

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 ELECTRIQUE

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

Présenté par

BOUKHALFA Naaman Seif Elislam
NAILI Mostafa

Intitulé

**Contribution à l'étude et à l'optimisation d'un
isolateur de ligne 400 kV par la présence de deux
anneaux de garde**

Soutenu le 01 / 07 / 2021 devant le jury composé de :

Dr. BENGUESMIA Hani	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. DJREOUI Salim	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2020 / 2021.

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu qui nous a donnée la santé Et la volonté durant la réalisation de ce travail.

*Nous tenons à remercier toutes les personnes qui,
D'une manière ou d'une autre, nous ont aidé pendant
nos études et à la réalisation de ce mémoire.*

*Nous présentons nos remerciements les plus profonds à
notre encadrant Dr. BELHOUHET Khaled pour ses précieux
Conseils et ses orientations durables.*

*Mes remerciements vont également aux
Membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.*

*Je remercie nos familles
nos sœurs et nos frères pour leurs soutiens et leurs
Encouragements.*

nous remercions, en dernier lieu, tous nos amis

Qui nous ont encouragé de près ou de loin

Que la paix d'allah soit toujours avec vous !

Dédicace

Nous dédions ce travail à nos chers parents pour leurs sacrifices

Et leurs encouragements durant toutes nos études

A nos frères et nos sœurs

A toute notre grande famille à tout ce qui nous connaît

A tout nos amis

De la promotion du Master

« RESEAUX ELECTRIQUE » 2020/2021

On ne peut trouver les mots justes et sincères pour vous

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

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

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

Tous les moments que nous avons passée ensemble,

ont vous dédie

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

Bonheur.

Naaman Seif Elislam Et Mostafa

Résumé

Dans un système de transmission d'énergie, les chaînes d'isolateurs sont équipées d'appareils auxiliaires afin d'augmenter les performances électriques d'une chaîne d'isolateurs. Par exemple, un anneau de garde, généralement appelé anneau corona, est l'un des accessoires auxiliaires utilisés avec les cordons isolants en porcelaine et en polymère. Le travail présenté vise à étudier l'effet de doubles anneaux de garde autour d'un isolateur composite de ligne 400KV. L'analyse est basée sur la méthode des éléments finis (FEM) et les résultats obtenus grâce aux simulations à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics. L'analyse de variance permet d'évaluer les principaux effets et les effets d'interaction de trois paramètres étudiés; position de l'anneau à partir de l'extrémité, rayon de l'anneau et épaisseur du tube de l'anneau. La relation entre le champ E et les paramètres géométriques est optimisée et modélisée par la méthodologie de surface de réponse (RSM). Les résultats montrent une optimisation des champs électriques, et une distribution uniforme du potentiel électrique a été montrée. La méthodologie proposée est efficace pour concevoir des anneaux corona sur des isolateurs composites de lignes de transmission et présente un résultat plus précis pour trouver les meilleures solutions aux problèmes de décharges corona.

Mots-clés : Optimisation, anneau de garde, FEM, isolateur composite, méthodologie de surface de réponse, champ électrique.

Abstract

In a real power transmission system, insulator strings are equipped with auxiliary apparatus in order to increase the electrical performance of an insulator string. For example, a grading ring, usually called a corona ring is one of the auxiliary fittings that are used with porcelain and polymer insulator strings. The presented work aims to study the effect of double guard rings around a 400KV line composite insulator. The analysis is based on the Finite Element Method (FEM) and the results obtained through simulations using the COMSOL Multiphysics software. The analysis of variance makes it possible to evaluate the main effects and the interaction effects of three parameters studied; position of the ring from the end, radius of the ring and thickness of the ring tube. The relationship between the E field and the geometric parameters is optimized and modeled by response surface methodology (RSM). The results show an optimization of the electric fields, and a uniform distribution of the electric potential has been shown. The proposed methodology is efficient for designing corona rings on composite insulators of transmission lines and presents a more precise result to find the best solutions to the problems of corona discharges.

Keywords: Optimization, corona ring, FEM, composite insulator, response surface methodology, electric field.

ملخص

في نظام نقل الطاقة، يتم تزويد سلاسل العازل بأجهزة مساعدة لزيادة الأداء الكهربائي لسلسلة العوازل. على سبيل المثال ، تعتبر حلقة الحماية ، التي يشار إليها عادةً باسم حلقة الإكليل ، أحد الملحقات المساعدة المستخدمة مع أسلاك العزل من البورسلين والبوليمر. يهدف العمل المقدم إلى دراسة تأثير حلقات الحماية المزدوجة حول عازل مركب بخط 400 كيلوفولط. يعتمد التحليل على طريقة العناصر المحدودة (FEM) والنتائج التي تم الحصول عليها من خلال عمليات المحاكاة باستخدام برنامج COMSOL Multiphysics. يتيح تحليل التباين تقييم التأثيرات الرئيسية وتأثيرات التفاعل لثلاث معلمات تمت دراستها ؛ موضع الحلقة من النهاية ونصف قطر الحلقة وسمك الأنبوب الدائري. تم تحسين العلاقة بين المجال E والمعلمات الهندسية ونمذجتها من خلال منهجية سطح الاستجابة (RSM) . أظهرت النتائج تحسين المجالات الكهربائية ، وتم عرض توزيع موحد للجهد الكهربائي. المنهجية المقترحة فعالة في تصميم حلقات الإكليل على العوازل المركبة لخطوط النقل وتقدم نتيجة أكثر دقة لإيجاد أفضل الحلول لمشاكل تفريغ الإكليل .

الكلمات المفتاحية: التحسين ، حلقة الحماية ، FEM ، عازل مركب ، منهجية سطح الاستجابة ، المجال الكهربائي.

Table des matières

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

Chapitre 01

Introduction Générale

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

Chapitre 02

Rappels sur les isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique

II.1 Introduction.....	14
II.2 Types des isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique.....	14
II.2.1. Isolateurs en céramique	14
II.2.2 Isolateurs en Verre	15
II.2.3. Isolateurs composites.....	16
II. 2.4. vieillissement des isolateurs composites	17
II.3. Comportement des isolateurs sous pollution	19
II.4. Conclusion	20

Chapitre 03

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

III.1 Introduction	22
III.2. Utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs composites	22
III.2.1. Fonctionnalité des anneaux de garde	23
III.2.2. Utilisation des anneaux de garde sous différentes conditions atmosphériques	24
III.2.3. Optimisation des anneaux de garde	25
III.3. Le champ Electrique.....	26
III.3.2. Décharge corona.....	27

Figure. III. 3. Décharge corona.....	28
III.4. Conclusion.....	28

Chapitre 04

Analyse du Champ Electrique en utilisant la Méthodologie des Surfaces de Réponse

IV.1. Introduction	30
IV.2. Modèle d'isolateur	30
VI.3. Conception de Taguchi	32
IV.4. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R)	33
IV.5. Résultats et discussions	35
IV.5.1. Résultats de simulation	37
IV.6. Conclusion	43

Chapitre 05

Conclusions Générales

V.1. Conclusions Générales	45
<i>Références</i>	47

Listes des Figures

Figure II. 1. Photo représente un isolateur en céramique.....	15
Figure. II. 2 : Isolateur en verre	15
Figure. II. 3 : Structure d'un isolateur composite.....	17
Figure. III. 1. Exemples de géométries d'anneaux de garde.....	23
Figure. III.2. Exemple de paramétrage de la géométrie d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne.....	26
Figure. III. 3. Décharge corona.....	28
Figure. IV. 1. Modèle d'isolateur composite	30
Figure. IV. 2. Paramètres structurels de l'anneau de garde	31
Figure. IV.3. Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l'anneau de garde	36
Figure. IV. 4. Maillage	37
Figure.VI. 5. La distribution du champ électrique le long de l'isolateur en absence de l'anneau de garde	38
Figure. VI.6. Le potentiel électrique en absence de l'anneau de garde	38
Figure.IV.7. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en absence de l'anneau de garde.....	39
Figure.IV.8. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en présence d'un seul anneau de garde.....	39
Figure.IV.9. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en présence de deux anneaux de garde en prenant 3 cas de figure 1,2 et 3.....	41
Figure.IV.10. Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau de garde (les valeurs optimales sont en rouge).....	41
Figure. IV.11. La distribution du potentiel électrique le long de l'isolateur en présence de d'anneau de garde optimisé	42
Figure. IV.12. La distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en présence d'anneau de garde avec des paramètres optimisés.....	42

Listes des tableaux

Tableau. IV. 1. Paramètres des anneaux de garde	32
Tableau. IV. 2. Résultats informatiques	34

Symboles et abréviations

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

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

I.1.Contexte Général

La consommation croissante d'énergie électrique a conduit à l'extension du réseau de transport d'électricité et le développement de lignes à très haute tension. Au même temps, la nécessité d'assurer une qualité de service suffisante a conduit à la mise en place de moyens de protection contre les surtensions. Ces derniers provoquent de nombreuses pannes d'équipements électriques qui doivent être protégé [1] [2]. Avec l'augmentation des niveaux de tension de transmission de puissance et la probabilité de tensions de fonctionnement plus élevées, l'intensité du champ électrique au voisinage des isolateurs augmente, et des problèmes de décharge corona et de corona se posent. Cette décharge est responsable de pertes de puissance considérables et conduit souvent à la détérioration de l'isolation. Ce phénomène attire beaucoup d'attention dans l'ingénierie à haute tension, où les champs électriques non uniformes sont inévitables [3-4]. Par conséquent, la compréhension des propriétés des matériaux isolants, de la distribution des champs électriques et des méthodes de contrôle des contraintes électriques est cruciale pour les concepteurs de réseaux électriques [4]. Les chaînes d'isolateurs sont équipées d'appareils auxiliaires pour fournir des connexions et pour améliorer les performances des chaînes d'isolateurs. Tant la géométrie que la conception de ces appareils dépendent du niveau de tension de transmission et du type d'isolant. Les anneaux de calibrage sont les raccords auxiliaires utilisés avec les cordes isolantes. Les anneaux de calibrage, souvent appelés «anneaux corona», peuvent être utilisés avec tout type d'isolant. Les anneaux Corona améliorent les performances de la chaîne isolante de plusieurs manières:

- Ils réduisent les décharges corona aux bornes de la chaîne d'isolateurs

- Ils réduisent le bruit audible, les interférences radio (RI) et les tensions d'interférences télévisées.
- Ils peuvent ajuster la distribution de tension le long de la chaîne d'isolateurs; réduction de l'intensité maximale du champ électrique [5-9].

