première étape, nous remarquons la fuite de champ électrique à la valeur requise, et dans la deuxième étape, nous remarquons que la

valeur de champ électrique dépasse la valeur recommandée, et cela est due à l'impact de la pollution sur l'isolateur, et l'élévation de la tension, elle est due à la charge restante dans l'isolateur lors de l'apparition d'une décharge électrique .

IV.6.4. Simulations avec anneau de garde et en présence de couche de pollution

IV.6.4.1. Formation de la bande sèche

Comme il a été dit, le type de pollution a un impact considérable sur la distribution du potentiel et le rend non-uniforme le long de l'isolateur [42]. Il est alors contraint de façons différentes, ce qui favorise l'apparition des bandes sèches. Ce que nous avons exprimé par le nombre -1 côté terre, 0 côté moyen et 1 côté haute tension. Dans le présent scénario, on considère que l'isolateur est fortement pollué sur le côté HT, coté milieu et coté terre dont la surface comporte trois bandes de conductivité en prenant la conductivité de l'air σ égale à $0 \mu\text{S}$. La première bande de conductivité et celle qui se trouve du côté de terre .la bande sèche est supposée apparaitre sous la première ailette. La deuxième bande de conductivité et celle se trouvant du côté milieu. La troisième bande de conductivité et celle se trouvant du côté HT.

Dans cette partie, on va étudier les cas présentés ci-dessous dans le tableau :

Tableau IV. 3. Les cas de étudiés avec la présence de la couche de pollution

Les cas	Tension appliquée	Paramètres de l'anneau de garde [H, Dr et T]	Bande sèche $\sigma=0$ primitivité relative =1	Champ électrique (kV/cm)
Cas 1	HT	0-150-30	Coté terre	2.96
Cas 2	HT	200-150-60	Coté HT	1.74
Cas 3	HT	400-150-90	Au milieu	1.99
Cas 4 paramètres optimisés	HT	242.42- 150- 77.87	1	1.6

Les 3 premiers résultats de simulations sont présentés dans les figures ci-dessous. Le quatrième cas est traité dans la section qui se suit.

