

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
DEHIRI Abderrahim
MEDJDOUB M'Hamed

Intitulé

**Contribution à l'étude d'un isolateur composite
et l'amélioration de profil du champ électrique
à base des matériaux semi-conducteur(ZnO).**

Soutenu le ... / 06 / 2022 devant le jury composé de :

Pr. MESSALTI Sabir	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Président
Dr. BELHOUCHE Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Encadreur
Dr. ZEMMIT Abderrahim	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Co-Encadreur
Dr. DJERIOU Salim	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2021 / 2022

Remerciements

Nous tenons à remercier tout premièrement Allah le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur « **Dr. BELHOUCHE** **Khaled** », pour son suivi continuél tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous donner ses conseils.*

*Nos remerciements vont également à **Dr Zemmit Abderrahim** pour son soutien.*

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département de Génie électrique qui a contribué à notre formation Par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral.

Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail soient assurées de nos plus sincères remerciements.

Dédicace

*Nous dédions ce travail à nos chers parents pour leurs
sacrifices*

Et leurs encouragements durant toutes nos études

A nos frères et nos sœurs

*A toute notre grande famille a tout ce qui nous
connait*

A toutes nos amis

De la promotion du Master

«RESEAUX ELECTRIQUES»2021/2022

*On ne peut trouver les mots justes et sincères pour vous
Exprimer notre affection et nos pensées, vous êtes pour
nous des Frères, sœurs et des amis sûrs qu'on peut
compter.*

*En témoignage de l'amitié qui nous uni et des
souvenirs de tous les moments que nous avons
passé ensemble,*

*On vous dédie Ce travail et on vous souhaite une vie
pleine de santé et de Bonheur.*

MEDJDOUB et DEHIRI

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude de l'efficacité de l'oxyde de zinc (ZnO) pour le contrôle des contraintes électriques sur les isolateurs composites. Dans un premier lieu, une étude exhaustive de la littérature a été faite, suivie d'une étude de modélisation et de simulations. L'étude de la littérature a parlé de généralités sur les isolateurs haute tension et elle a également examiné les dégradations induites par le stress comme cause du vieillissement et les défauts d'isolation, la détermination de distribution de champ électrique, la modélisation d'isolateurs extérieurs et techniques d'optimisation sur le terrain pour améliorer les performances des isolateurs composites. Un isolateur polymère de 15 kV a été modélisé et simulé afin d'obtenir une distribution du champ électrique le long de l'isolateur. Les régions critiques de champ élevé sur les surfaces polymères étaient identifiées. Les résultats des travaux rapportés dans ce mémoire confirment une meilleure compréhension des phénomènes électriques sur les isolateurs extérieurs, et le développement d'une méthode efficace pour contrôler les contraintes du champ électrique sur les isolateurs extérieurs composites. Ce dernier a été réalisé avec succès en utilisant un matériau de gradation non linéaire, ZnO. La technique a fourni une meilleure distribution du champ et plus uniforme le long de la surface polymère.

Mots-clés : isolateur composite, ZnO, champ électrique, méthode des éléments finis (FEM), Simulations, COMSOL.

Abstract

This work focuses on the study of the effectiveness of zinc oxide (ZnO) for stress control on composite exterior insulators. In a first place, an exhaustive study of the literature was made, followed by a study of computer modeling and simulation. The literature review talked about generalities about high voltage insulators and it also looked at stress induced degradations as a cause of aging and insulation defects, determination of electric field distributions, modeling considerations of outdoor insulators and field optimization techniques to improve the performance of composite insulators. A 15 kV polymer insulator was modeled and simulated in order to obtain an electric field distribution along the insulator. Critical high field regions on polymer surfaces were identified. The results of the work reported in this thesis confirm a better understanding of field phenomena on exterior insulators, and the development of an effective approach to control electric field stresses on composite exterior insulators. The latter was successfully achieved using a nonlinear gradation material, ZnO. The technique provided better and more uniform field distribution along the polymer surface.

Keywords : Composite insulator, ZnO, Electric field, Finite element method, MEF, Simulation, COMSOL.

ملخص

يركز مشروع البحث هذا على دراسة فعالية أكسيد الزنك (ZnO) في السيطرة والتحكم في الضغط على العوازل الخارجية المركبة. أولاً ، تم إجراء دراسة شاملة و عامة حول العوازل الكهربائية الخارجية ، تليها دراسة للنمذجة والمحاكاة الحاسوبية التي أجريت على النموذج المقترح في هذه الدراسة. الجزء الأول من الدراسة و الخاص بالعموميات حول عوازل الجهد العالي تناولت التدهور الناتج عن الإجهاد الكهربائي كسبب لعيوب الشيوخة في العوازل، وتحديد توزيعات المجال الكهربائي، كما تناولت تقنيات تحسين العوازل لتحسين أدائها. تم نمذجة ومحاكاة عازل مركب بجهد 15 كيلو فولت من أجل الحصول على توزيع المجال الكهربائي على طول العازل مع تحديد مناطق الحقول العالية الحرجة على سطح العازل. تؤكد نتائج العمل الواردة في هذه الأطروحة فهماً أفضل لظواهر توزيع المجال الكهربائي على العوازل الخارجية ، وتطوير نهج فعال للتحكم في ضغوط المجال الكهربائي على العوازل الخارجية المركبة. تم تحقيق هذا الأخير بنجاح باستخدام مادة أكسيد الزنك، ZnO. قدمت التقنية المقترحة توزيعاً أفضل وأكثر اتساقاً للحقل على طول سطح العازل المركب.

الكلمات المفتاحية: عازل مركب، الحقل الكهربائي ، طريقة الحدود المتناهية (FEM)

المحاكاة، COMSOL.

Table des matières

Table des matières

Liste des Figures

Chapitre 01

Introduction Générale

I.1. Contexte Général	13
I.2. Problématique	14
I.3.Objectifs.....	15
I.4. Structure du mémoire	15

Chapitre 02

Conception et Performance des Isolateurs composites

II.1. Introduction	18
II.2. les isolateurs composites.....	18
II.3. Nature des matériaux	19
II.4. Structure des isolateurs composites.....	20
II.5. Principaux types d'isolateurs composites	21
II.6. Les avantages d'isolateurs composites.....	22
II.7. Dégradation de l'isolateur composite	23
II.8. Techniques d'optimisation	24
II.8.1. L'anneau de garde	24
II.8.2.1. (ZnO), un semi-conducteur	25
II.8.2.1. Les propriétés et les nanostructures du ZnO	25
II.9. Conclusion	28

Chapitre 03

Étude de la distribution du champ électrique sur la surface des isolateurs composites

III.1. Introduction	30
III.2. Isolateur étudié.....	31
III.3. Modélisation par éléments finis.....	32
III.4. Logiciel COMSOL Multiphysics	32
III.5. Applications.....	33
III.6. Maillage.....	34

Chapitre 04

Proposition de contrôle des contraintes sur la surface de l'isolateur composite en appliquant une couche de ZnO

IV.1. Introduction.....	37
IV.2. Simulations.....	38
IV.2.1. propriétés des matériaux.....	38
IV.2.2. Conditions aux limites	39
IV.3. Résultats et interprétations	39
IV.3.1. Isolateur Standards	39
IV.3.1.1. Distribution du potentiel électrique.....	40
IV.3.1.2. Distribution du champ électrique	42
iv.3.2. isolateur avec revêtement.....	44
IV.3.2.1. Distribution du potentiel électrique.....	44
IV.3.2.2. Distribution du champ électrique	46
IV.4. Conclusion	48

Chapitre 05

Conclusions Générales

V.1. Conclusions Générales	50
References	52

Liste des Figures

Figure II. 1. Isolateurs composites su une ligne électrique	19
Figure II. 2. Détails de construction d'un isolateur composite	21
Figure II. 3. Isolateur de suspension composée.....	21
Figure II. 4. Isolateur composé de poste de suspension	22
Figure II. 5. Dégradation de l'isolateur composite	24
Figure II. 6. Maille primitive de la structure Würtzite.	26
Figure II. 7. Les différents plans atomiques denses dans la structure hexagonale compacte	26
Figure III. 1. Exemple de l'isolateur étudié.....	31
Figure III. 2. l'interface utilisateur typique du logiciel	33
Figure III. 3. Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL.....	34
Figure III. 4 . Maillage.....	35
Figure IV. 1. Isolateur sans revêtement développé par Comsol.....	40
Figure IV. 2. Potentiel électrique autour de l'isolateur composite sans revêtement.....	40
Figure IV. 3. Répartition du potentiel électrique sur la surface de l'isolateur Composite sans revêtement	41
Figure IV. 4. Densité de courant sans revêtement ZnO	42
Figure IV. 5. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite sans revêtement.....	43
Figure IV. 6. Répartition du champ électrique autour de l'isolateur sans revêtement.....	43
Figure IV. 7. Isolateur composite avec une couche ZnO	44
Figure IV. 8. Potentiel électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement.....	45
Figure IV. 9. Répartition du potentiel électrique autour de l'isolateur avec revêtement.....	45

Figure IV. 10. Densité de courant avec revêtement ZnO.....	46
Figure IV. 11. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement	47
Figure IV. 12. Répartition du champ électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement	48

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

I.1. Contexte Général

Au cours des dernières années, la société est devenue largement dépendante de l'approvisionnement continu en énergie électrique, celle-ci exige l'installation de lignes aériennes de haute tension afin de minimiser les pertes d'énergie et pour répondre aux besoins électro-énergétiques des consommateurs [1]. Les développements du monde moderne dépendent dans une large mesure d'une alimentation électrique. Avec une demande croissante, les services publics doivent fournir des services sûrs et fiables. Interruptions ou défaillances dans le système électrique peuvent entraîner non seulement des dommages à l'équipement haute tension précieux, mais peut également entraîner des pertes de revenus considérables, en particulier pour les consommateurs industriels. Les isolateurs extérieurs font partie des composants clés de l'alimentation électrique réseau de transport, essentiellement requis pour isoler le pylône de transmission de la source haute tension [2]. Pendant leur utilisation, les isolateurs de ligne doivent résister à une large gamme d'amplitudes de tension sous conditions normales de fonctionnement, ainsi que les transitoires de surtension imposés par la foudre et les opérations de commutation.

Au cours de ces dernières décennies, les isolateurs composites ont commencé à se propager dans les services publics d'électricité du monde entier en remplacement de la céramique traditionnelle [3], [4]. Les isolateurs polymères (composites) offrent de nombreux avantages tels que : poids, facilité de manipulation, faibles coûts d'exploitation et de

maintenance, excellente électrique performances dans des environnements modérément à fortement pollués [5], [6]. Matériau en Polymère, tel que la silicone, démontre une forte hydrophobicité. Cette propriété unique aide à minimiser le courant de fuite et la probabilité de formation de bandes sèches.