Les anneaux corona sont également utilisés pour la protection contre les arcs. Pour les contournements d'isolateur, il est nécessaire de maintenir l'arc de puissance éloigné de l'isolateur et de fixer la racine de l'arc sur l'anneau pour éviter l'échauffement des embouts. De plus, certaines expériences de test ont démontré que certaines conceptions d'anneaux corona ont pour effet favorable d'empêcher la formation d'arc en bande sèche près des raccords d'extrémité des isolateurs composites dans des conditions polluées [9].

I.2. problématique

Bien que les isolants polymères fonctionnent bien dans des conditions polluées, ils se dégraderont à cause des changements chimiques sur sa surface. Une contamination continue due à l'environnement et à l'exposition aux produits chimiques entraînera l'accumulation des contaminants sur la surface de l'isolant. Bien que sa capacité d'hydrophobicité nettoie sa surface pendant la pluie et le vent, la formation de contaminants à la surface peut devenir conductrice lorsqu'elle est exposée à l'humidité en raison du brouillard et de la rosée. La capacité d'hydrophobicité de l'isolant polymère sera réduite en raison de la formation d'une couche de contaminants et cela conduira à la formation d'un film conducteur sur sa surface. Le film conducteur et le courant de fuite résultant provoqueront un arc de bande sèche. Des bandes sèches se forment lorsque le courant de fuite circulant sur la surface de l'isolateur produit de la chaleur qui provoque l'évaporation du film conducteur d'humidité. Autre que la bande sèche, l'isolant polymère peut se dégrader en raison du séchage de surface irrégulier causé par une densité de courant non uniforme de la forme de l'isolant qui peut conduire à la formation de plaques sèches sur la surface de l'isolateur. La combinaison de gradients potentiels et d'un champ électrique élevé déclenchera des décharges électriques sur la surface. Dans des conditions favorables, un contournement peut se

produire lorsque la décharge électrique s'est allongée sur de nombreuses bandes sèches sur l'isolant. L'une des causes de décharge électrique sur la surface de l'isolant est due à la distribution du champ électrique sur la surface de l'isolant qui contrôle la densité de courant. L'emplacement de la bande sèche a le pic le plus élevé le long du profil de champ électrique non uniforme de l'isolant. L'activité Corona dans des conditions sèches ou mouillantes à long terme peut également dégrader l'isolant polymère. En condition humide, le champ électrique autour de l'isolant sera élevé en raison de la décharge causée par la permittivité élevée du contact de l'eau avec la silicone. Un champ électrique élevé près des bornes haute tension provoquera une activité corona pendant la sécheresse.

I.3. objectifs

Des recherches récentes sur la défaillance des isolateurs polymère montrent que le vieillissement et la dégradation de l'isolateur sont causés par un champ électrique élevé sur les bornes haute tension. L'objectif principal de ce mémoire est d'optimiser les champs électriques autour de l'isolateur composite en particulier à proximité de la zone des bornes haute tension qui comprend les objectifs suivants:

1. Etude de l'effet de doubles anneaux de garde autour d'un isolateur composite de ligner 400KV.
2. identifier la meilleure installation d'emplacement des anneaux de garde pour améliorer le champ électrique autour de l'isolateur en dessous du seuil corona.

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

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

I.4. structure du mémoire

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

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

Le chapitre 2 est un rappel sur les isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique ainsi que de leur rôle dans les réseaux du réseau électrique. De plus, les facteurs accélérant le vieillissement des isolateurs.

Le chapitre 3 étudie l'influence de l'anneau de garde sur la distribution du champ et du potentiel électrique.

Le chapitre 4 contient l'analyse du Champ Electrique en utilisant la Méthodologie des Surfaces de Réponse avec résultats et discussion.

Le chapitre 5 présente les conclusions générales.

CHAPITRE II

RAPPELS SUR LES
ISOLATEURS DE LIGNES DE
TRANSPORT D'ENERGIE
ELECTRIQUE

Rappels sur les isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique

II.1 Introduction

Les lignes à haute tension constituent le composant principal des réseaux de transport de l'énergie électrique. Elles permettent l'acheminement de l'énergie des centrales électriques vers les centres de consommation et peuvent mesurer plusieurs milliers de kilomètres. En dehors des conducteurs, les lignes électriques comportent d'autres éléments parmi lesquels les isolateurs. Ces derniers jouent un rôle à la fois mécanique et électrique dans la sécurité du transport et la distribution de l'énergie. En effet, ils doivent porter les conducteurs et les isoler du pylône. En service, les isolateurs doivent supporter aussi bien les contraintes électriques dans les conditions normales d'exploitation (sur une large gamme) que les surtensions transitoires dans les conditions anormales imposées par la foudre et les chocs de manoeuvre. Par conséquent, un bon choix et un bon dimensionnement des isolateurs s'avèrent indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement haute tension. Les isolateurs sont également soumis à plusieurs contraintes environnementales pouvant conduire à leur vieillissement. En pratique, les défaillances proviennent de l'action combinée du champ électrique et des facteurs environnementaux..

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

II.2.1. Isolateurs en céramique

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

potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance [10].



Figure II. 1. Photo représente un isolateur en céramique

II.2.2 Isolateurs en Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne et haute tension sont en verre [10, 11]. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.



Figure. II. 2 : Isolateur en verre

II.2.2.1. Le verre trempé

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100° C [10, 11].

II.2.2.2. Le verre recuit

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

II.2.3. Isolateurs composites

Dans les années 1970, les isolateurs polymères sont introduits et largement utilisés pour remplacer les isolateurs en porcelaine et en verre en raison de leur légèreté et de leurs meilleures performances dans un environnement pollué. Depuis lors, des recherches approfondies ont été menées sur l'isolant polymère pour de meilleures performances.

Les isolateurs polymères sont également connus sous le nom d'isolateurs non céramiques ou d'isolateurs composites. Deux matériaux principaux ont été largement utilisés comme isolants polymères sont le caoutchouc de silicone et le monomère d'éthylène-propylène-diène (EPDM) [12]. Leur combinaison éthylène-propylène-silicium (EPS) est utilisée pour améliorer les propriétés de surface et la résistance des matériaux. Les isolateurs polymères sont plus légers car l'isolateur est composé d'une tige de fibre comme noyau et de matériaux polymères comme gaine extérieure. Les propriétés les plus importantes de l'isolant polymère sont leur surface hydrophobe qui empêche la formation de chemins humides continus le long de sa surface. Avec cet avantage, ils peuvent mieux fonctionner dans des conditions polluées lorsque d'autres types d'isolateurs extérieurs souffrent de la formation de bandes sèches sur la surface de l'isolateur et suivies de décharges localisées le long des bandes sèches. 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.

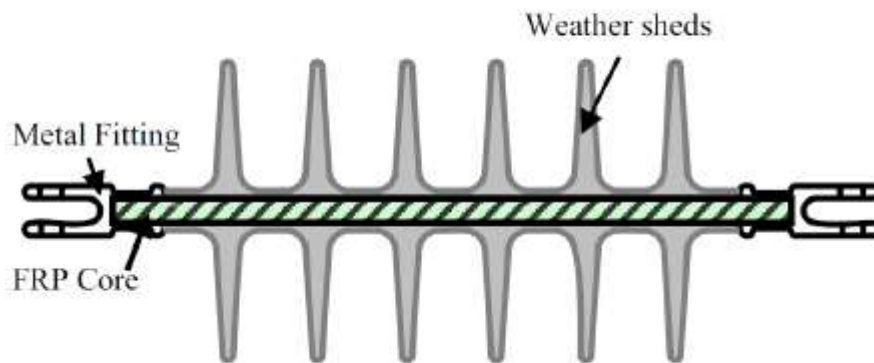


Figure. II. 3 : Structure d'un isolateur composite

II. 2.4. vieillissement des isolateurs composites

Le vieillissement est caractérisé surtout par une dégradation des propriétés électriques, mécaniques ou chimiques (par exemple: augmentation des pertes diélectriques, diminution de la résistivité ou de l'hydrophobicité). Très souvent, différentes réactions apparaissent simultanément et influent mutuellement l'une sur l'autre [13]. Ces réactions déterminent ainsi l'état final du matériau composite.

Soumis à différentes contraintes durant l'exploitation, les isolateurs vieillissent. Et selon le type de réaction produite sur le matériau composite, on distingue plusieurs types de vieillissement dont les principaux sont :

- ⇒ Le vieillissement thermique provoqué par l'action de longue durée de hautes températures, sur le diélectrique.

- ⇒ Le vieillissement électrochimique engendré par certains processus dont la cause est le phénomène d'électrolyse ayant lieu dans le diélectrique.
- ⇒ Le vieillissement électrique (ionisation - décharges partielles) résultant des décharges à la surface et dans les cavités surtout gazeuses enfermées dans les diélectriques.

II.2.4.1. Vieillessement thermique

Le vieillissement thermique dépend de la structure du diélectrique. La dégradation du matériau est activée par la présence d'oxygène. Les principaux processus de vieillissement thermique sont:

- la rupture des chaînes multimoléculaires, accompagnée par une dégradation des propriétés électriques et mécaniques, le dégagement de gaz à faible poids moléculaire,
- L'oxydation conduisant à l'apparition d'acides carboxyliques.

II.2.4.2. Vieillessement Electrochimique

Le processus de vieillissement électrochimique a lieu surtout sous l'action d'une tension continue de longue durée d'application, ainsi que d'une tension alternative de faible fréquence. Le courant de fuite circulant à travers le diélectrique a un caractère électrolytique, lié au transfert d'ions. Ces ions peuvent être métalliques ou non. Les ions non métalliques se déchargent au niveau des électrodes et peuvent former des substances actives se combinant avec le diélectrique. Les ions métalliques peuvent, après neutralisation, pénétrer dans le diélectrique et y créer souvent des chemins conducteurs appelés "dendrites". Lors du processus de vieillissement électrochimique, la température du diélectrique augmente. Cette augmentation engendre non seulement une augmentation de la conductivité du matériau mais aussi une activation des réactions chimiques qui sont la cause du vieillissement [13].