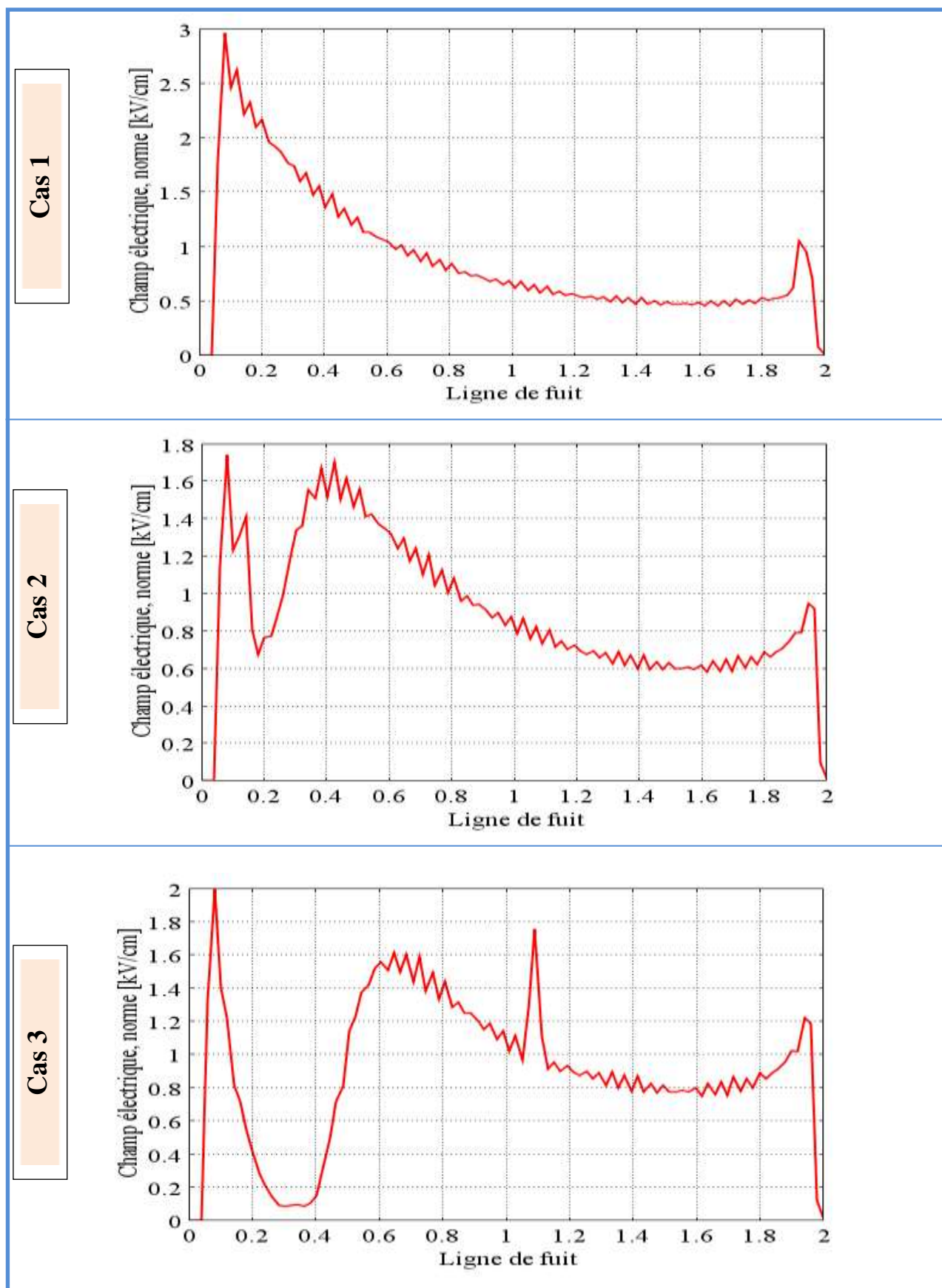


Figure IV. 9. Variation du champ E sur la longueur de l'isolateur des trois cas étudié