I.2. Problématique

Les isolateurs haute tension sont constamment exposés à divers facteurs environnementaux et contaminants, y compris les substances naturelles et agricoles et les émissions industrielles, pendant leur période de service. Les isolateurs proches des régions côtières, par exemple, rencontrent sels de mer alors que ceux des zones urbaines sont soumis aux cendres, à la poussière et aux particules chimiques. Ces particules en suspension dans l'air ont tendance à se déposer et à s'accumuler à la surface de l'isolateur. Les contaminants forment une couche qui peut devenir conducteur lorsqu'il est exposé à des conditions atmosphériques humides telles que le brouillard, la brume et la bruine. La présence de polluants recouvrant la surface de l'isolateur pourrait également réduire la hydrophobicité du matériau polymère, favorisant ainsi la formation d'un film conducteur continu. Le courant de fuite résultant sous la tension du système génère un chauffage résistif qui évapore l'eau des surfaces humides, risquant formation de bandes sèches [7]. De plus, la forme générale des isolateurs polymères provoque densité de courant non uniforme qui favorise un séchage de surface irrégulier. En favorable conditions, les débits peuvent s'allonger sur de nombreuses bandes sèches et, par conséquent, conduire à un contournement complet [8]. L'un des principaux facteurs contribuant au développement des rejets sur les surfaces de l'isolateur est la distribution

du champ électrique sur la surface de l'isolateur. Le profil de champ généralement non uniforme le long de la surface a régions de pic dans lesquelles se forment des bandes sèches. Le contrôle du champ électrique est très souhaitable pour atténuer l'effet des décharges électriques sur les isolateurs extérieurs polymères. Plusieurs techniques ont été introduites pour réguler le champ élevé sur la surface isolante. L'anneau de garde est le dispositif le plus couramment utilisé pour la haute tension des isolateurs pour contrôler les contraintes excessives près des bornes haute tension et de terre [9], [10]. L'utilisation d'un revêtement d'oxyde de zinc est une approche utilisée pour obtenir un soulagement du stress dans le champ élevé au niveau de la région proche des bornes. Le but c'est de trouver un champ contrôlé qui conduit à une distribution de champ uniforme.

I.3.Objectifs

La détermination du champ électrique sur la surface de l'isolateur est importante pour prédire les régions à fortes contraintes sur la surface de l'isolateur. La distribution de champ a été évaluée par une simulation numérique basée sur la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel COMSOL. Un isolateur composite a été modélisé et simulée pour fournir un meilleur aperçu des distributions électriques. L'objectif spécifique de cette recherche est d'évaluer la distribution du champ et du potentiel le long de l'isolateur après l'application d'un revêtement à base d'oxyde de zinc (ZnO) afin d'améliorer ces derniers.

I.4. Structure du mémoire

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

Le chapitre 1 présente et explique la problématique liée aux isolateurs, les objectifs et l'organisation de ce mémoire.

Le chapitre 2 représente une généralité concernant les isolateurs haute tension spécialement les isolateurs composites, y compris les avantages, la conception structurelle et les facteurs contribuant au processus de vieillissement.

Le chapitre 3 Etudie la méthode d'évaluation de la distribution du champ électrique sur la surface des isolateurs composites.

Le chapitre 4 présente une approche pour obtenir un soulagement du stress dans le champ élevé au niveau de la région proche des bornes grâce à l'utilisation d'un revêtement d'oxyde de zinc. Le but c'est de trouver un champ contrôlé qui conduit à une distribution de champ uniforme. Une étude de cas est réalisée pour un isolateur polymère.

Le chapitre 5 Présente des conclusions générales basées sur les résultats de cette étude.

CHAPITRE II

CONCEPTION ET
PERFORMANCE DES ISOLATEURS
COMPOSITES

Conception et Performance des Isolateurs composites

II.1. Introduction

Les isolateurs composites pour les applications extérieures ont été depuis plus de quatre décennies, et la demande augmente rapidement en raison de leur performance dans diverses conditions. Ce chapitre présente une des généralités sur ce type d'isolateurs. Les facteurs contribuant au vieillissement des polymères et les problèmes associés sont discutés pour mieux comprendre la nécessité de trouver une meilleure solution pour améliorer ses performances.

II.2. les isolateurs composites

Les matériaux composites ont connu une utilisation croissante dans les systèmes et composants haute tension au cours des dernières décennies. La Figure II. 1 présente des isolateurs composites sur une ligne électrique. Au début de leur utilisation, les industriels et les équipes de recherches attendaient qu'ils présentent une très bonne résistance à la dégradation due aux conditions de service rencontrées (humidité, oxygène, rayon ultra-violets, variation de température). Cependant, l'expérience, l'observation et les recherches menées ces dernières années ont montré que tous les diélectriques polymères font l'objet de dégradation sous contraintes appliquées ou induites durant leur exploitation pouvant mener à une avarie du système [11] [12] [13] [14]. Ces dernières années, des matériaux isolants composites présentant une excellente résistance aux contraintes environnementales ont été développés. La recherche et le développement relatifs à ce type de matériaux ont été intensifiés [15].



Figure II. 1. Isolateurs composites sur une ligne électrique

II.3. Nature des matériaux

Plusieurs types de matériaux diélectriques composites ont été développés par les fabricants, chacun présentant des propriétés particulières. Dans le domaine des isolateurs extérieurs, trois familles sont particulièrement utilisées : les résines époxy, les élastomères éthylène-propylène et les élastomères silicones. Les résines époxy sont adaptées aux réseaux de distribution HTA compte tenu de leurs mauvaises performances sous environnement pollué. Les élastomères éthylène-propylène qui se déclinent sous trois types à savoir l'éthylène propylène monomère (EPM), l'éthylène propylène diène monomère (EPDM) et les alliages éthylène –propylène et silicone sont utilisés sur une large plage de tension des réseaux de transport et distribution. Toutefois, leurs performances en environnement pollué sont limitées. Les élastomères silicones sont les plus utilisés dans les systèmes d'isolation extérieurs des réseaux de transmission. Une étude réalisée par le groupe de travail 22.03 de la CIGRE [16] a montré que les isolateurs composites utilisent pour la plupart l'élastomère de silicone comme matériau de revêtement. L'EPDM et les autres matériaux ne sont utilisés que minoritairement.

Les isolateurs en silicone ont un meilleur comportement que les isolateurs en EPDM. En effet, tous les isolateurs en Silicone qu'ils ont testée ont pu recouvrir leur hydrophobicité, ce qui ne fut pas le cas des isolateurs en EPDM [17].

II.4. Structure des isolateurs composites

Un isolateur composite (Figure II.2) est constitué de deux parties isolantes, à savoir un noyau et son revêtement extérieur, et des pièces d'accrochage.

Noyau

Le noyau est la partie isolante interne qui assure la résistance mécanique de l'isolateur. Il est constitué de fibres de verre imprégnées de résine, ce qui confère à l'isolateur une bonne tenue mécanique, les fibres sont disposées dans le sens de la traction imposée par le poids du câble suspendu. Le pouvoir isolant du noyau dépend essentiellement du type de fibres et de la résine utilisée, et de la technologie d'ensimage des fibres [18].

Revêtement extérieur et jupes

Ces éléments, électriquement isolants, assurent la ligne de fuite nécessaire et protègent le noyau des intempéries. Il convient de noter que les caoutchoucs synthétiques en silicone ou en EPDM ou même le PTFE sont parmi les revêtements ayant un comportement satisfaisant [6], [15]. Certains types d'isolateurs composites comportent une gaine faite d'un matériau isolant, entre le noyau et les jupes. Cette gaine fait partie du revêtement.

Interface

Une interface est la surface de contact entre les matériaux différents. Dans le cas des isolateurs composites

Pièces d'accrochage

En générale métalliques, elles sont fixées au noyau pour transmettre les

charges mécaniques [20].

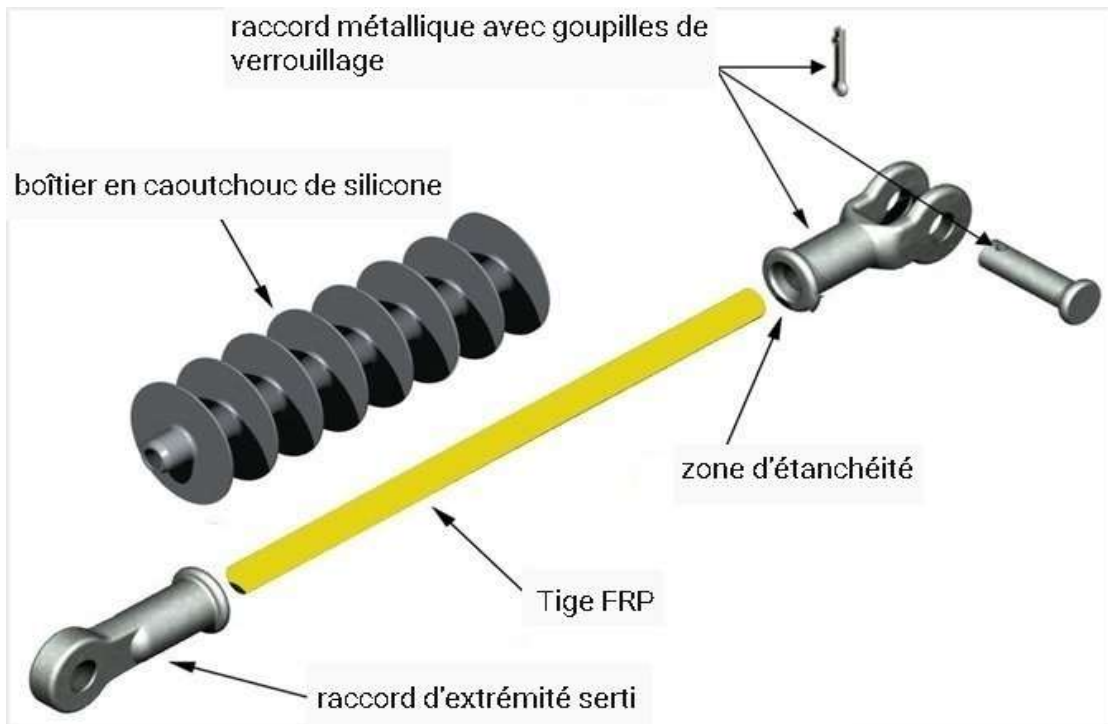


Figure II. 2. Détails de construction d'un isolateur composite

II.5. Principaux types d'isolateurs composites

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

1. Isolateur de suspension est illustré dans la figure II.3, il est utilisé dans les lignes de transmission et de distribution haute tension et pour systèmes BT, MT et HT
2. Isolateur composé de poste de suspension est illustré à la figure II.4, il est utilisé sur les sous-stations et les centrales électriques



Figure II. 3. Isolateur de suspension composée



Figure II. 4. Isolateur composé de poste de suspension

Chaque isolateur composite a des caractéristiques parmi lesquelles :

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

II.6. Les avantages d'isolateurs composites

Les isolateurs composites deviennent populaires en raison de divers avantages offerts. Les isolants extérieurs polymères en matériau polymère, en particulier le caoutchouc de silicone, présentent d'excellentes performances électriques dans des environnements modérés à fortement pollués [21]. Dans une atmosphère humide, l'eau a tendance à perler sur la surface polymère, réduisant ainsi le courant de fuite et la probabilité de formation de bande sèche, ce qui il en résulte une réduction des tensions d'éclair. Il est intéressant de noter que cette propriété peut également être transférée à une couche de pollution sus-jacente [22], ce qui permet d'améliorer les performances de pollution des systèmes d'isolation dans les régions fortement contaminées telles que les zones côtières et industrielles. Même si le boîtier en silicone peut perdre temporairement son hydrophobicité dans des conditions sévères, les matériaux ont été signalés [23, 24] pour pouvoir retrouver l'hydrophobicité après une période de repos suffisante avec l'absence d'activité

de décharge. Les isolants polymères offrent une réduction de poids significative par rapport aux systèmes d'isolation céramique correspondants [25]. Il y a moins besoin d'un support lourd et de grues solides pour l'installation, ce qui se traduit par une manipulation plus facile et des économies substantielles sur les coûts globaux d'installation, d'exploitation et de maintenance. En outre, la mise en tension nominale et la conception compacte de la tour de transmission pour les réseaux de distribution ultra-haute tension (UHV) peuvent être réalisées en pratique avec des isolateurs polymères. Les isolateur polymères ont un rapport résistance mécanique / poids élevé qui permet des portées plus longues et des structures de tour moins coûteuses. Ils offrent une résistance mécanique améliorée sous contrainte de flexion, de déviation et de compression. Il a été rapporté [26-27] que les isolateurs polymères ont passé des essais mécaniques dans des conditions extrêmes sans aucun dommage permanent. Les boîtiers isolants aux propriétés élastiques aident également à prévenir le risque de rupture pendant le transport ou de vandalisme dû à des coups de feu qui pourraient entraîner une défaillance en cascade, comme cela a été le cas avec les isolants en céramique. De plus, des conceptions complexes de hangars météorologiques sont réalisables et facilement moulées à l'aide d'un matériau composite polymère.