II.2.4.3. Vieillessement Electrique

Le vieillissement électrique est caractérisé par une dégradation des propriétés diélectriques du matériau, sous l'action prolongée d'une contrainte électrique (champ électrique) relativement élevée. Il est caractérisé par l'augmentation des pertes diélectriques et une diminution de la résistivité transversale du matériau. La dégradation

est particulièrement accentuée par la présence d'impuretés de différentes natures, plus particulièrement des vacuoles de gaz au sein du diélectrique ou des particules à la surface du diélectrique. Ces impuretés sont en général le siège de décharges partielles qui peuvent engendrer, après un temps relativement long, l'érosion du matériau et finalement la rupture diélectrique. En pratique, la tension seuil d'apparition des décharges partielles correspond à la tension appliquée au matériau à partir de laquelle la charge apparente fournie par le réseau est égale à un seuil donné. La tension seuil d'apparition des décharges partielles risque de diminuer en fonction du temps de vieillissement pour les champs appliqués relativement intenses. La tension seuil d'apparition des décharges partielles diminue aussi dans le cas du vieillissement thermique (application de fortes températures sur de longues périodes) [14].

L'action combinée des contraintes environnementales et électriques sur l'isolation conduit à un vieillissement qui est une des causes prédominantes de défaillance du système d'isolation.

II.3. Comportement des isolateurs sous pollution

La pollution est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs haute tension. Selon l'emplacement et les zones environnantes, les isolateurs rencontrent différents types de polluants : les grains de sable dans les régions désertiques et les zones minières, des substances métalliques et chimiques dans les zones industrielles et agricoles, et les particules de sel dans les régions côtières. Elle est un paramètre important à prendre en considération lors du choix et du dimensionnement des isolateurs ou chaînes d'isolateurs. En effet, la pollution provoque la formation d'une couche sur la surface des isolateurs. Ces couches de pollution, quand elles sont humidifiées, réduisent considérablement la résistivité surfacique des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tenue diélectrique. Notons que dans la pratique, cette couche de pollution n'est pas homogène et sa distribution n'est pas uniforme. La non-homogénéité est due à la présence de différents agents polluants dans une même région, et la non-uniformité de la répartition sur les surfaces des isolateurs est due aux profils des isolateurs, le sens et la direction des vents dans cette région, la pluie, la position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), la position de l'isolateur dans la chaîne,

le degré de pollution du site où se trouve les isolateurs ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur [15][16]. Le comportement des isolateurs sous pollution est un facteur essentiel pour la conception et l'exploitation des lignes électriques en zones polluées. Il convient donc de connaître les différents phénomènes de conduction sous pollution. Lors de la mise en place d'un isolateur ou d'une chaîne d'isolateurs, la longueur de la ligne de fuite de l'ensemble est telle que le champ électrique en chaque point est très inférieur à la rigidité diélectrique de l'atmosphère ambiante. La conductivité superficielle, créée par la couche de pollution, modifie la répartition de la tension selon les contraintes en présence.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un rappel sur les isolateurs de lignes de transport d'énergie électrique. En effet, la fiabilité des systèmes de transport et de distribution de l'énergie électrique est tributaire de la qualité du système d'isolation. Les principaux mécanismes intervenant dans la dégradation et le vieillissement prématuré des isolateurs composites ont été examinés. Les performances des isolateurs composites sous pollution ont été présentées.

Le chapitre suivant traite la possibilité d'installation des anneaux de garde pour optimiser les performances des isolateurs composites et étudie l'influence de ces derniers sur la distribution du champ et du potentiel électrique.

CHAPITRE III

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

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

III.1 Introduction

La distribution de la tension et du champ E le long d'un isolateur composite peut être améliorée en installant un anneau de garde [1]. Les dimensions des anneaux de garde doivent être optimisées, par à cette fin, l'effet des paramètres géométriques de l'anneau de garde ont été étudiés afin d'obtenir un champ électrique et une distribution de tension plus uniformes. Le processus de projet pour l'optimisation des paramètres de l'anneau de garde est effectué comme suit :

- 1- Le modèle 3D de l'isolateur étudié a été conçu par COMSOL Multiphysique.
- 2- La méthode des éléments finis tridimensionnels a été utilisée sur la base de COMSOL Logiciel MULTIPHYSICS pour calculer le champ électrique et la distribution de tension en fonction des paramètres géométriques de l'anneau de de garde.
- 3- Le logiciel MINITAB pour trouver l'objectif fonction qui consiste en une relation mathématique entre le champ E maximal magnitudes et paramètres des anneaux de garde.

III.2. Utilisation des anneaux de garde pour les isolateurs composites

Comme définition, l'anneau de garde est un dispositif métallique généralement de forme circulaire, installé pour modifier électrostatiquement la distribution de tension le long de l'isolateur [17] (Figure III.1). les anneaux de garde sont fixés aux extrémités métalliques des isolateurs de poste et sont donc soumis au même potentiel que ces dernières.



Figure. III. 1. Exemples de géométries d'anneaux de garde

III.2.1. Fonctionnalité des anneaux de garde

La revue de littérature permet de mettre en évidence que l'ajout d'un ou plusieurs anneaux aux isolateurs, qu'ils soient de ligne ou de poste, permet d'assurer une ou plusieurs fonctions qui sont les suivantes [18] :

- Une meilleure répartition du champ électrique à l'intérieur ou extérieur du matériau constituant l'isolateur afin d'éviter toute décharge électrique partielle à l'intérieur des diélectriques (micro cavités ou défauts), à l'interface entre les différents matériaux ou encore à la surface des matériaux sous conditions de pluie ou de pollution atmosphérique.
- Une réduction de l'intensité du champ électrique dans l'air autour des extrémités métalliques de l'isolateur et des équipements avoisinants afin de prévenir l'apparition des décharges couronnes qui sont responsables des perturbations radiophoniques, bruits audibles et pertes énergétiques.
- La protection de l'électrode métallique de l'isolateur contre l'arc électrique en gardant l'arc à distance de l'isolateur et en permettant de fixer la racine de l'arc à l'anneau de garde pour prévenir toute détérioration.

L'ajout des anneaux de garde aux isolateurs de poste et de ligne n'est pas automatique du fait qu'il existe plusieurs facteurs à prendre en compte dans la décision et qui plus est, il n'existe pas réellement de règles établies précisément [18]. Les facteurs principaux à

considérer sont relatifs aux dimensions des parties métalliques des extrémités des isolateurs ainsi que les dimensions et les types de connexion entre ces derniers et les parties portées à la haute tension ou mises à la terre. La recommandation d'installer ou pas des anneaux de garde est généralement émise par les manufacturiers qui doivent non seulement tenir compte des différentes dimensions géométriques mais aussi des conditions locales environnementales (humidité, pollution, altitude, ect.) en procédant, soit à des tests expérimentaux, soit à des simulations numériques dans le but de guider leur choix [52, 53].

III.2.2. Utilisation des anneaux de garde sous différentes conditions atmosphériques

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

- une dégradation accélérée de la surface de l'isolateur dans le cas de décharges partielles initiées à l'extrémité des gouttes d'eau et une augmentation des perturbations Radiophoniques et du bruit audible [19-20].
- l'apparition d'arcs électriques partiels dont les pieds en contact avec l'isolateur peut endommager non seulement la surface isolante mais aussi les parties métalliques et même entraîner des bris mécaniques dans des cas de pollution ou de précipitations froides [18].
- le contournement complet de l'isolateur sous condition de pollution sévère couplée avec la pluie ou encore sous conditions de précipitations verglaçantes importantes [21, 22-23].

L'initiation des activités électriques à la surface des isolateurs sous différentes conditions atmosphériques sont toutes dues à la modification partielle voir totale des distributions du potentiel et du champ électriques. En effet, que ce soit la présence des

gouttes d'eau, d'une couche de pollution, de bandes sèches ou encore de dépôts de glace, d'intervalles d'air ou de film d'eau ou un amalgame de toutes ces conditions, une redistribution du potentiel le long de l'isolateur s'effectue. La non-uniformité de la redistribution du potentiel qui en découle est à l'origine des activités électriques nuisibles qu'il convient d'amoindrir afin de protéger les isolateurs contre tout dommage éventuel.

III.2.3. Optimisation des anneaux de garde

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

Nombreuses études ont été réalisées sur l'optimisation des anneaux de garde [21-22]. La majorité des études recensées se sont concentrées sur les isolateurs de lignes en composite puisque ces derniers sont plus sensibles aux dégradations engendrées par les activités électriques inhérentes à une distribution du potentiel non uniforme [21]. Les différentes études d'optimisation ont été réalisées par modélisation numérique en utilisant soit la méthode des éléments finis (MEF) [23-24], soit la méthode des éléments finis de frontière (MEFF) [24]. Ces deux méthodes sont tout à fait adaptées au calcul de champ électrique et au problème d'optimisation.

Pour ce qui est des méthodes d'optimisation utilisées, une seule approche est en générale préconisée dans les différentes études rapportées afin d'optimiser l'utilisation

des anneaux de garde. Le choix se porte généralement sur l'utilisation de l'étude paramétrique [25-26] où la géométrie de l'anneau est paramétrée par un nombre réduit de variables ce qui limite considérablement la variété des formes possibles (ou admissibles). L'étude paramétrique consiste donc à étudier l'influence de chacun des paramètres géométrique de l'anneau de garde sur les distributions du potentiel et du champ électrique le long de l'isolateur afin de déterminer la meilleure configuration de paramètres ou la meilleure géométrie conduisant à la meilleure uniformisation de la distribution du potentiel et du champ électrique.

