

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-256



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 :

DILMI Abdelmalek

MAAROUF Ameer

Intitulé

**Influence de la pollution sur le comportement d'un
modèle plan d'isolateur sous haute tension**

Soutenu le 20 / 05 / 2017 devant le jury composé de :

Mr. CHOUDER Aissa	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Président
Mr. RAHALI Hilal	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Rapporteur
Mr. BENGUESMIA Hani	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Rapporteur
Mr. BELHOUCHE Khaled	Université Mohamed Boudiaf - M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2016 / 2017.

بسم الله الرحمن الرحيم

إهداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا و لم نكن
لنصل إليه لولا فضله علينا والصلاة
و السلام على خاتم الأنبياء و
المرسلين.

أهدي هذا البحث وثمره هذه الدراسة
إلى أمي وأبي الحبيبان حفظهما الله.
إلى إخوتي الأعزاء سندي في هذه
الحياة.

إلى عائلتي ديلمي و دهيليس
إلى كل الأسرة العلمية لكلية
التكنولوجيا.

إلى كل أساتذتي و كل من علمني
حرفاً.

إلى كل زملائي و أصدقائي و أحبائي
إلى كل من ساعدني من قريب أو من
بعيد.

راجياً من المولى عز وجل أن نجد
القبول والنجاح

ديلمي عبد المالك

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



إهداءات



إلهي لك الحمد كله ولك الشكر كله وإليك يرجع الأمر كله.

أهدي هذا العمل المتواضع إلى:

والدتي التي سهرت من أجل نجاحي و عانت الصعاب من أجل تحقيق ما
أنا فيه ، الغالية نوبيات فاطمة.

إلى والدي معروف الشيخ الذي علمني الصمود مهما كانت الظروف .

إلى جميع إخوتي وأخواتي من عمر إلى عاشور و بالأخص أخي احميدة
(لمين) وأختي حورية ومرزاقة.

إلى عصافير وبهجة البيت أمير ريان وحسام الدين (ديدو).

إلى كل عائلتي معروف و نوبيات.

إلى كل الأسرة العلمية ،ومن علمني.

إلى أصدقائي وأحبابي وجميع من يعرفني ومن تصفح أوراق هذه الرسالة من
بعدي.

عامر معروف

REMERCIEMENTS

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

Au terme de ce modeste projet de fin d'études, nous tenons à remercier nos deux promoteurs Mr. Rahali Hilal et Mr. BENGUESMIA HANI, qui nous ont dirigé au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier le président et les membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'évaluer notre travail.

Que tous les professeurs ayant contribué à notre formation trouvent ici notre profonde reconnaissance.

Table des matières

Introduction générale : 1

Chapiter I. Isolateurs de haute tension

I.1.Introduction:..... 3

I.2. Quelques définitions concernant les isolateurs : 3

 I.2.1 courant de fuite critique : 3

 I.2.2. Tension de tenue (Tension d'essai):..... 3

 I.2.3. Contournement:..... 3

 I.2.4 Contrainte de contournement : 3

 I.2.5. Tension de contournement : 3

 I.2.6. Courant de fuite:..... 4

 I.2.7. Rigidité diélectrique : 4

 I.2.8. Résistivité diélectrique : 4

 I.2.9. Conductivité électriques : 4

I.3. Les isolateurs : 4

 I.3.1. Définition des isolateurs de haute tension : 4

 I.3.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur : 5

I.4. Caractéristiques d'un isolateur : 5

I.5. Types d'isolateurs : 6

 I.5.1. Isolateurs rigides : 6

 I.5.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne : 7

 I.5.3. Isolateur long fut : 7

 I.5.4. Isolateur capot et tige : 7

 I.5.4.1. Les différents profils de l'isolatrice capot tige : 8

 I.5.4.2. Profil standard : 8

 I.5.4.3. Profil antibrouillard (forme A):..... 9

 I.5.4.4. Profil antibrouillard (forme B) : 9

 I.5.4.5. Profil sphérique : 9

I.5.4.6. Profil plat :	10
I.6. Choix des isolateurs :	10
I.7. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs:	11
I.7.1. Céramique:	11
I.7.2. Le verre:	11
a. Le verre trempé:.....	11
b. Le verre recuit:.....	11
I.7.3. Matériaux synthétiques :	12
I.8. Défauts des isolateurs :	13
I.8.1. Défauts électriques :	13
I.8.2. Défauts mécaniques :	14
I.8.3. Défauts dus à la manipulation :	14
I.9. Vieillessement des matériaux isolants :	14
I.9.1. Farinage :	14
I.9.2. Faïençage :	14
I.9.3. Craquelures :	15
I.9.4. Erosion :	15
I.9.5. Acheminement :	15
I.10. CONCLUSION :	15

Chapitre II. Pollution des isolateurs

II.1. Introduction :	16
II.2. Sources de pollution :	16
II.2.1. Pollution naturelle :	16
II.2.1.1. Pollution marine :	16
II.2.1.2. Pollution désertique :	16
II.2.2. Pollution industrielle :	17
II.2.3. Pollution mixte :	17
II.3. Formation et répartition de la couche de pollution :	17
II.3.1. La non-uniformité longitudinale par groupe :	17
II.3.2. La non-uniformité transversale :	18
II.3.3. La non-uniformité longitudinale périodique :	18

Table de Matières

II.4. Conséquences de la pollution.....	18
II.4.1. Arc non localisé :	18
II.4.2. Arc fixe :	19
II.4.3. Contournement des isolateurs pollués:	19
Etape 1 : Dépôt de la pollution	20
Etape 2 : Humidification de la pollution	20
Etape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs :	21
Etape 4 : Comportement des arcs	22
II.5. l'influence de pollution sur les isolateurs :	22
II.6. Sévérité de pollution d'un site:	23
II.6.1. Classification des sites pollués :	23
II.6.1.1. Classe 1 :	23
II.6.1.2. Classe 2 :	23
II.6.1.3. Classe 3:	23
II.6.1.4. Classe 4:	23
II.7. Méthodes d'essais sous pollution:	24
II.7.1. Essais sous pollution naturelle :	24
II.7.2. Essais sous pollution artificielle :	24
II.7.3. Méthode de la couche solide :	24
II.7.4. Méthode du brouillard salin :	25
II.7.5. Méthode de pollution liquide :	25
II.8. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION :	25
II.8.1. Allongement de la ligne de fuite :	25
II.8.2. Isolateurs plats :	25
II.8.3. Graissage périodique :	26
II.8.4. Revêtement silicone :	26
II.8.5. Les isolateurs composites :	26
II.8.6. Nettoyage des isolateurs :	26
II.9 CONCLUSION :	26

III. Modèles statiques et dynamiques des isolateurs

III.1. Introduction :	27
III.2. Modèle statique :	27
III.2.1. Modèle d'Obenaus :	27
III.2.2. Modèle de Neumarker :	29
III.2.3. Modèle de Rizk :	30
III.2.4. Modèle de Wilkins :	30
III.2.5. Modèle de J. Danis :	31
III.3. Modèles dynamiques :	33
III.3.1. Modèle de Rizk et Nguyen :	33
III.3.2. Modèle de Anjana et Lakshminarasimha :	33
III.3.3. Modèle de Sundararajan et Gorur :	34
III.3.4. Modèle de N .Dhahbi et Beroual :	34
III.3.5. Modèle de Tegar :	36
III.4. Conclusion :	36

IV. Simulation et interprétation

IV.1. Introduction :	37
IV.2. Méthode des éléments finis :	37
IV.2.1. Principe :	37
IV.2.2. Etapes de la méthode des éléments finis:	37
IV.2.3. Avantages de la MEF :	32
IV.2.4. Inconvénients de la MEF :	32
IV.3. COMSOL Multiphysics :	39
IV.3.1. Description de logiciel COMSOL Multiphysics :	39
IV.3.2. Les modèles :	39
IV.3.2.1. AC/DC Module :	40
IV.3.3. Procédure de simulation :	40
IV.3.4. Choix du mode d'application :	40
IV.3.5. Définition de la géométrie :	40

Table de Matières

IV.3.6. Propriété des matériaux :.....	40
IV.3.7. Maillage:	41
IV.4. Modélisation d'un isolateur :	41
IV.4.1. Géométrie de l'isolateur utilisé :	41
IV 4.2. Identification des domaines dans le logiciel :	41
IV 4.3. Conditions aux limites :.....	42
IV.4.4. Maillage des domaines :.....	42
IV.5. Modèle de simulation 1512L :	42
IV.6. Modèle mathématique :	43
IV.7. Analyse des résultats de simulation :	44
IV.7.1. Etude du potentiel:	44
IV.7.1.1. Influence de la conductivité:	44
IV.7.1.2. Influence de la tension de la ligne :.....	46
IV 7.1.3. Influence de largeur de la couche propre:	49
IV.7.2.Distribution du champ électrique :	52
IV.7.2.1. Influence de la conductivité :	52
IV.7.2.2. influence de la tension de la ligne :	54
IV.7.2.3. Influence de la largeur des couches propres :.....	57
IV.7. Conclusion :.....	60
Conclusions Générales :.....	61

Liste des figures

Figure I.1 Isolateur de haute tension.	5
Figure I.2: Les caractéristiques d'un isolateur.	6
Figure I.3 Isolateur rigide.....	6
Figure I.4 isolateur longe fut.....	7
Figure I.5 Isolateur capot et tige.....	8
Figure I.6 Isolateur capot et tige avec profil standard.....	8
Figure I.7 Profil antibrouillard (forme A).....	9
Figure I.8 Profil antibrouillard (forme B).	9
Figure I.9 Profil sphérique.....	10
Figure I.10 Isolateur capot et tige de profil plat.....	10
Figure. I.11 Isolateur composite.	12
Figure I.12. La bonne prospérité hydrophobe.....	12
Figure I.13. Vieillissement d'un isolateur composite.....	12
Figure II.1 Initialisation des arcs électriques (Arc non localisé).....	18
Figure II.2 Evolution des arcs électriques (Arc fixe).	19
Figure II.3 Contournement total.	19
Figure II.4. Dépôt et évolution de l'agent polluant.....	20
Figure II.5 Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite.....	21
Figure II.6 Arc et bande sèche.....	21
Figure II.7 Régime d'arcs sous pollution.....	22
Figure. III.1: Modèle d'Obenaus.....	28
Figure III.2. Modèle de Wilkins.....	31
Figure III.3. Modèle de J. Danis.....	32
Figure III.4. Schéma électrique équivalent à la propagation de la décharge de N.Dhahbi et Al.	35
Figure. IV.1. Modèle plan de l'isolateur 1512L.....	41
Figure IV. 2 Maillage de l'isolateur.....	42
Figure IV. 3 le modèle d'isolateur 1512 L.....	43
Figure IV. 4 Potentiel électrique - ligne de fuite pour différente valeur de conductivité.....	44
Figure IV.5 Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne actif.	46
Figure IV.6 Potentiel électrique-ligne de fuite pour différente valeur de tension.....	47