II.7. Dégradation de l'isolateur composite

Malgré les avantages mentionnés ci-dessus, les isolants extérieurs polymères souffrent cependant d'un problème de détérioration des matériaux comme le montre la figure II.5, connue sous le nom de vieillissement. Cela est principalement dû à des contraintes concomitantes ; les contraintes environnementales, électriques et mécaniques rencontrées dans diverses conditions de service [28].



Figure II. 5. Dégradation de l'isolateur composite

II.8. Techniques d'optimisation

Il est bien entendu que des champs électriques élevés entraînent des décharges corona, ce qui peut contribuer à la dégradation prématurée du matériau isolant. Contrôle du champ électrique élevé sur les isolateur polymères, en particulier à proximité des deux isolants terminaux, est extrêmement important pour minimiser ces effets indésirables.

II.8.1. L'anneau de garde

L'anneau de garde est l'un des méthodes d'optimisation des champs, est un dispositif commun utilisé pour contrôler la contrainte de champ aux hautes bornes de tension et de terre. Son installation sur des isolateurs peut réduire efficacement champs élevés dans les zones critiques de la surface de ce dernier. L'anneau de garde, diminue le champ concentré près de l'électrode, abaissant ainsi l'amplitude du champ en dessous du seuil de création de

couronne, et minimise la possibilité de panne avec la chute de tension la plus

élevée.

II.8.2. Amélioration en ajoutant l'oxyde de zinc

Les performances supérieures des parafoudres à oxyde de zinc par rapport à celles des dispositifs de protection contre les surtensions précédents sont principalement dues à leur courant de tension hautement non linéaire caractéristiques et leur capacité d'absorption d'énergie [31]. Récent développements dans la fabrication de microvaristances ZnO, couplés à des composé avec des matériaux à base de silicone, offre une opportunité unique de contrôler le champ distribution sur les surfaces isolantes polymères. Dans la littérature, les isolateurs composites ayant une âme entièrement recouvert d'une fine couche de microvaristance a été modélisé par la méthode des éléments finis, et les résultats ont indiqué la suppression des activités de rejet. Le champ électrique et la distribution le long de la surface de l'isolateur a été notablement amélioré. Dans les chapitres suivants, on va discuter l'influence de l'utilisation d'un revêtement à base de ZnO en utilisant la méthode des éléments finis en interprétant les résultats de simulation.

II.8.2.1. (ZnO), un semi-conducteur

L'oxyde de zinc (ZnO) est un semi-conducteur de type II-VI, qui possède des propriétés remarquables. C'est un matériau très prometteur, dans le développement des nouveaux matériaux pour l'énergie renouvelable et pour l'environnement [32].

II.8.2.1. Les propriétés et les nanostructures du ZnO

II.8.2.1.1. Propriétés structurales

C'est un composé binaire inorganique, l'oxyde de zinc existe sous deux formes cristallines : la structure cubique (Blende) qui apparait sous des pressions élevées et qui est instable ; et la structure hexagonale (de type Wurtzite) qui est thermodynamiquement la plus stable. Dans des conditions normales de température et de pression, les paramètres de maille sont donnés par $a = 0,325$ nm et $c = 0,5206$ nm [32]. Le ZnO a aussi la propriété, dans certaines

conditions, de posséder des atomes interstitiels, engendrés par l'espace vide entre les atomes de zinc et d'oxygène qui ne remplissent que 40% de l'espace cristallin.

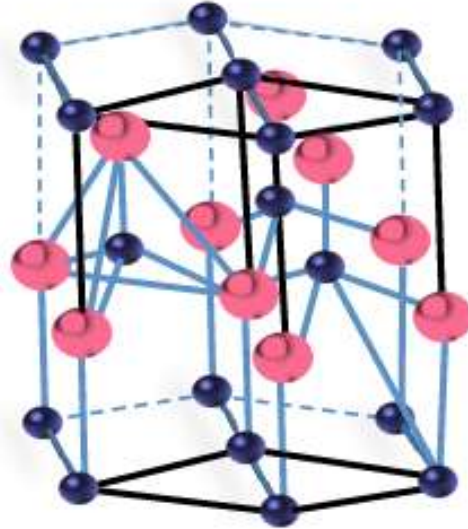


Figure II. 6. Maille primitive de la structure Würtzite.

La figure II.7 présente les différents plans atomiques denses dans la structure hexagonale compacte, les plans (0001) sont appelés les plans de base, les plans c ou encore les plans polaires ; alors que les plans non polaires sont appelés les plans prismatiques, définis par les plans (1120) et (1100) qui représentent les plans prismatiques de second ordre (plan a) et de premier ordre (plan m) respectivement.

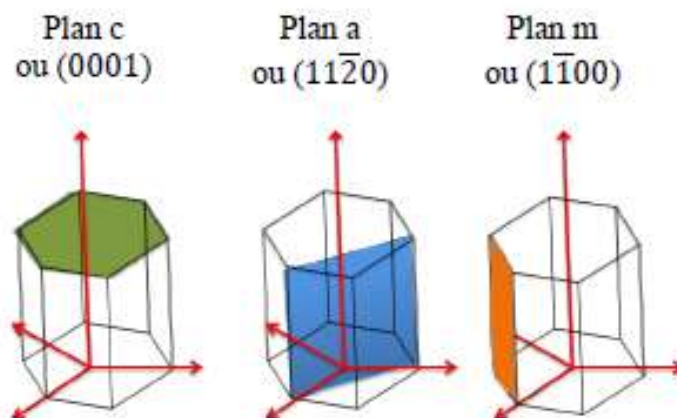


Figure II. 7. Les différents plans atomiques denses dans la structure hexagonale compacte

II.8.2.2. Propriétés piézoélectriques

L'effet piézoélectrique est directement lié à la nature de sa structure cristalline. L'oxyde de zinc est constitué d'atomes de zinc et d'oxygène formant un tétraèdre non Centro symétrique ; ce qui conduit à un décalage du centre de charge lors d'une application d'une force externe, avec apparition d'un moment dipolaire. Cette polarisation implique une différence de potentiel entre les faces. Cette propriété permet au matériau de générer une déformation mécanique lors de l'application d'un champ électrique qui provoque un transfert d'ions des mailles élémentaires. Le ZnO présente une constante diélectrique relative de 8,75 [32], ce qui lui confère un effet piézoélectrique élevé parmi les semi-conducteurs. Ayant la propriété d'être matériau anisotrope, le ZnO est caractérisé par un tenseur à trois constantes indépendantes : e_{15} , e_{31} , e_{33} , ayant des valeurs théoriques de modules de -0,46, -0,55 et 1,19 Cm⁻² respectivement

II.8.2.1.4. Propriétés photo catalytiques

L'oxyde de zinc possède également des propriétés photo catalytiques. Sous l'effet d'une excitation lumineuse, le ZnO permet d'accélérer la réaction chimique en augmentant considérablement sa vitesse d'avancement. De ce fait, le semi-conducteur aura pour but de conduire à une minéralisation complète du polluant organique via les réactions d'oxydation rapide [33-34], tels les pesticides, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les solvants chlores, les colorants, les composés pharmaceutiques, les antibiotiques, les composés organiques volatiles (COVs), les inorganiques (cyanures, nitrites), ou encore les composés microbiologiques (bactéries, virus, champignons, etc.). L'efficacité photo catalytique du ZnO est principalement liée aux procédés de synthèse.

II.9. Conclusion

Des généralités sur les performances des isolateurs polymères ont été présentées. On a discuté également les contraintes en service et la détermination et le contrôle de distribution du champ électrique. Les problèmes de dégradation qui provoquent le vieillissement de l'isolateur polymère ont été revu, ainsi que les méthodes d'optimisations utilisées pour gérer ce problème par conséquent améliorer les performances et allonger la durée de vie de l'isolateur composite.

CHAPITRE III

ÉTUDE DE LA DISTRIBUTION DU
CHAMP ELECTRIQUE SUR LA
SURFACE DES
ISOLATEURS COMPOSITES

Chapitre 03

Étude de la distribution du champ électrique sur la surface des isolateurs composites

III.1. Introduction

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

III.2. Isolateur étudié

L'isolant qui a été considéré dans cette étude, est un isolateur composite standard de 15 kV, illustré à la figure III.1. L'isolateur se compose de trois composants principaux ; embouts métalliques, âme en fibre et boîtier isolant. Dans cette étude, les embouts métalliques étaient en fer forgé. Ces raccords sont sertis sur une fibre renforcée d'une tige en plastique comme un noyau à une distance de séparation de 160 mm. Bien qu'en pratique, la classification des contraintes ne soit pas nécessaire pour les systèmes de 15 kV, pour les applications réelles, des simulations et des tests en laboratoire doivent être appliqués sur les systèmes avec une tension nominale plus élevée, normalement supérieure à 200 kV où un système de contrôle du stress est très nécessaire.

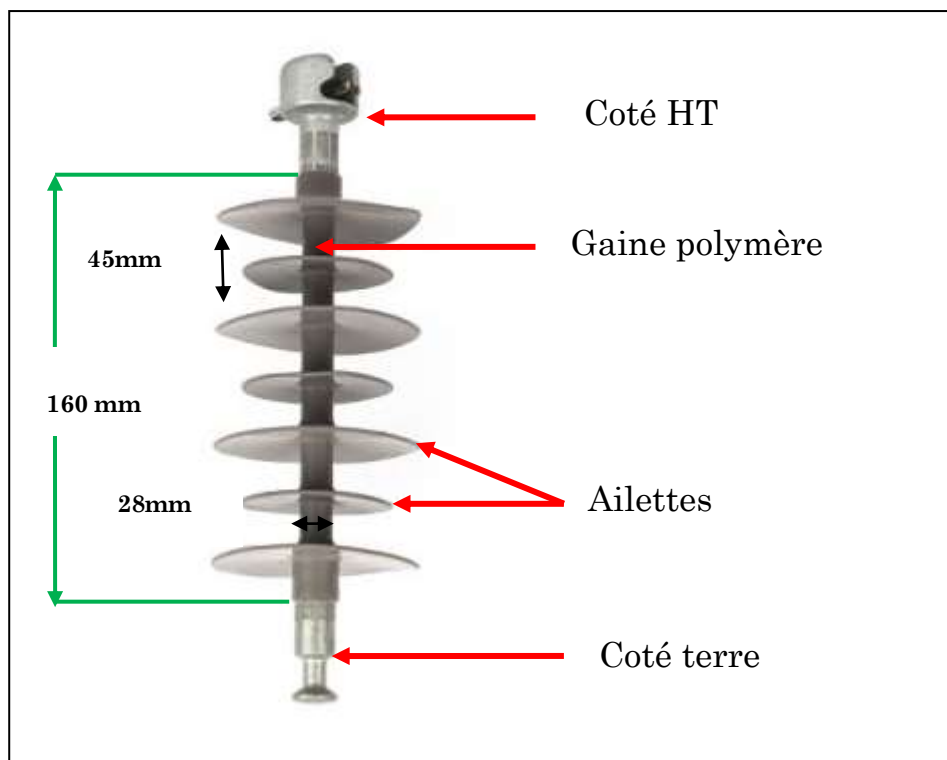


Figure III. 1. Géométrie de l'isolateur étudié

III.3. Modélisation par éléments finis

La modélisation et les calculs sur le terrain de cette étude ont été effectués à l'aide d'un logiciel d'éléments finis commercial, COMSOL Multiphysics version 3.5a. La simulation est effectuée en trois étapes consécutives à savoir, pré-traitement, résolution et étapes de post-traitement. Composantes du problème physique telles que la géométrie la structure, les propriétés des matériaux et des limites, ainsi que les critères de maillage sont présentés en tant qu'entrées dans la phase de pré-traitement. Le modèle mathématique, normalement exprimé sous forme des équations différentielles qui décrivent le problème physique, est exécuté dans l'étape de résolution. Enfin, dans l'étape de post-traitement, le package permet aux utilisateurs de générer un graphique de la variables ou paramètres de post-traitement. Le modèle de l'isolateur polymère a été créé en utilisant le COMSOL. Étant donné que la structure de l'isolateur est de forme cylindrique, la modélisation peut être simplifiée en un modèle bidimensionnel (2D). Cette simplification peut économiser une mémoire et un temps de traitement considérables sans affecter la précision de résultats de la simulation.

