



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseau Electrique

Thème

**ETUDE DU PHENOMENE DE CONTOURNEMENT DES
ISOLATEURS POLLUES PAR LOGICIEL COMSOL**

Réalisé par:

Aouioueche Enfel

Guemari Djouhaina

Guetroun Mouna

Encadré par:

Dr. Khechekhouche Ali

Année universitaire 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mes chers mère et père que Dieu les protège, plus que jamais les irremplaçables, pour son amour, ses conseils, ses encouragements et ses prières.

A mes très chères frères.

A mes très chères sœurs.

A ma famille et mes amis.

À mon fiancé Haythem.

G.Djouhaina

Dédicace

En cet honorable lieu, d'un simple geste tracé par écrit, mais qui jaillie du profond sentiment de reconnaissance, permettez-moi de citer les noms comme un mémorandum pour ceux qui ont une place particulière:

A mon très cher père A ma très chère mère A mes frères et sœur

A toute ma famille.

A tous mes amies sans exception.

Atous; jedédiecetouvrage, qui est lesensdemesétudes supérieurs, telunprésent du cœur, en priant ALLAH tout puissant à le mettre au service de notre nation et de l'humanité, et qu'il sera une lumière sur mon parcours professionnel.

A.Enfel

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail.

A ma chère mère, pour ses sacrifices depuis qu'elle mis au monde,

A mon père, qui m'a toujours soutenu et aidé à affronter les difficultés,

A mes chères frères et sœurs, à toute ma famille.

A tous mes amis.

G.Mouna

Remerciements

En préambule à ce mémoire, nous tenons à remercier « DIEU » qui nous a aidé pour que ce modeste travail soit achevé et pour que nous ayons réussi.

Nous souhaitons adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

*Nous tenons à remercier sincèrement le professeur encadreur **Khechekhouche Ali**, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

Nous précieux remerciements vont au président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils ont accepté de juger ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant nos recherches.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Sommaire

Liste de figures	
Listes de tableaux	
Liste de symboles	
INTRODUCTION GENERALE.....	01

Chapitre I Généralité sur le phénomène de contournement

I.1. Introduction.....	04
I.1 Définition de l'isolateur.....	05
I.2 L'influence de la pollution sur les isolateurs de HT.....	05
I.3 Le contournement électrique.....	06
I.4Chronologie et mécanisme de contournement des isolateurs.....	06
I.4.1 Arc de contournement.....	08
I.4.2 Diamètre de la décharge.....	09
I.4.3 Profil de l'isolateur.....	09
I.4.4 Diamètre moyen d'un isolateur réel.....	11
I.5 Modèle statique des isolateurs.....	13
I.5.1 Modèle d'Obenaus.....	13
I.5.2 Modèle de Neumarker.....	14
I.5.3 Modèle de Rizk.....	14
I.5.4 Modèle du disque circulaire.....	15
I.5.5 Modèle de Wilkins.....	16
I.5.6 Modèle de Danis.....	17
I.6Technique de lutte contre la pollution.....	18
I.6.1 Allongement de la ligne de fuite.....	19
I.6.2 Isolateurs plats.....	19
I.6.3 Graissage périodique.....	19
I.6.4 Revêtement silicone.....	20
I.6.5 Les isolateurs composites.....	20
I.6.6 Nettoyage des isolateurs.....	20
I.7 Conclusion.....	22

CHAPITRE II MODELISATION ELECTROSTATIQUE D'UN ISOLATEUR

II.1 Introduction.....	23
II.2 Définition de la méthode des éléments finis.....	23
II.2.1 Principe.....	23
II.2.2 Etapes de la méthode des éléments finis.....	24
II.2.3 Avantages de la MEF.....	25
II.2.4 Inconvénients de la MEF.....	25
II.3 ComsolMultiphysics.....	26
II.3.1 Description du logiciel « COMSOL Multyphysics ».....	26
II.3.2 Les modèles.....	26
II.3.2.1 AC/DC Modèle.....	27
II.3.3 Procédure de simulation.....	27

II.4 Étapes de résolution dans COMSOL Multiphasic.....	27
II.4.1 Choix du modèle.....	27
II.4.2 Géométrie.....	27
II.4.3 Propriété des matériaux.....	28
II.4.4 Maillage.....	28
II.4.5 Etapes à suivre pour une solution.....	28
II.5 Équations de Maxwell.....	29
II.5.1 Équations en potentiel scalaire.....	29
II.5.2 Conditions aux limites.....	31
II.5.3 Conditions d'interfaces	32
II.6 Application de la méthode des éléments finis à la simulation de notre dispositif expérimental.....	32
II.6.1 Description approchée d'un système 3D à l'aide de modèles 2D.....	34
II.7 Conclusion.....	36

Chapitre III

simulation électrostatique d'un isolateur Haut Tension pollué en 2D

III.1 Introduction.....	
III.2 Présentation des résultats obtenus.....	38
III.2.1 Système sans décharge.....	38
III.2.2 Système avec décharge verticale.....	39
III.2.2-a Configuration axisymétrique.....	40
III.2.2-b Configuration coupe horizontale.....	40
III.2.2-b-1 Sur la surface d'électrolyte.....	43
III.2.2-b-2 Au-dessus de la surface d'électrolyte (dans l'air).....	43
III.3 Comparaison avec littérature	45
III.3.1 Coupe horizontale.....	47
III.3.2 Configuration axisymétrique.....	48
III.4 Conclusion.....	48
CONCLUSION GENERALE.....	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	51

Liste de figure

Chapitre I	
Figure I.1: Les étapes du contournement sur une surface polluée.....	07
Figure I.2: Exemple de profil réel d'un isolateur.....	10
Figure I.3: Assimilation théorique d'un isolateur à un cylindre.....	11
Figure I.4: Diamètre moyen des isolateurs IEEE etEPDM.	12
Figure I.5: Modèle d'Obenaus.....	14
Figure I.6: Modèle de disque circulaire tel qu'étudié par Woodson et Mc. Elroy.....	15
Figure I.7: Modèle de Wilkins.....	16
Figure I.8: Modèle de Danis.....	18
Figure I.9:Isolateur plat en verre.....	19
Figure I.10: Revêtement silicone d'isolateur.....	20
Chapitre II	
FigureII.1: des étapes de solution du logiciel.....	29
Figure II.2: Le montage expérimental.....	33
Chapitre III	
Figure III.1: Modèle 2D (axisymétrique)de P.Zmajkovic.....	38
Figure III.2:Répartition du potentiel entre l'électrode de haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge.....	39
Figure III.3: Répartition du champ électrique entre l'électrode de haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge électrique.....	40
Figure III.4:Répartition de potentiel électrique dans le dispositif expérimental après l'amorçage de la décharge électrique.....	41
Figure III.5:L'évolution de potentiel électrique dans le canal de la décharge électrique.	42
Figure III.6: Répartition du champ électrique dans le dispositif expérimental pendant l'amorçage de la décharge électrique.....	42
Figure III.7: Répartition du potentiel électrique sur le canal d'électrolyte en configuration axisymétrique.....	43
Figure III.8: Calcul du potentiel sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse.....	44
Figure III.9:Calcul du potentiel sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse	45
Figure III.10:Calcul du champ électrique sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse.....	46
Figure III.11:Calcul du potentiel dans l'air à 1 mm de la surface du canal d'électrolyte.	47
Figure III.12:Configuration en coupe horizontale.....	47
Figure III.13: Répartition du potentiel sur la surface du canal coupe horizontale.....	48
Figure III.14: Répartition du potentiel sur la surface du canal coupe transversale. (axisymétrique).....	49

Liste des symboles

Symboles	Signification
r_d	Rayon de la décharge
w_r	Largeur de la rainure
d_r	Hauteur de la rainure
r_r	Distance sépare la rainure et l'axe de symétrie de l'isolateur
ξ_r	Paramètre caractérise l'efficacité de la longueur de fuite
k_c	Paramètre dépend du niveau de contamination
k_r	Rapport entre la longueur de l'arc et la ligne de fuite
k_t	Nombre de couches de pollutions en série
U	Tension appliqué
V_{arc}	Tension d'arc
V_e	La chute da tension cumulée aux bornes des électrodes
U_c	Tension critique de contournement
L lignes de contournement	
L_f	ligne de fuite
I	Le courant de fuite
F	Facteur de forme d'un isolateur
A, n	constants de l'arc
X	Longueur de l'arc
U_m	Tension de mesure
R	rayon
ε_r	Permittivité relative
HT	Haut Tension

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale :

Les besoins économiques et le bien-être des populations font partie aujourd'hui des raisons d'un développement croissant des installations de productions, de transport et de transformation de l'énergie électrique. L'électricité est un agent énergétique lié à la puissance. Son approvisionnement provenant des centrales exige l'installation de lignes aériennes ou souterraines permettant l'alimentation des consommateurs.

Les lignes aériennes qui sont conçues, réalisées, entretenues et exploitées conformément aux normes, prescriptions et directives de sécurité, de même qu'aux règles de l'art, sont exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de transport et de l'appareillage électrique associé.

En effet, les dépôts polluants qui s'accumulent sur les surfaces isolantes peuvent, par temps de pluie, engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle et par conséquent la réduction de la tension de tenue des isolateurs pouvant conduire au contournement, ce qui a pour conséquence grave, la mise hors service de la ligne.

Les performances des isolateurs installés en régions polluées représentent les facteurs de première importance dans l'architecture, le dimensionnement, la qualité et la fiabilité d'isolement de haute tension. Afin de surveiller la qualité d'isolement d'un ouvrage, il est impératif de connaître réellement les mécanismes conduisant au contournement sous pollution.

Ce manuscrit comporte trois chapitres

Dans le premier chapitre, nous avons rappelé les principaux modèles statiques rapportés dans la littérature et souligné leur caractère empirique ou semi-empirique à travers des équations caractérisant la tension aux bornes de la décharge ou les conditions critiques pour le contournement. Pour conclure cette partie consacré en grande partie à la présentation des modèles actuels de prédiction de la résistance de la couche de pollution, il convient de souligner que :

La majorité des modèles mathématiques, est basée sur le modèle d'Obenaus.

La détermination de la résistance de la couche de pollution est indispensable dans la modélisation du phénomène de contournement

le second chapitre, nous avons présentés un outil de calcul basé sur la méthode des éléments finis (logiciel COMSOL) pour décrire la répartition du potentiel électrique au voisinage de la décharge et ainsi sur le long de la surface de pollution avec deux configurations en 2D proposées par [Zm].

Le troisième chapitre est consacré à la confrontation des résultats de simulation bidimensionnelle effectuée sur le modèle de laboratoire via le logiciel COMSOL en électrostatique. Il s'agit des configurations axisymétrique et coupe horizontale (vu de dessus) des même modèle.

Chapitre I

Généralité sur le phénomène de contournement

I.1. Introduction:

Depuis une cinquantaine d'années, plusieurs travaux ont été menés pour comprendre les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène. Les résultats de ces multiples études ont permis d'établir des modèles donnant les caractéristiques des décharges évoluant sur les surfaces d'isolateurs et allant jusqu'au contournement. Toutefois, il faut préciser que la plupart de ces modèles sont empiriques ou semi empiriques [1]. De nos jours, d'autres modèles analytiques sont proposés. Dans ce qui va suivre.

L'intérêt croissant vis-à-vis des phénomènes de contournement des isolateurs sous diverses conditions atmosphériques a donné lieu à un nombre exhaustif d'études, particulièrement sous des conditions de pollution. Certaines de ces études se sont intéressées tout spécifiquement au processus de propagation d'un arc électrique à la surface d'une couche d'électrolytique dans le but de comprendre les phénomènes complexes inhérents au contournement des isolateurs. De ces études, ont émergé plusieurs modèles mathématiques permettant de prédire la tension critique de contournement des isolateurs qui ont été appliqués aux isolateurs pollués. L'objectif de ce chapitre est donc d'effectuer une revue succincte du phénomène de contournement des isolateurs pollués ainsi que les principaux modèles rapportés dans la littérature.[2]

Les lignes aériennes et les poste du réseau de transport de l'énergie électrique, installés dans les régions où la pollution atmosphérique est importante, peuvent être sujets à des incidents graves dus aux contournements des chaînes d'isolateur où des colonnes isolantes polluent. En effet, dans un environnement naturel, des dépôts d'origines diverses (poussiers, fumées, sel etc.....) se fixent sur les surfaces isolantes et abaissent considérablement, par temps de pluie ou de brouillard, la résistivité superficielle des isolateurs. des courants de fuites circulent à la surface de ces isolateurs et provoquent des assèchements locaux de la couche polluante et l'apparition de petits arcs. Dans certains cas la conductivité de cette couche polluante est telle que les arcs se développent jusqu'à provoquer le contournement total des isolateurs et la mise hors service de l'installation.

Nous allons présenter dans ce chapitre, les notions fondamentales du phénomène de contournement ensuite passer en revue de façon critique les travaux théoriques et expérimentaux les plus représentatifs dans la littérature.[3]

I.1 Définition de l'isolateur:

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

Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales. D'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre, et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne, son mouvement en présence de vent, etc. [4]

I.2 Influence de la pollution sur les isolateurs de HT:

La pollution est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs de haute tension. C'est un paramètre important à prendre en considération lors du choix et du dimensionnement des chaînes d'isolateurs. 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 des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue. Notons que 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 trouvent les isolateurs ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur.[5]

I.3 Contournement électrique:

Le contournement électrique d'un isolateur est l'extension sur sa surface d'une décharge électrique jusqu'à ce qu'elle mette en court-circuit la haute tension et la masse qui a pour conséquence grave l'interruption de la distribution de l'énergie électrique. Le contournement des isolateurs pollués est un phénomène de rupture diélectrique provoqué par le dépôt de la pollution sur une surface d'isolateur. Pour étudier ce phénomène beaucoup d'essais de tension de tenue au contournement ont été effectués dans des conditions normales ou artificielles de dépôt pollution, respectivement dans une station de pollution ou dans un laboratoire. La Commission Electrotechnique International a établi une série de la norme standard internationale pour les essais artificiels de pollution sur les isolateurs.

I.4 Chronologie et mécanisme de contournement des isolateurs:

Le contournement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes, chacune de ces étapes ayant une importance sur le résultat final, c'est-à-dire la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau :

- **Dépôt de la pollution:**

L'origine du dépôt est soit naturelle (sel, sable...) soit industrielle (fumée, engrais...) soit encore combinaison des deux.

Les particules du dépôt sont apportées par le vent (l'isolateur par sa présence modifie le régime laminaire du vent) et se concentrent entre les nervures ou derrière le capot.

L'accumulation du dépôt est continue, et n'est modifiée que par la pluie et le vent. En position verticale le nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que sur le dessous, d'où un dépôt plus important sur la surface inférieure des ailettes. En général, la quantité de dépôt se stabilise à une valeur moyenne après un certain temps qui va le plus souvent de 5-6 mois à 2 années.