Liste des figures

Figure IV.7 Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne actif.	49
Figure IV.8 Potentiel électrique-ligne de fuite de l'isolateur pour différente larguer.	50
Figure IV.9 Distribution du potentiel électrique en fonction de la largeur de la couche propre.	51
Figure IV.10 Champ électrique - ligne de fuite d'isolateur pour différente valeur de conductivité. ...	52
Figure IV.11 Distribution du Champ électrique en fonction de la conductivité.	54
Figure IV.12 Champ électrique-ligne de fuite de l'isolateur pour différente valeur de tension.	55
Figure IV.13 Distribution du champ électrique en fonction de la tension de la ligne actif	57
Figure IV.14 Distribution du champ électrique-ligne de fuite pour différente largeur des couches propres.	58
Figure IV.15 Distribution du champ électrique en fonction de la ligne de fuite	59

La table de nomenclature :

- R_s : Résistance surfacique.
 R_v : Résistance Volumique.
 L_c : Ligne de contournement.
 X : Longueur d'arc.
 V : Tension applique.
 V_e : La chute de tension.
 N, n : Les constant de la caractéristique de l'arc.
 V_{arc} : Tension d'arc.
 R_{arc} : Résistance d'arc.
 E_a : Champ longitudinal.
 L : Longueur de fuit total.
 r_p : Résistance uniforme de par unité de longueur de fuite
 U_c : Tension de contournement minimal.
 r : Résistance de pollution linéique.
 L_f : Ligne de fuite.
 b_w : Largeur de l'isolateur.
 δ_s : Conductivité de la couche de pollution.
 r_d : Le rayon du pied de la charge.
 M : Nombre de particules neutres dans l'arc.
 K : Constante de Boltzmann.
 σ : Conductivité exprimée $\mu s/cm$.
 ϵ_r : Constant diélectrique.
 D : Densité de flux électrique.

Introduction Générale

Introduction générale :

Le domaine de l'énergie électrique comprend la conception et l'exploitation des systèmes de production, de transport et de distribution. Le génie électrique a connu diverses avancées majeures en ce domaine depuis la fin des années soixante-dix [1].

Les équipements de haute tension (les câbles, les pylônes, les isolateurs...ext), présents dans les réseaux aériens de transport de l'énergie électrique, sont supposés opérer de façon fiable quelles que soient les conditions environnementales. En particulier, les isolateurs, qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes [2].

Les isolateurs sont des éléments essentiels dans la conception d'une ligne aérienne. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne. En effet, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin, pour assurer le bon fonctionnement de la ligne [2].

De ce fait, les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie [3]. Le phénomène de pollution des isolateurs peut être considéré comme un déversement continu ou intermittent d'impuretés d'origines diverses. Ces impuretés peuvent provenir des flots de fumée qui s'échappent des appareils d'évacuation (pollution industrielle ou urbaine), ou alors de fines particules salines dans les régions situées au bord de la mer (pollution marine), et même de particules de sable plus ou moins fines dans les régions désertiques (pollution désertique)[1].

Le comportement des isolateurs pollués est un sujet d'intérêt croissant dans de nombreux pays. Cet intérêt est lié au désir de choisir au mieux le matériau constituant l'isolateur, étant donné les nombreuses perturbations causées par la pollution.

En raison de la complexité des phénomènes de décharges électriques sur les surfaces isolantes, plusieurs travaux aussi bien théoriques qu'expérimentaux, ont été entrepris depuis plusieurs décennies, en vue d'étudier leur comportement sous pollution. Ces travaux de recherche ont permis de développer des modèles mathématiques, établissant ainsi, les caractéristiques des décharges évoluant sur les surfaces polluées des isolateurs, et ce jusqu'au contournement. Néanmoins, ces mécanismes restent insuffisamment compris, à cause d'un grand nombre de facteurs difficiles à cerner, qui interviennent simultanément dans la génération et la propagation des décharges électriques.

Le présent notre travail exposera, dans un premier chapitre, les concepts fondamentaux liés aux isolateurs, leur différents types et leur fonctionnement et constitution ainsi que les matériaux utilisé dans la fabrication.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des phénomènes de pollution, leurs origines et leurs conséquences sur les isolateurs. Ainsi que les techniques de lutte contre ce phénomène.

Dans le troisième chapitre, nous citerons les principaux modèles de Contournement statique et dynamique rencontrés dans la littérature.

Le quatrième chapitre porte sur les simulations bidimensionnelles (2D) d'un modèle 1512L de haute tension qui ont été effectuées avec le logiciel commercial COMSOL Multiphysics basé sur la M.E.F, Ce travail est consacré à l'étude de la distribution du potentiel et du champ électriques le long d'un modèle d'isolateur en fonction du niveau de la tension appliquée, de la conductivité de la pollution et de la largeur de couche propre.

CHAPITRE I

Isolateurs de Haute Tension

I. Isolateurs de haute tension :

I.1.Introduction:

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur est assuré par une chaîne d'isolateurs. Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments). Cette longueur est adéquate au niveau de tension de service [4]. L'isolateur est un matériau isolant solide, capable de résister à la contrainte électrique. Il est caractérisé par une grande impédance au passage du courant électrique [5]. Son rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation électrique. Dans ce travail, nous allons parler sur les types des isolateurs et les matériaux utilisés dans la fabrication.

I.2. Quelques définitions concernant les isolateurs :

I.2.1. courant de fuite critique :

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement sous pollution d'un isolateur à tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essai ainsi que la forme de l'isolateur.

I.2.2. Tension de tenue (Tension d'essai):

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive (contournement dans le cas des isolateur) [6].

La tension d'essai ou de tenue est fixée par les règles nationales ou internationales et permet une coordination correcte de l'isolement.

I.2.3. Contournement:

Décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne ce dernier (cas d'isolateur). Le terme contournement est employé pour des décharges disruptives par amorçage dans l'air entourant l'isolateur.

I.2.4. Contrainte de contournement :

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de tension contournement à la longueur totale de l'isolateur.

I.2.5. Tension de contournement :

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs Oignent les deux électrodes. La tension de contournement dépend [6] :

- * De la résistivité volumique moyenne de la pollution.

- * De la répartition de la couche de pollution.
- * De la longueur de l'isolateur.
- * Du profil de l'isolateur.

I.2.6. Courant de fuite:

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement [6]. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de la ligne de fuite. Dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante, provoque la formation d'une couche électrolytique.

I.2.7. Rigidité diélectrique :

C'est la propriété d'un diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive. Si on augmente progressivement la tension entre les deux armatures de condensateur jusqu'à une certaine valeur (tension disruptive); il se produit une décharge entre ces deux armatures avec l'apparition d'une étincelle (arc électrique). Numériquement, la rigidité diélectrique est le rapport entre le potentiel appliqué et la distance entre les électrodes au moment où la rupture s'effectue [7].

I.2.8. Résistivité diélectrique :

Sous l'action du champ électrique, toutes les charges se mettent en mouvement. Dans un diélectrique ce mouvement est un courant électrique, le mouvement des charges libres bien que leur quantité est, très faible constituent un courant de fuite. Ce dernier a deux chemins possibles : il passe à travers le diélectrique lui-même ou bien il s'écoule par la surface du diélectrique. On aura donc un courant de fuite surfacique et un autre volumique. Chacun d'eux développe une résistance surfacique (R_s) et une autre volumique (R_v) [7].

I.2.9. Conductivité électriques :

La conductivité électriques est la capacité d'un matériau à laisse passer et conduire le courant électrique, comme la plupart métaux et les solutions chargées en ions.

I.3. Les isolateurs :

I.3.1. Définition des isolateurs de haute tension :

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [8].

I.3.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur :

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes, ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe, ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure) .

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement. [9]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme étant deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents [9].

- l'intervalle d'air.
- le matériau diélectrique.
- l'interface air-matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite, ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite).

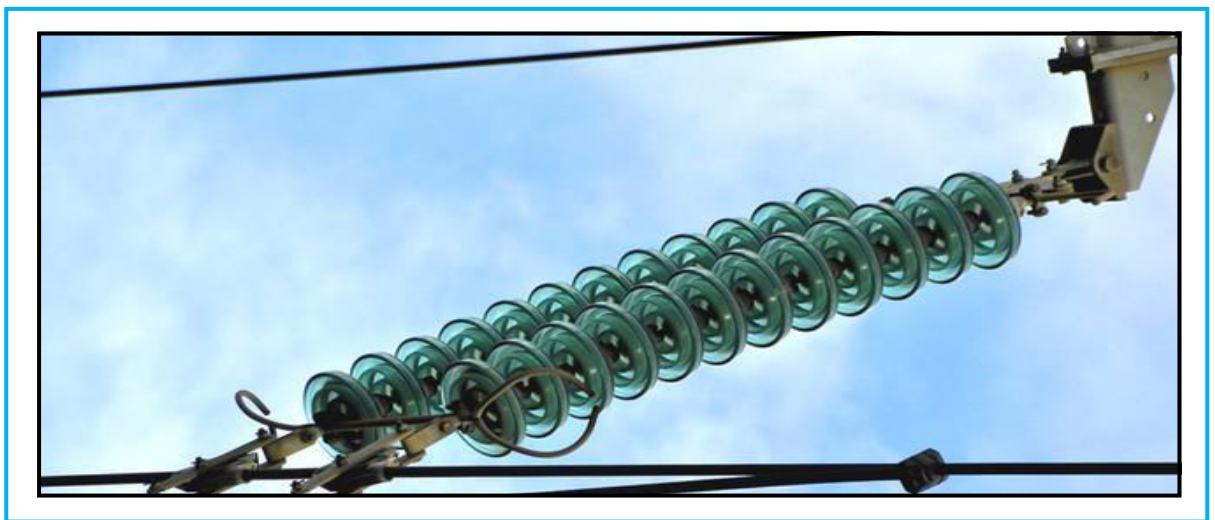


Figure I.1. Isolateur de haute tension.