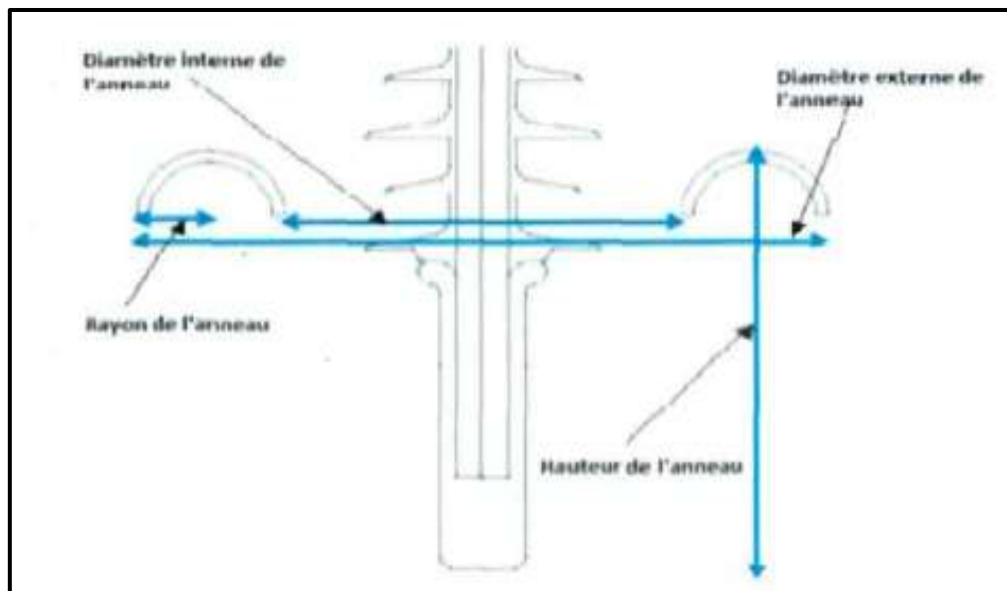


Figure. III. 2. Exemple de paramétrage de la géométrie d'un anneau de garde utilisé avec un isolateur composite de ligne

III.3. Le champ Electrique

Le champ électrique est défini comme la force électrique par unité de charge et c'est une quantité vectorielle car elle dépend de la direction. La direction du champ est considérée comme la direction de la force qu'il exercerait sur une charge de test positive. Le champ électrique est radialement vers l'extérieur à partir d'une charge positive et radialement vers une charge ponctuelle négative. L'équation de l'intensité du champ électrique est donnée par :

$$\text{Champ électrique} = \frac{\text{Force}}{\text{charge}}$$

En terme mathématique :

$$E = \frac{F}{q} \quad (1)$$

où l'unité est Newton / Coulomb. L'intensité du champ électrique est une expression quantitative de l'intensité d'un champ électrique à un endroit particulier. L'unité standard est le volt par mètre (v/m ou $v \cdot m^{-1}$). Une intensité de champ de 1 v/m représente une différence de potentiel d'un volt entre des points séparés d'un mètre. Les champs électriques à haute tension provoquent une polarisation et des pertes électriques dans les isolants polymères [25]. Des champs plus élevés induiront des mécanismes supplémentaires dans l'isolant tels que des décharges de cavité et une accumulation de charge d'espace pendant la conduction et la polarisation. La polarisation se produit lorsque les électrons et les molécules de polymère ont tendance à se réarranger sous les effets du champ électrique. Lorsque le polymère atteint un claquage électrique diélectrique, la conduction se produira là où l'isolateur deviendra conducteur. À long terme, l'accumulation de charges d'espace peut persister dans l'isolateur et sa surface, ce qui peut produire des claquages localisés dans les régions de champ électrique intense qui peuvent entraîner une érosion sur l'isolateur [26].

La distribution du champ électrique n'est pas uniforme le long de l'isolateur haute tension où les régions de champ les plus élevées se trouvent aux bornes d'extrémité haute tension et aux zones centrales. Des décharges électriques sous forme de couronne, d'arc à bande sèche et de contournement se produiront en raison de champs non uniformes et élevés sur l'isolateur [27].

III.3.2. Décharge corona

Les décharges corona se produisent à la surface de l'isolateur lorsque les gradients de champ électrique sur la surface dépassent la force de claquage de l'air. La formation de la couronne dépend des conditions atmosphériques telles que la ventilation de l'air, l'humidité et la géométrie de l'isolant. Corona provoque des interférences radio et TV, du bruit, de l'ozone et des pertes d'énergie. Corona accélère le vieillissement du polymère en produisant de l'ozone et de la lumière ultraviolette [28-29]. La figure III.3

montre l'activité de décharge corona pour une transmission de 400 kV en condition sèche.



Figure. III. 3. Décharge corona

III.4. Conclusion

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

CHAPITRE IV

ANALYSE DU CHAMP
ELECTRIQUE ET EN
UTILISANT LA
METHODOLOGIE DES
SURFACES DE REPONSE

Chapitre 04

Analyse du Champ Electrique en utilisant la Méthodologie des Surfaces de Réponse

IV.1. Introduction

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

IV.2. Modèle d'isolateur

La structure de l'isolateur 400kV étudié est montrée dans la figure IV.1.

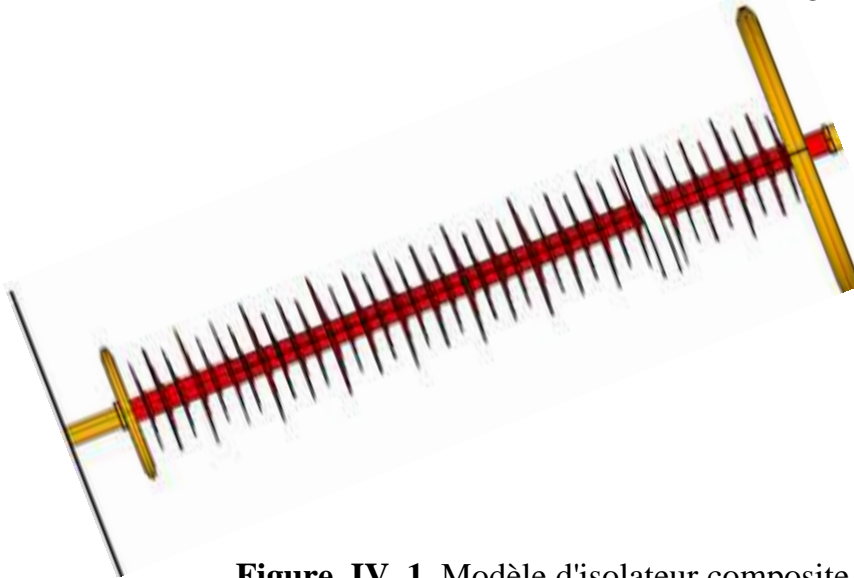


Figure. IV. 1. Modèle d'isolateur composite

Le modèle 3D l'isolateur polymère étudié a été conçu par COMSOL Multiphysique. La méthode des éléments finis 3D a été utilisée via le logiciel COMSOL MULTIPHYSICS ®4.3 pour calculer le champ E et la distribution potentielle. L'électrode haute tension (HT) est acheminée vers un potentiel de $(400 \sqrt{2}) \sqrt{3} \text{ kV}$ tandis que l'électrode inférieure est portée à un potentiel nul (0 V). Le champ électrique le long de l'axe central l'isolateur particulièrement proche du les raccords d'extrémité sous tension dans l'unité supérieure du l'isolateur doivent être minimisés, à cet effet trois paramètres structurels d'un seul anneau de garde sont pris en compte (Figure VI.2) :

- ✚ La position de l'anneau de garde de l'électrode HV (H).
- ✚ Le rayon de l'anneau de garde (R).
- ✚ L'épaisseur du tube de l'anneau de calibrage (Dr).

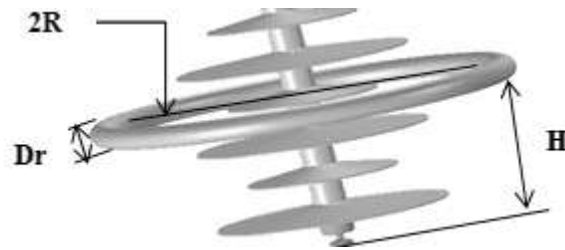


Figure. IV. 2. Paramètres structurels de l'anneau de garde

Selon certains tests de simulation, les dimensions du premier anneau ont été fixées (H_1, R_1, Dr_1) à et les dimensions du grand anneau pouvaient varier, trois niveaux pour chaque paramètre sont choisis comme indiqué dans le tableau VI.1. Comme déjà dit, il y a deux anneaux utilisés pour améliorer la distribution de la tension et le champ électrique. Pour le deuxième anneau de garde, nous choisissons trois valeurs pour chaque paramètre (H_2, R_2, Dr_2). Les paramètres de l'anneau de garde à être étudiées et leurs plages de variation sont indiquées dans le tableau VI.1. De plus, il n'y a pas de normes pour la conception et le placement des anneaux par les fabricants.

Tableau. IV. 1. Paramètres des anneaux de garde

Paramètres	H	R	Dr
Anneau de garde 1	200	180	80
Anneau de garde 2	200	200	30
	350	300	60
	500	400	90

Trois valeurs de variation d'épaisseur de tube annulaire pour le deuxième anneau de garde sont choisies (30, 60 et 90 mm). Nous notons cette faible épaisseur conduit à un champ E élevé. L'augmentation excessive de l'épaisseur du tube au-delà 90 mm n'est pas économique, cela rend l'anneau plus volumineux et est soumis à des sollicitations mécaniques contraintes. Afin de réduire le nombre et le temps de simulations effectuées pour optimiser le paramètres d'anneau de classement, une conception optimale nécessite un plus petit nombre de simulations est adopté sur la base du modèle L9 de Taguchi. Une méthode combinée basée sur la méthodologie de surface de réponse et La conception de Taguchi est choisie afin d'obtenir la fonction objective.

VI.3. Conception de Taguchi

Le design Taguchi est une méthode statistique développée par le chercheur japonais Taguchi. Initialement, il a été développé pour améliorer la qualité des produits fabriqués (fabrication développement de processus), plus tard son application a été étendue à de nombreux autres domaines dans l'ingénierie, comme la biotechnologie, etc. [30,31]. Le plan de Taguchi est considéré comme une méthode statistique de modélisation de problèmes dans lesquels différentes variables affectent la réponse souhaitée. Il permet de déterminer une fonction d'approximation représentant la relation entre la réponse et des variables indépendantes. La méthode Taguchi est l'une des meilleures méthodologies expérimentales utilisées pour trouver le minimum nombre d'expériences à effectuer dans la limite admissible des facteurs et des niveaux. Les facteurs sont des variables physiques d'entrée, modifiables par l'expérimentateur et influencer les variations de réponse. Avec les plans d'expériences, on obtient les maximum informations avec le minimum d'expériences. Ainsi le mariage du design de des expériences avec optimisation des paramètres de contrôle pour obtenir les meilleurs résultats sont réalisés dans le Méthode Taguchi. Dans ce mémoire, nous

avons trois paramètres appelés facteurs (H, R, Dr), chaque paramètre a trois valeurs. Les données de test obtenues ont été analysées par le modèle L9 de Taguchi. Il faut respecter les répartitions des neuf expérimentations (neuf simulations) selon les variables et leurs plages de variation selon le plan L9 de Taguchi. Ce modèle a été extrait de Minitab. Le modèle L9 de Taguchi doit être composé de trois paramètres (H, R, Dr), chaque paramètre avec trois plages de variantes.

IV.4. Méthodologie Des Surfaces De Réponse (M.S.R)

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

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

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

le dimensionnement et la conception des isolateurs.