- **Humidification de la pollution:**

Le brouillard, la condensation et la petite pluie humidifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions correspondent à des conditions dites critiques. [7]

Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance dès qu'un film conducteur continu se forme sur la surface de l'isolateur.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale mais diminue s'il y a délavage ou séchage. Le niveau de ce courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et des produits insolubles contenus dans le dépôt.

Les produits insolubles par absorption d'une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur ainsi que l'humidification du dépôt.

- **Développement des zones sèches et apparition des arcs:**

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante près des ferrures de l'isolateur. Par effet joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur le courant est très réduit en amplitude par la présence de "bandes sèches".

La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par ces bandes sèches plus résistive. La plupart du potentiel électrique est appliqué aux bornes des bandes sèches. Si leur largeur est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée aux bornes de la bande sèche.

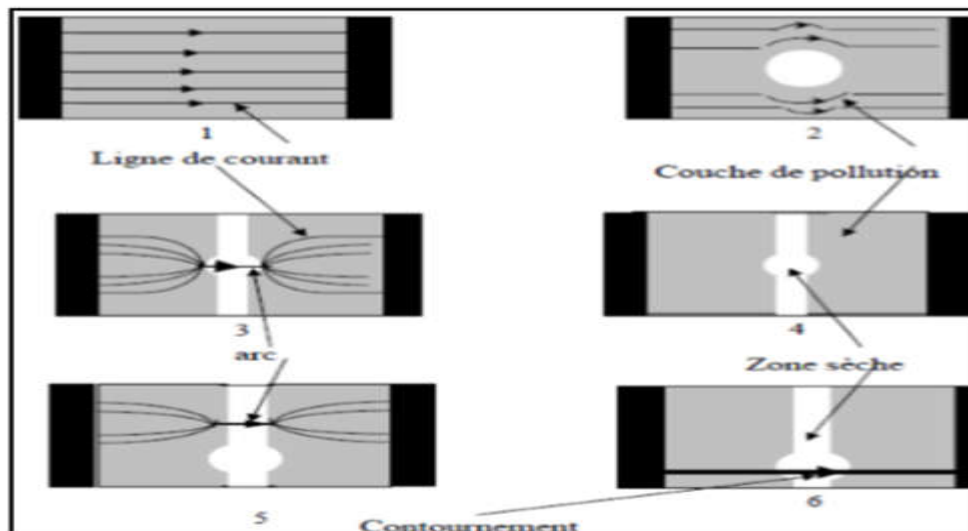


Figure I.1: Les étapes du contournement sur une surface polluée[6]

- **Elongation et comportement des arcs:**

La résistance du dépôt humidifié (R) est en série avec l'arc. Elle limite ainsi le courant de l'arc (i) et sa longueur. Si le courant est trop faible, s'éteindra. La bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'exerce pas que l'on appelle "le courant critique" correspondant à une "longueur critique" de l'arc, cette situation reste stable.

Si la résistivité de la pollution humidifiée est suffisamment faible et que le courant de fuite augment jusqu'au point de dépasser le seuil du courant critique, la longueur de l'arc s'allonge rapidement, court-circuit l'isolateur et l'isolant contourne. Cette situation doit être bien sur évitée pour maintenir la qualité de service.[7]

I.4.1 Arc de contournement:

L'arc de contournement est un phénomène complexe puisqu'il met en jeu différents processus de décharge électriques dans l'air ainsi qu'à la surface du milieu sur lequel il évolue. Il s'agit en fait d'un arc électrique établit entre les électrodes de l'isolateur dont l'une est portée à la haute tension et l'autre est mise à la terre, entraînant ainsi un court-circuit. Cet arc de contournement peut se produire sous différentes conditions atmosphériques telles que la pluie, la neige ou le verglas. De plus la présence d'une couche de pollution peut grandement contribuer au contournement des isolateurs. Enfin ces contournements peuvent se produire sous tension de service, mais aussi lors de chocs de foudre ou de manœuvre qui induisent une surtension sur le réseau électrique. Pour éviter des contournements sous pollution, la ligne de fuite d'un isolateur (ou d'une chaîne) peut être très longue par exemple 10.50 mètres en 420 kV. Sans l'existence des ailettes ou des nervures, les isolateurs seraient beaucoup trop longs et entraîneraient une surélévation des ouvrages tout à fait inacceptable. C'est pourquoi les fabricants d'isolateurs ont proposé des profils plus ou moins complexes.

- La ligne de fuite est la distance la plus courte le long de la surface de l'isolateur entre deux parties conductrices.
- Le courant de fuite d'un isolateur pollué est le courant qui traverse la couche de pollution humide lorsque l'isolateur est sous tension de service.[4]

I.4.2 Diamètre de la décharge:

Le diamètre du canal de la décharge est un paramètre important ; sa connaissance est indispensable à l'élaboration de modèles et la caractérisation physique du phénomène. Sa mesure est cependant très délicate à cause de la diffusion de la lumière. La décharge n'est pas un volume dont les frontières sont parfaitement nettes (bien définies). Il est donc nécessaire de définir un diamètre équivalent .

A partir de la mesure de la densité du courant pendant la propagation de la décharge, Wilkins a montré que le rayon de la décharge peut être estimé par la relation :

$$a_d = \sqrt{\frac{I}{1,45\pi}} \quad (I.1)$$

Cette relation a été confirmée récemment par Farokhi en effectuant les mesures optiques sur des isolateurs couverts de givre et qui a montré que le diamètre qui assure la conduction peut être approximé par la relation proposée par Wilkins.

Matsumoto et al ont développé un dispositif de mesures optiques composé d'une matrice de 512 photodiodes disposées à des intervalles de 28µm. Ce dispositif leur a permis de mesurer avec une bonne précision le diamètre de la colonne de la décharge. Leurs observations montrent que le diamètre d (mm) de la décharge dépend de la polarité de la tension et du courant I (A) qui la parcourt. A cet effet, ils proposent une relation empirique liant le diamètre de la décharge et le courant :

$$d = a I^b$$

Où I est le courant et d le diamètre. Les constantes a et b dépendant de la polarité de la tension appliquée à l'électrode haute tension avec :

a= 14 et b = 0,78 pour la polarité positive

Et a= 22 et b = 0,78 pour la polarité négative.[6]

I.4.3 Profil de l'isolateur:

Pour assurer sa fonction, le profil de l'isolateur doit satisfaire les conditions suivantes:

- Une longueur de fuite maximale

- Un nombre optimum de nervures (pour une taille donnée de l'isolateur) qui permet d'avoir une tension de contournement plus élevée.
- Une géométrie de l'isolateur permettant le nettoyage naturel de l'isolateur par le vent ou par la pluie.
- Des diamètres de l'isolateur différents assurant une contamination non uniforme et donc des tensions de contournement plus élevées.

Pour tenir compte des deux premières conditions, Cheng et Nour ont défini un paramètre ξ qui caractérise l'efficacité de la longueur de fuite. Ils ont démontré que pour le cas d'une symétrie cylindrique, ce paramètre est généralement fonction de la largeur de la rainure w_r , sa hauteur d_r et la distance r_r qui sépare la rainure et l'axe de symétrie de l'isolateur (figure I.2).

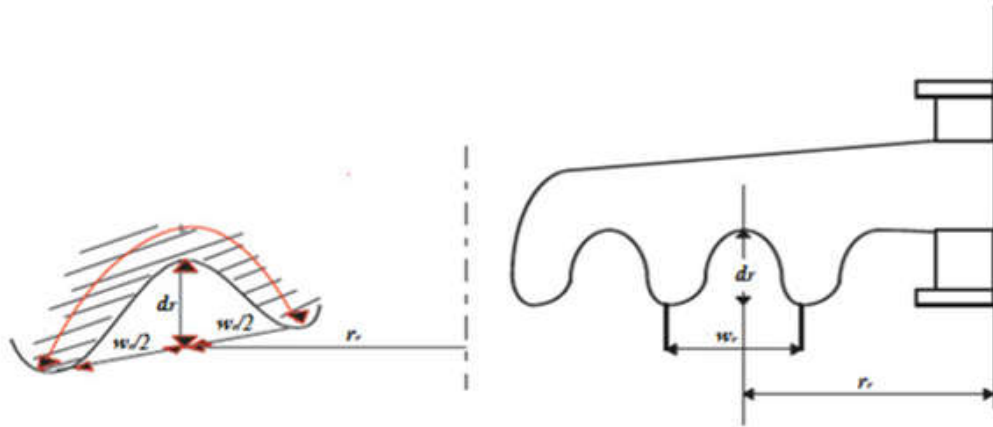


Figure I.2: Exemple de profil réel d'un isolateur

A partir de mesures expérimentales, ils ont déduit une relation empirique de la forme :

$$\xi_r = 1 - \exp\left(-\frac{k_c w_r}{d_r}\right) \quad (I.2)$$

Où k_c dépend uniquement du niveau de contamination. La longueur de fuite effective sera :

$$L_{ff} = L_f \xi_r \quad (I.3)$$

Pour différentes formes d'isolateurs Claverie et Porcheron ont donné des courbes de variation de R_p/ρ en fonction de la longueur de l'isolateurs et en ont déduit une fonction $Fr(x)$ telle que :

$$R_p = \rho Fr(x) \quad (I.4)$$

$Fr(X)$ est appelée fonction de répartition de la couche de pollution, R_p et ρ sont respectivement la résistance et la résistivité volumique de la couche polluante.[3]

I.4.4 Diamètre moyen d'un isolateur réel:

Par définition, le diamètre moyen φ d'un isolateur réel correspond au diamètre d'un isolateur qui serait cylindrique et qui posséderait la même ligne de fuite L_f , et la même résistance lorsqu'il est recouvert de la même couche polluante, que l'isolateur réel (figure I.3)

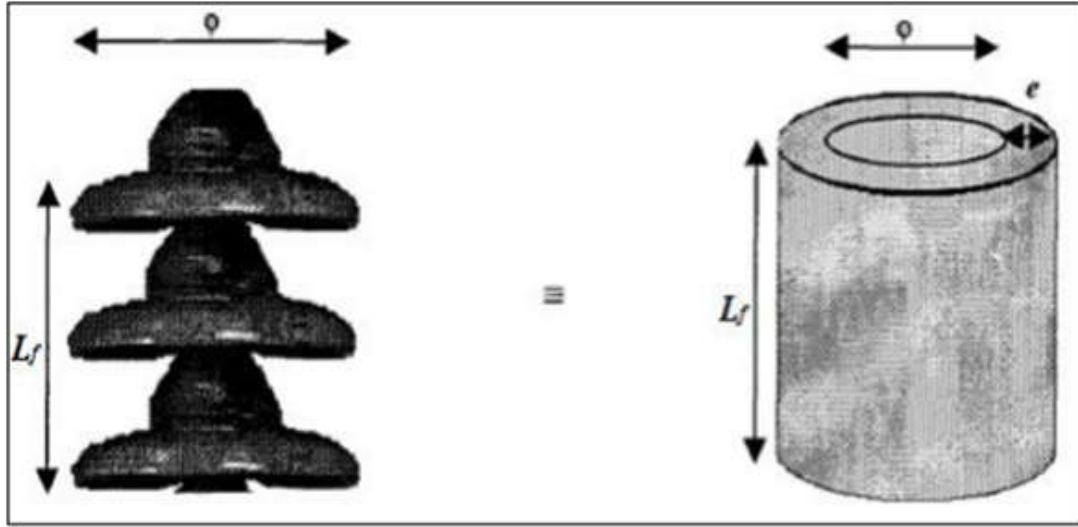


Figure I.3: Assimilation théorique d'un isolateur à un cylindre

En effet, la longueur d'un cylindre est donné par :

$$L_f = \frac{S}{\pi\varphi} \quad (I.5)$$

Où S est la surface latérale du cylindre et φ est le diamètre.

D'autre part, si on intègre φ le long du profil de l'isolateur, on aura une approximation de son facteur de forme :

$$F = \int dl \pi \varphi L_{f0} \dots (I.6)$$

Où dl est l'abscisse curviligne d'un point de l'isolateur mesuré le long de son profil. φ est le diamètre correspondant à un point quelconque sur la surface de l'isolateur. En assimilant la couche polluante à un film régulier d'épaisseur e et de résistivité volumique ρ la résistance de l'isolateur sera :

$$F = \int_0^{L_f} \frac{dL}{\pi\varphi} \quad (I.7)$$

Où F est le facteur de forme de l'isolateur. La résistance du cylindre équivalent est :

$$R_p = f \frac{L_f}{\pi \varphi_e} \quad (I.8)$$

En conclusion, en assimilant l'isolateur réel à un isolateur cylindrique (figure I.4) ayant une même ligne de fuite L_f et une même couche polluante, le diamètre moyen s'écrit :

$$\varphi = \frac{L_f}{\pi f} \quad (I.9)$$

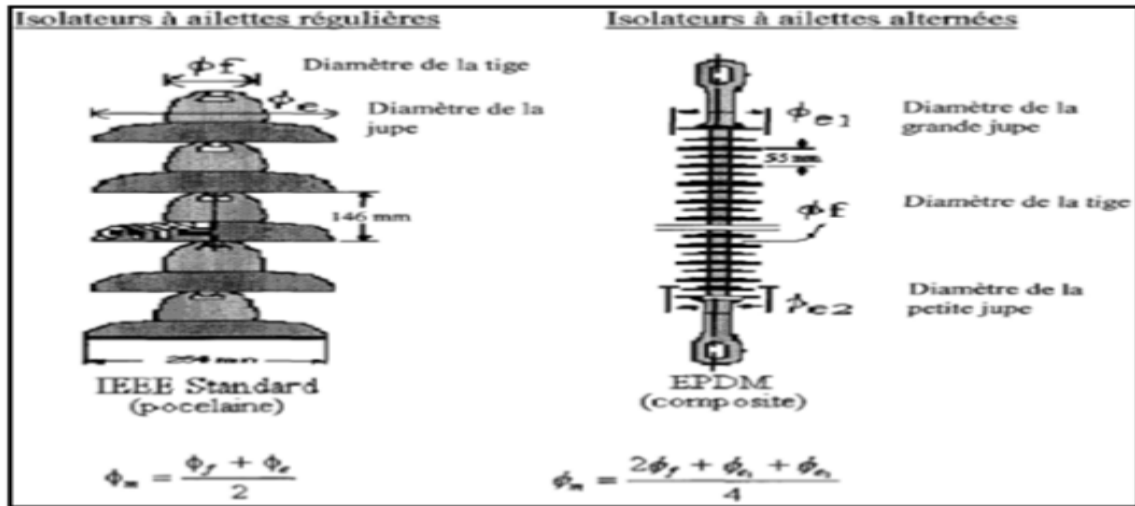


Figure I.4: Diamètre moyen des isolateurs IEEE et EPDM

Il a été démontré, que pour une certaine densité de contamination, la tension critique de contournement diminue au fur et à mesure que le diamètre augmente et ce, jusqu'à une certaine valeur où la tension de contournement cesse de diminuer. Ce phénomène s'explique par le fait qu'un large diamètre φ signifie une plus grande exposition de la surface à la pollution, diminuant ainsi la résistance et réduisant par conséquent la tension de contournement. Par contre, une augmentation relative du diamètre peut causer un supplément d'arcs locaux provoquant une baisse de tension aux bornes de l'électrode. Cette baisse de tension compense partiellement la baisse de la tension de contournement. De plus, l'augmentation du diamètre peut impliquer l'augmentation de la distance de fuite qui atténue la diminution de la tension de contournement.[6]

I.5 Modèle statique des isolateurs:

Pour adapter plus rationnellement les isolateurs d'un ouvrage à la sévérité de pollution d'un site, ou pour surveiller la qualité de l'isolement et donc d'éviter les éventuelles défaillances,

il est impératif de disposer de modèles permettant de prévoir le contournement des isolateurs.[8] C'est dans cette optique que de nombreux modèles empiriques ou semi empirique ont été développés.