I.4. Caractéristiques d'un isolateur :

Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essais d'isolateurs, nous pouvons citer:

1. **Le pas P** : C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.
2. **La ligne de fuite L_f** : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.

3. **La ligne de contournement L_c** : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices [10].

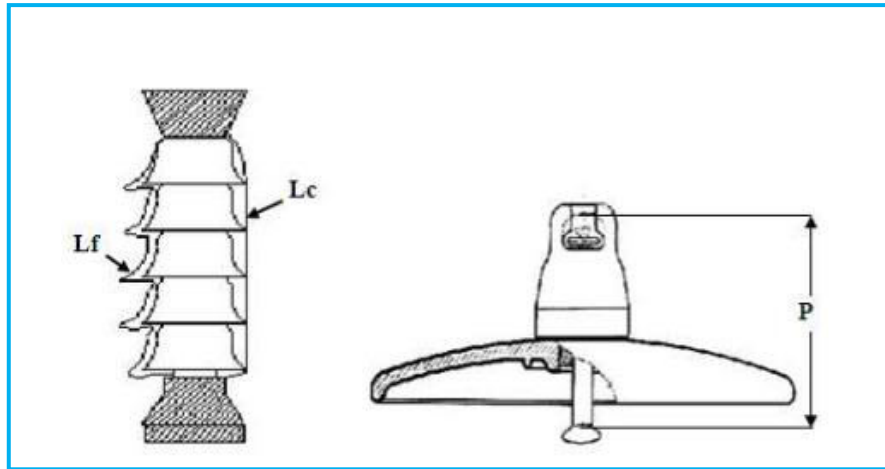


Figure I.2. Les caractéristiques d'un isolateur

I.5. Types d'isolateurs :

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

I.5.1. Isolateurs rigides :

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



Figure I.3. Isolateur rigide.

I.5.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne :

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) [11].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

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

I.5.3. Isolateur long fut :

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques muni d'ailettes. A chaque extrémité il y a une pièce métallique pour les liaisons. Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe les extrémités tronconiques sur le cylindre, soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet [12].



Figure I.4. isolateur long fut.

I.5.4. Isolateur capot et tige :

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine. L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment [8].

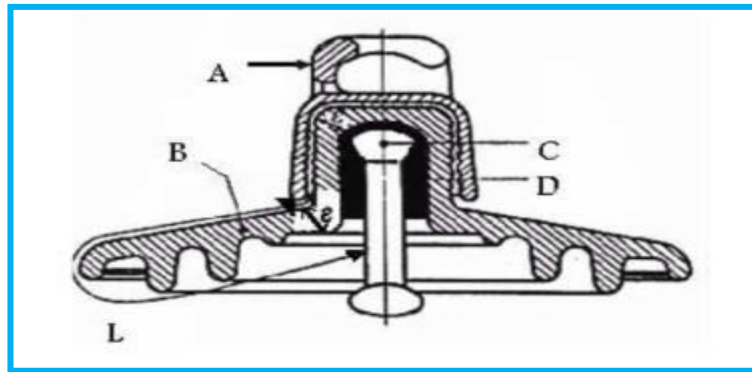


Figure I.5. Isolateur capot et tige.

A : le capot.

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique).

D : le ciment de fixation.

C : la tige.

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

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

I.5.4.1. Les différents profils de l'isolatrice capot tige :

Afin d'améliorer le fonctionnement des isolateurs dans les régions polluées, la CEI (comité international d'électrotechnique) a proposé plusieurs profils. Nous pouvant citer:

I.5.4.2. Profil standard :

La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieure à la demande standard [13]. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne.



Figure I.6. Isolateur capot et tige avec profil standard.

I.5.4.3. Profil antibrouillard (forme A):

Il est de conception avec un diamètre plus grand que le type de profil standard muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire et empêche le claquage entre rainures voisines quand il y a une pollution sévère et tout le profil intérieur simplifie la maintenance [14].



Figure I.7 Profil antibrouillard (forme A)

I.5.4.4. Profil antibrouillard (forme B) :

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et le dépôt des sels minéraux sur la surface de l'isolateur, empêchant alors la formation d'un électrolyte conducteur sur la surface. Ce type d'isolateur est efficace dans les zones côtières [13].



Figure I.8 Profil antibrouillard (forme B).

I.5.4.5. Profil sphérique :

La forme sphérique permet une longueur de fuite équivalente à celle l'absence de rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace [15].



Figure I.9. Profil sphérique.

I.5.4.6. Profil plat :

L'élimination complète des rainures internes réduit grandement l'accumulation de pollution sur la surface basse, grâce au courant d'air. Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquente par pluie [15].



Figure I.10. Isolateur capot et tige de profil plat.

I.6. Choix des isolateurs :

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage [16].

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident:

- * La sévérité de la pollution d'un site peut changer.
- * L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste.
- * La construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique. exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation.

Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles [17].

I.7. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs:

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années.

La porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : Le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [18].

I.7.1. 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 [18].

I.7.2. Le verre:

Outre son bas prix, le verre présente l'avantage de permettre de déceler les défauts par une simple observation.

On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

a. 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 [18].

b. 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 [18].

I.7.3. Matériaux synthétiques :

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique (Figure I.11).

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (Figure I.12). L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...) (Figure I.13) [18].

A : pièce d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre-résine.

C : revêtement à ailettes en matériaux synthétiques.

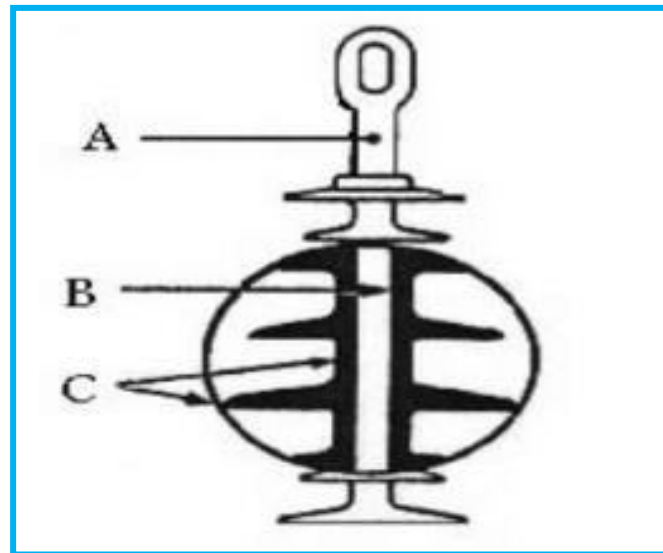


Figure I.11. Isolateur composite.



Figure I.12. La bonne prospérité hydrophobe.



Figure I.13. Vieillessement d'un isolateur composite.

I.8. Défauts des isolateurs :

Les isolateurs composites des générations précédentes ont présenté comme principaux problèmes l'érosion, l'acheminement, la décharge de couronne...etc.

Ces problèmes ont été éliminés par le bon choix des matériaux et le développement de nouvelles techniques de fabrication. L'inconvénient des isolateurs composites est la difficulté d'identifier l'isolateur défectueux de l'isolateur sain, d'où la nécessité de développer une méthode de diagnostic pour différencier entre un isolateur défectueux et un isolateur sain [4].

On peut distinguer deux types de défauts : défauts électriques et défauts mécaniques. Ces deux types de défauts sont mutuellement dépendants.

I.8.1. Défauts électriques :

Le vieillissement des isolateurs est causé par les conditions climatiques auxquelles l'isolateur est exposé ainsi que son profil. Un profil qui permet l'accumulation des agents polluants favorise l'apparition des décharges locales menant à l'érosion et par la suite au cheminement.

L'effet de couronne est considéré comme agent principal de vieillissement des Isolateurs. Cet effet se caractérise par la réduction de l'hydrophobie, la décoloration de la surface de l'isolateur ainsi que l'érosion sous l'effet des gaz de décharge.

Les gouttelettes d'eau sur la surface de l'isolateur affectent la distribution du champ sur cette surface (la permittivité relative de l'eau est élevée ce qui augmente l'intensité du champ aux voisinages des gouttelettes), les gouttelettes se déforment dans la direction du champ.

Un excellent isolateur est caractérisé par son hydrophobicité, cette hydrophobie peut être perdue suite à l'accumulation des agents polluants sur la surface de l'isolant, ou même après avoir subi des chocs électriques (arcs locaux) ; certains isolateurs peuvent réacquérir leurs états hydrophobes après immigration des molécules de faible poids (Low Molar Weight) du centre de l'objet jusqu'à la surface [4].

Le mouillage de la surface favorise l'apparition de l'effet couronne dans les régions de forte intensité de champ, d'où la perte locale de l'hydrophobie ; une quantité de pollution se dissout et forme une couche plus ou moins conductrice, par conséquent une nouvelle distribution du champ s'établit. Ce processus se poursuit et le chemin conducteur mouillé se développe à travers l'isolateur, par la suite le courant circulant à travers ce chemin cause l'assèchement des régions à forte densité de courant ce qui conduit au développement d'un arc local ; celui-ci provoque d'avantage de perte d'hydrophobie, d'érosion de surface et augmente l'amplitude du courant de fuite. Dans le cas d'un isolateur en polymère, le séchage de sa surface lui permet de réacquérir ses propriétés hydrophobes [1].

Dans le cas des isolateurs en verre ou en porcelaine, le mécanisme de décharge est différent de celui des isolateurs en polymère, le mouillage de la pollution accumulée sur la surface des isolateurs en verre ou en porcelaine conduit à l'apparition d'un film d'eau continu, donc l'arc peut se développer directement. Le séchage de la partie restante et l'élongation de l'arc causent le contournement de l'isolateur. Les premières étapes sont similaires à celles des SIR. De plus, la couche de pollution

développée est souvent mince, ce qui limite l'intensité du courant de fuite et par la suite, la tension de contournement augmente [1].

I.8.2. Défauts mécaniques :

Les défauts mécaniques d'un isolateur peuvent mener à des conséquences fatales. Dans le cas des isolateurs en SIR, la plupart des défauts sont d'ordre mécanique.

I.8.3. Défauts dus à la manipulation :

Les isolateurs en porcelaine peuvent être endommagés facilement mais le taux de tels endommagements est toujours faible. Les isolateurs composites ne sont pas fragiles mais marquent un taux relativement élevé d'endommagements.