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

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

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

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

$$E = 4.296 + 10^{-6}(13H^2 + R^2 + 113Dr^2 - 4HR + 13HDr + 19RDr - 4383H + 21 - 37910Dr) \quad (3)$$

Les paramètres à étudier et leurs niveaux sont indiqués dans le tableau IV.2

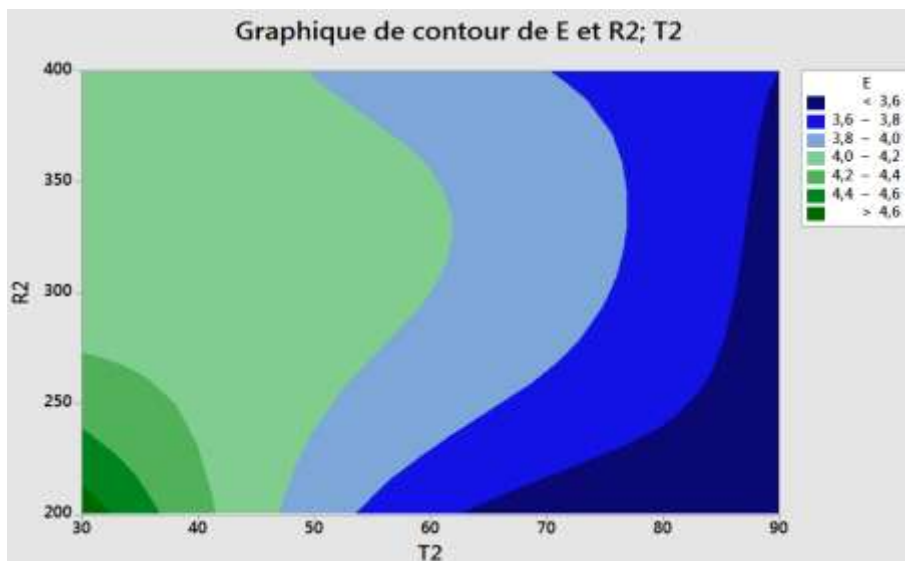
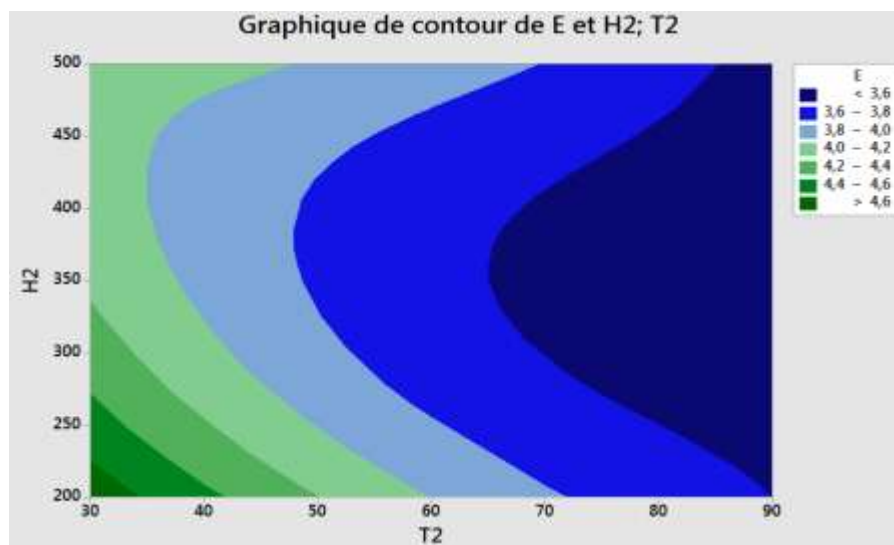
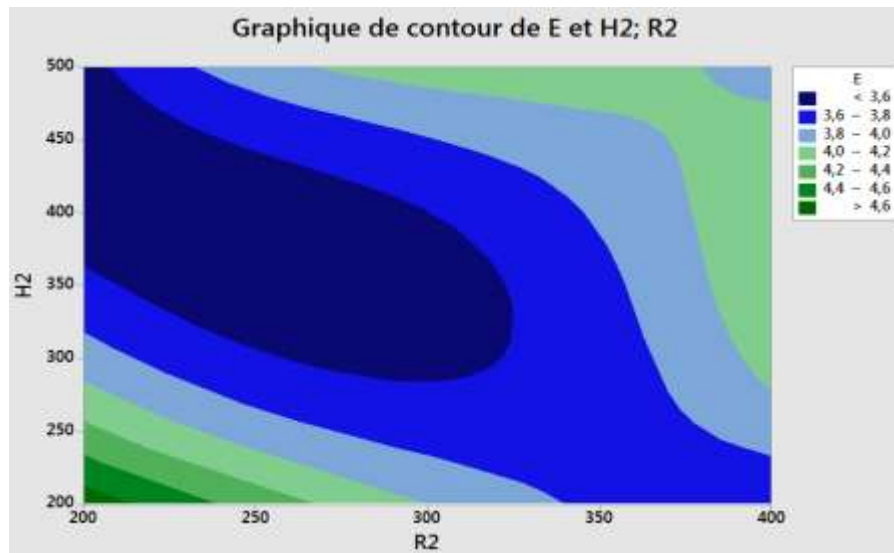
Tableau. IV. 2. Résultats informatiques

Paramètres				
	H2(mm)	R2(mm)	Dr2(mm)	E(kV/cm)
Variations	200	200	30	4,73
	200	300	60	4,00
	200	400	90	3,60
	350	200	60	3,65
	350	300	90	3,52
	350	400	30	4,17
	500	200	90	3,53
	500	300	30	4,10
	500	400	60	3,90

D'après le tableau IV. 2, la valeur minimale du champ électrique est de 3.52 kV/cm. Elle correspond à l'interaction des 3 paramètres H2, R2 et Dr2 avec les valeurs de ; 350,300 et 90 mm respectivement.

IV.5. Résultats et discussions

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 (4,2 kV / cm). 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 prédicteurs tracés sur les échelles x et y et les valeurs de réponse représentées par les contours, où les points qui ont la même réponse sont connectés pour produire des courbes de niveau de réponses constantes. L'augmentation du rayon de l'anneau a une influence croissante sur le champ E. De plus, le champ électrique est réduit, si l'anneau est plus proche à l'extrémité, et si l'épaisseur du tube annulaire est à la valeur maximale choisie.



VI. 1. Tracés de contour de la variation du champ E par rapport aux paramètres de l'anneau de garde

IV.5.1. Résultats de simulation

IV.5.1.1. Maillage

Après avoir terminé toutes les propriétés du matériau et les conditions aux limites, l'ensemble du problème du domaine a été discrétisé en éléments triangulaires non chevauchants pendant le processus de maillage, comme le montre la figure IV.4. Pour une meilleure précision sur la région d'intérêt, le raffinement du maillage peut être effectué en sélectionnant la taille de maillage appropriée. Plus la taille de maillage est petite, plus la précision est élevée et augmente le temps de traitement.

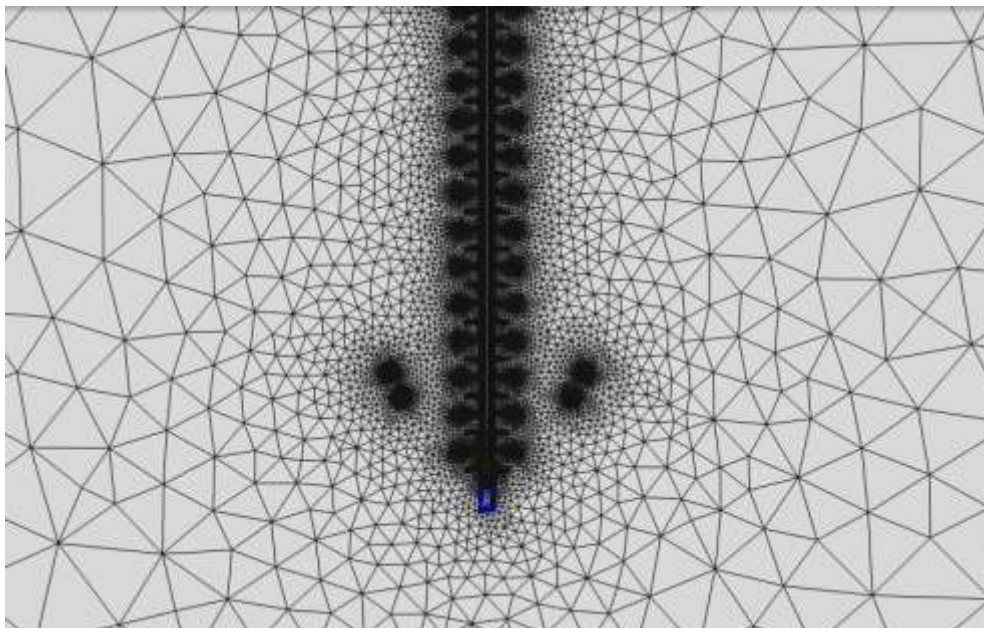


Figure. IV. 2.Maillage

IV.5.1.2. FEM simulation sans anneau de garde

Initialement, 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 VI.5 montre la distribution du champ E et la figure VI.6 représente le potentiel électrique, il est clairement indiqué que le champ E au HV l'électrode de l'isolateur atteint une valeur maximale située à la même point triple hauteur et diminue rapidement ensuite. La figure VI.7 montre la distribution du potentiel électrique le long de l'isolateur composite sans anneau de

garde. Les zones à fort potentiel électrique sont concentrées sur le dessus de l'isolateur près de l'extrémité sous tension.