III.4. Logiciel COMSOL Multiphysics

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. OMSOL Multiphysics est un logiciel d'analyse par éléments finis, de solveur et 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 résultats [35, 36].

III.5. Applications

Il existe plusieurs modules spécifiques aux applications dans COMSOL Multiphysics. Les applications les plus courantes sont [35] :

- ❖ Module DC/AC
- ❖ Module acoustique
- ❖ Module d'importation CAD
- ❖ Module Génie Chimique
- ❖ Module Sciences de la Terre
- ❖ Module de transfert de chaleur
- ❖ Bibliothèque de matériaux

Dans ce mémoire, le module DC/AC sera introduit et utilisé afin de résoudre les problèmes des isolateurs composites. Les simulations sont basées sur les équations de Maxwell et sur les lois des matériaux. Sur la figure III.2, il y a l'interface utilisateur typique du logiciel.

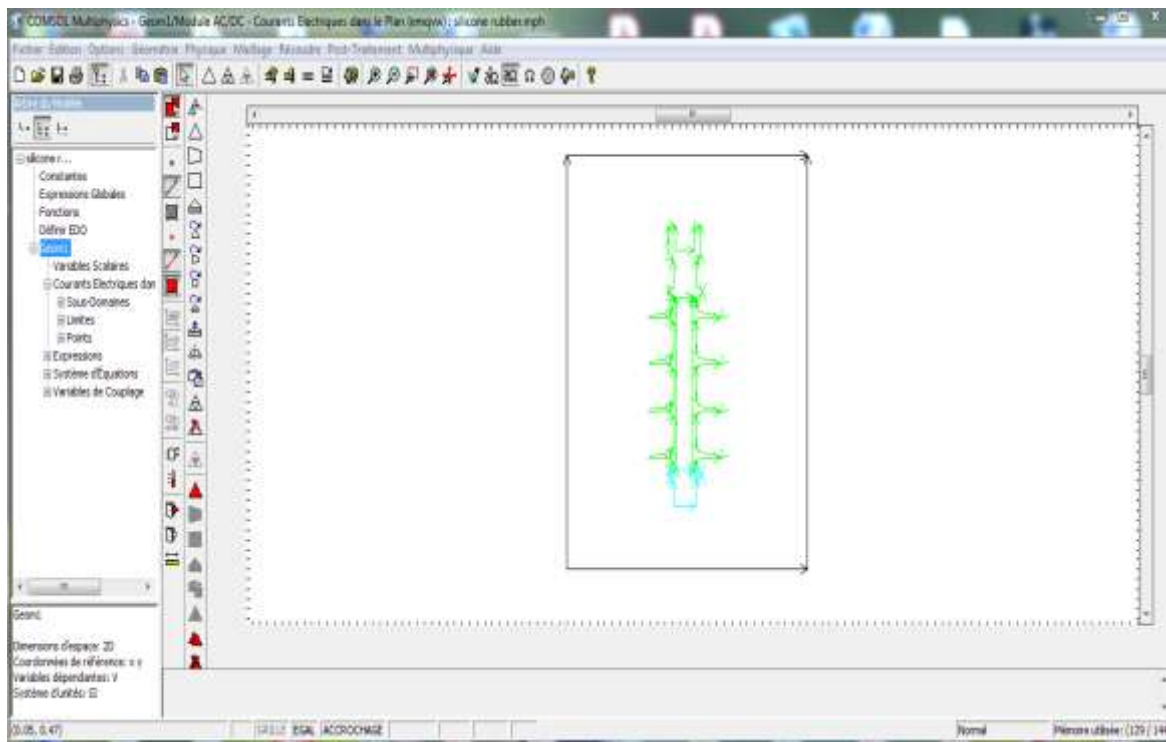


Figure III. 2. L'interface utilisateur typique du logiciel

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

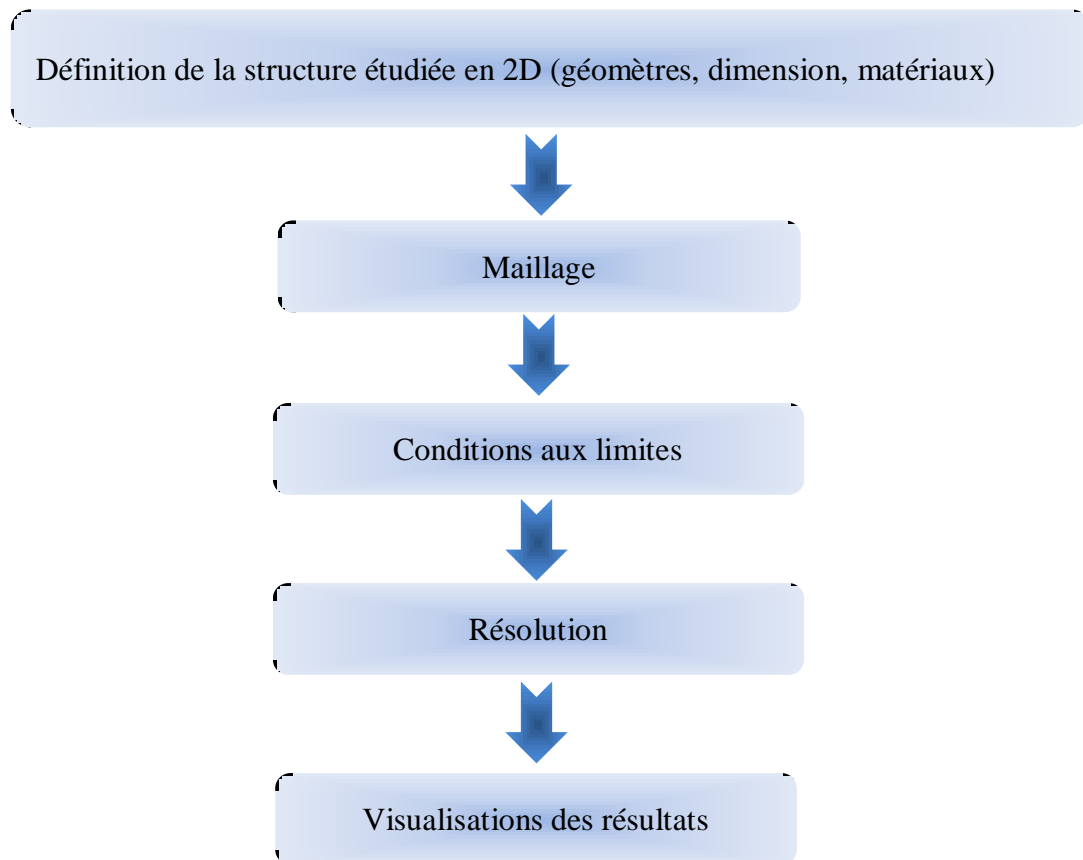


Figure III. 3. Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL

III.6. Maillage

Après avoir terminé l'étape initiale avec la structure du modèle, ainsi que la spécification propriétés des matériaux et conditions aux limites, l'ensemble du problème du domaine a été discrétisé en éléments triangulaires non superposés pendant le processus de maillage. 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 comme illustré à la Figure III.2. Le choix du nombre de mailles est

important et doit être équilibré, car moins d'éléments de maille peut réduire 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 compromettre la précision du résultat.

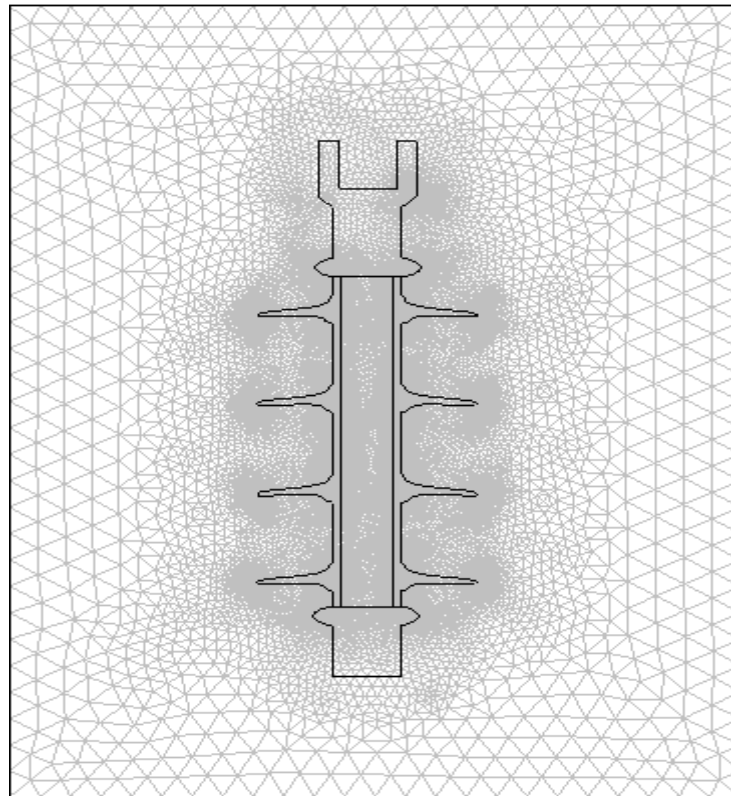


Figure III. 4 . Maillage

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a étudié la méthode de détermination de la distribution du champ et du potentiel électriques. La méthode des Éléments Finis a été choisie. Le logiciel COMSOL Multiphysics peut servir d'une manière puissante et interactive à évaluer ces deux grandeurs en se fondant sur la méthode des éléments finis. Dans le chapitre suivant, on va discuter les résultats de simulation concernant la distribution du potentiel et du champ électrique sur l'isolateur étudié.

CHAPITRE IV

PROPOSITION DE CONTROLE DES CONTRAINTES SUR
LA SURFACE DE L'ISOLATEUR
COMPOSITE EN APPLIQUANT UNE COUCHE DE ZnO

Chapitre 04

Proposition de contrôle des contraintes sur la surface de l'isolateur composite en appliquant une couche de ZnO

IV.1. Introduction

L'une des principales menaces pour les isolateurs extérieurs polymères est champ électrique élevé sur la surface de l'isolateur, en particulier à l'électrode haute tension et coté terre. Il pourrait entraîner des décharges électriques importantes lorsqu'ils sont soumis à humidité. Dans des conditions favorables, lors d'une exposition à des environnements sévèrement pollués, un champ élevé qui facilite la propagation des décharges à la surface de l'isolateur pourraient déclencher un contournement complet de l'isolateur. De plus, l'activité de décharge continue conduit à la dégradation du matériau à travers la surface le cheminement et l'érosion qui réduiront la tension d'amorçage et les performances d'isolation. Compte tenu de ces conséquences indésirables, un contrôle efficace du stress des champs est extrêmement important pour atténuer l'effet de telles décharges nuisibles sur les isolateurs composites.

Dans ce chapitre, l'effet de l'utilisation de ZnO comme moyen de contrôle de la contrainte électrique sur les isolateurs extérieurs en polymères est étudiée. Cette approche consiste à fournir une alternative aux techniques d'améliorations existantes utilisant des raccords matériels, c'est-à-dire anneau de garde. Dans la conception proposée, une couche ZnO est appliquée sur le noyau de l'isolateur près des cotés haute tension et de terre ce procédure était réaliser à l'aide du Comsol Multiphysics.