En effet, un nombre d'endommagements plus ou moins important a été constaté dû des manœuvres durant le transport et l'installation. Pour prendre en charge ces problèmes, le groupe CIGRE (Conférence International des Grands Réseaux Electriques) prépara un guide de manipulation qui contient des recommandations relatives aux méthodes de manipulation de ce type d'isolateurs, en commençant de l'endroit de fabrication jusqu'à sa mise sous tension [1].

I.9. Vieillessement des matériaux isolants :

En génie électrique, le vieillissement électrique est défini comme tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation. Il peut donc s'agir d'une modification de nature chimique ou physique induisant une modification des propriétés électriques dans un sens défavorable pour la pérennité des fonctions isolantes. Généralement on accepte de façon intuitive, et l'expérience le montre souvent, que la durée de vie d'un matériau isolant dépend de l'intensité de la contrainte électrique subie par celui-ci mais également de la durée d'application de cette contrainte [4].

I.9.1. Farinage :

Apparition à la surface du matériau synthétique des particules de charge formant une surface rugueuse ou poudreuse.

I.9.2. Faiençage :

Micro fractures superficielles peu profondes de (0,01 à 0,1 mm).

I.9.3. Craquelures :

Fractures superficielles de profondeur supérieure à 0,1 mm.

I.9.4. Erosion :

Dégradation irréversible et non conductrice, qui peut se produire, à la surface de l'isolateur, par perte de matière. Elle peut être uniforme, localisée, ou arborescente. Après des amorçages partiels, il peut se produire sur les isolateurs composites des traces superficielles, en générale arborescentes, comme sur les pièces en porcelaine, tant qu'elles ne sont pas conductrices, ces traces ne sont pas préjudiciables. Quand elles sont conductrices, elles se classent dans le phénomène d'acheminement.

I.9.5. Acheminement :

Dégradation irréversible, par formation de chemins qui apparaissent et se développent à la surface d'un matériau isolant. Les chemins sont conducteurs même à sec .le acheminement peut se produire sur des surfaces au contact de l'air et aussi aux interfaces entre matériaux isolants différents .il est en général matérialisé par l'apparition d'une trace de matériau carbonisé.

I.10. CONCLUSION :

A la fin de ce chapitre, nous avons appris au sujet sur l'isolateur avec les types de ce dernier, comme nous l'avons parlé aux matériaux utilisés pour la fabrication.

Les principales conclusions que l'on tire de cette synthèse sont :

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

Nous nous intéressons dans la prochaine partie à la pollution de ces isolateurs.

CHAPITRE II

Pollution des Isolateurs

II. Pollution des isolateurs

II.1. Introduction :

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension, la pollution est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs. La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué, réduisent considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue, en général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne. Dans ce chapitre, nous allons parler sur les sources, forme et répartition, conséquence, et techniques de lutte contre la pollution.

II.2. Sources de pollution :

Nous distinguons trois sortes de pollutions : la pollution naturelle, industrielle et mixte.

II.2.1. Pollution naturelle :

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents.

II.2.1.1. Pollution marine :

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice [19]. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur.

II.2.1.2. Pollution désertique :

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels. Une fois humidifiée,

Cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surfaces de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur.

II.2.2. Pollution industrielle :

Le problème de la pollution industrielle se présente pour les lignes qui passent près des zones industrielles (les fumées des usines, raffineries, cimenteries, minerais etc.), près des grandes villes (les gaz d'échappement des véhicules) ou près des terrains agricoles (les engrais utilisés en agriculture).

II.2.3. Pollution mixte :

La pollution mixte est la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Car elle résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées. La couche électrolytique formée par le processus d'humidification des dépôts solides accumulés progressivement sur la surface des isolateurs, engendre une diminution considérable de la rigidité diélectrique.

II.3. Formation et répartition de la couche de pollution :

La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition des chaînes d'isolateurs par rapport au sol [6].

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté de la conductrice haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto nettoyage (vent et pluie forte). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs n'est pas uniforme. Cette non-uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente [6].

Il existe une distinction nette entre les couches formées à la surface supérieure et celles formées à la surface inférieure d'un isolateur soumis à la pollution naturelle. La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories :

II.3.1. La non-uniformité longitudinale par groupe :

Elle est caractérisée par un ensemble de groupes d'isolateurs, soumis à différentes conductivités de la couche de pollution, dont la valeur est constante dans chaque groupe [9].

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

- Temporairement pendant le lavage sous tension.
- Dans les chaînes d'isolateurs en forme de 'T'.

II.3.2. La non-uniformité transversale :

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite. Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies [9].

II.3.3. La non-uniformité longitudinale périodique :

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire. Ses principales spécifications sont :

- La conductivité de la face inférieure de l'isolateur est plus grande que celle de la face supérieure [9].
- La concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
- La pollution est plus accentuée entre les nervures.

II.4. Conséquences de la pollution :

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoquent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite [13].

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur :

II.4.1. Arc non localisé :

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courant de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation [5].

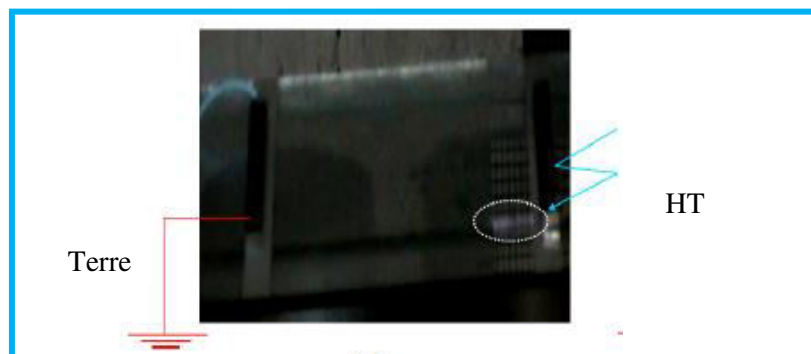


Figure II.1. Initialisation des arcs électriques (Arc non localisé).

II.4.2. Arc fixe :

L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif) [5]. Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.

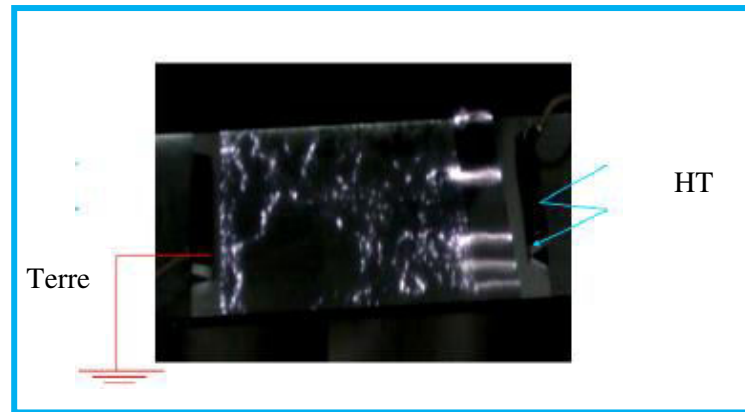


Figure II.2. Evolution des arcs électriques (Arc fixe).

II.4.3. Contournement des isolateurs pollués:

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.

Le comportement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes. Chacune de ces étapes a une importance sur le résultat final, donc sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau [20].

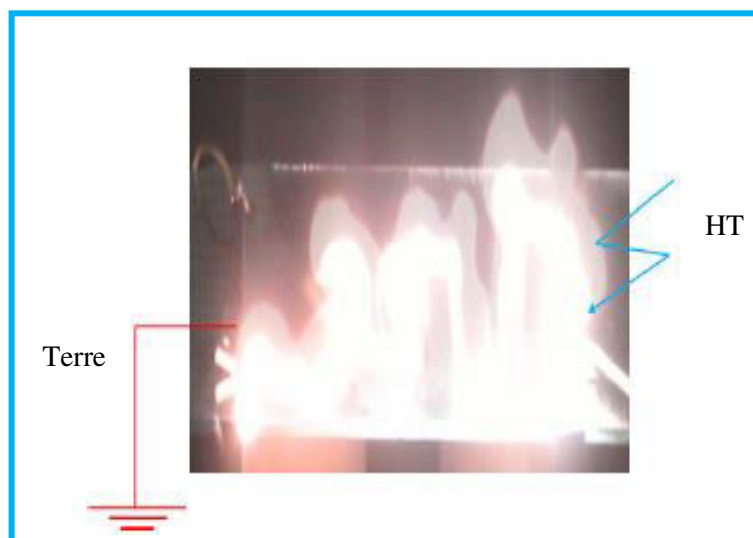


Figure II.3. Contournement total.

Etape 1 : Dépôt de la pollution:

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 autour du capot (Figure II.4) [20].

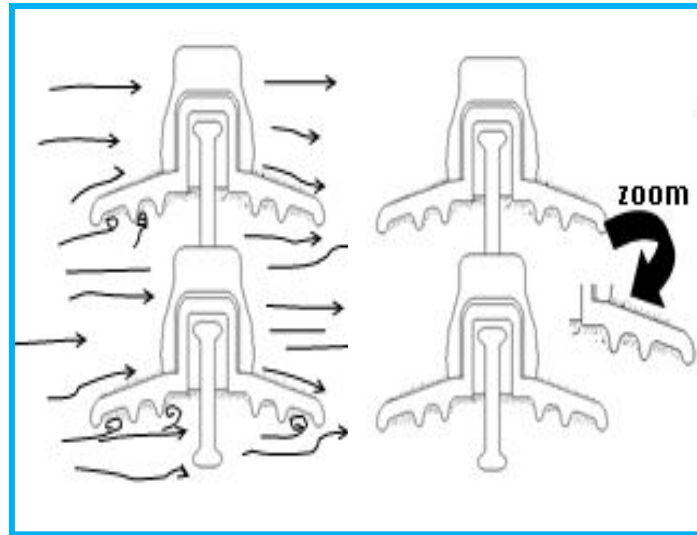


Figure II.4. Dépôt et évolution de l'agent polluant.

Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

1. la nature, le poids et la taille des particules polluantes.
2. la distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peut provenir des poussières.
3. la vitesse du vent.
4. l'orientation de la chaîne, et surtout la forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto-nettoyage par les fortes pluies et vents.