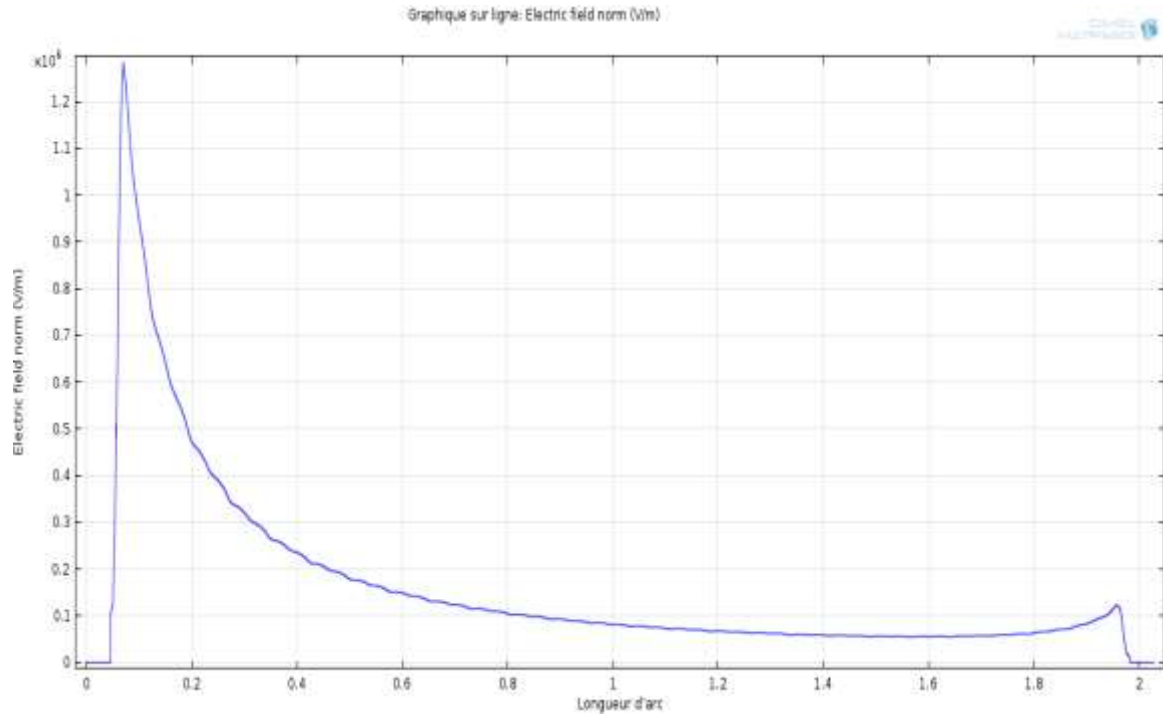


Figure. IV. 3. La distribution du champ électrique le long de l'isolateur en absence de l'anneau de garde

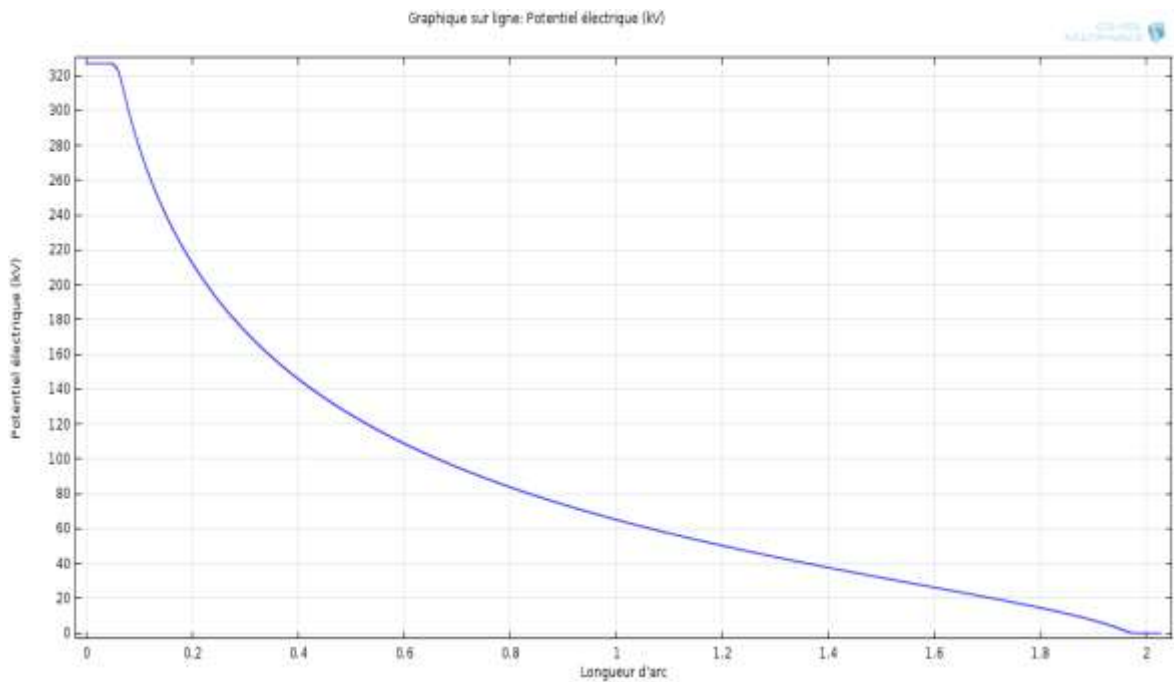


Figure. IV. 4. Le potentiel électrique en absence de l'anneau de garde

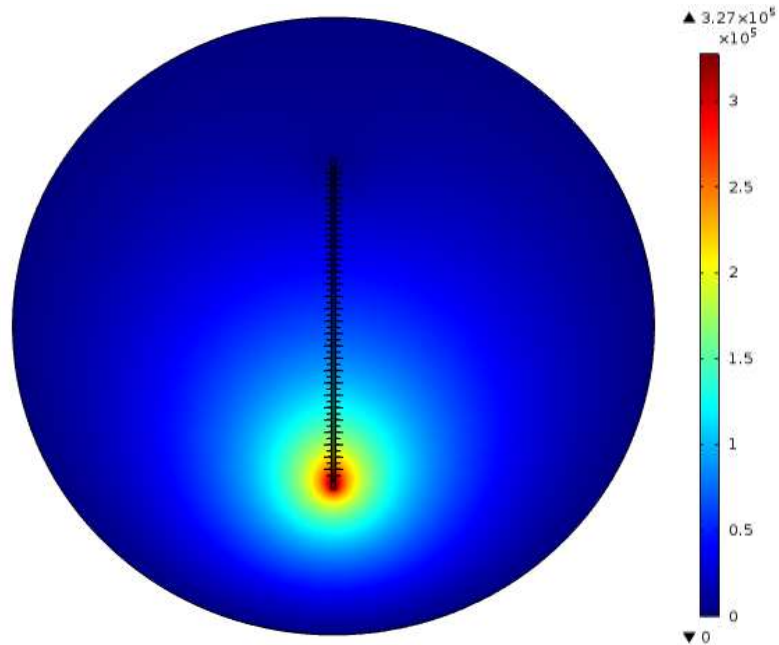


Figure. IV. 5. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en absence de l'anneau de garde

IV.5.1.3. FEM simulation avec un seul anneau de garde

La Fig. IV.8 illustre la répartition du champ électrique le long de l'isolateur composite avec un seul anneau de garde. On montre que la distribution de tension le long de l'isolateur est améliorée par rapport au cas sans anneau.

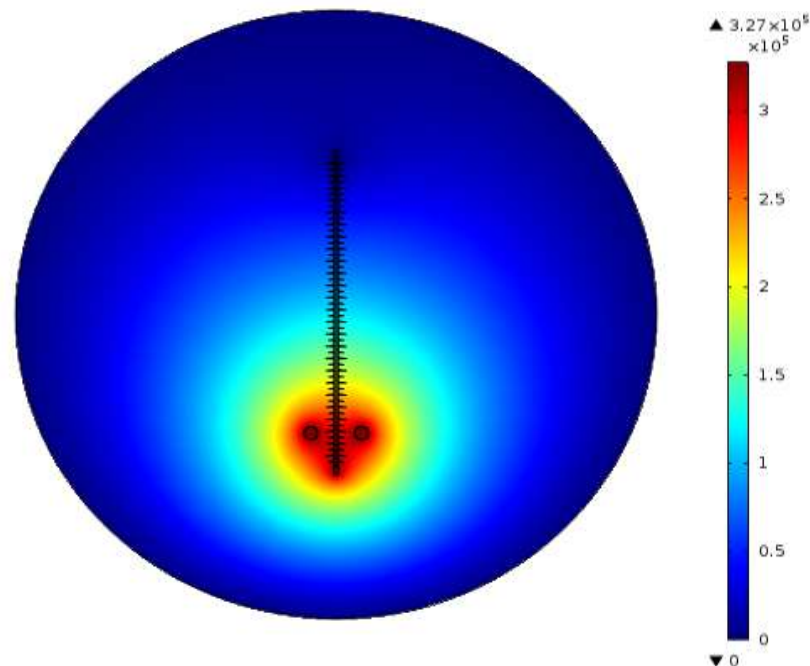
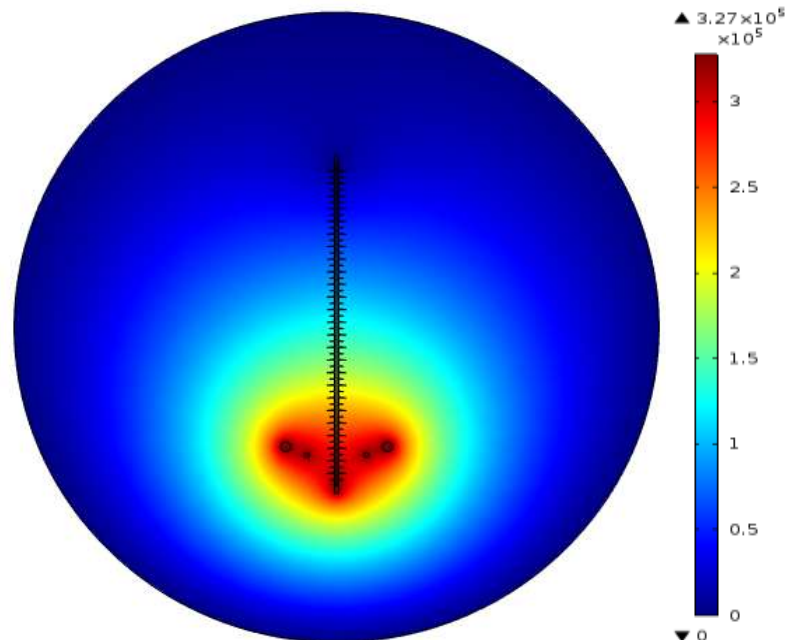


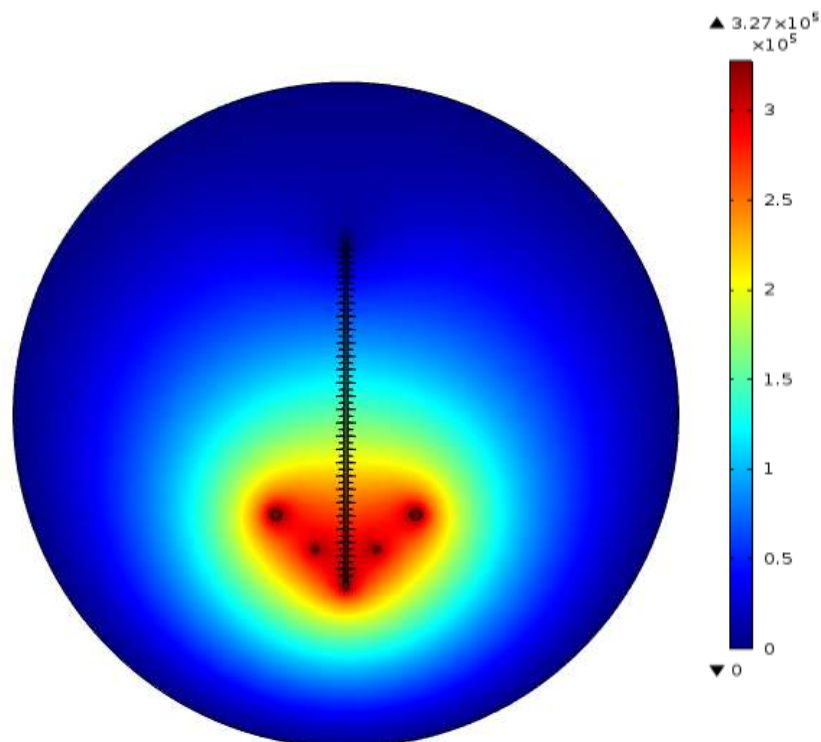
Figure. IV. 6. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en présence d'un seul anneau de garde