Le principe de moyens d'optimisation de champs électrique est étudié dans le but d'améliorer les performances de l'isolateur sous fonctionnement en régime permanent et conditions de surtension. L'isolateur équipé d'une couches est modélisée dans des conditions bien précises et les résultats de la simulation sont comparés à ceux obtenus à partir d'un isolateur standard sans revêtement.

IV.2. Simulations

La simulation de l'isolateur composite choisit peut se résumer dans les quatre étapes successives suivantes :

- ❖ La première étape consiste à définir la géométrie entière en deux dimensions de l'isolateur par COMSOL.
- ❖ La deuxième étape porte sur la définition des propriétés électriques des matériaux présents. Cela consiste à définir les permittivités relatives et les conductivités pour chaque partie de l'isolateur. De plus, il faut définir les conditions aux limites qui se traduisent par le potentiel imposé sur chaque électrode.
- ❖ La troisième étape est consacrée à la résolution du problème par l'application de la méthode numérique et par la construction du système d'équations ($\nabla^2 V = 0$), et cela en introduisant les facteurs de chaque partie de l'équation.
- ❖ La dernière étape consiste en l'affichage des résultats comme le potentiel et le champ électriques avec leurs modules, suivant chaque partie de l'isolateur et leurs répartitions spatiales.

IV.2.1. propriétés des matériaux

Pour notre simulation, l'isolateur choisit est en silicone. Le noyau a une permittivité relative de $\epsilon_r = 7.1$. Le matériau en caoutchouc de silicone

utilisé pour le boîtier a une permittivité relative de $\epsilon_r = 4,3$. Les matériaux de noyau et de silicone sont supposés être d'excellents isolants avec une conductivité de 1×10^{-13} S/m. Pour la conception d'isolateur proposé avec contrôle de champ utilisant le ZnO, une couche de ce dernier est ajoutée dans la région entre le noyau et le boîtier en silicone. La permittivité relative du matériau ajouté est : $\epsilon_r = 12$. Les propriétés électriques de l'isolant utilisé pour cette étude sont résumées dans le tableau 1.

Tableau IV. 1. Propriétés des matériaux utilisés pour la modélisation de l'isolateur

Matériel	Permittivité Relative, ϵ_r	Conductivité σ (S/m)
Acier forgé	1	5.9×10^7
Fond d'air	1	1.0×10^{-15}
Caoutchouc silicone	4.3	1.0×10^{-14}
Noyau	7.1	1.0×10^{-14}
Matériel d'optimisation	12	spécifié en fonction de champ électrique, $\sigma = f(E)$

IV.2.2. Conditions aux limites

Pour le cas étudié, nous avons pris comme conditions aux limites pour l'électrode un potentiel constant de valeur 15kV et celui de l'électrode inférieur un potentiel nul ou encore prendre la condition prédéfinie dans le logiciel 'terre'. Le champ électrique est supposé nul.

IV.3. Résultats et interprétations

IV.3.1. Isolateur Standards

On commence d'abord par l'étude et l'interprétation des résultats de simulations obtenus à partir d'un modèle d'isolateur standards ; C.à.d. « Sans revêtement » afin de faire la comparaison avec un isolateur revêtu.

IV.3.1.1. Distribution du potentiel électrique

Un isolateur polymère 15 kV standards a été modélisés et simulé avec succès en Comsol. Les résultats de simulation ont été décrits et interprétés par la suite.

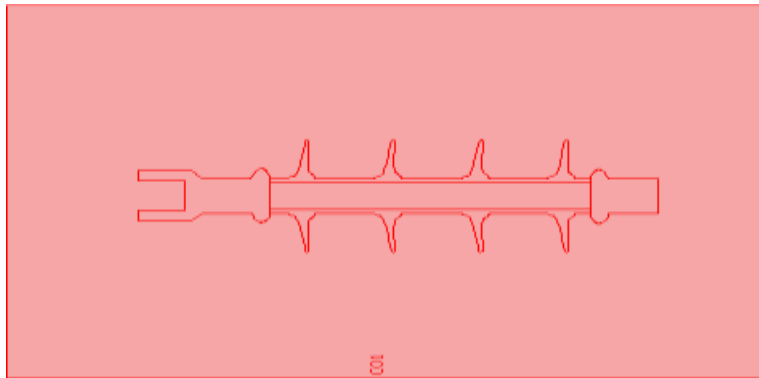


Figure IV. 1. Isolateur sans revêtement développé par Comsol

Les figures IV.2 et IV.3 illustrent respectivement la variation du potentiel le long de l'isolateur composite. On peut remarquer que Le potentiel électrique est important pour le coté haute tension (HT) puis il diminue lorsqu' on s'éloigne vers le coté terre. Dans le cas de notre modèle - sans revêtement-, 15kV est la valeur maximale de la tension indiquée autour de l'électrode HT, puis il se décroît linéairement lorsqu'elle s'éloigne vers l'électrode de mise à la terre ensuite, le potentiel s'est annulé (figure IV.3)

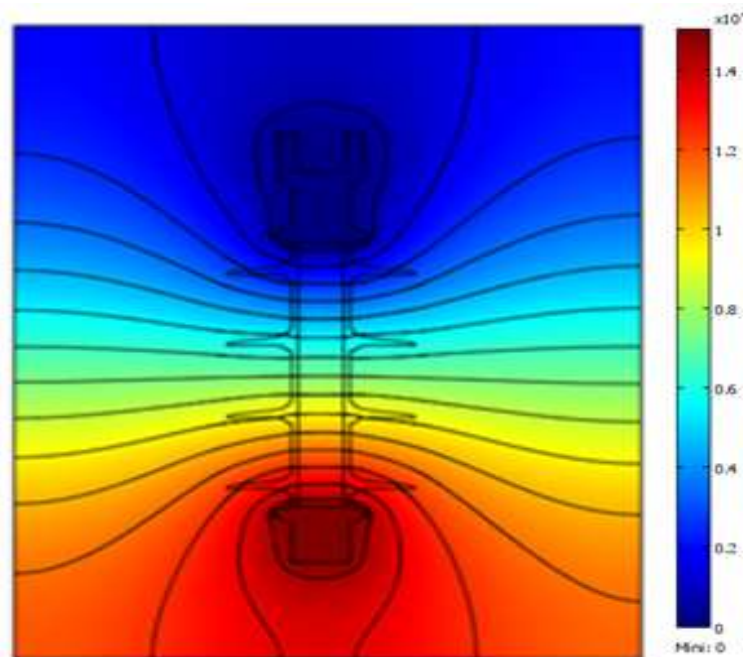


Figure IV. 2. Potentiel électrique autour de l'isolateur composite sans revêtement

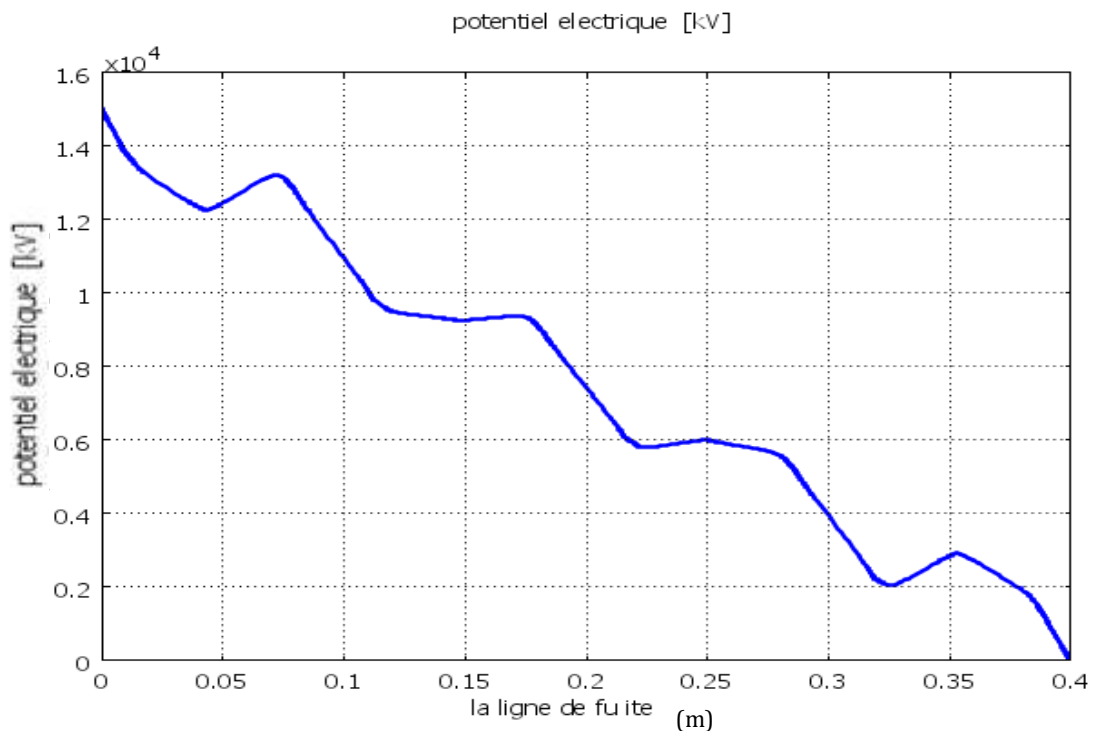


Figure IV. 3. Répartition du potentiel électrique sur la surface de l'isolateur Composite sans revêtement

Le courant de fuite donnant une densité de courant fortement non uniforme en raison de la forme de l'isolateur polymère provoque un échauffement de surface irrégulière, conduisant à la formation de bandes sèches. D'après le profil de densité de courant, on peut voir que les isolateurs ne conduisent aucun changement de densité de courant sur le long de la ligne de fuite, où ils sont restés les mêmes distributions de densité de courant. Lorsque le champ électrique localisé dans la région sèche est suffisamment élevé pour dépasser le seuil de claquage de l'air, une décharge électrique se déclenche. Le champ électrique et la densité de courant longitudinal, sont toujours non uniformes sur la surface de l'isolateur en raison de la forme géométrique du logement des abris en polymère. La densité de courant qui varie avec la forme de l'isolateur est la plus grande dans la région avec la plus petite surface cylindrique, c'est-à-dire la région de la tige. Un champ électrique amélioré combiné à la densité de courant élevée conduit à une augmentation de la dissipation de

puissance, qui devient alors la source d'énergie pour le chauffage de surface pour initier la formation de bande sèche.