Etape 2 : Humidification de la pollution:

Le brouillard, la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions correspondent à des conditions dites critiques. 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 se forme sur la surface de l'isolateur (Figure II.5) [20].

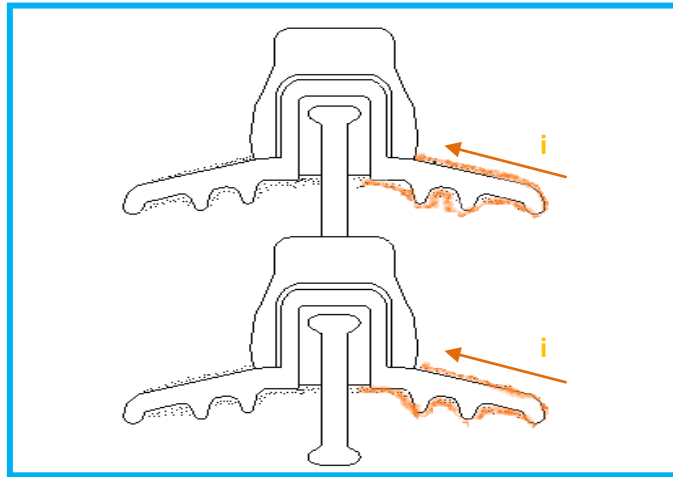


Figure II.5. Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, puis diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles. Ces derniers maintiennent par absorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.

Etape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'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 alors très réduit en amplitude par la présence d'une « bande sèche ». La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée aux bornes de cette bande sèche. Si la largeur de cette dernière est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée (Figure II.6).

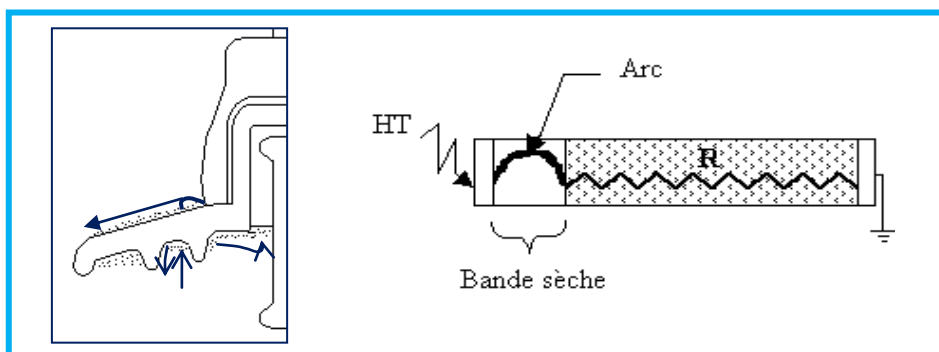


Figure II.6. Arc et bande sèche.

Etape 4 : Comportement des arcs:

La résistance du dépôt humidifié R , en série avec l'arc, limite le courant et la longueur de l'arc (Figure II.6). Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle « courant critique » correspondant à une « longueur critique » de l'arc, cette situation reste stable (Figure II.7). Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir.

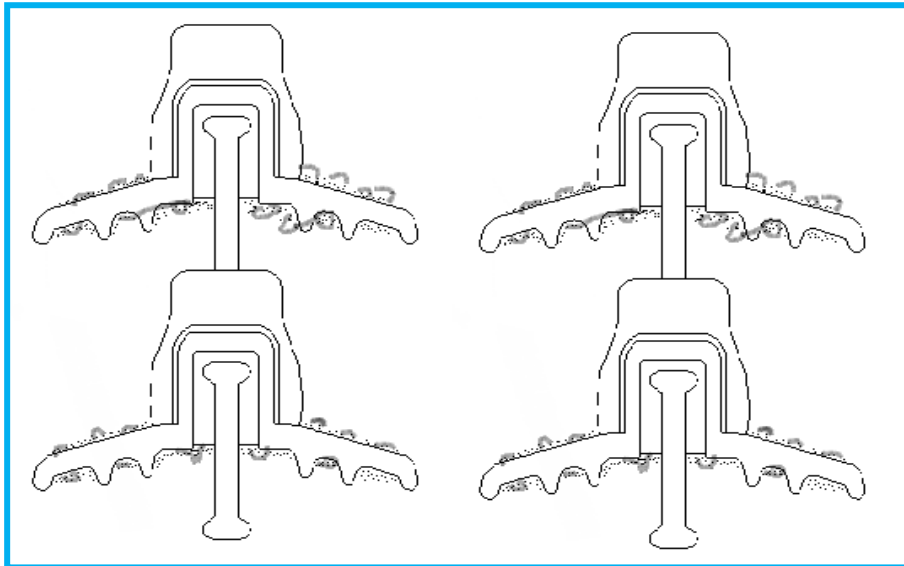


Figure II.7. Régime d'arcs sous pollution.

II.5. l'influence de pollution sur les isolateurs :

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 [13].

II.6. Sévérité de pollution d'un site:

Afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance dans un site pollué, il est nécessaire de caractériser la sévérité de pollution de ce site. La sévérité est généralement caractérisée par l'intensité de précipitation, ainsi que par la conductivité des dépôts polluants [5]. La mesure de cette sévérité est indispensable pour assurer un service sans défaillance dans un site pollué.

On peut classer les degrés de la pollution suivant quatre niveaux selon la CEI 81-5 qui sont: faible, moyenne, forte et très forte.

II.6.1. Classification des sites pollués :

Afin d'évaluer l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la méthode de brouillard salin et les conditions de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées :

II.6.1.1. Classe 1 :

Cette classe correspond à une pollution faible. Cette pollution est généralement naturelle (sauf marine) ou légèrement industrielle. La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium à 2,5 g/l de concentration.

II.6.1.2. Classe 2 :

La classe 2 correspond à une pollution moyenne. En général, cette pollution est naturelle (sauf marine) ou faiblement industrielle. En classe 2, la sévérité équivalente maximale retenue est de 10 g/l.

II.6.1.3. Classe 3:

Cette classe correspond à des zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle. Il s'agit donc de zones à densité industrielle importante, de grandes villes ou de zones proches de la mer soumises à l'action directe des embruns. Ces sites nécessitent un isolement important. La salinité équivalente maximale, concernant cette classe, est de 80 g/l.

II.6.1.4. Classe 4

La classe 4 correspond aux zones où le niveau de pollution est exceptionnel. La pollution est éventuellement naturelle ou mixte. La salinité équivalente maximale pour la classe 4 est de 160 g/l.

II.7. Méthodes d'essais sous pollution:

Pour comparer les performances de divers types d'isolateurs et sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais. Ces derniers peuvent être effectués dans les conditions naturelles (sur site) ou au laboratoire. On distingue deux catégories de recherches sur les isolateurs pollués : les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle [15].

II.7.1. Essais sous pollution naturelle :

Ils consistent à installer, dans les différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs de longueurs ou de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs, placés sous la même tension, sont appréciées en fonction des temps au contournement. On peut classer les isolateurs en distinguant ceux qui ont contourné de ceux qui ont tenu, durant deux ou trois ans d'exposition, par exemple [15].

Ces essais ont l'avantage de tenir compte de l'effet de toutes les contraintes, dans toutes leurs complexités sur un site donné. L'inconvénient majeur de ces essais est qu'ils nécessitent plusieurs années, pour pouvoir étudier valablement les performances des isolateurs.

II.7.2. Essais sous pollution artificielle :

Ils consistent à reproduire en laboratoire les conditions de la pollution naturelle. Ils sont aujourd'hui largement utilisés et ont l'avantage d'être rapides. Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisées sont les méthodes de la couche solide, la méthode du brouillard salin et la méthode de la pollution liquide [15].

II.7.3. Méthode de la couche solide :

Dans ces méthodes, la surface isolante est recouverte par pulvérisation d'une couche de pollution solide constituée de chlorure de sodium et d'un agent liant inerte. La conductivité de cette suspension est réglée par addition d'une certaine quantité de chlorure de sodium [20]. Si l'humidification s'effectue après application de la tension (méthode du brouillard à vapeur), le paramètre de sévérité est défini par la densité de dépôt de sel en mg/cm^2 . Par ailleurs, si l'humidification a lieu avant l'application de la tension, le paramètre de sévérité est défini par la conductivité de la couche polluante. Certains chercheurs ont utilisé une couche semi-conductrice comme agent polluant.

II.7.4. Méthode du brouillard salin :

La solution saline utilisée dans la méthode du brouillard salin représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble. Dans cette méthode, l'isolateur soumis à la tension d'essai, est placée dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité. D'après la classification des sites pollués, les valeurs de salinités appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 160 kg/m³.

II.7.5. Méthode de pollution liquide :

Cette méthode s'apparente à la méthode du brouillard propre dans la mesure où un mélange liquide est appliqué sur l'isolateur avant l'essai. Cependant, dans ce cas la pollution, n'est pas séchée avant l'essai. Elle est constituée d'eau, de craie et de méthylcellulose ou de kaolin. Comme pour la méthode de la couche solide la conductivité est ajustée par addition de chlorure de sodium.

Après quelques minutes d'égouttage, la tension d'essai est appliquée à l'isolateur sans humidification supplémentaire.

II.8. Techniques 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 [19]. Nous allons résumer comme suit :

II.8.1. Allongement de la ligne de fuite :

Elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont employées : [21] :

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.

II.8.2. 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 [20].

II.8.3. 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 [20].

II.8.4. Revêtement silicone :

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Ce revêtement protège les isolateurs et améliore leurs tenues sous pollution [18].

II.8.5. 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 [18].

II.8.6. Nettoyage des isolateurs :

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

II.9. CONCLUSION :

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des réseaux électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaires pour déterminer la sévérité d'un site.

CHAPITRE III

Modèles Statiques

et

Dynamiques des Isolateurs

III. Modèles statiques et dynamiques des isolateurs

III.1. Introduction :

L'analyse, la compréhension et la modélisation des phénomènes de décharges surfaciques sur des isolants propres ou contaminés par la pollution ou le givre est d'une importance capitale pour l'optimisation de l'isolement externe des réseaux électriques. Les modèles des isolateurs est permet des caractérisé tout les paramètres d'un isolateur polluée.

Dans la présente étude, nous présentons de façon les principaux résultats et modèles rapportés dans la littérature sur le phénomène de contournement d'isolateurs pollués.

III.2. Modèle statique :

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 [22]. C'est dans cette optique que de nombreux modèles empiriques ou semi empirique ont été développés.