IV.5.1.4. FEM simulation avec deux anneaux de garde

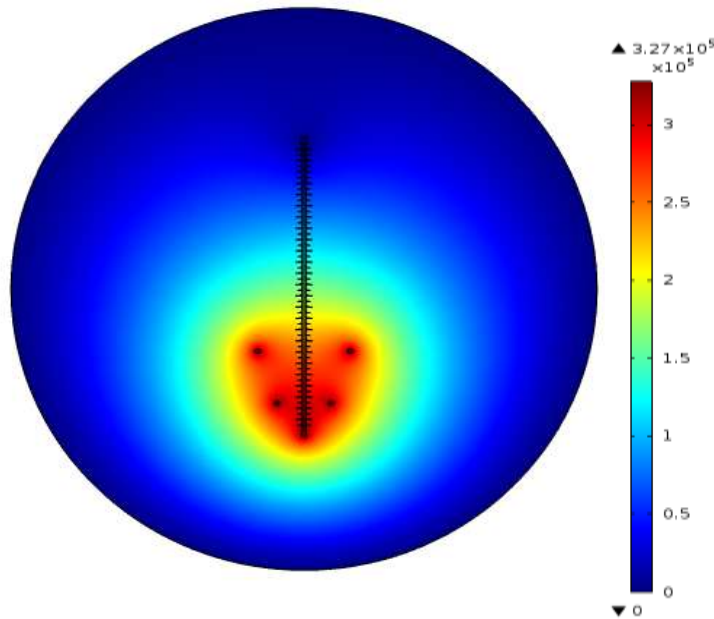
Comme déjà dit, il y a deux anneaux utilisés pour améliorer la distribution de la tension et le champ électrique, un anneau avec des paramètres fixes et un deuxième anneau avec des paramètres variables.



1. $(H2, R2, Dr2) = (200, 300, 60)$ et $(H1, R1, Dr1) = (200, 180, 80)$



2. $(H2, R2, Dr2) = (350, 300, 90)$ $(H1, R1, Dr1) = (200, 180, 80)$



3. $(H2, R2, Dr2) = (500,300, 30)$ $(H1, R1, Dr1)= (200,180, 80)$

Figure IV. 4. Distribution du champ électrique autour de l'isolateur composite en présence de deux anneaux de garde en prenant 3 cas de figure 1,2 et 3

D'après la figure VI.9, Il est clairement observé que l'installation du deuxième anneau de garde améliore encore plus le champ électrique. Elle lui rend plus uniforme par rapport au cas de présence d'un seul anneau de garde.

En appliquant la méthode d'optimisation proposée dans ce projet, cette valeur va s'améliorer et le champ électrique va prendre sa valeur minimale, ce qui lui offre une protection contre les différentes contraintes.

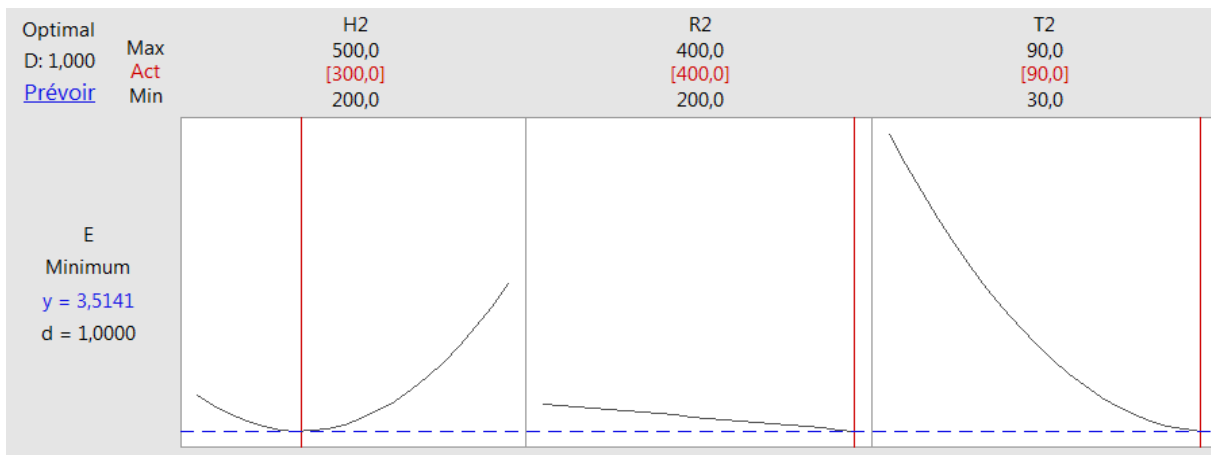


Figure VI. 5. Optimisation de la réponse pour les paramètres d'anneau de garde (les valeurs optimales sont en rouge)

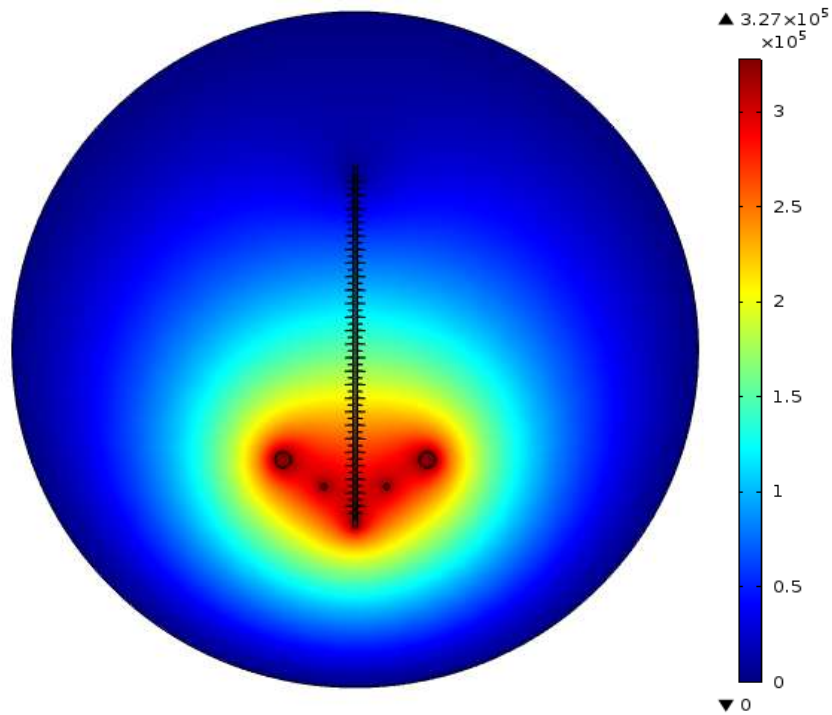


Figure VI.6. . La distribution du champ électrique autour de l’isolateur composite en présence d’anneau de garde avec des paramètres optimisés

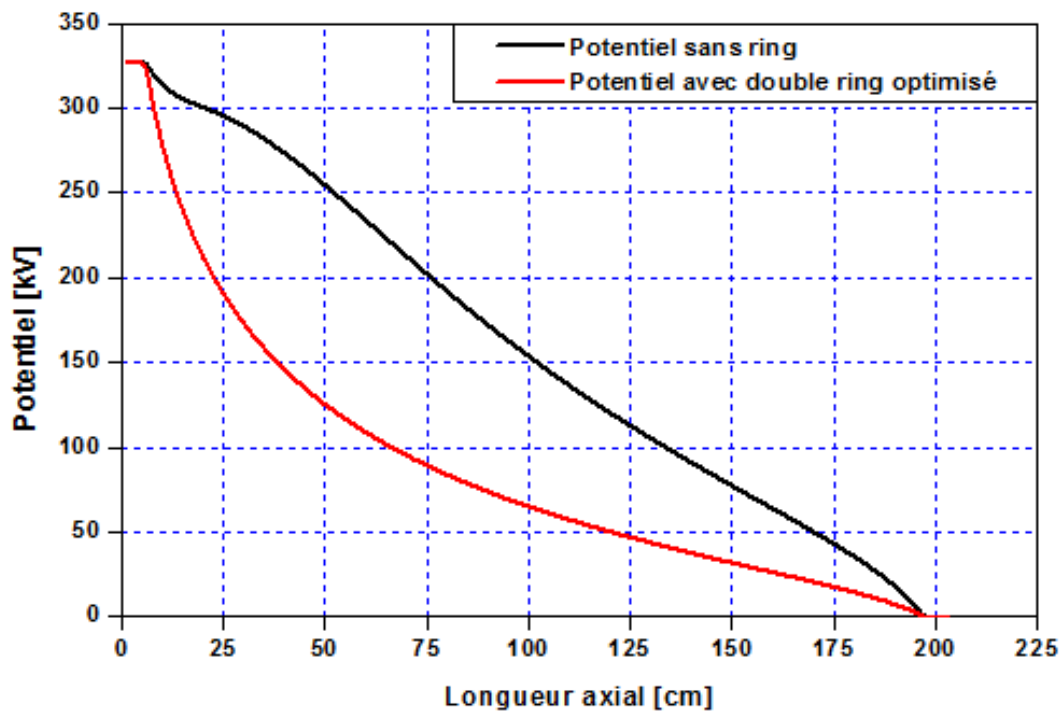


Figure. VI. 7. Le potentiel électrique le long de l’isolateur en présence de d’anneau de garde optimisé

La figure IV.11 montre la distribution du champ électrique le long de l'isolateur composite avec deux anneaux de gradation optimisés. On montre que la distribution de la tension et du champ électrique le long de l'isolateur est uniforme; cette uniformité est bien mise en évidence sur la figure IV.12.