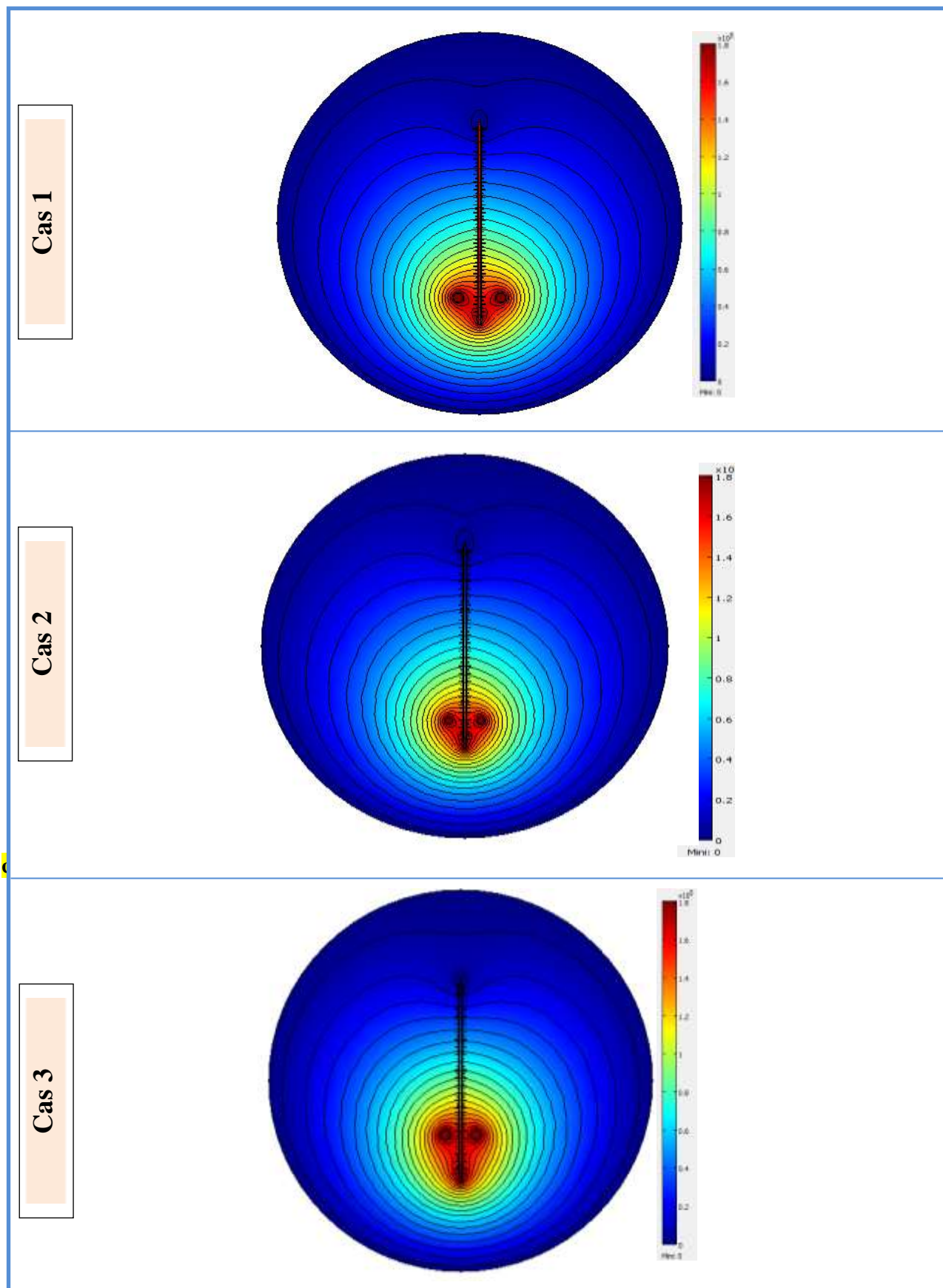


Figure IV. 10. Distribution du champ électrique

Dans le premier cas, la bande sèche se situe au côté terre et avec la position choisie de l'anneau de garde H, Dr et T de valeurs (0-150-30) respectivement. Nous remarquons une diminution de la valeur de champ électrique par rapport au cas sans anneau de garde, et nous remarquons également une légère augmentation de la valeur de champ électrique au côté terre, et cela est dû à la charge restante dans l'isolateur pendant la décharge électrique [42].

On remarque à travers les figures du deuxième cas ou la bande sèche se situe au niveau de l'électrode HT et avec des paramètres de l'anneau de garde H, Dr et T de valeurs (200-150-60) respectivement, une diminution de la valeur du champ électrique par rapport au premier cas, et avec une apparition d'un pic de champ électrique au côté HT.

Dans le troisième cas, la position de l'anneau de garde H, Dr et T est de valeurs (0-150-30) respectivement et la bande sèche est présentée au milieu, On remarque une diminution dans l'allure de champ électrique avec une apparition d'un deuxième pic au milieu due à la position de bande sèche au centre.

L'oscillation apparue dans les courbes de champ électrique des cas étudiés est due au dépôt de couche polluée sur la surface de l'isolateur composite.

IV.6.5. Simulations avec optimisation

D'après l'analyse et les résultats de l'analyse ANOVA et les simulations FEM on peut conclure que le meilleur résultat est lorsque la valeur de champ électrique est 1.6 kV/cm ce qui correspond au paramètre :

Tableau IV. 4.Résultats de paramètres optimisés

H (mm)	Dr (mm)	T (mm)	Pollution (Position)	Champ Electrique E (kV/cm)
242.42	150	77.88	1	1.6

Les figures IV.11 et IV.12 montrent les résultats de la simulation avec les dimensions optimales, où le minimum le champ électrique simulé est de 1.6 kV/cm. A partir de ces figures, 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 répartition du champ E le long de l'ensemble de l'isolateur polymère est améliorée et l'ajout de l'anneau de garde optimisé aboutit à une distribution de tension uniforme. De plus, les intensités de champ électrique maximales près de l'extrémité sous tension diminueront considérablement. Les résultats obtenus conduisent à une meilleure performance à long terme de l'isolateur.