III.2.1. Modèle d'Obenaus :

De nombreux auteurs ont imaginé de reproduire le phénomène de contournement sur des modèles simplifiés afin de pouvoir le décrire par des équations simples. Le modèle électrique de base a été proposé par Obenaus, qui 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 [19]. En effet, partant d'un modèle type circuit électrique équivalent constitué d'un arc de longueur X en série avec une résistance R_p (Fig.III.1), il en a déduit la tension d'arc :

$$V_{\text{arc}} = \frac{N_x}{I^n} \quad (\text{III.1})$$

I est le courant de fuite, n et N sont les constantes de la caractéristique statique de l'arc, les valeurs des deux paramètres dépendent du milieu dans lequel s'amorce la décharge. Selon certains auteurs:

$$0.4 \leq n \leq 1 \quad \text{et} \quad 3 \leq N \leq 500$$

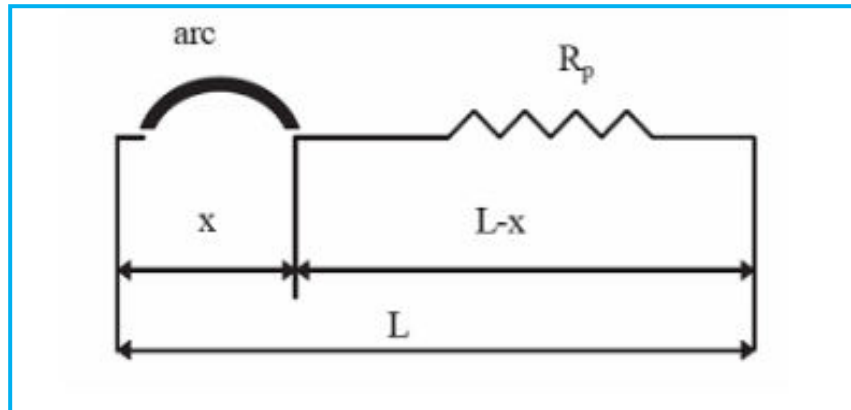


Figure. III.1. Modèle d'Obenaus.

L : représente la longueur de fuite totale.

En effet, en appliquant la loi d'ohm à circuit, on peut écrire:

$$V = V_e + V_{arc} + R_p(X).I \quad (III.2)$$

Ou V est la tension appliquée et V_e , la chute de tension total aux bornes des électrodes ; cette dernière dépend des conditions expérimentales. $R_p(X)$ Est la résistances de la couche polluée et V_{arc} , la tension d'arc telle que :

$$V_{arc} = R_{arc}(X).I \quad (III.3)$$

R_{arc} Est la résistance d'arc par unité de longueur, X la longueur d'arc et I le courant qui traverse la couche polluée. La décharge est caractérisée par la présence d'un champ électrique longitudinal E_a .

$$E_a = \frac{V_{arc}}{X} = N.I^{-n} \quad (III.4)$$

D'où l'équation :

$$V_{arc} = N.X.I^{-n} \quad (III.5)$$

Ainsi, on obtient l'équation de la tension totale au système :

$$V = V_e + N.X.I^{-n} + R_p(X).I \quad (III.6)$$

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.

Les résultats de leurs mesures sont donnés dans le tableau (Tab. III.1).

Electrolyte	N	n
NaCl	360	0,59
CaCl ₂	461	0,42
FeCl ₃	270	0,66
CuSo ₄	450	0,49

Tableau III.1. Valeurs des constantes N et n sur différents électrolytes.

III.2.2. Modèle de Neumarker :

En partant des travaux d'Obenaus, Neumarker y a ajouté l'hypothèse d'une couche de pollution de résistance r_p uniforme par unité de longueur de fuite .Il propose l'expression suivante pour la résistance de pollution [22] :

$$R_p = r_p(l - x) \quad (\text{III.7})$$

En introduisant cette expression dans le modèle d'Obenaus, la tension U aux bornes de l'isolateur sera:

$$U = V_{arc} + r_p(l - x)I \quad (\text{III.8})$$

ou encore

$$U = \frac{N_x}{I^n} + r_p(l - x)I \quad (\text{III.9})$$

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

$$I_c = \left(\frac{N_x}{I^n} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{III.10})$$

Et

$$X_c = \frac{L}{n+1} \quad (\text{III.11})$$

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

$$U_c = N^{1/n+1} r^{n/n+1} L \quad (\text{III.12})$$

Les modèles établis en courant continu ci dessus, ont été étendus au cas d'une tension alternative en y apportant certaines modifications.

III.2.3. 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 [3]. Il a mis en évidence l'expression de la rigidité diélectrique de l'espace résiduel et établi une relation entre la tension minimale U_c (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:

$$\frac{U_c}{L} = 23r_p^{0.4} \quad (\text{III.13})$$

III.2.3. 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 III.2). 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 [23]. Ainsi, la résistance de la pollution pour une bande de pollution étroite sera:

$$R_p = \frac{1}{2\pi\delta_s} \left[(L_f - X) + \frac{b_w}{2\pi} \ln \left(\frac{b_w^2}{4\pi r^2} \right) \right] \quad (\text{III.14})$$

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

$$R_p = \frac{1}{2\pi\delta_s} \left[\ln \left(\frac{2L_f}{\pi r} - \ln \left(\tan \left(\frac{\pi X}{L_f} \right) \right) \right) \right] \quad (\text{III.15})$$

Où δ_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 :

$$r_d = \sqrt{\frac{l}{1,45\pi}} \quad (\text{III.16})$$

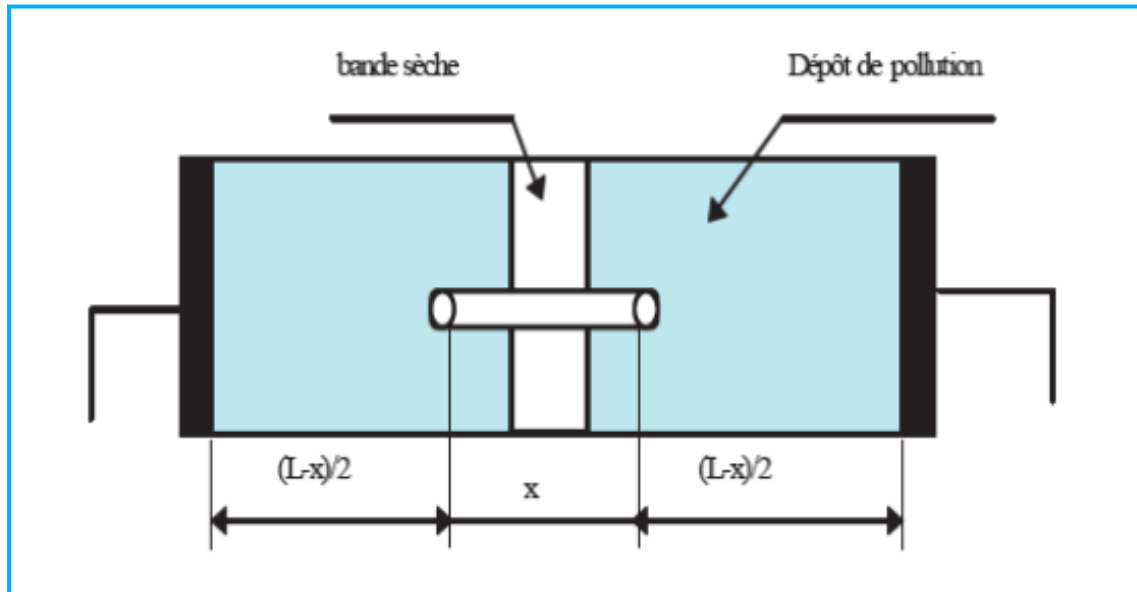


Figure III.2. Modèle de Wilkins.

III.6. Modèle de J. Danis :

Dans le but de reproduire des couches similaires à celles observées sur des isolateurs naturellement pollués, J.Danis a considéré un modèle de forme géométrique simple (plan ou cylindrique) constitué de plusieurs zones sèches séparées par des zones humides (Fig.III.3.a). Ainsi, l'auteur a abouti aux résultats suivants [6,19] :

- L'arc électrique prend naissance dans les zones sèches et se déplace vers les zones humides (Fig. III.3.b)
- Cet arc s'amorce d'une façon aléatoire le long de la zone sèche et aucune position n'est privilégiée par rapport à une autre.
- Aux premiers stades du processus, de nombreux arcs partiels peuvent avoir lieu dans la zone sèche. Lorsque le courant augmente, les arcs disparaissent de telle sorte qu'un seul arc dominant persiste. Celui-ci se développe donc, seul, à travers la zone humide.
- Le développement de l'arc d'une zone sèche s'effectue de manière à rejoindre l'arc développé sur la zone sèche voisine (Fig.III.3.c).
- Le contournement se fait à travers les chemins déjà préétablis par les différents arcs de chaque zone sèche (Fig.III.3.d).

➤ Les positions des arcs développés changent lorsque l'expérience est répétée, et le contournement se fera donc à travers un autre chemin qui n'est pas forcément le plus court (Fig.III.3.e) [24].

A partir de ces considérations, l'auteur a conclu que le lieu, la forme et la propagation des arcs partiels sont déterminés à partir de plusieurs facteurs qui sont dépendants entre eux. Comme il est impossible de déterminer l'effet instantané de tous ces facteurs, le comportement macroscopique de ces arcs a une nature aléatoire. Ainsi, la rupture des zones sèches survient d'une manière aléatoire.

Comme la tension de contournement dépend de la rupture de ces zones sèches, celle-ci possède également le même caractère, c'est à dire qu'elle obéit aux lois statistiques.