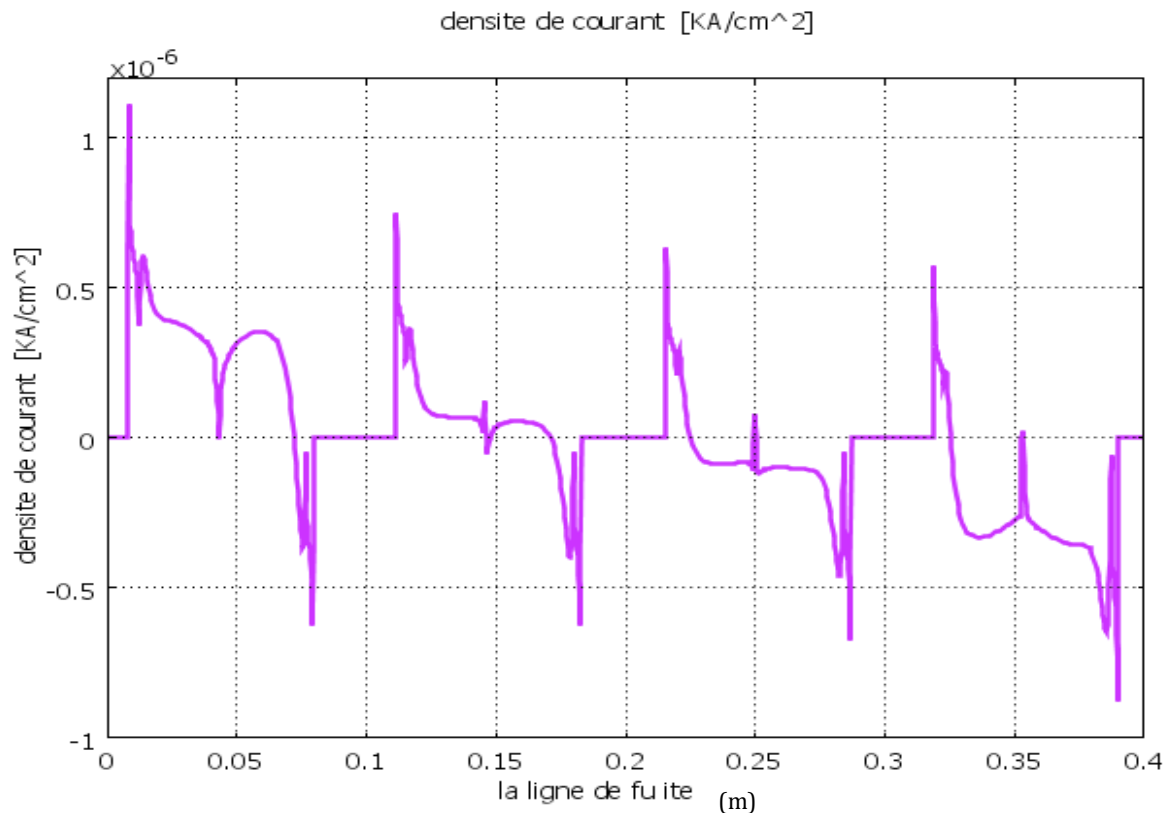


Figure IV. 4. Densité de courant sans revêtement ZnO

IV.3.1.2. Distribution du champ électrique

Les figures IV.5 et IV.6 illustrent respectivement la variation du champ électrique le long de l'isolateur composite. On peut remarquer que le champ électrique intense et condensé à proximité de l'électrode HT, et il moins intense lorsqu'il rapproche de l'électrode de terre. De plus, les lignes de champ électrique divergent de l'électrode HT à l'électrode de terre. L'intensité du champ électrique est plus élevée notamment lorsque le modèle d'isolateur est sans revêtement.

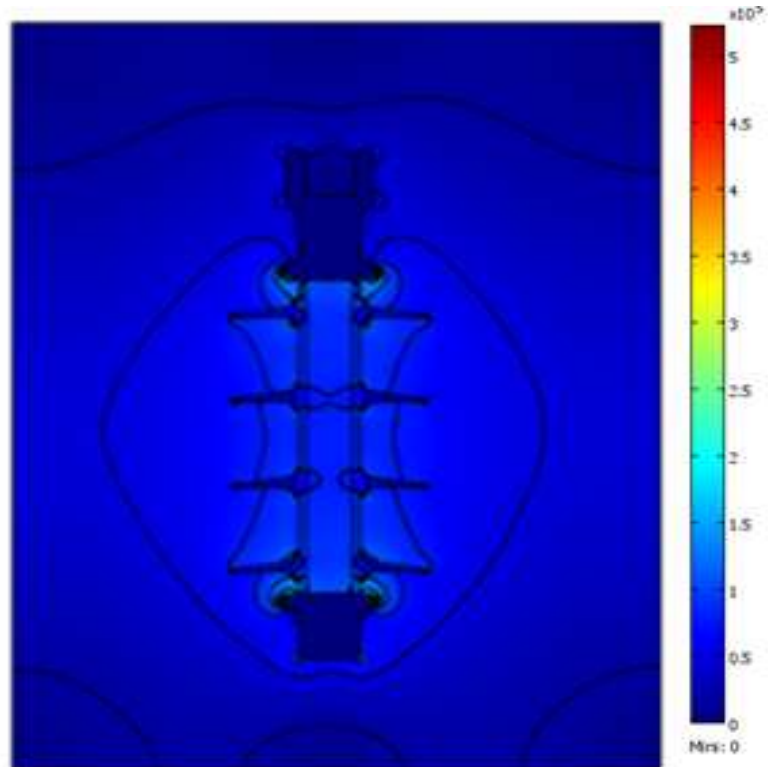


Figure IV. 5. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite sans revêtement

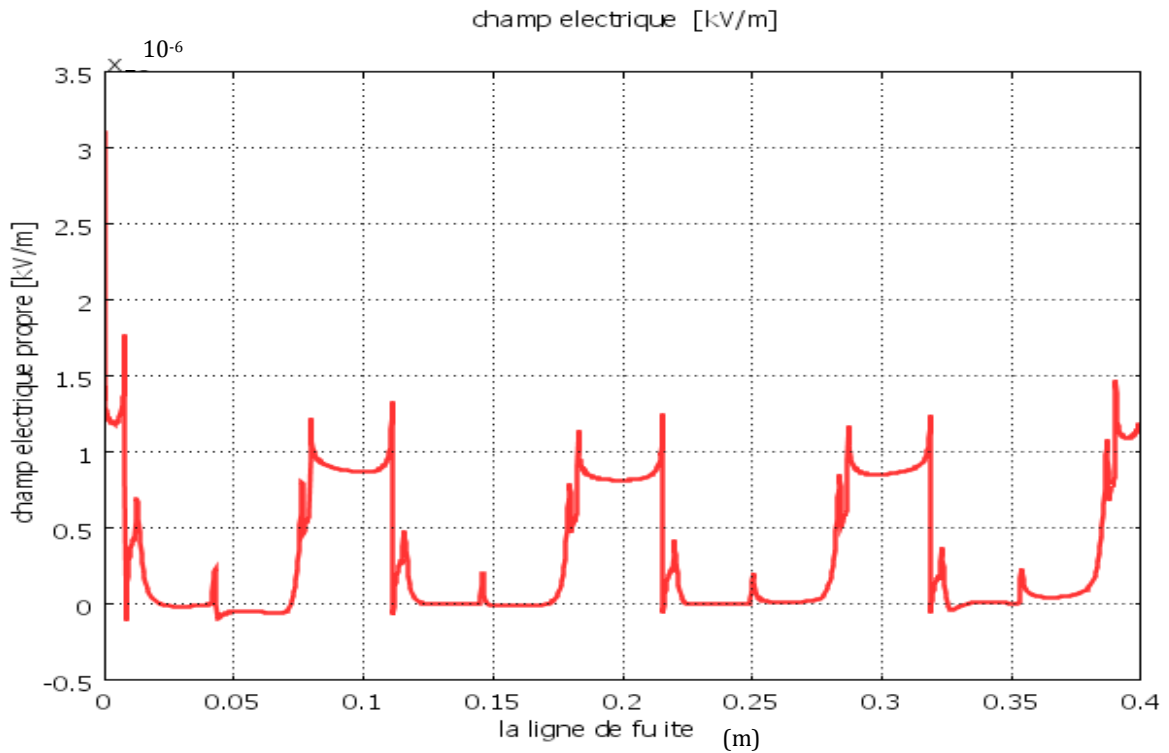


Figure IV. 6. Répartition du champ électrique autour de l'isolateur sans revêtement

IV.3.2. ISOLATEUR AVEC REVETEMENT

Un isolateur polymère 15 kV équipé d'un revêtement ZnO proposé a été modélisé et simulé avec succès en Comsol. Les résultats de simulation ont été décrits et interprétés par la suite. Les simulations - via logiciel Comsol- pour déterminer les caractéristiques électriques d'un isolateur composite revêtu d'une couche d'oxyde de zinc ont été réalisées. Ce composé a montré un comportement amélioré avec le champ et le potentiel électrique.

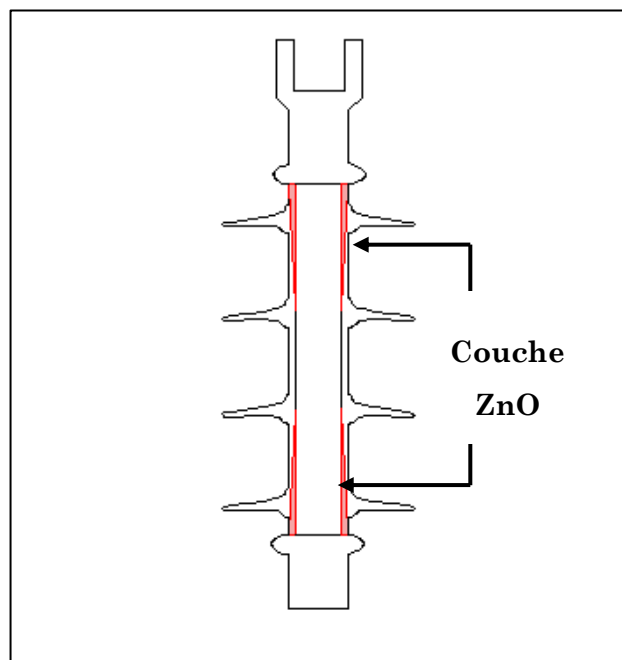


Figure IV. 7. Isolateur composite avec une couche ZnO

IV.3.2.1. Distribution du potentiel électrique

Les figures IV.8, et IV.9 illustrent la variation du potentiel électrique le long de l'isolateur composite pour une de tension de (15 kV) appliquée dans le cas de présence de ZnO. Les résultats montrent que le potentiel électrique diminue significativement à partir de l'électrode HT. Le potentiel près de l'extrémité sous tension est similaire à la tension de ligne, en raison de la permittivité du matériau et de la forme de l'isolateur, la tension chute rapidement des extrémités de l'isolateur, une telle répartition de tension crée un champ E élevé à proximité de de zone sous tension, comme le montre la figure.IV.3 car la moitié de la tension

appliquée supporte qu'une petite distance la longueur de l'isolateur en l'absence de revêtement. Cependant, en utilisant le ZnO, cette distance augmente. La présence de revêtement a une influence significative sur le potentiel.

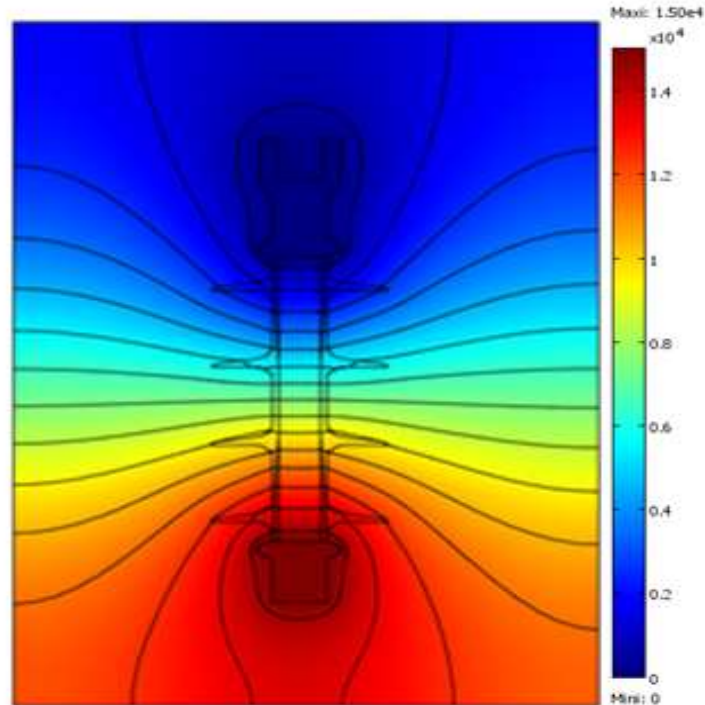


Figure IV. 8. Potentiel électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement

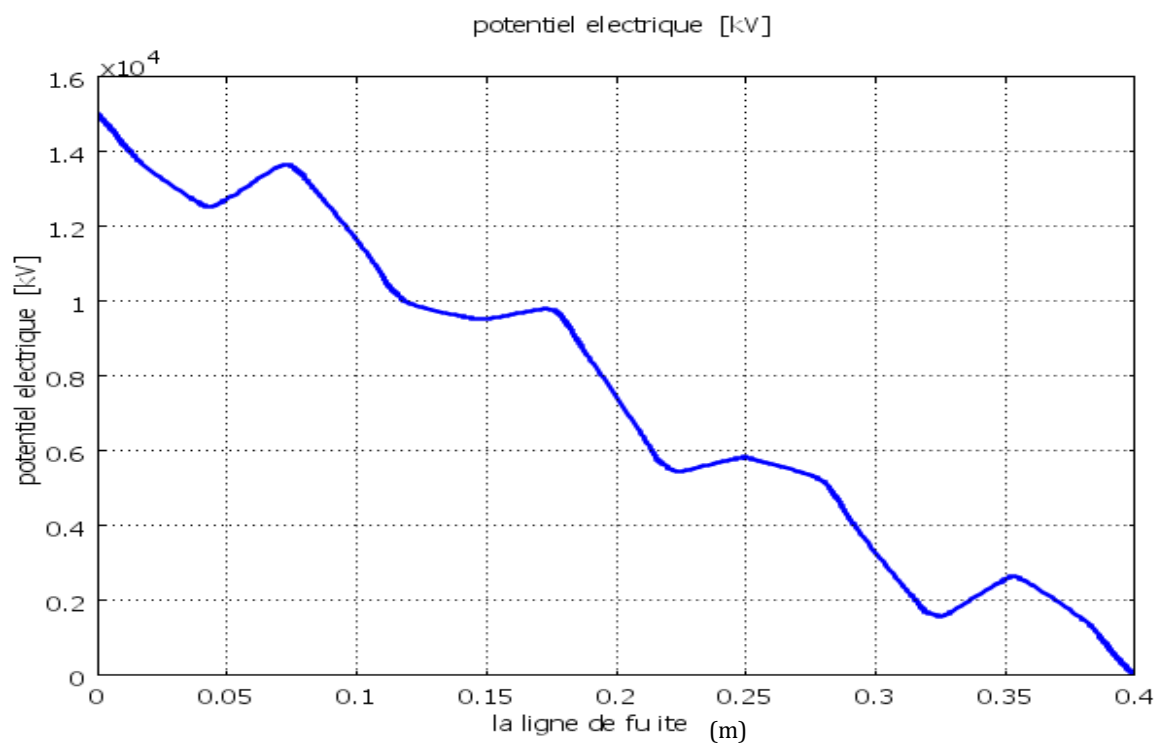


Figure IV. 9. Répartition du potentiel électrique autour de l'isolateur avec revêtement

L'application du revêtement à base de revêtement minimise efficacement les champs électriques élevés et, par conséquent, soulage la contrainte de champ autour de l'électrode métallique supérieure. La réduction du champ électrique combinée à une densité de courant plus faible sur cette région de surface conduit à une dissipation de puissance faible et insuffisante pour la formation de bande sèche.

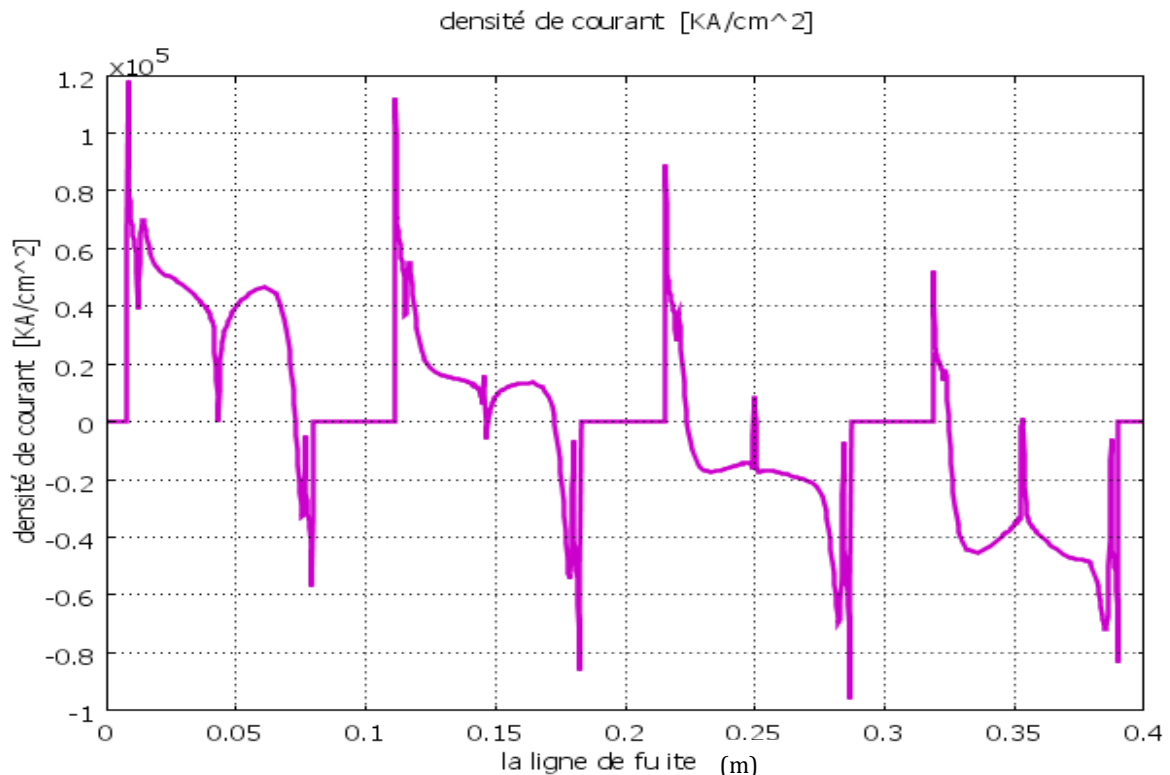


Figure IV. 10. Densité de courant avec revêtement ZnO

IV.3.2.2. Distribution du champ électrique

Les figures IV.8, et IV.9 illustrent la variation du champ électrique le long de l'isolateur composite pour une de tension de (15 kV) appliquée. L'effet de l'addition de ZnO peut être observé clairement dans ce cas. La distribution du champ électrique le long de l'isolateur composite revêtu semblait être plus uniforme avec amplitudes de crête qui sont inférieures à celles de l'isolateur sans revêtement. On peut confirmer le bon contrôle de champ réalisé avec l'addition du revêtement est cela une preuve de l'amélioration des performances électriques.

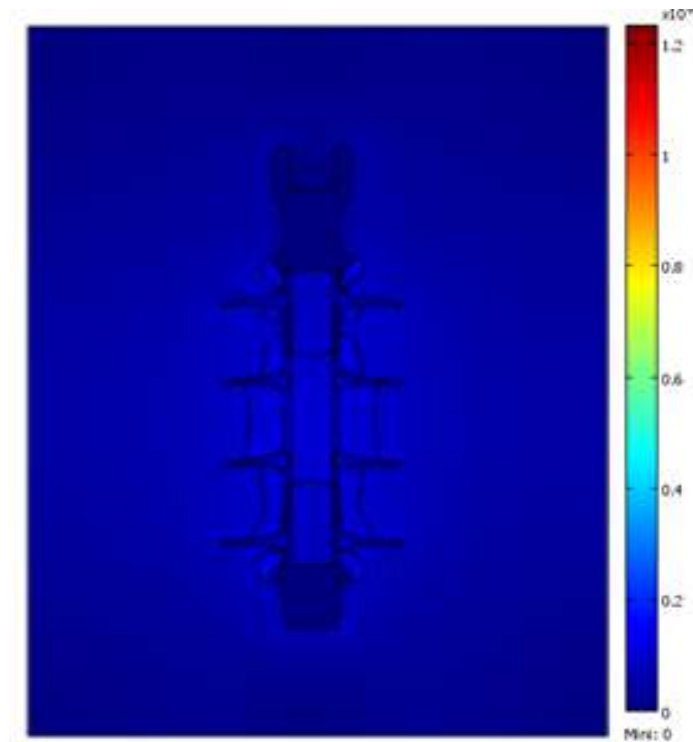


Figure IV. 11. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement

La figure IV.12 montre la distribution de champ le long de l'isolateur composite. Lorsque la tension est appliquée, la distribution du champ électrique est nettement redevient plus uniforme. De plus, les pics de champ électrique observés ont été diminués avec succès lorsque le revêtement est réalisé. Il convient de noter que l'effet de ZnO est montré avec la redistribution uniforme de champ électrique, ce qui confirme également l'amélioration des performances. La distribution de champ le long de longueur de l'isolateur est comparée à la Figure IV.6. Comme prévu, le champ électrique sur l'isolateur revêtu présente un champ avec une distribution améliorée par rapport à celle sans revêtement. Les pics près de l'électrode HT de l'isolateur sont réduits et bien répartis sur la longueur de l'isolateur pour donner une distribution plus uniforme à une valeur comparable autour de 1,3kV/cm (1.7. kV/cm en cas propre). L'amélioration due à l'effet de ZnO représente près de 23.5% de la réduction des contraintes au isolateur.

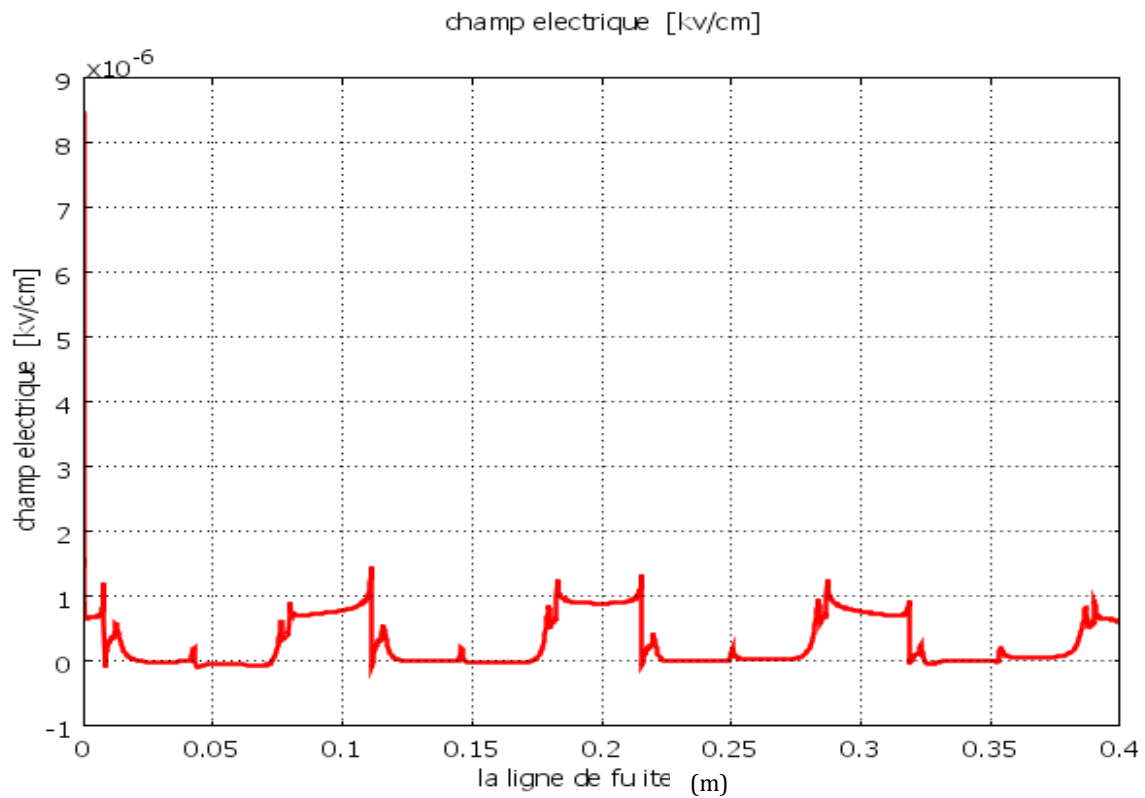


Figure IV. 12. Répartition du champ électrique autour de l'isolateur composite avec revêtement

IV.4. Conclusion

Un isolateur composite 15 kV modélisé et proposé avec un revêtement de ZnO a été Simulé dans ce chapitre. La présence de de la couche de ZnO a entraîné une amélioration considérable du champ et du potentiel électrique le long de l'isolateur. La distribution a été rendue plus uniforme sur la surface de l'isolateur.