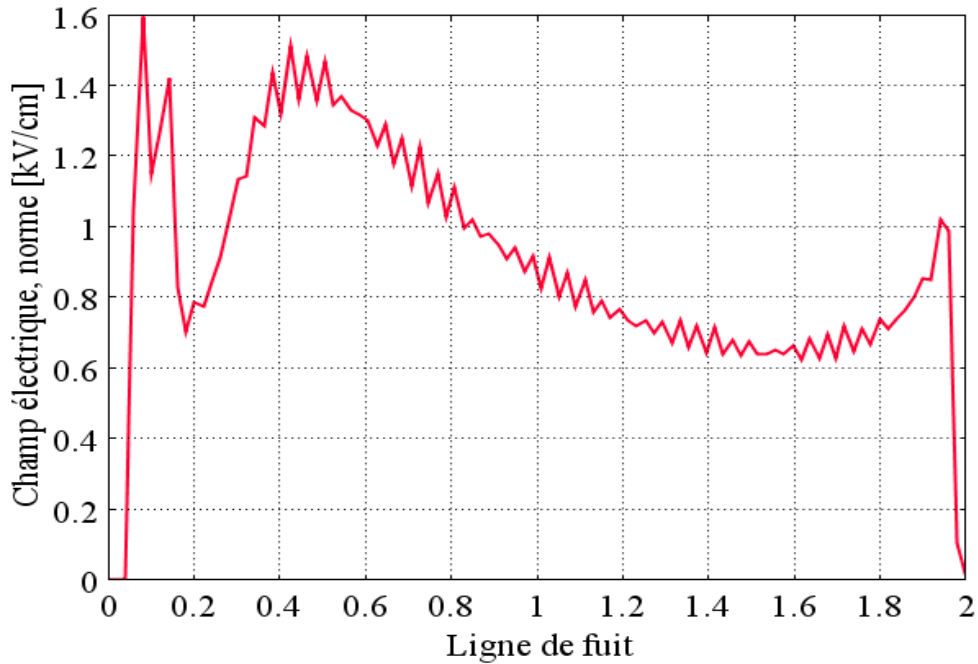


Figure IV. 11. Evolution Champ électrique en fonction de la ligne de fuite

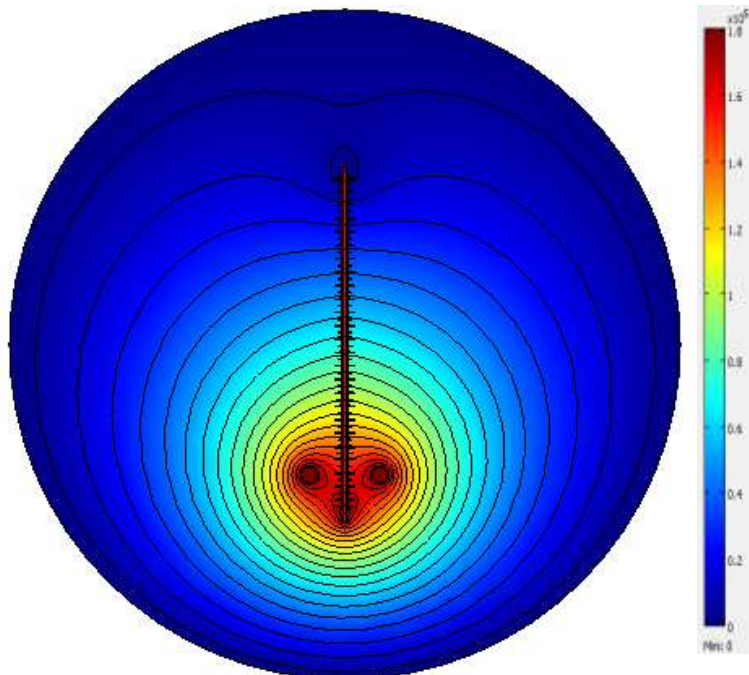


Figure IV. 12. Distribution de champ électrique en présence de l'anneau de garde optimisé

IV.7. Conclusion

Dans la présente partie, l'étude de la distribution du champ électrique le long de l'isolateur composite a été étudiée. 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'amélioration ; la méthodologie de la surface de réponse MSR, qui est développée 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.