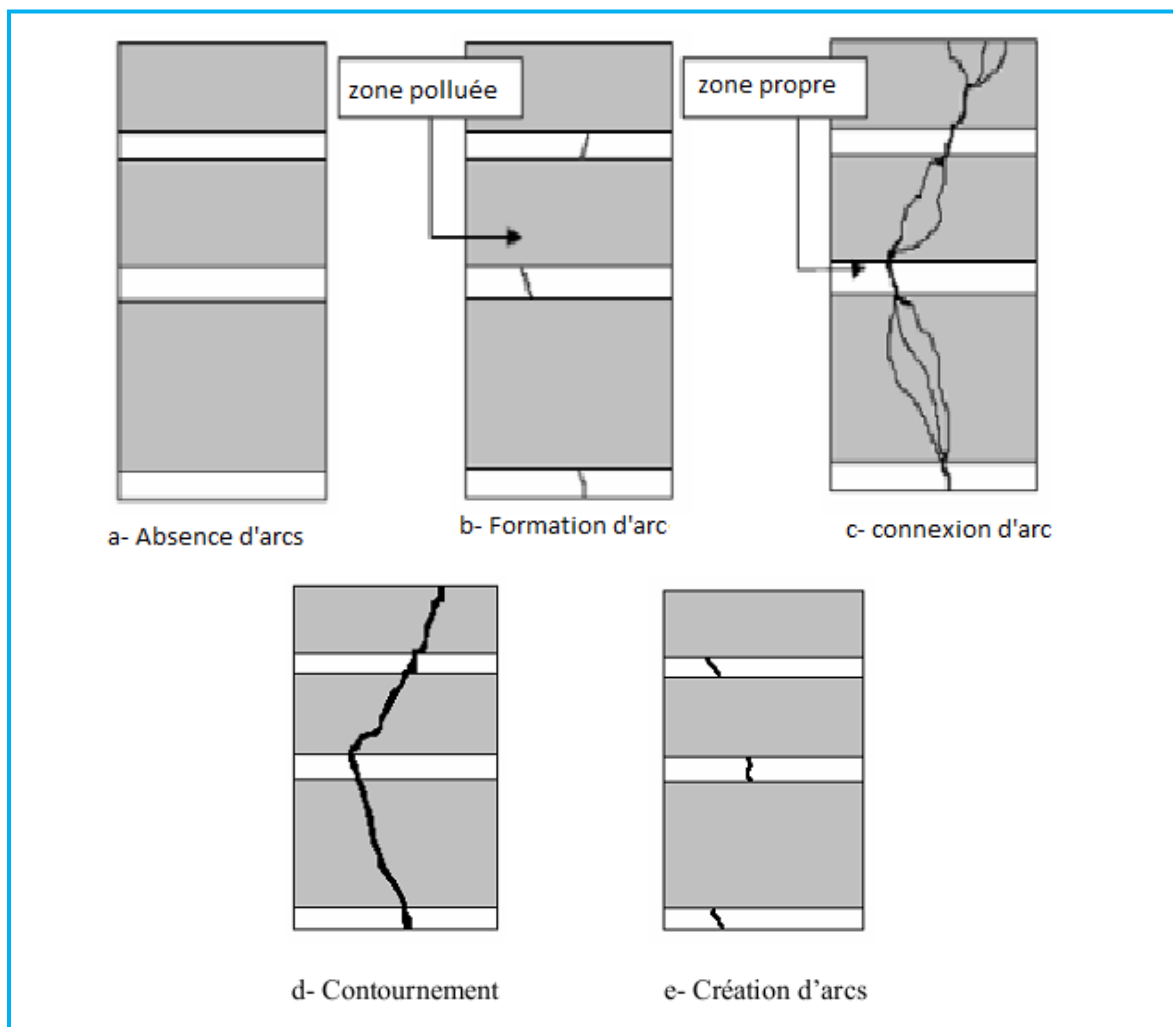


Figure III.3. Modèle de J. Danis

III.3. Modèles dynamiques :

Alors que plusieurs paramètres évoluent dans le temps, l'étude du phénomène de contournement a été souvent effectuée en utilisant des modèles statiques. Afin d'être plus proche de la réalité, de nouveaux modèles ont été élaborés prenant en considération la variation dans le temps de certains paramètres, Par ailleurs, les modèles dynamiques représentent le mécanisme de contournement, qui tient compte des changements instantanés des paramètres caractérisant l'arc électrique.

III.3.1. Modèle de Rizk et Nguyen :

Pour caractériser la dynamique de l'arc pour le cas continu, Rizk et Nguyen ont considéré une résistance d'arc qui varie selon l'équation de Mayr [22] :

$$\frac{dr_{arc}}{dt} = \frac{r_{arc}}{\tau} - \frac{r_{arc}^2 I^{n+1}}{\tau N} \quad (\text{III.17})$$

avec :

$\tau = 100 \mu\text{s}$, constante de temps de l'arc.

$n = 0,8$ et $N = 60$, constantes de la caractéristique statique de l'arc.

III.3.2. Modèle de Anjana et Lakshminarasimha :

Anjana et Lakshminarasimha ont proposé un modèle dynamique basé sur l'équation de Mayr et sur le modèle statique d'Obenaus . Ils ont supposé que l'isolateur est divisé en un certain nombre de bandes formant des anneaux symétriques par rapport à l'axe de l'isolateur et que l'arc est une colonne de gaz en équilibre thermodynamique dont l'énergie est donnée par [19] :

$$W_{th} = \frac{3}{2} KTM \quad (\text{III.18})$$

Où T est la température de l'arc, M le nombre de particules neutres dans l'arc et K la constante de Boltzmann. Pour la propagation de l'arc, Anjana et al proposent leur propre modèle, selon lequel l'arc ne se déplace que si son énergie totale W_i est supérieure ou égale à l'énergie W_{th} nécessaire pour maintenir l'arc à sa température où W_i est donné par l'expression suivante:

$$W_i = (E_{arc}I_{arc} - P_0)\Delta t \quad (\text{III.19})$$

E_{arc} étant le gradient dans l'arc, I_{arc} le courant de la décharge, P_0 les pertes par unité de longueur considérées comme constantes, Δt l'incrément du temps; cette valeur sera calculée en fonction des pertes par conduction et des pertes par rayonnement. La température de l'arc et la température ambiante sont supposées constantes et égales respectivement à 3000°K et 300 °K.

Si la condition de propagation n'est pas satisfaite, la tension est incrémentée de ΔV_s et le programme est repris depuis le début. Par contre, si la condition est satisfaite, la vitesse de propagation de l'arc est calculée par [19]:

$$V = \mu E_{arc} \quad (III.20)$$

Où μ est la mobilité de l'arc.

On en déduira, grâce au pas de temps Δt , la variation de la longueur d'arc dx ($dx = v \Delta t$).

III.3.3. Modèle de Sundararajan et Gorur :

Sundararajan et Gorur ont proposé un modèle dynamique en continu, qui ressemble à celui de Anjana et Lakshminarasimha, mais basé sur le critère de propagation de Hampton.

Pour le gradient de la tension dans la couche de pollution, ils ont utilisé l'expression :

$$E_p = A \frac{1}{n+1} r \frac{n}{p} \quad (III.21)$$

Où rP représente la résistance de pollution linéique. $A=63$ et $n=0.5$. Notons que la valeur de EP utilisée par Sundararajan et Gorur est en fait en contrainte critique :

$$E_c = A \frac{1}{n+1} r \frac{n}{p} \quad (III.22)$$

Celle-ci à été établie par Neumarker.

Pour le cas alternatif Sundararajan et Gorur utilisent le même modèle en remplaçant le critère de propagation de l'arc par la condition de réallumage établie par Rizk ($V=23r$). [25]

III.3.4. Modèle de N .Dhahbi et Beroual :

Ces deux chercheurs considèrent que la décharge peut être représentée par un schéma électrique équivalent comme l'indique la figure (III.4) [26]. Sachant que pour chaque saut de l'arc, on obtient une nouvelle cellule ayant les paramètres suivants: **Ri, Ci, Li** et **Vi** Elle a considéré aussi que la résistance du canal d'arc varie selon l'équation de Mayr et que la forme de ce canal est cylindrique de résistivité constante.

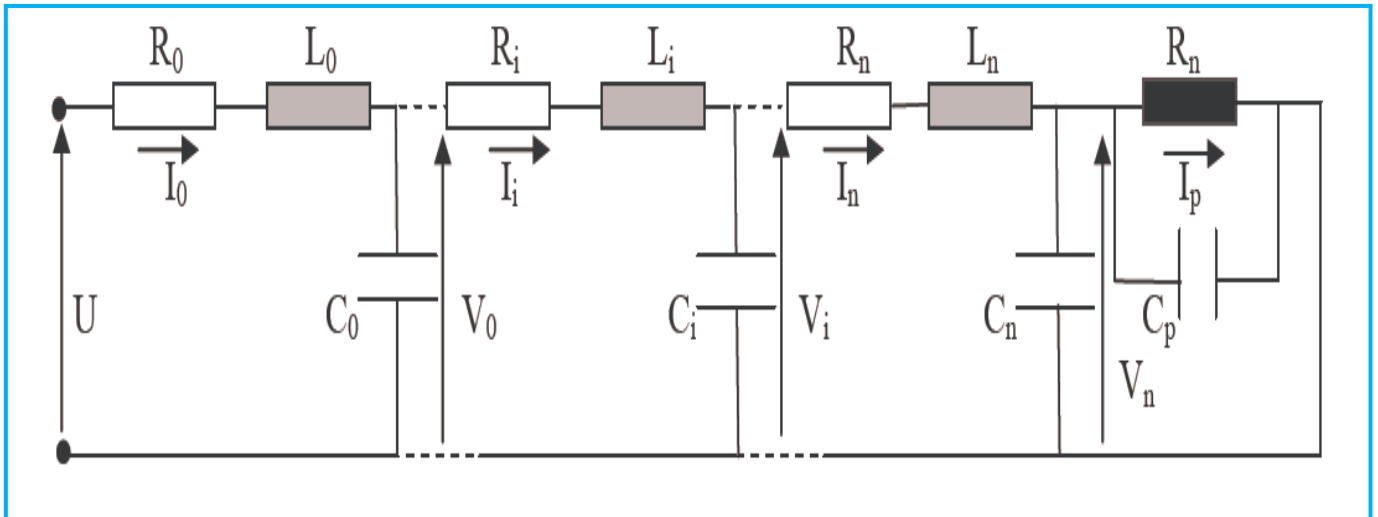


Figure III.4. Schéma électrique équivalent à la propagation de la décharge de N.Dhahbi et Al.

En écrivant les équations électriques correspondant à ce circuit sous forme matricielle et en utilisant le critère d'impédance comme critère de propagation, ce modèle permet de calculer la tension de contournement critique, le temps de contournement et la vitesse de propagation, et de suivre l'évolution des paramètres caractéristiques de l'arc (courant d'arc, vitesse de propagation, chute de tension dans l'arc, tension à la tête de l'arc et charge injectée dans l'intervalle inter électrodes), pour une tension donnée pendant un intervalle de temps fixé à l'avance[19].