I.5.1 Modèle d'Obenaus:

C'est Obenaus, qui dans un travail de pionnier, est à l'origine des premières analyses quantitatives des phénomènes d'arcs se produisant sur des surfaces isolantes planes recouvertes d'une couche polluante, sous tension continue. En effet, partant d'un modèle type circuit électrique équivalent constitué d'un arc de longueur x en série avec une résistance R_p (figure I.5), il en a déduit la tension d'arc:

$$V_{arc} = \frac{Ax}{I^n} \quad (I.10)$$

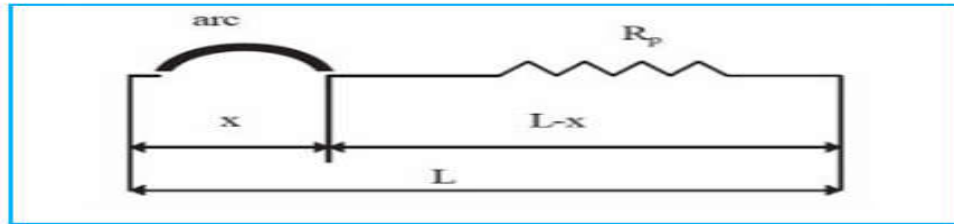


Figure I.5: Modèle d'Obenaus

Les valeurs des paramètres n et A dépendent du milieu dans lequel brûle la décharge. Elles varient selon les auteurs. De façon générale:

$$0.40 \leq n \leq 1 \text{ et } 3 \leq A \leq 500$$

A partir de mesures expérimentales sur un canal d'électrolyte, Ghosh et al ont proposé de prendre des valeurs différentes pour les constantes N et n caractérisant l'équation de la décharge selon la nature de l'électrolyte utilisé.[9] Les résultats de leurs mesures sont donnés dans le tableau I.1.

Electrolyte	A	n
Na Cl	360	0.59
CaCl ₂	461	0.42
FeCl ₃	270	0.66
CuSO ₄	450	0.49

Tableau I.1: Les résultats de mesures de valeurs différents pour le constant N et n

I.5.2 Modèle de Neumarker:

En partant des travaux d'Obenaus, Neumarker [10] a ajouté l'hypothèse d'une couche de pollution de résistance r uniforme par unité de longueur de fuite. Il propose l'expression suivante pour la résistance de pollution :

$$R(x) = r(L - x) \quad (I.11)$$

Où L et r représentent respectivement la longueur de la ligne de fuite totale et la résistance moyenne par unité de longueur.[3] En introduisant cette expression dans le modèle d'Obenaus, la tension U aux bornes de l'isolateur sera:

$$R(x) = V_{arc} + (L - x)rI \quad (I.12)$$

Ou encore :

$$U = xAI^{-n} + (L - x)rI \quad (I.13)$$

Ainsi, Neumarker déduit le courant et la longueur d'arc critiques :

$$I_c = \left(\frac{A}{r}\right)^{\frac{1}{n+1}} \text{ Et } X_c = \frac{L}{n+1} \quad (I.14)$$

D'où l'expression de la tension critique de contournement :

$$U_c = LA^{\frac{1}{n+1}} r^{\frac{1}{n+1}} \quad (I.15)$$

I.5.3 Modèle de Rizk:

A partir d'une analyse théorique, Rizk a décrit le phénomène d'entretien de l'arc par le mécanisme de la rupture diélectrique. Il a mis en évidence l'expression de la rigidité diélectrique de l'espace résiduel et établi une relation entre la tension minimale (tension de contournement minimale) nécessaire à l'entretien de l'arc, la résistance de pollution linéique r et la longueur de fuite L de la forme:[8]

$$\frac{U_c}{L} = 23r_p^{0.4} \quad (I.16)$$

I.5.4 Modèle du disque circulaire:

Woodson et McElroy [11] ont essayé de reproduire, d'une façon idéale, la surface d'un isolateur en utilisant une configuration géométrique circulaire.

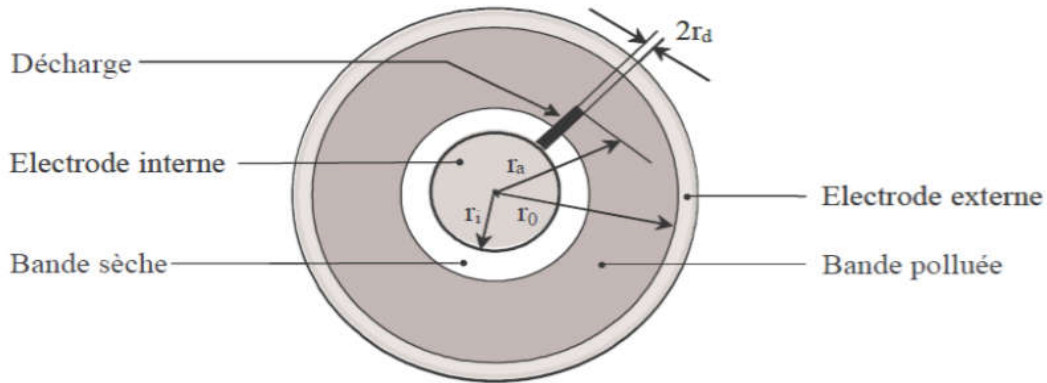


Figure I.6: Modèle de disque circulaire tel qu'étudié par Woodson et Mc. Elroy.

Partant de l'hypothèse que la résistance superficielle de la couche de pollution humide peut s'exprimer en fonction du rayon de l'électrode externe et de la résistivité superficielle du polluant, Woodson et McElroy ont écrit [11]:

$$R(X) = \frac{C}{\gamma}(r_0 - r_a) \quad (I.17)$$

Où r_0 est le rayon de l'électrode externe, r_a la longueur initiale de l'arc, γ la conductivité superficielle et C une constante déterminée expérimentalement pour une résistance de pollution. Et m une constante; $C = 1,4$.

Ce modèle n'a pas donné de résultats satisfaisants. Cela a été imputé au non uniformité de la résistivité superficielle de l'isolateur.[4]

I.5.5 Modèle de Wilkins:

Wilkins a étudié l'effet de la concentration des lignes de courant au pied de la décharge sur la résistance de la couche de pollution (figure I.7). Il a ajouté un terme à la résistance de la couche

de pollution représentant l'influence de la constriction des lignes de courant dans la couche au voisinage de la décharge. Cette correction s'exprime différemment selon le rapport entre la ligne de fuite L_f et la largeur b_w de l'isolateur. Ainsi, la résistance de la pollution pour une bande de pollution étroite sera:[2]

$$R_p = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[(L_f - X) + \frac{b_w}{2\pi} \ln \left(\frac{b_w^2}{4\pi r^2} \right) \right] \quad (I.18)$$

Pour le cas d'une bande large, la résistance de la couche de pollution sera :

$$R_p = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[\ln \left(\frac{2L_f}{\pi r} \right) - \ln \left(\tan \left(\frac{\pi X}{L_f} \right) \right) \right] \quad (I.19)$$

Où σ_s , b_w sont respectivement la conductivité de la couche de pollution et la largeur de l'isolateur et r_d le rayon du pied de la décharge qui peut être estimé par la relation :

$$r_d = \sqrt{\frac{1}{1,45\pi}} \quad (I.20)$$

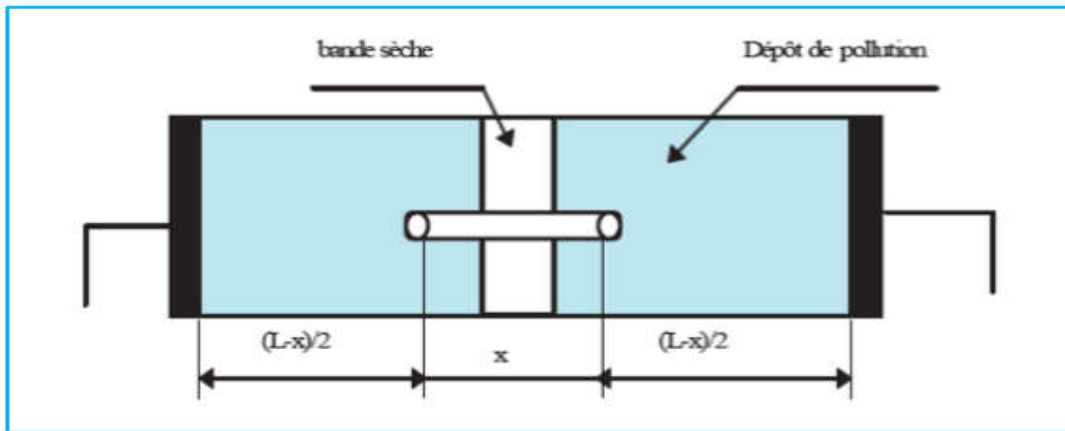


Figure I.7: Modèle de Wilkins

I.5.6 Modèle de Danis:

Se basant sur la reproduction de manière la plus proche possible de l'état de surface d'un isolateur en exploitation, Danis proposa alors un modèle de forme géométrique simple (plan ou cylindre) possédant plus d'une zone sèche (Figure I.8). La rupture des zones sèches survient alors d'une manière aléatoire. Les arcs partiels apparaissent et se déplacent de façon imprévue,

car ils dépendent de plusieurs facteurs dont on ne peut pas déterminer leurs effets instantanés.[12]

- L'arc se développe d'abord à travers la zone sèche, puis dans la zone humide (Figure I.8.b).
- L'arc peut se développer à n'importe quelle position le long de la zone sèche et aucune position n'est donc privilégiée par rapport à une autre (Figure I.8.c).
- Le contournement se fait à travers les chemins déjà préétablis par les différents arcs de chaque zone sèche (Figure I.8.d).
- Lorsque l'expérience est répétée, les positions des arcs développés sont différentes et le contournement se fera donc à travers un tout autre chemin.
- En considérant que la résistance de la couche polluante est linéaire comme pour Neumarker, une simulation numérique des observations expérimentales, utilisant des photographies à grande vitesse (3000 images/seconde), a été développée pour déterminer la tension de contournement

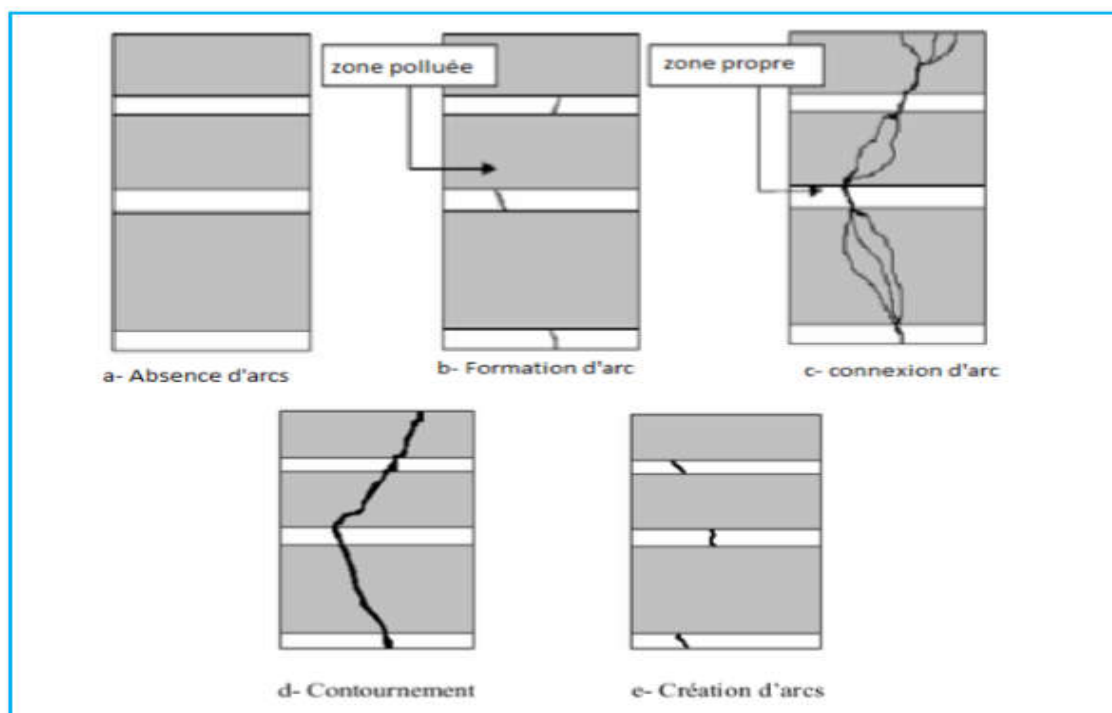


Figure I.8: Modèle de Danis

$$V = k \cdot I^{-n} + r_p(L - x)I \quad (I.21)$$

L'équation qui régit le modèle sous tension continue est :

Avec : $n \leq 0,5$ et $200 \leq A \leq 400$, r_p est la résistance linéique et L la longueur de fuite. Le courant et la tension critiques déduits par l'auteur sont donnés par les expressions :

$$I_c = \left(\frac{K}{r_p}\right)^{\frac{1}{n+1}} U_c = L(K r_p)^{\frac{1}{n+1}} = K I_c^{-1} \quad (I.22)$$

I.6 Technique de lutte contre la pollution:

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques. Pour cela plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées[13]. Nous allons résumer comme suit:

I.6.1 Allongement de la ligne de fuite :

Elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont employées :

1. Le changement de type d'isolateur (pour rallonger la ligne de fuite): c'est une technique très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
2. L'utilisation de prolonger de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants.

I.6.2 Isolateurs plats :

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'autonettoyant très bien sous l'effet du vent



Figure I.9: Isolateur plat en verre[13]

I.6.3 Graissage périodique :

Par mesure économique, seuls les isolateurs de postes sont concernés. On utilise des graisses silicones. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs. [8]

I.6.4 Revêtement silicone:

Il consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Il protège et améliore leur tenue sous pollution et sa longévité est nettement supérieure[13].



Figure I.10: Revêtement silicone d'isolateur

I.6.5 Les isolateurs composites:

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service. [8]

I.6.6 Nettoyage des isolateurs:

Il existe trois types :

Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension, peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes, nécessitant des interruptions de service assez longue.