Chapitre V

Conclusions Générales

Conclusions Générales

Dans ce mémoire, l'effet de l'anneau de garde le long de l'isolateur polymère et les distributions du champ électrique ont été analysées avec succès en utilisant une simulation modèle. Un modèle bidimensionnel de géométrie d'isolateur composite de 220 kV a été réalisé conçu avec un anneau de garde et sans anneau de garde dans l'analyse par la méthode des éléments finis (FEM) via le logiciel Comsol pour obtenir la distribution de l'amplitude du champ électrique. A partir de résultats obtenus, on a été constaté que la mise en place d'un anneau corona au niveau de l'isolateur peut réduire le champ électrique de manière significative à l'extrémité sous tension. Cela est dû à plus du champ électrique étant redistribuer vers l'extrémité non alimentée de l'isolateur avec la présence de l'anneau de garde. Une méthode d'optimisation, méthodologie de la surface de réponse MSR et l'analyse par ANOVA ont été exécutés avec succès dans ce travail de recherche pour atteindre le conception optimale de l'anneau de garde le long le isolateur composite. Avec l'optimisation, une amplitude de champ électrique minimale à l'extrémité sous tension de l'isolateur est atteinte. La meilleure conception d'optimisation de l'anneau de garde se concentre sur la réduction de la distribution du champ électrique le long de l'isolateur en présence de pollution. En ajoutant la couche de pollution le long de l'isolateur et installation de la dimension optimale de l'anneau de garde, la répartition minimale du champ électrique peut être obtenue. De plus, la simulation modèle peut être améliorée en augmentant le nombre de paramètres à optimiser, tels que la permittivité de l'isolateur. Dans ce travail, il a été démontré que la méthode d'optimisation est adaptée des paramètres optimums d'un anneau de garde pour un modèle d'isolateur composite.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] K. Belhouchet, « Estimation des paramètres de l'arc de contournement des isolateurs pollués en utilisant l'approche génétique », Mémoire de Magistère, université Ferhat Abbas, Sétif, 2011.
- [2] E. Kuffel, W. S Zaengl,., and J. Kuffel, (2003). High Voltage Engineering: Fundamentals.2nd edit., Newness Publications, UK
- [3] MESBAHI Roufaida « Diagnostique d'une chaîne des isolateurs de haute tension par la méthode RNA » master académique, Département de Génie Electrique, Université El-Chahid Hama Lakhder d'El-Oued, 2018.
- [4] P.S Maruvada,. Corona Performance of High Voltage Transmission Lines. Research Studies Press, Baldock, England (2000).
- [5] Cherney, E., «Non-Ceramic insulators a simple design that requires careful analysis IEEE. Electr. Insul. Magaz., N°12, pp. 7-15, 1996.
- [6] A. Abimouloud « Comportement d'une Surface Isolante Partiellement Polluée sous Tension Alternative 50Hz » thèse de magister en Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger Décembre 1999.
- [7] 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
- [8] M. Terkmani, M. Babouamer, «Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension », PFE, USTO, juin 2005.
- [9] N. Boukhalfa, « Contribution à l'étude et à l'optimisation d'un isolateur de ligne 400 kV par la présence de deux anneaux de garde Mémoire du projet de fin d'études université Mohamed Boudiaf - M'SILA 2021.
- [10] B. Hammoum, A. Kerbouche "Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007.
- [11] A. Bouarouri R. Ladjal « Comportement et Caractérisation Electriques d'un Modèle R. 2 d'Isolateur sous Tension Alternative » Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2006.
- [12] N. Khairoun, E. Abderrahmane, D. Zellouta "Essais sur isolateurs pollués et modélisation" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007/2008.
-

- [13] A. S. Bouhadjar, M. Amokrane Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes et modélisation Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008
- [14] A. Lahmar, O. Bechelaleg, « 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 », Mémoire du projet de fin d'études université Mohamed Boudiaf - M'SILA 2021.
- [15] M. Récan, « Application de la méthode des éléments finis à la simulation des transferts dans les eaux souterraines », bureau de recherches géologiques et minières, département eau, 1986.
- [16] 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
- [17] B.R Varlow., J. Robertson and K.P Donnelly, "Nonlinear fillers in electrical insulating materials, " IET Sci. Meas. Technol., vol 1 (2), pp. 96-102, 2007.
- [18] J. Mackevich and M. Shah, "Polymer outdoor insulating materials. Part I: Comparison of porcelain and polymer electrical insulation," IEEE Magazine on Electrical Insulation, vol. 13, pp. 5-12, 1997.
- [19] G. G. Karady, Shah M., and Brown R. L., "Flashover mechanism of silicone rubber insulators used for outdoor insulation-I," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, pp. 1965-1971, 1995.
- [20] S. Chakravorti and H. Steinbigler., "Boundary element studies on insulator shape and electric field around HV insulators with or without pollution," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 7, pp. 169-176, 2000.
- [21] CIGRE Working Group 22.03, « Use of Stress control Rings on Composite Insulators », ELECTRA N°.143, pp. 68-71, août 1992. a.
- [22] Y. Porcheron, « Isolateurs », Techniques de l'ingénieur, section D 4425, pp. 1-9, 1996.
- [23] 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.
- [24] E. Nasser, « Contamination Flashover of Outdoor Insulation », ETZ-A, Vol. 93, pp. 321- 325, 1972
- [25] 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.
-

- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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 and Dielectric Phenomena*, vol.1, pp. 203-206, octobre 2000.
- [29] Masoud Farzaneh, William A. Chisholm, *Insulators for Icing and Polluted Environments*, IEEE Press Series on Power Engineering, octobre 2009.
- [30] E. Nasser, «Contamination Flashover of Outdoor Insulation", *ETZ-A*, Vol. 93, pp. 321- 325, 1972.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] S. Dessanti, F. Moro et R. Turri, « A critical field criterium for assessing RIV inception levels on HV devices », *Proc. 15ieme Inter. Symp. On High Voltage Engineering*, papier T3-479, Ljubljana, Slovénie, 27-31-août 2007.
- [34] 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
- [35] B.R Varlow., J.Robertson and K.P Donnelly, "Nonlinear fillers in electrical insulating materials," *IET Sci. Meas. Technol.*, vol 1 (2), pp. 96-102,2007.
- [36] 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.
- [37] I. Sebestyén, « Optimization for High Voltage Composite Insulators Using Experimental Desing Theory », *Proc. nieme Inter. Symp. On Electromagnetic Fields in Electrical Engineering*, Maribor, Slovénie, papier 1-15, pp. 95-98, 18-20 September 2003.
- [38] J. Y. Saison, « Etude du Phénomène d'Humidification de Dépôts Naturels et Artificiels de Pollutionsur des Isolateurs Electriques », Thèse de Doctorat de l'Université de Strasbourg, 1992.
- [39] 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 and Dielectric Phenomena, vol.1, pp. 203-206, octobre 2000.

[40] S. Dessanti, F. Moro et R. Turri, « A critical field criterium for assessing RIV inception levels on HV devices », Proc. 15^{ieme} Inter. Symp. On High Voltage Engineering, papier T3-479, Ljubljana, Slovénie, 27-31-août 2007.

[41] H. Terrab, A. Kara, “Parameters design optimization of 230 kV corona ring based on electric field analysis and response surface methodology”, Electr. Power Syst. Res. Vol.163, pp782-788, 2017.

[42] N. Alti, "Contribution à l'étude de performances électriques des parafoudres synthétiques sous tension alternative" Mémoire de Magister Université Ferhat Abbas 23/10/2012.

يتيح استخدام حلقات الحماية على خطوط النقل العلوية ومحطات التوزيع والربط، ضمان توزيع أفضل لتدرج الجهد داخل وخارج العازل العازل من أجل تجنب أي تفريغ كهربائي جزئي، وتحديدًا في المناطق المجاورة للتيار العالي. يتحقق تدهور العزل الكهربائي بشكل أساسي أثناء عمليات التفريغ الكهربائية الناتجة عن تغيرات الطقس بسبب الضغط الكهربائي المرتفع مثل التلوث بالقرب من نهاية العوازل. الهدف من هذا البحث هو إجراء دراسة عددية لاستخدام وتحسين حلقات الحماية لتجهيز عازل مركب تحت ظروف التلوث. أولاً، تم إجراء دراسة محاكاة تعتمد على استخدام العناصر المحدودة لتقييم توزيع المجال الكهربائي على طول العازل. من أجل التحكم في ضغط المجال الكهربائي على السطح العازل في وجود التلوث، تم إدخال طريقة إحصائية جديدة للتحليل والتحسين لدراسة العلاقة بين المجال الكهربائي ومعلمة حلقة الحماية (نصف القطر، للحلقة الواقية، وقطر الأنبوب، والموضع)، وستنوع هذه المعلمة في كل مرة في هذا البحث. يتم استخدام تقنية التباين الإحصائية (ANOVA) لتقييم تأثير كل معلمة. تم نمذجة المجال الكهربائي الأقصى والمعلمة المختارة من خلال منهجية سطح الاستجابة. أتاح تحليل نتائج الدراسة إمكانية الحصول على تصميم حلقة حراسة أمثل تكون فيه قيمة دنيا للمجال الكهربائي باستخدام تقنية التحسين. لذلك، يشير هذا إلى قدرة وكفاءة الطرق المقترحة في تحقيق التصميم الأمثل للحلقة الإكليلية على عازل مركب في ظل ظروف ملوثة.