IV.6. Conclusion

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

CHAPITRE V

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions Générales

V.1. Conclusions Générales

Ce travail a pour objectif d'étudier et d'analyser la défaillance des isolateurs en polymère. La forte contrainte électrique à proximité de l'électrode haute tension (HT) dans la partie supérieure de l'isolateur provoque le vieillissement et la dégradation de ce dernier, et par la suite provoque sa défaillance totale. La première partie de ce mémoire vise à améliorer la répartition de la tension et du champ électrique le long d'un isolateur composite 400 kV en optimisant la conception de l'anneau de garde. La méthode des éléments finis 3D a été utilisée pour calculer la distribution de tension et la distribution de champ électrique. Les effets des paramètres de l'anneau de garde ont été analysés. La conception optimale de l'anneau de garde, telles que les positions de l'anneau de garde de l'électrode HV (H), le rayon de l'anneau de garde (R) et l'épaisseur du tube de l'anneau de garde (D_r) a été obtenue en minimisant le champ électrique le long de l'isolateur et en combinaison avec la méthodologie de surface de réponse. Nous utilisons une méthodologie de conception expérimentale basée sur le modèle L9 de Taguchi. La conception de Taguchi a été utilisée sur la base du logiciel MINITAB pour trouver la fonction objective. Afin d'obtenir une meilleure répartition de la tension et du champ électrique le long d'un isolateur composite, l'installation de deux anneaux de garde est proposée. Le deuxième anneau de garde proposée a une dimension géométrique importante par rapport à la première bague. Les dimensions du 1^{er} anneau ont été fixes, et les dimensions du 2^{ème} anneau pouvaient varier. Les résultats de la simulation montrent qu'en utilisant une conception optimale de doubles anneaux, la distribution de tension peut être faite comme uniforme que possible et le champ électrique est réduit pour éviter d'endommager l'isolateur. Pour s'assurer de la validité de l'approche proposée, il est prévu, dans un futur travail, de introduire la vérification expérimentale qui est très importante dans ce genre de recherche travail.

REFERENCES

Références

- [1] A. Haddad and D. Warne, *Advances in High Voltage Engineering: IET Power and Energy Series 40*, vol. 40. 2007.
- [2] M. ADJABI, —Analyse des parafoudres à Oxyde de Zinc dans les réseaux électriques à haute tension, PHD thesis, University of BADJI MOKHTAR - ANNABA-, 2007.
- [3] P. S Maruvada,. (2000). *Corona Performance of High Voltage Transmission Lines*. Research Studies Press, Baldock, England.
- [4] E. Kuffel, W. S Zaengl,, and J. Kuffel, (2003). *High Voltage Engineering: Fundamentals*. 2nd edit., Newness Publications, UK.
- [5] R. S. Gorur, , E. A. Cherney, , J. T. Burnham, (1999). *Outdoor Insulators*. Ravi S. Gorur Inc., Phoenix, Arizona, USA.
- [6] W. Sima, , Espino-Cortes, F. P., Cherney, E. A. and Jayaram H. S. (2004). Optimization of Corona Ring Design for Long-Rod Insulators Using FEM Based Computational Analysis, *IEEE International Symposium Electrical Insulation*, pp. 480-483.
- [7] IEEE-987. (2001). *Guide for the Application of Composite Insulators*. IEEE 987-2001.
- [8] M., Gemignani, R., Gillespie, A., Grisham, T., Hill, R., Saha, T., Vancia, B., Yu, J. (2008). Electric Fields on AC Composite Transmission Line Insulators *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.23, No.2, pp. 823-830.
- [9] CIGRE. (1992). Use of stress control rings on composite insulators. *CIGRE Working Group 03 of Study Committee 22, Electra*, No. 143, pp. 69-71.
- [10] 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
- [11] M. TERKMANI, M.BABOUAMER, " Contournement des Isolateurs des Lignes de Haute Tension ", PFE, USTO, juin 2005.
- [12] Souza, A.L., Lopes, I.J.S., "Electrical field distribution along the surface of high voltage polymer insulators and its changes under service conditions", *IEEE International Symposium on ELINSL*, pp. 56-59. 2006.
- [13] U. Kaltenborn, J. Kindersberger, and J. Speck, "Surface behaviour of epoxy castings during the early ageing period," in *Proceedings of the 1998 IEEE 6th International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics*, 1998. ICSD, pp. 269–272, 1998.
- [14] D. Birtwhistle, G. Cash, G. George, B. Goss, A. Krivda, and H. Liu, "Field Monitoring of the Ageing of Composite High Voltage Insulators," in *Ageing Studies And Lifetime Extension Of Materials*, New York, USA: Kulwer Academic/ Plenum Publishers, pp. 225–237, 2001.

- [15] N. D. Megriche, "Modélisation dynamique des décharges sur les surfaces d'isolateurs pollués sous différentes formes de tension: élaboration d'un critère analytique de propagation," Ecole Centrale de Lyon, 1998.
- [16] R. Matsuoka, H. Shinokubo, K. Kondo, Y. Mizuno, K. Naito, T. Fujimura, and T. Terada, "Assessment of basic contamination withstand voltage characteristics of polymer insulators," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 11, no. 4, pp. 1895–1900, 1996.
- [17] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60099-4; Surge arresters –Part4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, no. Second edition. International Electrotechnical Commission (IEC), 2004.
- [18] CIGRE Working Group 22.03, «Use of Stress control Rings on Composite Insulators », ELECTRA N°.143, pp. 68-71, août 1992.
- a.
- [19] Y. Porcheron, « Isolateurs », Techniques de l'ingénieur, section D 4425, pp. 1-9,1996.
- [20] AJ. 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.
- [21] E. Nasser, «Contamination Flashover of Outdoor Insulation", ETZ-A, Vol. 93, pp. 321-325, 1972
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] S. Dessanti, F. Moro et R. Turri, « A critical field criterium for assessing RIV inception levels on HV devices », Proc. I5ieme Inter. Symp. On High Voltage Engineering, papier T3-479, Ljubljana, Slovénie, 27-31-août 2007.
- [25] T. Xie et Z. Peng, « Study on the voltage-sharing performance of porcelain insulators on750 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
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.

[29] S. Chakravorti and H Steinbigler., “Boundary element studies on insulator shape and electric field aroun HV insulators with or without pollution,“ IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 7, pp. 169-176, 2000.

[30] K. Krishnaiah and P. Shahabudeen, Applied Design of Experiments and TAGUCHI METHODS. PHI Learning Private Limited, New Delhi., 2012.

[31] S. Athreya and Y. D. Venkatesh, —Application Of Taguchi Method For Optimization Of Process Parameters In Improving The Surface Roughness Of Lathe Facing Operation,|| Int. Ref. J. Eng. Sci., vol. 1, no. 3, pp. 13–19, 2012.

المخلص

في نظام نقل الطاقة، يتم تزويد سلاسل العازل بأجهزة مساعدة لزيادة الأداء الكهربائي لسلسلة العوازل. على سبيل المثال ، تعتبر حلقة الحماية ، التي يشار إليها عادةً باسم حلقة الإكليل ، أحد الملحقات المساعدة المستخدمة مع أسلاك العزل من البورسلين والبوليمر. يهدف العمل المقدم إلى دراسة تأثير حلقات الحماية المزدوجة حول عازل مركب بخط 400 كيلوفولط. يعتمد التحليل على طريقة العناصر المحدودة (FEM) والنتائج التي تم الحصول عليها من خلال عمليات المحاكاة باستخدام برنامج COMSOL Multiphysics. يتيح تحليل التباين تقييم التأثيرات الرئيسية وتأثيرات التفاعل لثلاث معلمات تمت دراستها ؛ موضع الحلقة من النهاية ونصف قطر الحلقة وسمك الأنبوب الدائري. تم تحسين العلاقة بين المجال E والمعلمات الهندسية ونمذجتها من خلال منهجية سطح الاستجابة (RSM). أظهرت النتائج تحسين المجالات الكهربائية ، وتم عرض توزيع موحد للجهد الكهربائي. المنهجية المقترحة فعالة في تصميم حلقات الإكليل على العوازل المركبة لخطوط النقل وتقدم نتيجة أكثر دقة لإيجاد أفضل الحلول لمشاكل تفريغ الإكليل .

الكلمات المفتاحية: التحسين ، حلقة الحماية ، FEM ، عازل مركب ، منهجية سطح الاستجابة ، المجال الكهربائي .

Abstract

In a real power transmission system, insulator strings are equipped with auxiliary apparatus in order to increase the electrical performance of an insulator string. For example, a grading ring, usually called a corona ring is one of the auxiliary fittings that are used with porcelain and polymer insulator strings. The presented work aims to study the effect of double guard rings around a 400KV line composite insulator. The analysis is based on the Finite Element Method (FEM) and the results obtained through simulations using the COMSOL Multiphysics software. The analysis of variance makes it possible to evaluate the main effects and the interaction effects of three parameters studied; position of the ring from the end, radius of the ring and thickness of the ring tube. The relationship between the E field and the geometric parameters is optimized and modeled by response surface methodology (RSM). The results show an optimization of the electric fields, and a uniform distribution of the electric potential has been shown. The proposed methodology is efficient for designing corona rings on composite insulators of transmission lines and presents a more precise result to find the best solutions to the problems of corona discharges.

Keywords: Optimization, corona ring, FEM, insulator composite, response surface methodology, electric field.

Résumé

Dans un système de transmission d'énergie, les chaînes d'isolateurs sont équipées d'appareils auxiliaires afin d'augmenter les performances électriques d'une chaîne d'isolateurs. Par exemple, un anneau de garde, généralement appelé anneau corona, est l'un des accessoires auxiliaires utilisés avec les cordons isolants en porcelaine et en polymère. Le travail présenté vise à étudier l'effet de doubles anneaux de garde autour d'un isolateur composite de ligner 400KV. L'analyse est basée sur la méthode des éléments finis (FEM) et les résultats obtenus grâce aux simulations à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics. L'analyse de variance permet d'évaluer les principaux effets et les effets d'interaction de trois paramètres étudiés; position de l'anneau à partir de l'extrémité, rayon de l'anneau et épaisseur du tube de l'anneau. La relation entre le champ E et les paramètres géométriques est optimisée et modélisée par la méthodologie de surface de réponse (RSM). Les résultats montrent une optimisation des champs électriques, et une distribution uniforme du potentiel électrique a été montrée. La méthodologie proposée est efficace pour concevoir des anneaux corona sur des isolateurs composites de lignes de transmission et présente un résultat plus précis pour trouver les meilleures solutions aux problèmes de décharges corona.

Mots-clés : Optimisation, anneau de garde, FEM, isolateur composite, méthodologie de surface de réponse, champ électrique.