Le lavage sous tension qui permet d'éviter les coupures à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans ce cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter, pour éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression. C'est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du nord, en particulier).

Cette méthode permet le nettoyage pour des agents polluants très adhérents (ciment) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs. [13]

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'évolution étape par étape du processus de contournement sur une surface isolante polluée, les différents modèles théoriques et expérimentaux trouvés dans la littérature pour la modélisation du phénomène de contournement. La plupart de ces études ne donnent aucune explication sur les mécanismes physiques qui accompagnent l'arc électrique au cours de son élongation, d'où la difficulté d'avoir une prévision précise de la tenue au contournement causée par la pollution dans les lignes de transmission de l'énergie électrique.

Pour conclure ce chapitre consacré en grande partie à la présentation des modèles actuels de prédiction de la résistance de la couche de pollution et les modèles développés au sein de notre laboratoire, La majorité des modèles mathématiques, est basée sur le modèle d'Obenaus. La détermination de la résistance de la couche de pollution est indispensable dans la modélisation du phénomène de contournement.

Chapitre II

Modélisation Electrostatique d'un Isolateur

II. La Méthode des éléments finis:

II.1. Introduction:

La méthode des éléments finis a pris un essor considérable avec l'avènement des moyens informatiques.

Dès les années 1960, elle est devenue, par sa souplesse d'emploi et sa très grande généralité, une méthode numérique indispensable pour la résolution des problèmes aux dérivées partielles en électromagnétisme basse fréquence.

Enfin, les logiciels évoluent aujourd'hui dans le sens d'une meilleure intégration au sein du processus de conception des dispositifs ; c'est ainsi que des travaux significatifs sur l'utilisation des méthodes d'optimisation par simulation numérique ont été effectués, actuellement, il existe différents logiciels qui utilisent cette méthode comme le Femlab, Maxwell, Flux2D et FEMM, COMSOL, et nous terminerons ce chapitre par la présentation des logiciels (FEMM et COMSOL).[14]

II.2. Définition de la méthode des éléments finis:

La méthode des éléments finis est l'une des techniques numériques les plus puissantes. Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation variationnelle ou formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles qui sont associées à des conditions aux limites définies sur un domaine. Ainsi les équations aux dérivées partielles se trouvent transformées en équations algébriques alors que le domaine géométrique est discrétisé en un assemblage d'élément simple. Le problème rencontré avec les méthodes analytiques c'est qu'on ne peut pas trouver une fonction polynomiale ou autre qui satisfait l'équation aux dérivées partielles sur le domaine Ω . C'est pour cela l'ingénieur a pensé à subdiviser le domaine Ω en petits domaines appelés éléments et dans chaque élément on remplace la fonction u par la fonction polynomiale. [15]

II.2.1. Principe :

Le principe de cette méthode consiste à diviser le domaine d'étude en plusieurs éléments finis (appelé maillage). C'est une étape très importante, puisque le choix de la forme de l'élément de

maillage est primordial dans la précision des résultats obtenus. Il est donc nécessaire de trouver la forme et le degré d'approximation de celui-ci, qui soient les plus adaptés à la géométrie du domaine d'étude. Il existe un grand nombre de formes géométriques pour les éléments de maillage tels que:

- Des triangles, des rectangles, des quadrilatères arbitraires pour les problèmes à deux dimensions.
- Des tétraèdres, des hexaèdres, des cubes, des prismes pour des problèmes à trois dimensions. [8]

II.2.2.Etapes de la méthode des éléments finis:

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

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

Actuellement, il existe différents logiciels qui utilisent cette méthode comme le COMSOL, Maxwell, Flux2D et FEMM.[14]

Utilisation d'un logiciel éléments finis Un programme général de type industriel doit être capable de résoudre des problèmes variés de grandes tailles (de mille à quelques centaines de milliers de variables). Ces programmes complexes nécessitent un travail d'approche non négligeable avant d'espérer pouvoir traiter un problème réel de façon correcte. Citons à titre d'exemple quelques noms de logiciels : NASTRAN, ANSYS, ADINA, ABAQUS, CASTEM 2000, CESAR, SAMCEF, etc. et dans notre cas en utilisant logiciel COMSOL. Les possibilités offertes par de tels programmes sont nombreuses :

- analyse linéaire ou non d'un système physique continu.
- analyse statique ou dynamique.
- prise en compte de lois de comportement complexes.

- prise en compte de phénomènes divers (élasticité, thermiques, électromagnétiques, de plasticité, d'écoulement. . .) Pouvant être couplés.
- problèmes d'optimisation, etc. L'utilisation de tels programmes nécessite une formation de base minimale.

II.2.3. Avantages de la MEF:

- La flexibilité est l'un des plus importants avantages de la MEF. Les éléments peuvent avoir plusieurs formes variées et peuvent donc s'adapter facilement à n'importe quelles formes géométriques complexes, et aussi tenir compte des propriétés inhomogènes et non linéaires des matériaux.
- Les matrices formant le système final d'équations sont symétriques.
- La programmation de la méthode est assez simple surtout lorsqu'il s'agit de tenir compte de l'introduction des conditions aux limites.
- La MEF a fait ses preuves dans beaucoup de domaines en ingénierie. De plus, avec son développement important, il existe de très bons logiciels commerciaux qui sont basés sur cette méthode et qui la rendent très accessible. Et par conséquent, elle est applicable à beaucoup de problèmes sans que nous connaissions nécessairement la MEF en détail [15].

II.2.4. Inconvénients de la MEF:

- La solution calculée reste toujours dépendante des données numériques initiales (caractéristiques des matériaux, ...) conditions aux limites. En ce sens, l'influence de ces paramètres sur les résultats requiert un nouveau calcul avec d'autres valeurs.
- La modification d'une partie de la géométrie entraîne un nouveau maillage et, donc, une remise à zéro dans les calculs.
- Un mauvais choix du maillage proposé automatiquement par les logiciels, limite la précision des résultats. L'utilisateur doit donc porter une attention particulière lors de cette étape.
- Le traitement d'une problématique par la MEF implique une connaissance parfaite du domaine géométrique et des conditions aux limites. Ce qui complique la mise en œuvre de ce traitement lorsque ce n'est pas le cas [15].

II.3. ComsolMultiphysics:

II.3.1. Description du logiciel « COMSOL Multyphysics »:

C'est un logiciel conçu par l'entreprise «Comsol » qui est fondée en 1986. Elle se spécialise dans le domaine de développement de logiciels de support technique et de formation spécialisé et de conseil, développé au Royal Institute of Technology (Suède).

Le logiciel est utilisé par plusieurs grandes entreprises à travers le monde. Vous pouvez modéliser et simuler tout système basé sur la physique en utilisant un logiciel de COMSOL.

COMSOL Multiphysics est un outil très employé dans des secteurs divers de recherche, car il facilite amplement les étapes de modélisation et de simulation, soit : la définition de la géométrie, des propriétés physiques des matériaux présents et des conditions aux frontières, le maillage, la résolution et l'affichage des résultats.[14]

À propos de cette étude, le logiciel COMSOL Multiphysics a été retenu pour modéliser la couche conductrice recouvrant l'isolateur. En sélectionnant l'option 'Module Electric currents, pour construire une géométrie surfacique et spécifier les conditions aux limites et les propriétés physiques de film d'eau, COMSOL procède à l'exécution des étapes résumées dans la section précédente.

Ce programme, il est basé sur le modèle mathématique à l'aide des équations de Maxwell suivant:[4]

$$\nabla \cdot J = Q_f \text{ (II.1)}$$

$$J = \sigma E + J_e \text{ (II.2)}$$

$$E = -\nabla V \text{ (II.3)}$$

II.3.2. Les modèles:

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

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

- Earth Science Module.

II.3.2.1. AC/DC Modèle :

Ce modèle simule les composants électriques et les dispositifs qui dépendent de l'électrostatique, Magnétostatique et électromagnétique quasi-statique application, en particulier associée à d'autres physiques [16].

II.3.3. Procédure de simulation :

Les étapes essentielles de conception d'un modèle en utilisant COMSOL Multiphysics son [16]:

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

Les étapes de construction d'un modèle comprennent notamment :

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

II.4. Étapes de résolution dans COMSOL Multiphysic:

II.4.1. Choix du modèle:

Nous allons commencer par le choix du modèle. Lancez donc le module électrostatique (es) dans le navigateur de modèle. Nous allons ici nous limiter à une étude à 3D.

II.4.2. Géométrie:

La première chose à faire une fois le programme ouvert est de dessiner la géométrie de notre système (isolateur).

II.4.3. Propriété des matériaux:

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

II.4.4. Maillage:

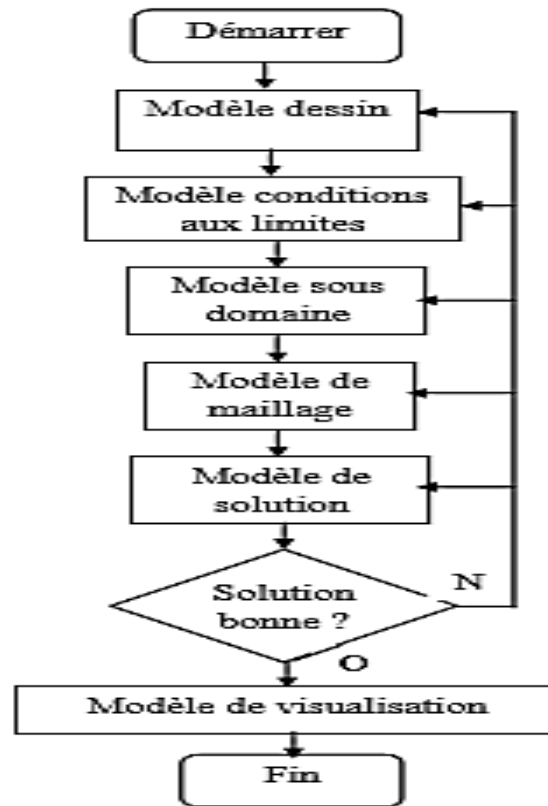
Le maillage correspond à la discrétisation spatiale de la géométrie en volumes élémentaires (appelés mailles) définis par des points (appelés nœuds). Ces nœuds constituent les connexions entre les mailles, le maillage est réalisé automatiquement par le logiciel, l'algorithme prend pour point de départ les éléments de la géométrie et crée des nœuds supplémentaires jusqu'à satisfaire des critères prédéfinis comme le nombre de mailles ou la taille maximal de mailles. On peut utiliser les tailles prédéfinies (extra grossier, grossier, normale, fine, extra fine ...) par le logiciel ou agir sur les paramètres de génération du maillage [16], dans ce travail on choisit le maillage triangulaire.

II.4.5. Etapes à suivre pour une solution:

Au démarrage du logiciel, le navigateur de modèle apparaît. C'est lui qui permettra de définir le ou les modèles physiques qui seront utilisés. C'est aussi ici que la dimension de l'espace est choisie (2D, 2D axisymétrique, 3D, ...). Pour chacun des modèles, il est précisé quelles sont les variables, et quel est le suffixe propre à ce modèle. En effet, COMSOL crée automatiquement des variables pour chaque modèle. Ces variables sont toujours suffixées par le nom du modèle auquel elles sont rattachées. Par exemple est la composante en x du champ électrique dans le modèle « électrostatique ».

- Lorsque le ou les modèles ont été choisis, l'écran général de COMSOL apparaît. D'une manière générale, lors de la création d'un projet, il faut parcourir le menu en allant de gauche à droite. Nous allons donc d'abord construire la géométrie du problème.
- On définit ensuite le comportement des domaines en leur associant des propriétés.
- Ensuite, on impose des conditions sur certaines frontières, et éventuellement sur certains points. Cette opération est à refaire pour chaque modèle utilisé dans le projet.

- Une fois la physique du problème posée, il faut effectuer le maillage de la géométrie. Il est possible de faire un raffinement local du maillage.
- Il ne reste ensuite plus qu'à simuler le projet.
- Toutes les inconnues sont alors déterminées. Il est possible de les afficher dans la fenêtre de post-processeur. L'utilisateur peut choisir quelles variables il désire représenter, et sous quelle forme. Les étapes rappelées au-dessus sont illustrés dans l'organigramme (I.1).



Organigramme Figure II.1: des étapes de solution du logiciel

II.5. Équations de Maxwell:

II.5.1. Équations en potentiel scalaire : Poisson et Laplace:

Les équations qui gouvernent la répartition du potentiel et du champ électrique, dans un milieu donné, dérivent des équations de Maxwell. Celles-ci sont formées par quatre équations aux dérivées partielles qui lient les phénomènes magnétiques caractérisés par le champ

magnétique H et l'induction magnétique B aux phénomènes électriques caractérisés par le champ électrique E et l'induction électrique D . Ces quatre équations sont [17,18]:

$$\overrightarrow{rot E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (II.4)$$

$$\overrightarrow{div D} = \rho v \quad (II.5)$$

$$\overrightarrow{rot H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (II.6)$$

$$\overrightarrow{div B} = 0 \quad (II.7)$$

Avec ρv la densité volumique de charges.

Outre ces quatre équations, il y a les relations constitutives qui lient D à E , J à E et B à H :

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (II.8)$$

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (II.9)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (II.10)$$

Où ϵ , μ et σ représentent respectivement la permittivité électrique, la susceptibilité magnétique, et la conductivité électrique du milieu.

Lorsque l'on applique une différence de potentiel alternative, la dérivation des grandeurs électriques par rapport au temps revient à les multiplier par la quantité $j\omega$ où j est l'unité imaginaire et ω la pulsation de la source. En tenant compte des relations constitutives, les équations (II. 4) et (II.6) deviennent :

$$\overrightarrow{rot E} = -j\omega \mu \vec{H} \quad (II.11)$$

$$\overrightarrow{div}(\epsilon \vec{E}) = \rho v \quad (II.12)$$

$$\overrightarrow{rot H} = \sigma \vec{E} + j\omega \vec{E} \quad (II.13)$$

Comme le champ magnétique est faible, dans les équipements H. T considérés, le second membre de l'équation (II.11) peut être négligé, ce qui donne :

$$\overrightarrow{rotE} = 0 \text{ (II.14)}$$

On peut donc découpler les équations (II.12) et (II.14) qui gouvernent les grandeurs électriques de celles qui gèrent les grandeurs magnétiques. L'équation (II.12) n'est alors rien d'autre que la forme locale du théorème de Gauss qui traduit la conservation de la charge. L'équation (II. 14) permet de dire que le champ E dérive d'un potentiel avec:

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}\phi \text{ (II.15)}$$

L'introduction de la relation (II. 15) dans l'équation (II.12) donne :

$$div(\epsilon grad\phi) = \rho v \text{ (II.16)}$$

On obtient ainsi l'équation qui gouverne la répartition du potentiel dans un milieu de permittivité absolue ϵ avec une densité de charge volumique de charge.