CHAPTRE V

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions Générales

V.1. Conclusions Générales

Le principal objectif de ce travail était la compréhension des phénomènes électriques sur les isolateurs extérieurs, et le développement d'une approche efficace pour contrôler la contrainte du champ électrique sur les isolateurs polymères. Ce dernier a été réalisé en appliquant une couche de ZnO sur l'isolateur. Des généralités sur les isolateurs polymères et ses problèmes de contraintes électriques et ses performances ont été présentés. Le travail présente également une idée sur la distribution du champs électrique et des techniques d'optimisation pour minimiser les contraintes sur la surface de l'isolateur. Un modèle 2D symétrique d'un isolateur polymère de 15 kV a été développé pour la modélisation informatique. Le modèle d'isolateur avec le moyen d'amélioration proposé avec le composé - qui est l'application du revêtement ZnO - a été simulé. L'effet de l'utilisation de ZnO comme moyen de contrôle de la contrainte électrique sur les isolateurs extérieurs en polymères est étudiée. Dans la conception proposée, une couche ZnO est appliquée sur le noyau de l'isolateur près des cotés haute tension et de terre ce procédure était réaliser à l'aide du Comsol Multiphysics. Cette étude est dans le but d'améliorer les performances de l'isolateur sous fonctionnement en régime permanent et conditions de surtension. L'isolateur équipé d'une couches de ZnO est modélisée dans des conditions bien précises et les résultats de la simulation montrent une distribution du champ électrique plus uniforme sur la surface de l'isolateur.

REFERENCES

References

- [1] J. S. T. Looms, *Insulators For High Voltages*. London: The Institution of Electrical Engineers, 1988.
- [2] F. J. Liptrot, "An examination of the service performance of ceramic insulators," in *IEE Colloquium on Review of Outdoor Insulation Materials*, 1996, pp. 4/1- 4/7.
- [3] A. P. Mishra, Gorur R. S., and Venkataraman S., "Evaluation of Porcelain and Toughened Glass Suspension Insulators Removed from Service," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 15, pp. 467-475, 2008.
- [4] P. J. Lambeth, "Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 118, pp. 1107-1130, 1971.
- [5] S. Gubanski and R. Hartings, "Swedish research on the application of composite insulators in outdoor insulation," *IEEE Electr. Insul. Mag.*, vol. 11, no. 5, pp. 24–31, 1995.
- [6] CIGRE working group 22-03, "Worldwide service experience with HV composite insulators," *Electra*, no. 191, pp. 27–43, Aug. 2000.
- [7] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, "Wettability of naturally aged silicon and EPDM composite insulators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1527–1535, 1990.
- [8] J. Kim and M. K. Chaudhury, "Corona-discharge-induced hydrophobicity loss and recovery of silicones," in *1999 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, vol. 2, pp. 703–706, 1999.
- [9] Y. Liang, L. Ding, K. Yang, C. R. Li, and Y. Tu, "Study on hydrophobicity recovery characteristics and mechanism of HTV silicone rubber after corona deterioration," in *Annual Report - Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2007. CEIDP 2007*, pp. 308–311, 2007.
- [10] R. S. Gorur, L. J. Johnson, and H. C. Hervig, "Contamination performance of silicone rubber cable terminations," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 6, no. 4, pp.
- [11] A. Hamza Slamet, « Contribution à l'étude du modèle développé d'un isolateur pollué », *Mémoire de Magister de l'USTO*, 2013.
- [12] Spécification technique STN C64 L6, « Isolateur en verre », *Office National d'Électricité, Maroc*, 2003.
- [13] S. Bouchoukh, B. Sayeh Lambark, « Influence de la pollution artificielle sur la tension de contournement d'une chaîne d'isolateur MT », *Mémoire de Master de l'université KasdiMerbah*, 2014.
- [14] A. Seyni, "Propriétés physico-chimiques et d'usage de matériaux composites à charge dégradable produits par co-broyage," *Université de toulouse*, 2008.

- [15] G. Teyssedre and L. Boudou, "Polymères et composites pour l'électrotechnique," *Tech. l'Ingénieur*, no. D2335, 2010.
- [16] A. Abimouloud « Comportement d'une surface isolante partiellement polluée sous tension alternative 50Hz » thèse de magister en génie électrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger décembre 1999.
- [17] S. Medjhed, M. Eblaiden, « Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de la pollution d'un site », mémoire fin d'étude DEUA en électrotechnique promotion 2005, Univ de Bejaia.
- [18] A. Chabloz, « Technologie des matériaux à l'usage des professions de l'électricité, 1986
- [19] "International Electrotechnical Vocabulary (IEV)," vol. 50, no. 471, p. 10, 1984.
- [20] W.-K. Chen, *The Electrical Engineering Handbook*. Elsevier academic press edition, 2004.
- [21] K. Ouerdane, *Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en régions littorales*, Alger : projet de fin d'études, département d'électrotechnique, université des sciences et technologies houari boumediene, bab Ezzouar, juin 1998.
- [22] D. Dumora, « Matériaux isolants cramiques en électrotechnique, » *Techniques de l'ingénieur*, p. D275, 1975.
- [23] «Insulation co-ordination, » IEC, pp. 71-1, 1993.
- [24] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, "Wettability of naturally aged silicon and EPDM composite insulators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 5, no. 3, pp. 1527–1535, 1990.
- [25] S. Orłowska, "Conception et prédiction des caractéristiques diélectriques des matériaux composites à deux et trois phases par la modélisation et la validation expérimentale," *École Centrale de Lyon*, 2003.
- [26] "Code d'essai de vieillissement des isolateurs composite," EDF, no. HN 66-E-01, p. 21, 1989.
- [27] A. Mishra, R. Gorur et S. Venkataraman. —Evaluation of porcelain and toughened glass suspension insulators removed from service, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 15, no. 2, pp. 467-475, avril 2008.
- [28] J. Li, C. Sun et S. Sebo. —Impact de l'humidité et de la gravité de la contamination sur les courants de fuite des isolateurs en porcelaine, *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 5, no. 1, pp. 19.
- [29] L. Grigsby. —Le manuel d'ingénierie de l'énergie électrique. Chemical Rubber Company Pr I Llc, 2001.
- [30] K. Naito, Y. Mizuno et W. Naganawa. —A study on probabilistic assessment of contamination ashover of high voltage insulator, *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 10, no. 3, pp. 1378-1384, juil. 1995
- [31] P. Muthukumar, T.M. Selvakumari, C. Rangasami, S. Ganesan, Structural and optical properties of zno nano particles grown on copper substrate by electrode position method, *Dig J. Nanomater Biostruct*, 8 (2013) 1455-1459.

[32] A. Dal Corso, M. Posternak, R. Resta, and A. Baldereschi, Ab initio study of piezoelectricity and spontaneous polarization in ZnO, Phys. Rev. B, 50 (1994) 715-.721

[33].Handbook of Chemistry and Physics, 56th Edition, Ed. R.C. Weast, CRS Press, (1975)

[34] T. Minami, H. Nanto, S. Takata Highly Conductive and Transparent Aluminum Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering, Jpn. J. Appl. Phys, 23 (1984).

[35] 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.

يركز مشروع البحث هذا على دراسة فعالية أكسيد الزنك (ZnO) في السيطرة والتحكم في الضغط على العوازل الخارجية المركبة. أولاً ، تم إجراء دراسة شاملة و عامة حول العوازل الكهربائية الخارجية ، تليها دراسة للنمذجة والمحاكاة الحاسوبية التي أجريت على النموذج المقترح في هذه الدراسة. الجزء الأول من الدراسة و الخاص بالعموميات حول عوازل الجهد العالي تناولت التدهور الناتج عن الإجهاد الكهربائي كسبب لعيوب الشيخوخة في العوازل، وتحديد توزيعات المجال الكهربائي، كما تناولت تقنيات تحسين العوازل لتحسين أدائها. تم نمذجة ومحاكاة عازل مركب بجهد 15 كيلو فولت من أجل الحصول على توزيع المجال الكهربائي على طول العازل مع تحديد مناطق الحقول العالية الحرجة على سطح العازل. تؤكد نتائج العمل الواردة في هذه الأطروحة فهمًا أفضل لظواهر توزيع المجال الكهربائي على العوازل الخارجية ، وتطوير نهج فعال للتحكم في ضغوط المجال الكهربائي على العوازل الخارجية المركبة. تم تحقيق هذا الأخير بنجاح باستخدام مادة أكسيد الزنك، ZnO . قدمت التقنية المقترحة توزيعًا أفضل وأكثر اتساقًا للحقل على طول سطح العازل المركب.

الكلمات المفتاحية: عازل مركب، الحقل الكهربائي ، طريقة الحدود المتناهية (FEM) المحاكاة، COMSOL

Abstract

This work focuses on the study of the effectiveness of zinc oxide (ZnO) for stress control on composite exterior insulators. In a first place, an exhaustive study of the literature was made, followed by a study of computer modeling and simulation. The literature review talked about generalities about high voltage insulators and it also looked at stress induced degradations as a cause of aging and insulation defects, determination of electric field distributions, modeling considerations of outdoor insulators and field optimization techniques to improve the performance of composite insulators. A 15 kV polymer insulator was modeled and simulated in order to obtain an electric field distribution along the insulator. Critical high field regions on polymer surfaces were identified. The results of the work reported in this thesis confirm a better understanding of field phenomena on exterior insulators, and the development of an effective approach to control electric field stresses on composite exterior insulators. The latter was successfully achieved using a nonlinear gradation material, ZnO. The technique provided better and more uniform field distribution along the polymer surface.

Keywords: Composite insulator, ZnO, Electric field, Finite element method, MEF, Simulation, COMSOL.

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude de l'efficacité de l'oxyde de zinc (ZnO) pour le contrôle des contraintes électriques sur les isolateurs composites. Dans un premier lieu, une étude exhaustive de la littérature a été faite, suivie d'une étude de modélisation et de simulations. L'étude de la littérature a parlé de généralités sur les isolateurs haute tension et elle a également examiné les dégradations induites par le stress comme cause du vieillissement et les défauts d'isolation, la détermination de distribution de champ électrique, la modélisation d'isolateurs extérieurs et techniques d'optimisation sur le terrain pour améliorer les performances des isolateurs composites. Un isolateur polymère de 15 kV a été modélisé et simulé afin d'obtenir une distribution du champ électrique le long de de l'isolateur. Les régions critiques de champ élevé sur les surfaces polymères étaient identifiées. Les résultats des travaux rapportés dans ce mémoire confirment une meilleure compréhension des phénomènes électriques sur les isolateurs extérieurs, et le développement d'une méthode efficace pour contrôler les contraintes du champ électrique sur les isolateurs extérieurs composites. Ce dernier a été réalisé avec succès en utilisant un matériau de gradation non linéaire, ZnO. La technique a fourni une distribution de champ meilleure et plus uniforme le long de la surface polymère.

Mots-clés : isolateur composite, ZnO, champ électrique, méthode des éléments finis (FEM), Simulations, COMSOL.