الكلمات الرئيسية: عازل مركب، حلقة اكليلية، مجال كهربائي، طريقة العناصر المحدودة، منهجية سطح الاستجابة، التلوث.

Abstract

The use of corona rings on overhead transmission lines, distribution and interconnection substations makes it possible to ensure a better distribution of the voltage gradient inside and outside the dielectric constituting the insulator in order to avoid any partial electrical discharge, specifically in the vicinity of high voltage parts. Electrical insulation degradation is mainly affected during electrical discharges resulting from high electrical pressure weather changes such as pollution near the end of insulators. The objective of this research is to conduct a numerical study on the use and optimization of guard rings equipping a composite insulator under pollution conditions. First, a simulation study based on the use of finite elements was carried out to evaluate the electric field distribution along the insulator. In order to control the pressure of the electric field on the insulating surface in the presence of pollution, a new statistical method of analysis and optimization has been introduced to deal with the relationship between the electric field and the parameters of the guard ring (the radius T of the guard ring, the diameter D_r of the tube and the position H). These parameters will be varied each time in this search. The statistical technique of variance (ANOVA) is used to assess the impact of each parameter. The maximum electric field and the chosen parameters are modeled by response surface methodology (RMS). The analysis of the results from the study made it possible to obtain an optimal guard ring design in which a minimum value of electric field using the optimization technique. Therefore, this indicates the capability and efficiency of the proposed methods in achieving the optimal design of a corona ring on a composite insulator under polluted conditions.

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

Résumé

L'utilisation des anneaux de garde sur les lignes de transmission aériennes et les postes de distribution et d'interconnexion, permet d'assurer une meilleure répartition du gradient de tension à l'intérieur et à l'extérieur du diélectrique constituant l'isolateur afin d'éviter toute décharge électrique partielle, spécifiquement au voisinage des parties portées à la haute tension. La dégradation de l'isolation électrique est principalement affectée lors des décharges électriques résultant de changements climatiques à haute pression électrique tels que la pollution près de l'extrémité des isolateurs. L'objectif de cette recherche est de conduire une étude numérique sur l'utilisation et l'optimisation d'anneaux de garde équipant un isolateur composite sous conditions de pollution. Dans un premier lieu, une étude simulation basée sur l'utilisation des éléments finis a été réalisée pour évaluer la distribution de champ électrique le long de l'isolateur. Afin de contrôler la pression du champ électrique sur la surface isolante en présence de pollution, une nouvelle méthode statistique d'analyse et d'optimisation a été introduite pour traiter la relation entre le champ électrique et les paramètres de l'anneau de garde (le rayon T de l'anneau de garde, le diamètre D_r du tube et la position H). C'est paramètres sera variés à chaque fois dans cette recherche. La technique statistique de la variance (ANOVA) est utilisée pour évaluer l'impact de chaque paramètre. Le champ électrique maximal et les paramètres choisis sont modélisés par la méthodologie de surface de réponse (RMS). L'analyse des résultats issus de l'étude a permis d'obtenir une conception d'anneau de garde optimale dans laquelle une valeur minimale de champ électrique en utilisant la technique d'optimisation. Par conséquent, cela indique la capacité et l'efficacité des méthodes proposées dans la réalisation de la conception optimale d'un anneau corona sur un isolateur composite sous conditions polluées.

Mots-clés : Isolateur composite, Anneau de garde, Champ électrique, Méthode des éléments finis (FEM), Méthodologie de la surface de réponse, Pollution.