Pour des matériaux isolants, généralement utilisés dans les appareillages H. T, la densité volumique de charge est nulle. Avec ces hypothèses, on obtient l'équation de Laplace (II. 16) qui gouverne la répartition du potentiel dans les matériaux isolants.

$$\nabla^2\phi = 0 \text{ (II.17)}$$

On peut noter que cette équation gouverne aussi la répartition du potentiel dans les matériaux conducteurs telles que les électrodes car ceux-ci sont des volumes équipotentiels.

II.5.2. Conditions aux limites:

Il existe plusieurs solutions aux équations différentielles précédemment définies. Les conditions aux limites servent en fait à déterminer une solution unique de ces équations. Ces conditions sont principalement de deux types : la condition de Dirichlet et la condition de Neumann. La condition de Dirichlet impose la valeur du potentiel comme par exemple les surfaces des conducteurs, les surfaces équipotentiels, ou les limites infinies du domaine d'étude. La condition de Neumann impose la valeur de la dérivée normale du potentiel tel les plans de symétrie ou les surfaces à flux imposé. Les conditions de Dirichlet et de Neumann sont dites homogènes si les valeurs imposées sont nulles. Elles sont dites non homogènes dans le cas contraire.

II.5.3. Conditions d'interfaces [19]:

L'équation (II. 16) a été obtenue en émettant l'hypothèse que la permittivité absolue est constante sur tout le domaine d'étude. Cette équation n'est donc valable que pour des milieux homogènes et isotropes. Dans le cas où plusieurs milieux coexistent, ce qui est généralement le cas dans les problèmes H.T, l'équation (II. 16) n'est plus vraie dans l'ensemble du domaine d'étude. Il faut alors chercher une solution dans chaque milieu et lier les différentes solutions par des conditions d'interfaces.

À la frontière de deux milieux de propriétés différentes, les équations dites d'interfaces, en l'absence de charges et de courants superficiels, s'écrivent:

$$\phi_1 = \phi_2 \dots \dots \dots (II.18)$$

Qui traduit l'égalité des valeurs du potentiel vue des deux régions.

$$\vec{D}_1 \cdot \vec{n}_1 = \vec{D}_2 \cdot \vec{n}_2 \dots \dots \dots (II.19)$$

Qui traduit la conservation de la composante normale du déplacement électrique D et où n_1 et n_2 représentent les normales à la frontière, dirigées vers l'extérieur des milieux 1 et 2 respectivement.

$$\vec{E}_1 * \vec{n}_1 = \vec{E}_2 * \vec{n}_2 \dots \dots \dots (II.20)$$

Qui traduit la conservation de la composante tangentielle du champ électrique à travers l'interface.

II.6. Application de la méthode des éléments finis à la simulation de notre dispositif expérimental:

Pour simuler le phénomène de contournement en utilisant cet outil de calcul, nous avons utilisé le dispositif expérimental sur la figure II.2 La fonction des éléments du dispositif est la suivante:

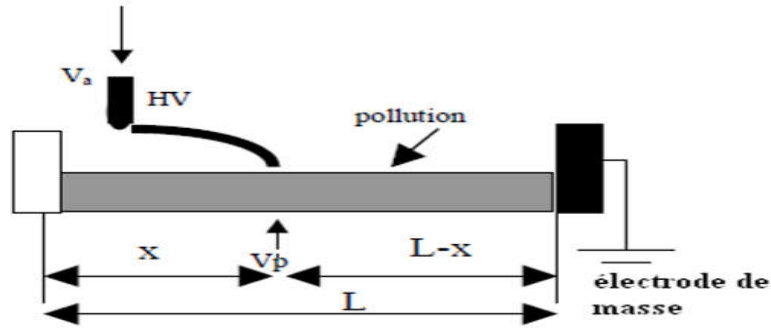


Figure. II.2. Le montage expérimental

L'électrode haute tension représente le potentiel de la ligne, la hauteur de cette électrode au-dessus de la couche de l'électrolyte représente la zone sèche (dans notre cas elle est de 3 mm). La couche d'électrolyte représente la pollution sur la surface de l'isolateur, la plaque de Plexiglas représente l'isolateur lui-même; sa longueur est de 40 cm, sa largeur de 4 cm et sa profondeur de 3 mm. L'électrode de masse représente le pylône de la ligne haute tension.

Les matériaux que nous avons utilisés dans notre modèle sont: l'eau salée qui représente la couche de pollution sur le Plexiglas. Leur propriété est la suivante [20]:

L'eau salée : $\varepsilon_r = 80$; $r_p = 5000 \div 20000 \Omega/cm$

Le plexiglas : $\varepsilon_r = 3.6$

L'air : $\varepsilon_r = 1$

a. La forme de la décharge:

Une bonne représentation de la décharge et de son influence sur la distribution du potentiel entre les électrodes sont essentielles pour la modélisation de notre dispositif. Le premier obstacle à franchir est la détermination de sa forme, car on ne peut pas, à partir d'observations expérimentales, déterminer la forme exacte de la colonne de la décharge. Dans le présent calcul nous l'avons assimilée à un cylindre. Ce choix se rapproche assez bien de réalité. La géométrie utilisée représente le raccord entre les différents milieux sous des angles droits.

b. Rayon de la décharge:

La mesure du diamètre du canal d'arc est très délicate car la partie lumineuse n'est pas forcément identique à la partie qui assure la conductivité ou à la partie dans laquelle est répartie la charge d'espace. D'autre part, comme les frontières de l'arc ne sont pas définies de façon très nette nous sommes amenés à utiliser un diamètre équivalent. Pour se faire, nous utilisons le modèle de Wilkins défini par l'équation (II.21) reliant le courant et le rayon de l'arc :

$$r_d = \sqrt{\frac{I_{arc}}{1.45\pi}} \dots\dots\dots (II.21)$$

Le rayon de la décharge est aussi fonction des densités de courant. La valeur de courant choisie pour la colonne et la branche de la décharge est de 100 mA. La densité de courant dans ce type de décharge a été évaluée par différents auteurs et la valeur correspondante $j = 14.5 \text{ KA/m}^2$ pour Wilkins [21].

En tenant compte de la densité de courant déterminée par Wilkins [21] et la valeur critique du courant dans la branche dérivée de la décharge (100 mA), alors d'après la relation (II.21), le rayon de la décharge correspond est $r_d = 1.48 \text{ mm}$

II.6.1 Description approchée d'un système 3D à l'aide de modèles 2D:

P. Zmajkovic [20], a utilisé la méthode des éléments finis pour pouvoir estimer l'amplitude du champ électrique aux environs du pied de la décharge afin de formuler des hypothèses sur la nature des phénomènes se produisant quand cette décharge s'allonge. Il a fait des simplifications sur le dispositif expérimental afin de pouvoir le remplacer par un modèle à deux dimensions.

La simplification qu'il a employée consiste à découper la géométrie en tranches dans deux plans perpendiculaires.

Le plan vertical est créé par une coupe verticale du dispositif passant par l'axe du canal d'électrolyte, par l'axe de l'électrode de masse et par l'axe de symétrie de l'électrode de haute tension. Dans ce plan de travail, pour présenter la géométrie du modèle expérimental, il a choisi la représentation axisymétrique où l'axe de symétrie est identique à l'axe de l'électrode haute tension.

Le plan horizontal est créé par une coupe parallèle à la surface du canal. Cette représentation associe la colonne de la décharge à un fil de très grande longueur et l'électrode de masse à une plaque infiniment longue avec largeur et épaisseur limitées.

II.7 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons présentés un outil de calcul basé sur la méthode des éléments finis (logiciel COMSOL) pour décrire la répartition du potentiel électrique au voisinage de la décharge et ainsi sur le long de la surface de pollution avec deux configurations en 2D proposées par [Zm].

Chapitre III

Simulation électrostatique d'un isolateur Haut Tension pollué en 2D

III.1 Introduction

Dans le but de vérifier l'efficacité et la fiabilité du notre code du calcul, on va essayer de faire une validation des résultats de calcul trouvées par Zmajkovic [20] porté sur le modèle de laboratoire en 2D par l'intermédiaire du logiciel FLUX2D. La détermination de la distribution du champ et du potentiel électrique de tout système haute-tension est un problème complexe de calcul non pas par la simplicité des équations aux dérivées partielles qui les décrivent mais plutôt à cause de la forme irrégulière des diélectriques, de la proximité de surfaces métalliques aux formes complexes, des lignes de transmission, et dans certains cas, de la présence d'une couche conductrice.

Dans ce contexte, les progrès de l'informatique ont permis de développer des codes de calcul afin de déterminer de façon précise la distribution du champ et du potentiel électrique. Parmi ces codes de calcul, le logiciel COMSOL a été choisi pour faire nos simulations.

III.2 Présentation des résultats obtenus :

Notre objectif d'utilisé le COMSOL est d'étudier la répartition du potentiel le long d'un modèle d'isolateur et de déterminer les zones contenant le champ électrique le plus intense et ceux qui sont favorables à l'amorçage des décharges partielles ou à la propagation des streamers.

Concernant les différents phénomènes susceptibles qui manifestent au cours de lacontournement des isolateurs, nous avons étudié successivement plusieurs situation autour de la géométrie du dispositif décrit par le modèle de P. Zmajkovic, [20] (figure III.1).

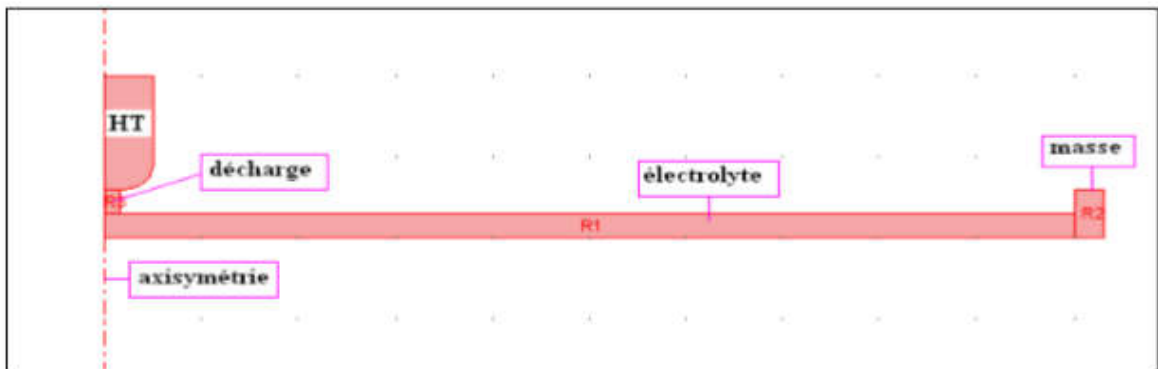


Figure III.1 Modèle 2D (axisymétrique) de P.Zmajkovic.

III.2.1 Système sans décharge:

Les résultats du calcul de la répartition du potentiel autour de la configuration adoptée (Modèle de P.Zmajkovic) sont représentés sur la figure III.2. La distribution du potentiel électrique entre l'électrode de haute tension et la surface polluée est assez remarquable ; la chute de tension entre les deux électrodes est d'environ de 10.377 kV, car la présence d'un diélectrique en électrolyte entre les bornes prolonge l'électrode de masse.

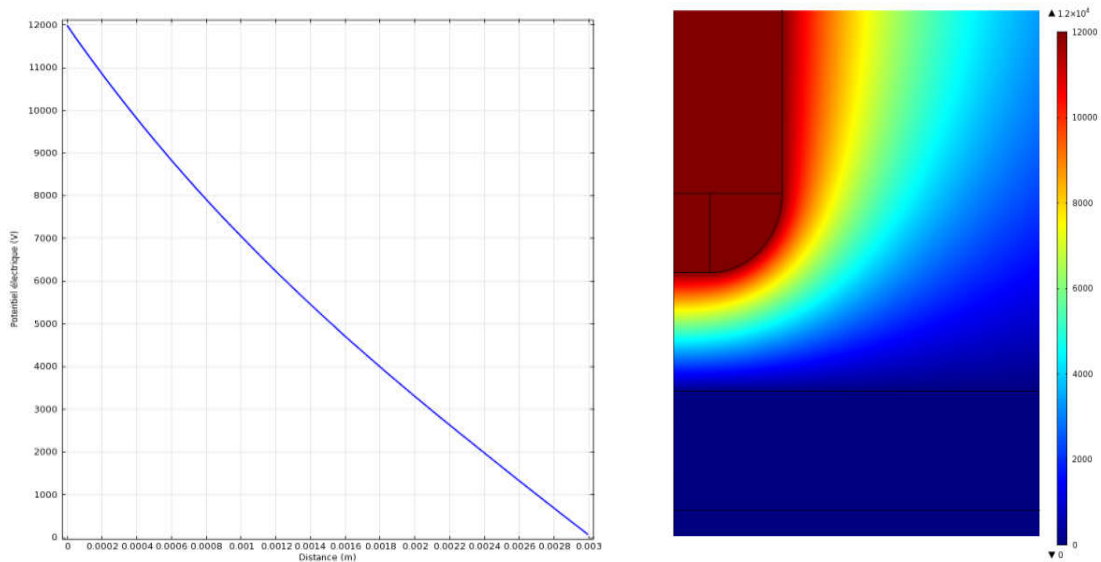


Figure III.2 : Répartition du potentiel entre l'électrode de haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge.

La figure III.3 représente la distribution du champ électrique pour la même configuration précédente. Le champ maximal est égal à 59.5 kV/cm. Selon son emplacement, nous pouvons prédire l'endroit de l'initiation d'une décharge électrique. Cette dernière est largement supérieure à la valeur seuil d'ionisation de l'air (30 kV/cm) entourant le modèle d'isolateur, ce qui conduit à la formation d'arcs partiels dans l'air. Ces arcs partiels causent l'augmentation de la température de surface, et enfin le claquage dans l'air se produisant lorsque la tension appliquée sera de 12 kV, ce que confirment nos observations.

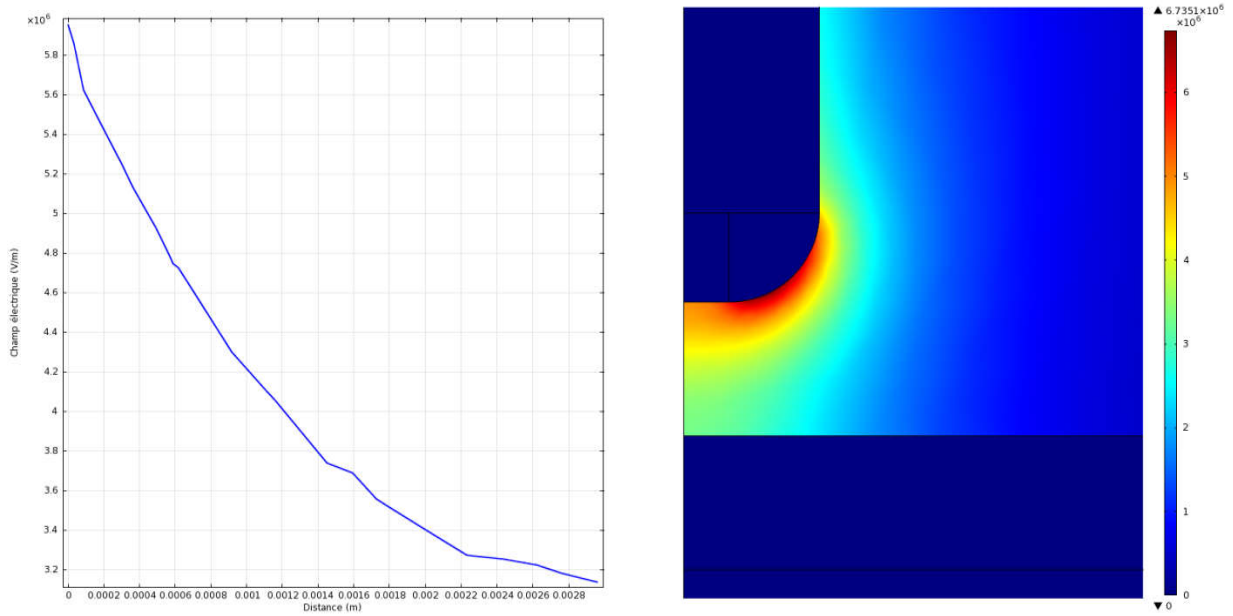


Figure III.3: Répartition du champ électrique entre l'électrode de haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge électrique.

III.2.2 Système avec décharge verticale:

III.2.2-a Configuration axisymétrique :

Nous supposons maintenant qu'une décharge est amorcée entre l'électrode H.T et le point le plus proche sur la surface de l'électrolyte, donc situé sur le même axe vertical d'électrode de haute tension. L'amorçage peut être effectué si la tension appliquée sur l'électrode est assez forte, ou déclenché à l'aide d'une électrode auxiliaire. La valeur de la tension appliquée par l'électrode de haute tension est 12 kV. Le courant étant limité par la résistance du canal d'électrolyte, la décharge est de type intermédiaire entre la luminescence et l'arc, ses paramètres caractéristiques A et n sont choisis selon Rahal et Huraux ($A=530$; $n=0,24$) pour calculer la chute de tension dans le canal de la décharge dans un milieu humidifié par la vapeur d'eau. Pour représenter la géométrie de notre dispositif, nous avons choisi la représentation axisymétrique proposée par P. Zmajkovic [20]. Représente la répartition de potentiel électrique dans le dispositif expérimental après l'amorçage de la décharge. D'après cette figure, nous remarquons que la présence de la décharge électrique a augmenté la chute de tension entre l'électrode de haute tension et la couche d'électrolyte à 11.14 kV. À cause de la présence de la charge d'espace, le plus important taux de la chute de tension est situé au voisinage de la racine de la décharge électrique.

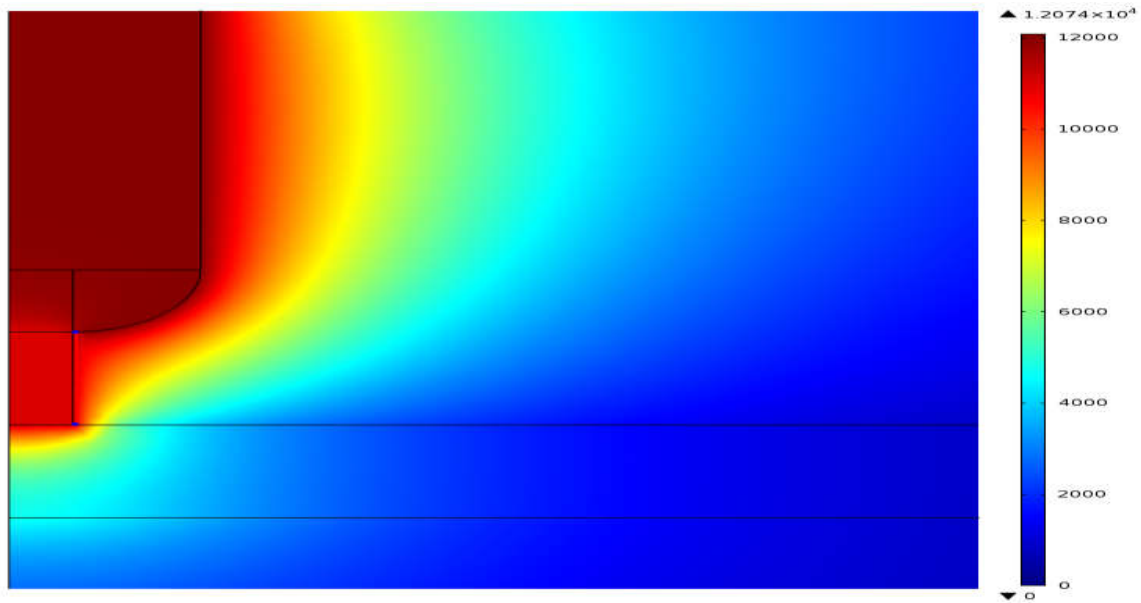


Figure III. 4 Répartition de potentiel électrique dans le dispositif expérimental après l'amorçage de la décharge électrique.

La figure III.5 montre les résultats de calcul de potentiel électrique dans le canal de la décharge électrique. A partir de cette figure on peut subdiviser la géométrie en trois zones remarquables comme suit: Les zones 1 et 3 c'est la chute de tension accumulé aux électrodes ($V_e = 500$ V), la zone 2 c'est la chute de tension à la colonne positive ($V_{arc} = A \times I^{-n}$). La courbure indiquée sur la figure III.5 est due aux conditions aux limites imposées pour chaque zone, c'est-à-dire entre zone et l'autre il y'a une variation importante par rapport à la valeur calculée dans la zone précédente.

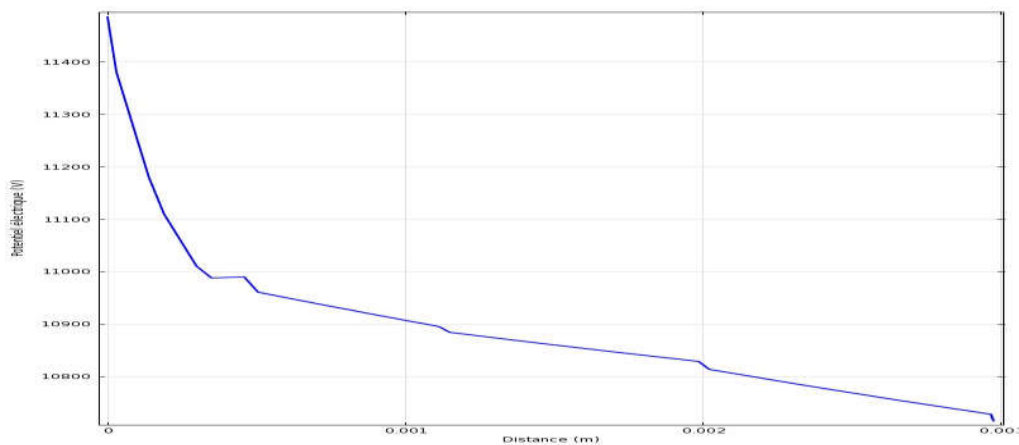


Figure III. 5 L'évolution de potentiel électrique dans le canal de la décharge électrique.

Nous avons représenté sur la figure III.6 une vue rapprochée de la racine de la décharge dans laquelle le champ électrique varie entre 5.4 kV/cm et 30 kV/cm. La valeur maximale du champ électrique dans l'air est au point triple (colonne de la décharge – air – zone de chute de tension cathodique). Elle est de 122 kV/cm, Les résultats de calcul du champ électrique relatifs au point triple sur la frontière entre la colonne de la décharge, la zone cathodique et l'air démontrent que le champ extrêmement élevé dans ce point triple et elle n'a pas de réalité physique.

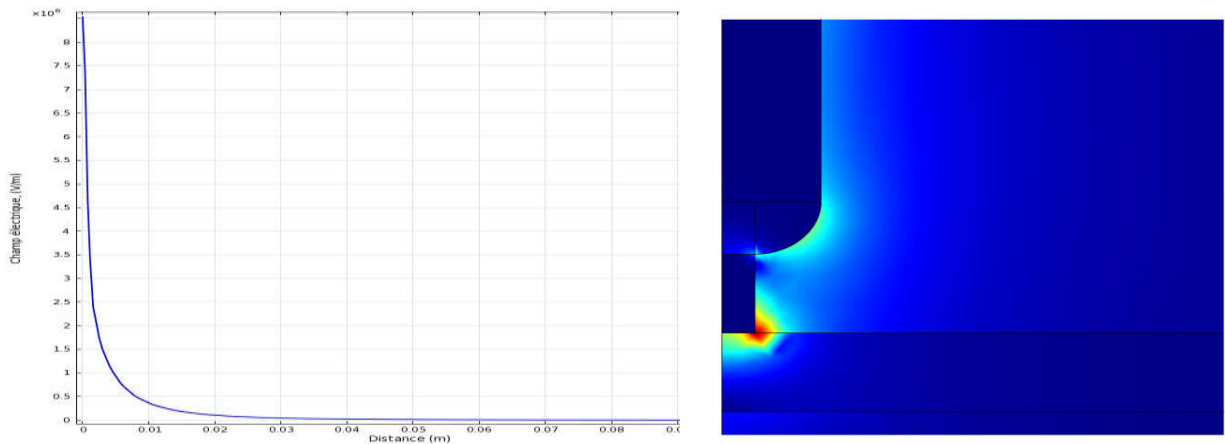


Figure III.6 : Répartition du champ électrique dans le dispositif expérimental pendant l'amorçage de la décharge électrique.

Sur la figure III.7, nous avons présenté l'évolution du potentiel de pied de la décharge à l'électrode de masse sur la surface d'électrolyte par la configuration axisymétrique. On constate sur cette figure que le potentiel commence à diminuer exponentiellement jusqu'à la masse. Cette diminution due au non linéarité de la résistance de pollution.

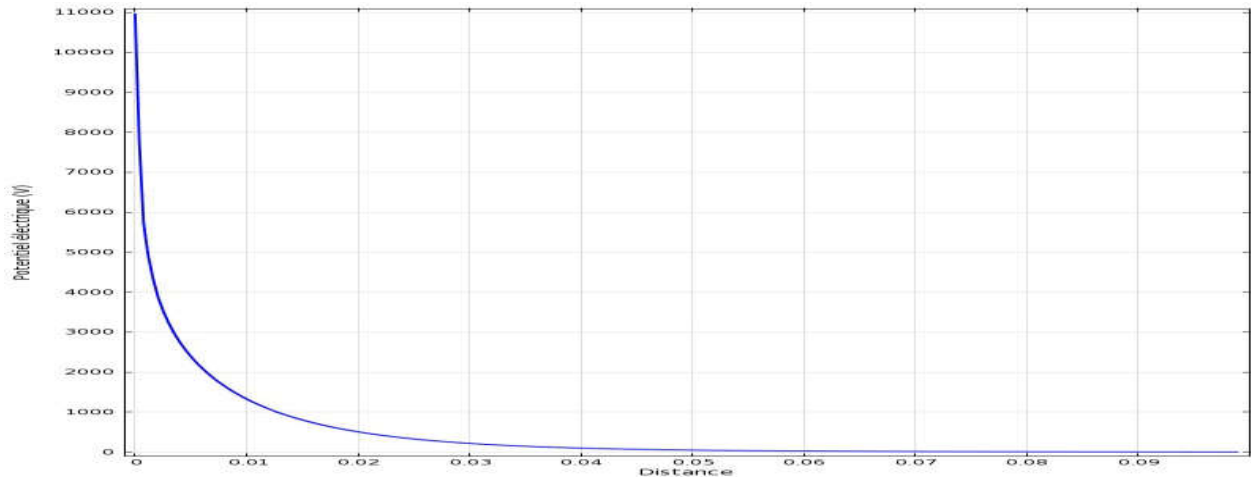


Figure III.7 : Répartition du potentiel électrique sur le canal d'électrolyte en configuration axisymétrique

III.2.2-b Configuration coupe horizontale:

III.2.2-b-1 Sur la surface d'électrolyte:

Afin de définir les conditions aux limites imposées par le pied de la décharge représentant la coupe du canal de la décharge sur la surface d'électrolyte. Nous avons déterminé le potentiel sur le pied de la colonne de la décharge présente sur la surface de l'électrolyte par l'expression (III.1), après nous avons calculé la répartition du potentiel entre ce pied et l'électrode de masse.

$$E_{arc} = Ai^{-n} \text{ (III.1)}$$

Les résultats du calcul de potentiel sur la surface du canal figure III.8 montrent que le potentiel chute exponentiellement à proximité de la décharge et ensuite sa diminution devient linéaire. Ce résultat reproduit bien la réalité physique. Le potentiel décroît rapidement au voisinage du pied de la décharge, du fait que la constriction des lignes de courant augmente le champ électrique à cet endroit. A partir de 10 mm de la colonne de la décharge la répartition du potentiel devient quasi-linéaire car les lignes de courant deviennent parallèles avec les bords du canal.

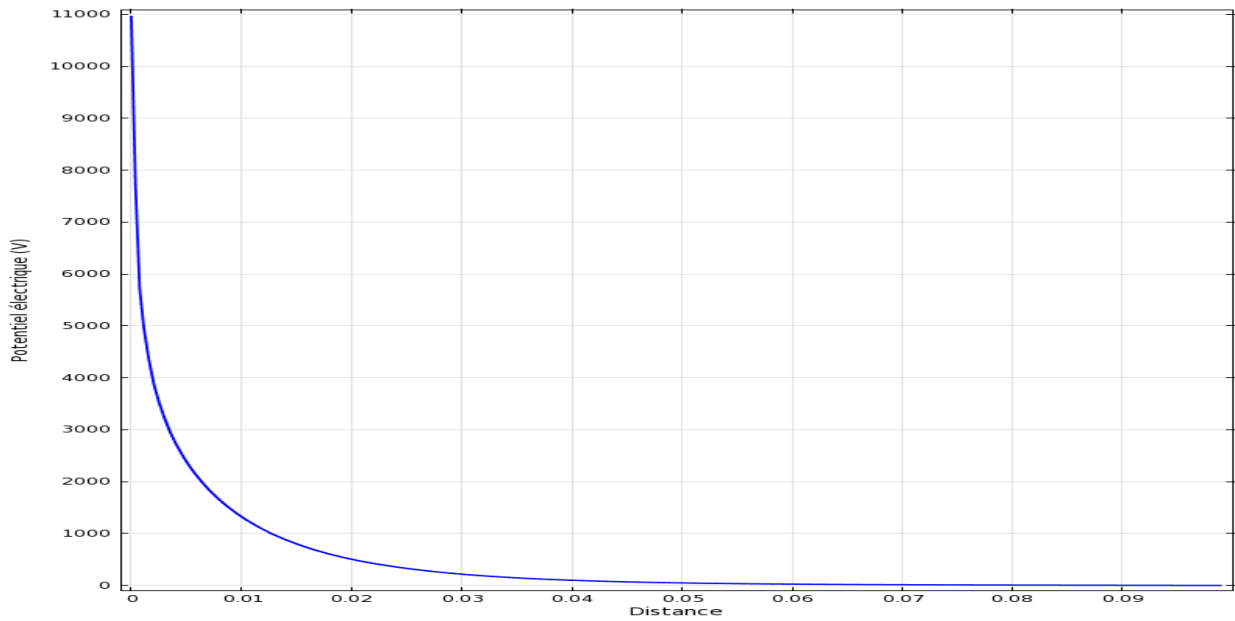


Figure III.8: Calcul du potentiel sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse

Les résultats du calcul sur la Figure III.9 dans l'électrolyte montrent que le champ électrique a été modifié localement par la présence de la branche de la décharge surtout dans le canal d'électrolyte.

La raison de cette modification vient du fait que le pied du streamer à son interface avec l'électrolyte représente une surface équipotentielle qui perturbe autour d'elle la répartition initiale du potentiel. Aussi le courant provenant du pied du streamer provoque localement dans l'électrolyte une concentration élevée du courant [20].

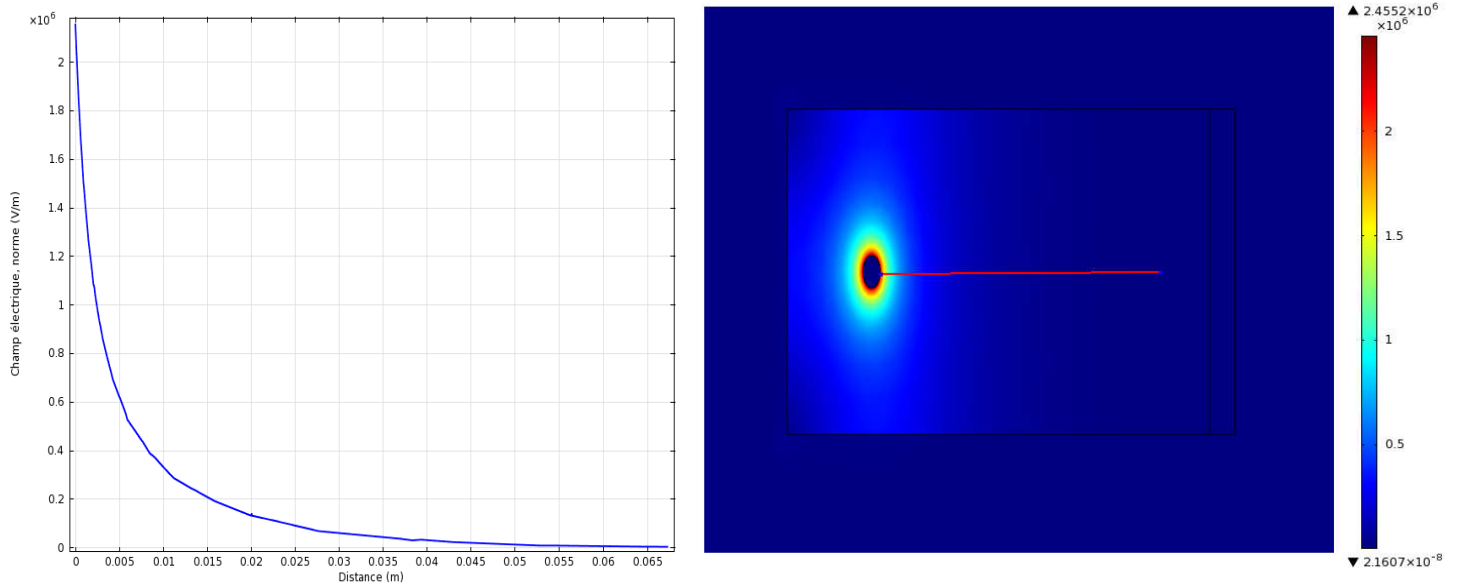


Figure III.9: Calcul du champ électrique sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse

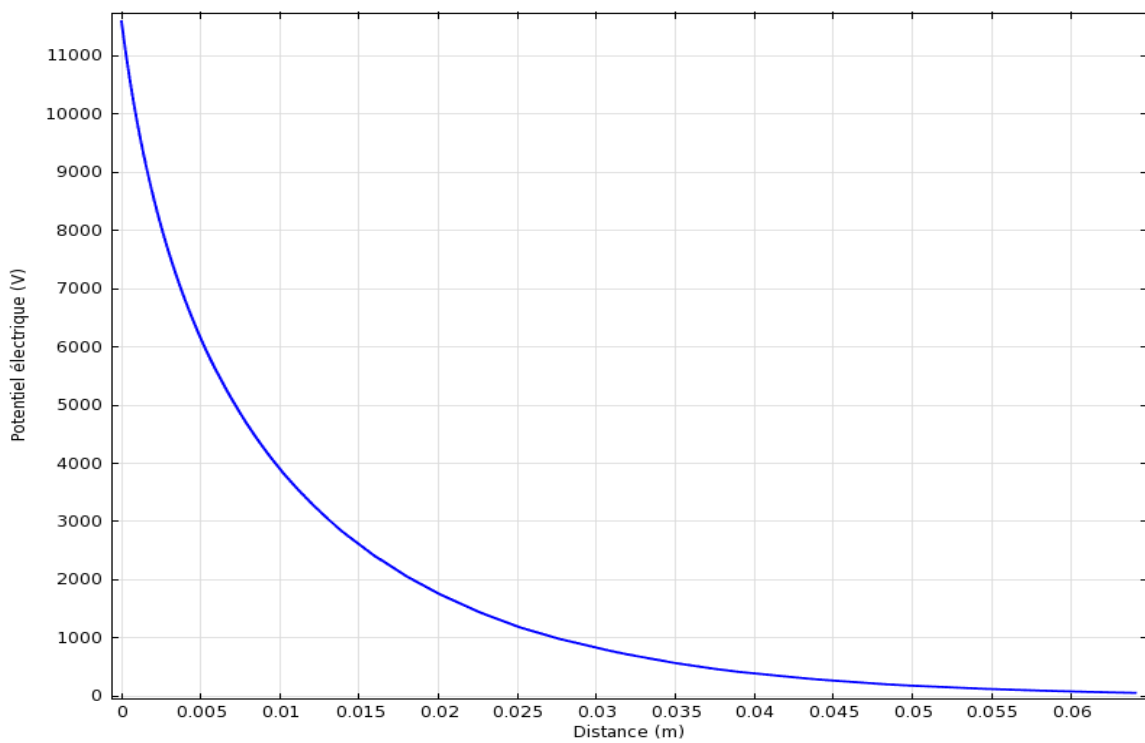


Figure III.10: Calcul du potentiel électrique sur la surface du canal d'électrolyte entre le pied de la décharge et l'électrode de masse

III.2.2-b-2 Au-dessus de la surface d'électrolyte (dans l'air):

Pour cette fois-ci nous avons gardé la même configuration que la précédente (géométrie plane), mais le calcul se fait à partir d'un 1 mm au-dessus de la surface d'électrolyte (dans l'air), figure III.10. Cette figure représente l'évolution du potentiel dans l'air, on remarque que le potentiel diminue exponentiellement dans le cas de calcul utilisant la représentation par la coupe horizontale du dispositif. Nous remarquons également que plus nous nous rapprochons de la surface de l'électrolyte, moins les résultats rendent compte de l'interface entre l'air et l'électrolyte.

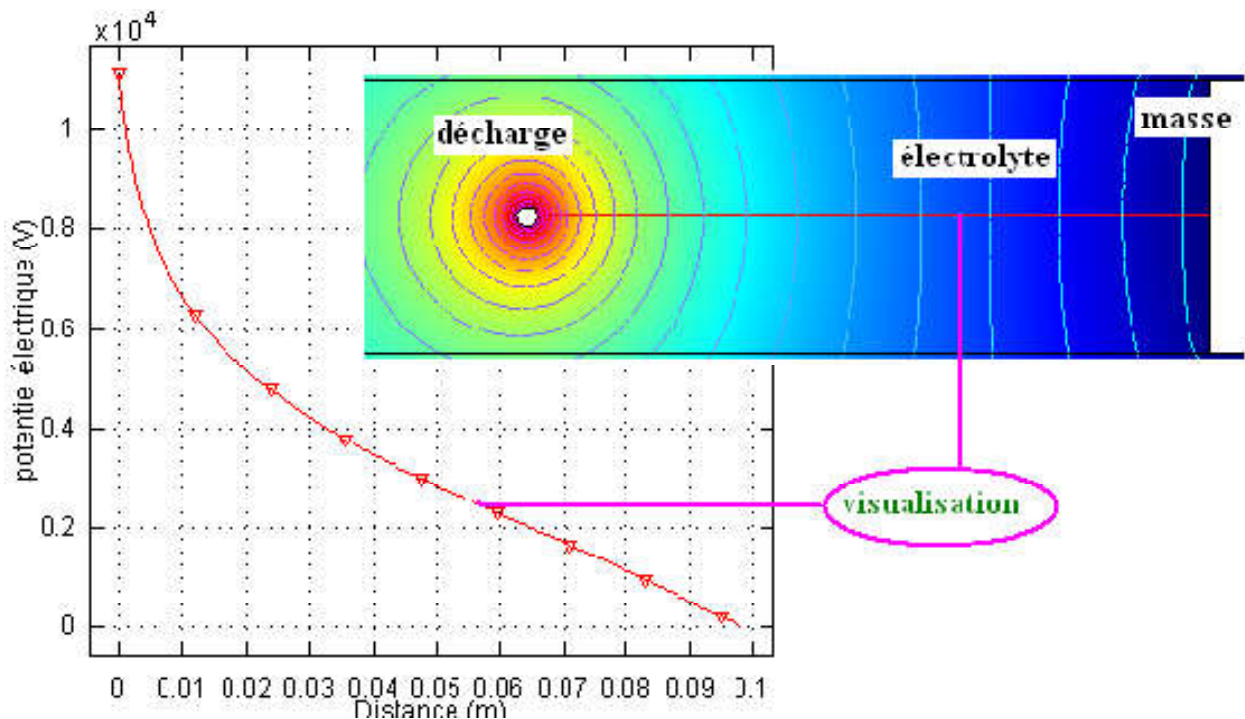


Figure III.10: Calcul du potentiel dans l'air à 1 mm de la surface du canal d'électrolyte

La figure III.11 illustre la distribution du champ électrique et l'allure correspondante à 1mm au-dessus de la couche de pollution (de pied de la décharge) à l'électrode de masse. Dans cette figure on remarque que le champ électrique dans l'air n'a pas été sensiblement modifié par la présence de la branche de la décharge par ce que le courant restant dans la décharge ne diverge pas dans l'air. Le champ électrique maximal était de 14,8 kV/cm et il était situé au périmètre du pied de la colonne de la décharge

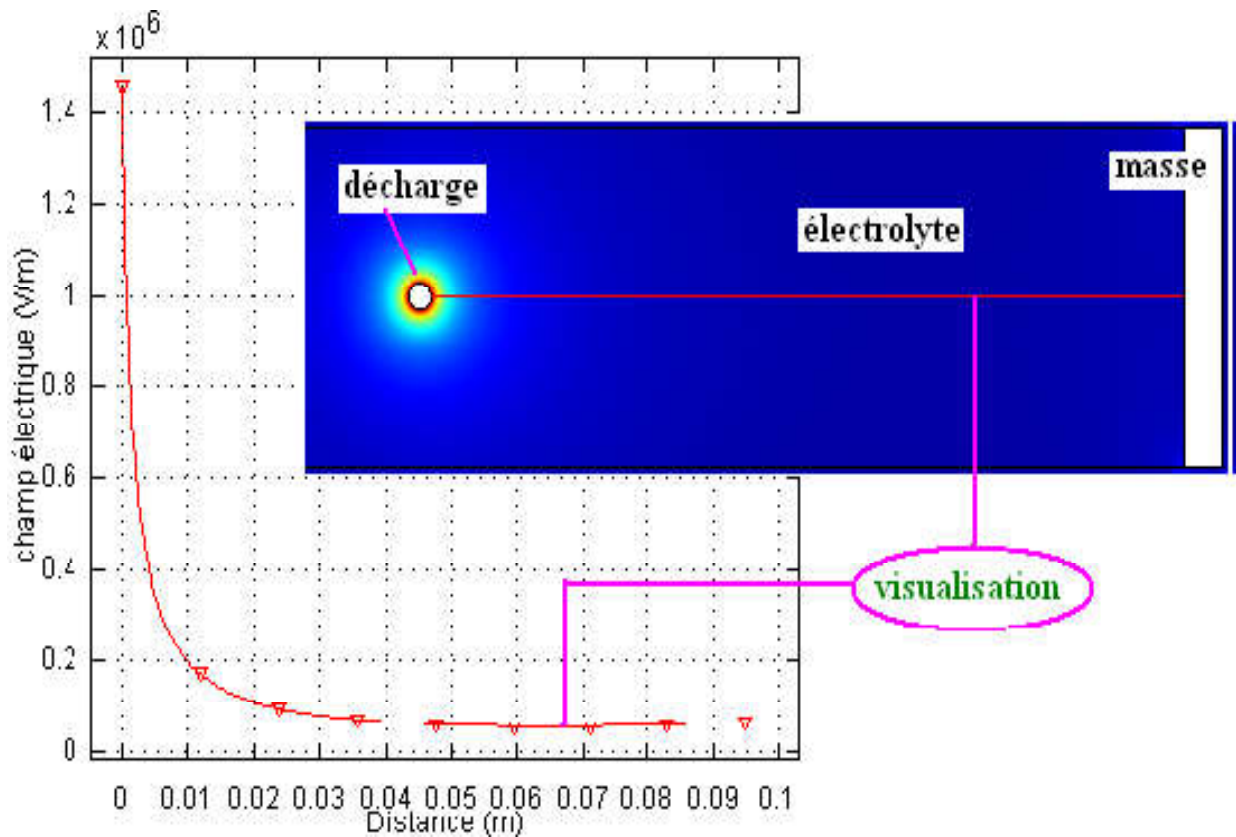


Figure III.11: Calcul du champ électrique dans l'air à 1 mm de la surface du canal
d'électrolyte

III.3 Comparaison avec littérature [20]

Nous avons essayé également de faire une comparaison de nos résultats de calcul et ceux effectués par Zm. La comparaison s'effectue sur deux configurations en 2D différentes, il s'agit la configuration à coupe horizontale (vu de dessus) figure III.12 et la configuration axisymétrique figure III.1.

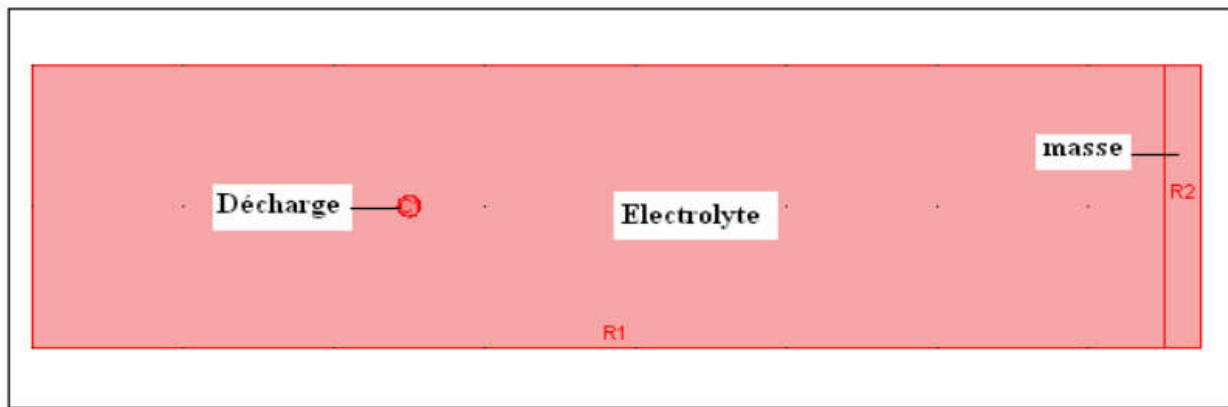


Figure III. 12 : Configuration en coupe horizontale

III.3.1 Coupe horizontale:

La figure III.12 illustre les deux résultats des calculs que nous avons trouvés et les résultats trouvés par Zm présentant l'évolution du potentiel électrique sur la surface d'électrolyte effectuées sur la configuration à coupe horizontale.

Sur cette figure on remarque que les deux courbes sont confrontées, et par conséquent, nos résultats de calcul sont en bon accord avec les résultats de calcul trouvé par Zm.

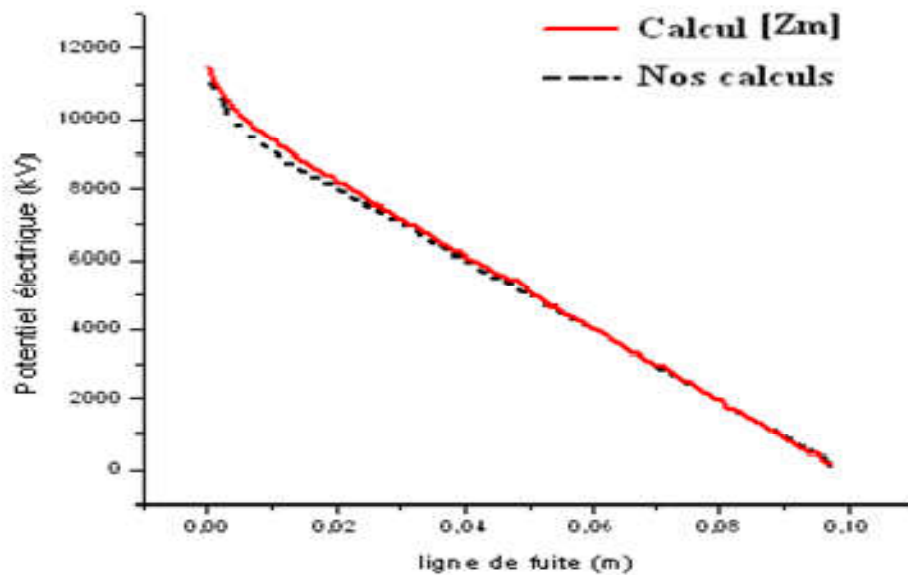


Figure III.13: Répartition du potentiel sur la surface du canal coupe horizontale

III.3.2 Configuration axisymétrique:

On a effectué la même comparaison, mais cette fois-ci sur une configuration axisymétrique. Les résultats de comparaison sont regroupés dans la figure III. 14.

D'après cette figure nous constatons que les deux courbes sont presque confondues dans les points de pied de la décharge et l'électrode de masse, mais il y a un écart relativement grand dans la surface d'électrolyte.

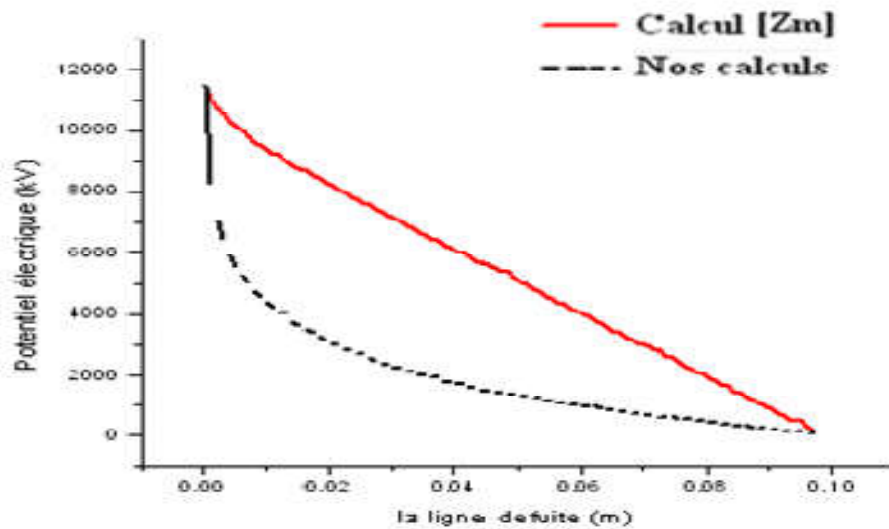


Figure III.14: Répartition du potentiel sur la surface du canal coupe transversale (axisymétrique).

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé un outil de calcul basé sur la méthode des éléments finis (logiciel COMSOL) pour décrire la répartition du potentiel électrique au voisinage de la décharge et ainsi sur le long de la surface de pollution avec deux configurations en 2D proposées par Zm et simulé par logiciel FLUX2D afin de pouvoir faire une confrontation des résultats. La comparaison des résultats nous a permis de constater que:

- Une confrontation des résultats dans le cas de configuration horizontale (vu dedessus).
- Un écart un peu important entre les résultats dans le cas de configuration axisymétrique.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale:

Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu, l'élaboration du projet d'une isolation haute tension en vue d'obtenir une meilleure tenue au contournement n'est pas un problème simple.

Dans l'étude bibliographique, nous présentons les différents travaux qui ont été réalisés dans le domaine de la pollution des isolateurs (connaître le fonctionnement et la constitution d'un isolateur et leurs principaux types, ainsi que l'origine de la pollution, puis connaître les différentes techniques lutte contre la pollution).

Les isolateurs sont des éléments essentiels dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service. Les isolateurs les mieux adaptées à un environnement donné sont ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Le phénomène de pollution résulte de diverses origines, on peut en citer trois : naturels, industriels et mixtes. Quelle que soit la source de pollution, on observe toujours une formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt de pollution accumulé progressivement sur la surface des isolateurs.

Ensuite il nous a permis, d'explorer les principaux modèles, La plupart des modèles traitent le problème de manière statique et reposent sur le modèle proposé par Obenaus. Ils traitent le phénomène de contournement.

La méthode des éléments finis s'est avérée être un bon choix parmi les différentes méthodes numériques proposées. Cette méthode, qui permet de se contenter d'une description surfacique des objets modélisés, présente les avantages importants par rapport aux différentes méthodes existantes du point de vue du nombre d'inconnues mis en jeu, de la prise en compte des domaines infinis.

Pour cette étude nous avons fait une simulation en 2D des isolateurs à l'aide d'un logiciel commercial COMSOL Multiphysics ce dernier est basé sur la méthode des éléments finis (MEF).

La représentation graphique des isolateurs étudiée (silicone, verre et porcelaine) c'est fait par le baie d'un logiciel de dessin AutoCAD.

Nous nous sommes initié à l'utilisation d'un logiciel qui permet d'établir un maillage et de déterminer le potentiel et le champ électriques dans le cas de phénomènes électrostatiques.

Les résultats de simulation obtenus dans le cadre de cette étude peuvent être résumés de la façon suivante :

- ✓ La distribution de la tension et le champ électrique le long d'isolateur est uniforme à cause de l'absence de la couche polluante conductrice.
- ✓ Dans les régions humides la distribution de tension le long de l'isolateur est non uniforme.
- ✓ La répartition de la tension est dépendent de la géométrie des isolateurs .

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques:

- [1] Mohammed El-Amine Slama, « Etude Expérimentale Et Modélisation De L'influence De La Constitution Chimique Et De La Répartition De La Pollution Sur Le Contournement Des Isolatrices Hautes Tensions », Thèse De Doctorat, L'école Central De Lyon, 2011.
- [2] Sid Ahmed Bessedik, « Contournement Des Isolateurs Pollués », Thèse De Doctorat, Université Mohamed Boudiaf D'Oran, 2015.
- [3] Bouyekni Abdelkader, « Etude Du Phenomene De Contournement Des Isolateurs Pollues Par Logiciel Femlab », Memoire En Vue De L'obtention Du Diplome De Magister, Université Des Sciences Et De La Technologie D'Oran Mohamed Boudiaf, 2010.
- [4] Adel Kara, « Contribution A L'étude D'un Modèle Dynamique De Contournement D'un Isolateur Pollué », Mémoire De Magister, Université De Setif1 Ufas (Algerie), 2013.
- [5] Haddad Salah Eddine, Azeddine Mohamed Elfateh, « Estimation De La Tension De Contournement D'un Isolateur Capot Et Tige De Haute Tension Artificiellement Pollué En Utilisant La Logique Floue », Mémoire Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De Master Académique, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2018-2019.
- [6] Berrim Ali, Megdoud Dhia Eddine AbdAlhak, « Prédiction De La Tension De Contournement Par L'approche D'optimisation Pso », Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master Académique, 2018-2019.
- [7] Marni Sandid Baroudi, Sahli Abdelouaheb, « Etude De L'influence Des Paramètres Géométriques D'un Isolateur Tht Sur Sa Tenue Au Contournement Au Milieu Pollué », Projet De Fin D'études Pour L'obtention Du Diplôme De Master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib D'ain-Temouchent, 2015-2016.
- [8] Dilmi Abdelmalek, Maarouf Ameer, « Influence De La Pollution Sur Le Comportement D'un Modèle Plan D'isolateur Sous Haute Tension », Memoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplome De Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2017.
- [9] Nabila Dhahbi Ep. Megriche, « Modélisation Dynamique Des Décharges Sur Les Surfaces D'isolateurs Pollués Sous Différentes Formes De Tension: Elaboration D'un Critère Analytique De Propagation », L'école Centrale De Lyon, 1998.
- [10] G. Neumark, « Vetschmutzungsland und kriechweg “ Monatsbericht der deutschen akademie der Wissenschaft Berlin, vol 1, 1959, p 352-359.
- [11] H.H. Woodson, A.J. MacEloy, “ Insulators with contaminated surfaces “; Part II. Modeling Mechanisms, Trans IEEE, Winter Power Meeting, Newyork, January, 1970.
- [12] Satta Samia, « Contribution A L'étude De L'influence De La Pollution Discontinue Sur Le Comportement Des Isolateurs : Expérimentation Et Simulation », Mémoire De Magister, Setif.
- [13] Tahri Tawfiq, « Elaboration D'un Modele Dynamique De Contournement D'un Isolateur Pollue Sous Tension Alternative », Memoire De Fin D'études En Vue De L'obtention Du Diplôme Master En Genie Electrique, Université De Mohamed Boudiaf-M'sila, 2015-2016.

- [14]Bentriou Cherifa, « Simulation Numérique D'un Isolateur De Haute Tension A Fréquence Industrielle 50 Hz », Mémoire De Master En Génie Electrique, Université De M'sila 2016.
- [15] Mohamed Oussama Meftah, Mourad Rahal, « Performances D'isolateurs Ht Pollués Sous Tension Alternative 50hz Et Distributions Du Champ Et Du Potentiel Electriques Utilisant Comsol », Mémoire D'ingénieur D'état En Electrotechnique, Enp D'alger, Juin 2011.
- [16]Mesrouk Mehdi, « Etude D'une Electrode Tri-Couches A Base De Tco/Métal/Tco Pour Une Cellule Solaire Organique », Mémoire De Magister, Université Mouloude Mammeri De Tizi-Ouzou 2013.
- [17]A. Bouyekni, H.Hadi, S.A.Bessedik "Calcul de potentiel et du champ électrique le long d'un isolateur pollué en 2D". 4 eme Conférence Internationale sur l'électrotechnique, ICEL 2009
- [18]Z. YEO, " modèle numérique de conduction surfacique dans les dispositifs bidimensionnel – prise en compte de non linéarités", thèse doctorat uni, Loyon 1992
- [19]B. Zegnini” Etude du Contournement des Surfaces Isolantes sous Tension Alternative Application à l'Etude de la Tenue des Isolateurs dans leur Environnement” these de Doctorat, Univ, USTO. 2006.
- [20] P.Zmajkovic, "Modélisation Du Contournement Electrique Et Validation Expérimentale Du Mécanisme Propose Pour L'extension De La Décharge", Thèse De Doctorat, Uni. Poule Sabatier Toulouse, 1996.
- [21]R.Wilkins, "Flashover voltage of high-voltage insulators with uniform surface pollution films" ProcIEE.Vol 116 n°3- pp.457-465 March 1969.

Résumé:

Le travail proposé dans ce mémoire présente un modèle dynamique permettant de prédire le comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative. Se basant sur un circuit électrique équivalent et utilisant des lois physiques, ce modèle permet d'évaluer plusieurs paramètres et de décrire la dynamique de l'arc en tenant compte du profil de l'isolateur et des variations instantanées des caractéristiques de l'arc. Les résultats de simulation ainsi obtenus sont discutés par rapport à ceux obtenus par d'autres auteurs.

Mots-Clés: contournement, isolateur, modélisation 2D, haute tension, décharge électrique, Comsol Multiphysics, MEF.

Abstract:

The work proposed in this thesis presents a dynamic model to predict the behavior of a polluted insulator subjected to an alternating voltage. Based on an equivalent electrical circuit and using physical laws, this model makes it possible to evaluate several parameters and describe the dynamics of the arc taking into account the profile of the insulator and instantaneous variations in the characteristics of the arc. The simulation results thus obtained are discussed in relation to those obtained by other authors.

Keywords: bypass, dielectric, 2D modeling, high voltage, electric discharge, Comsol Multiphysics, MEF.

ملخص:

يقدم العمل المقترح في هذه الرسالة نموذجاً ديناميكياً للتنبؤ بسلوك عازل ملوث يتعرض لجهد متناوب. استناداً إلى دائرة كهربائية مكافئة وباستخدام القوانين الفيزيائية، يتيح هذا النموذج تقييم العديد من المعلومات ووصف ديناميكيات القوس مع مراعاة ملف تعريف العازل والتغيرات اللحظية في خصائص القوس. تتم مناقشة نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها بهذه الطريقة فيما يتعلق بتلك التي حصل عليها مؤلفون آخرون.

الكلمات المفتاحية: تجاوز، عازل، نمذجة ثنائية الأبعاد، جهد عالي، تفريغ كهربائي، Comsol Multiphysics، ME.