Où:

R_p : est la résistance de la pollution.

C_p : la capacité de la couche de pollution.

R_i : est la résistance de l'arc.

C_i : la capacité de la décharge.

L : l'inductance de la décharge.

U : tension correspondant à chaque cellule nouvellement créée.

Ce modèle permet de calculer la tension de contournement, le temps au contournement ainsi que certains paramètres caractérisant la propagation de la décharge électrique le long d'une surface isolante polluée. Elle a utilisé le critère d'impédance comme critère de propagation. Ainsi, Dhahbi a trouvé que les effets de l'inductance du canal de la décharge sont négligeables, et que la forme d'onde de la tension appliquée a une influence directe sur les paramètres régissant le phénomène de contournement [26].

III.3.5. Modèle de Tegar :

Le modèle de Tegar en tension continue se base sur le surcuit équivalent d'Obenaus et utilise le critère de propagation de Hampton. Par ailleurs, Tegar a représenté la résistance de pollution comme une fonction linéaire de la longueur de fuite. Concernant le rayon d'arcs, il a utilisé l'expression donnée par Wilkins qui met en évidence la relation entre le rayon au pied de l'arc et le courant I dans l'arc.

Le modèle qu'il a proposé permet d'évaluer la tension de courant et le temps au contournement et de décrire la dynamique de l'arc en tenant compte de la géométrie de l'isolateur ainsi que des variations instantanées de certains paramètres importants à savoir le courant de fuite, la vitesse de propagation, la puissance et l'énergie fournies par la source, les champs dans la pollution et au pied de l'arc, la résistance de la pollution, le rayon canal d'arc, la résistance de ce canal, sa longueur, sa résistance linéique, sa résistivité, sa tension ainsi que la puissance et l'énergie qui lui ont été transférées[25].

III.4. Conclusion :

Dans la troisième partie, 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 consacrée en grande partie à la présentation des modèles actuels de prédiction de la résistance de la couche de pollution, il convient de souligner que :

1. La majorité des modèles mathématiques, est basée sur le modèle d'Obenaus.
2. La détermination de la résistance de la couche de pollution est indispensable dans la modélisation du phénomène de contournement.

CHAPITRE IV

Simulation et Interprétation

IV. Simulation et interprétation :

IV.1. Introduction :

Les effets électriques peuvent être décrits par deux grandeurs le champ et le potentiel électrostatique, pour la détermination de la distribution du champ et du potentiel électrique sur le long de ligne de fuite de l'isolateur polluée on va utiliser le logiciel COMSOL Multiphysics basé sur la méthode des éléments finis.

Il est très intéressant d'avoir un environnement de simulation qui inclut la possibilité d'ajouter différents phénomènes physiques au modèle étudié. C'est dans cette philosophie la que COMSOL Multiphysics a été développé. C'est un logiciel de calcul numérique par éléments finis modulaire permettant de modéliser une grande variété de phénomènes physiques caractérisant un problème réel.

IV.2. Méthode des éléments finis :

La méthode des éléments finis a pris un essor considérable avec le développement des moyens informatiques. Dès les années 1960, elle est devenue, par sa souplesse d'emploi et sa très grande généralité, une méthode numérique indispensable pour la résolution des problèmes aux dérivées partielles [27].

IV.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 [28]. 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.

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

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

1. L'équation différentielle.

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

Actuellement, il existe différents logiciels qui utilisent cette méthode comme le Femlab, Maxwell, Flux2D et FEMM. Dans la suite de ce travail, nous allons utiliser le logiciel COMSOL Multiphysics [27].

IV.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 [28].

IV.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 [28].

IV.3. COMSOL Multiphysics :

IV.3.1. Description de logiciel COMSOL Multiphysics :

COMSOL Multiphysics est un logiciel d'analyse et solveur par éléments finis, qui a diverses application en physique et ingénierie en particulier les phénomènes couplés, ou multiphasiques. COMSOL Multiphysique offre aussi une vaste et bonne gérance d'interface MATLAB et ses boites à outils pour une grande variété de programmation et de post procédures possible. Une interface similaire est offerte COMSOL script [29]. Les paquets sont multi plate formes (Windows, Mac, Linux, Unix) En plus de la physique classique à base d'interfaces utilisateur, COMSOL Multi physique permet également d'enter dans des systèmes couplés d'équation aux dérivées partielles ; elles peuvent être saisies directement ou en utilisant la soi-disant forme faible. COMSOL a été lancé par les étudiants diplômés à Germund Dahlquist reposant sur des codes mis au point pour une cour universitaire à l'Institut royal de technologie à Stockholm, en suède.

COMSOL Multiphysics est un outil très employé dans des secteurs divers de recherche, car il facilite amplement les étapes de modélisation et de simulation, soit : la définition de la géométrie, des propriétés physiques des matériaux présents et des conditions aux frontières, le maillage, la résolution et l'affichage des résultats. Par ailleurs, le logiciel ne demande pas de connaissances approfondies dans les dynamiques ou les analyses numériques. En effet, toutes les équations nécessaires à la résolution sont déjà prédéfinies, il suffit alors de préciser dans quel domaine (électromagnétisme, transfert de chaleur, acoustique...) et dans quel régime (stationnaire, temporel...) le modèle doit être construit [27]. Selon ce choix, la modélisation est disponible en 1D, 2D, 2D axisymétrique ou encore en 3D.

IV.3.2. Les modèles:

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

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

IV.3.2.1. AC/DC Modèle :

Ce modèle simule les composants électriques et les dispositifs qui dépendent de l'électrostatique, Magnétostatique et électromagnétique quasi-statique application, en particulier associée à d'autres physiques [29].

IV.3.3. Procédure de simulation :

Les étapes essentielles de conception d'un modèle en utilisant COMSOL Multiphysiques son [29] :

- ❖ 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.

IV.3.4. Choix du mode d'application :

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

IV.3.5. Définition de la géométrie :

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

IV.3.6. Propriété des matériaux :

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

IV.3.7. Maillage:

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

Ces nœuds constituent les connexions entre les mailles, 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 maximale 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 [29], dans ce travail on a choisi le maillage triangulaire.

IV.4. Modélisation d'un isolateur :

IV.4.1. Géométrie de l'isolateur utilisé :

Dans notre simulation, nous avons choisi le modèle plan de l'isolateur 1512L. Les dimensions du modèle défini par Mr. Mekhaldi, Le modèle est un plan qui est constitué par une plaque en verre de (500x500mm) sur laquelle sont posées deux électrodes, l'une de terre et l'autre de haute tension, et les deux électrodes sont posées sur deux bandes conductrices en aluminium qui sont découpées (500 x 500mm) pour le verre et (500x30mm), pour les deux électrodes. La distance entre deux électrodes (292mm).



Figure. IV.1. Modèle plan de l'isolateur 1512L.

IV 4.2. Identification des domaines dans le logiciel :

On a défini les différents domaines de l'isolateur étudié dans COMSOL Multiphysics en introduisant pour chacun d'eux le constant diélectrique ϵ_r et la conductivité σ . Le modèle est un plan qui est constitué de trois parties ayant des propriétés différentes: le verre ayant une permittivité

relative de 6 et de conductivité 10^{-12} , les électrodes en aluminium de permittivité relative de 1000000 et de conductivité de 369000, rattachés aux couches polluées ayant une permittivité relative de 80 et dont nous varions la conductivité. L'air entourant l'isolateur a une permittivité de 1,005.

IV 4.3. Conditions aux limites :

Pour le cas étudié, nous avons pris comme conditions aux limites pour l'électrode un potentiel constant de valeur 30kV (haute tension) et celui de l'électrode inférieur un potentiel nul (0V) ou encore prendre la condition prédéfinie dans le logiciel "terre".

IV.4.4. Maillage des domaines :

Concernant le maillage, la densité des éléments finis est important pour les régions critiques (proches de la surface de l'isolateur) où une plus grande précision est exigée, car les propriétés électriques des matériaux sont très changeantes. En effet, nous avons considéré 2364, et après le raffinement nous trouvons 9456 éléments dans le cas d'une modèle isolateur polluée. Un exemple de maillage est illustré dans le cas pollué, dans la figure (IV.2).

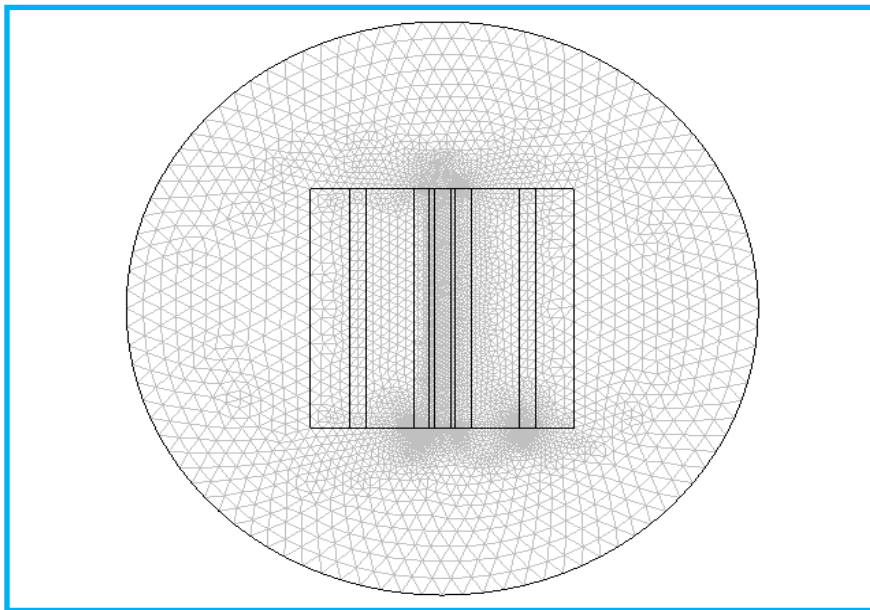


Figure IV. 2. Maillage de l'isolateur.

IV.5. Modèle de simulation 1512L :

Cette section est consacrée à l'étude des distributions du potentiel et du champ électriques le long d'une d'isolateurs 1512L. Pour illustrer l'impact d'un paramètre quelconque noté x , nous traçons le potentiel et le champ en fonction de la ligne de fuite d'isolateur pour différents X avec $X \Leftrightarrow (L1, L2 \text{ et } L3)$.

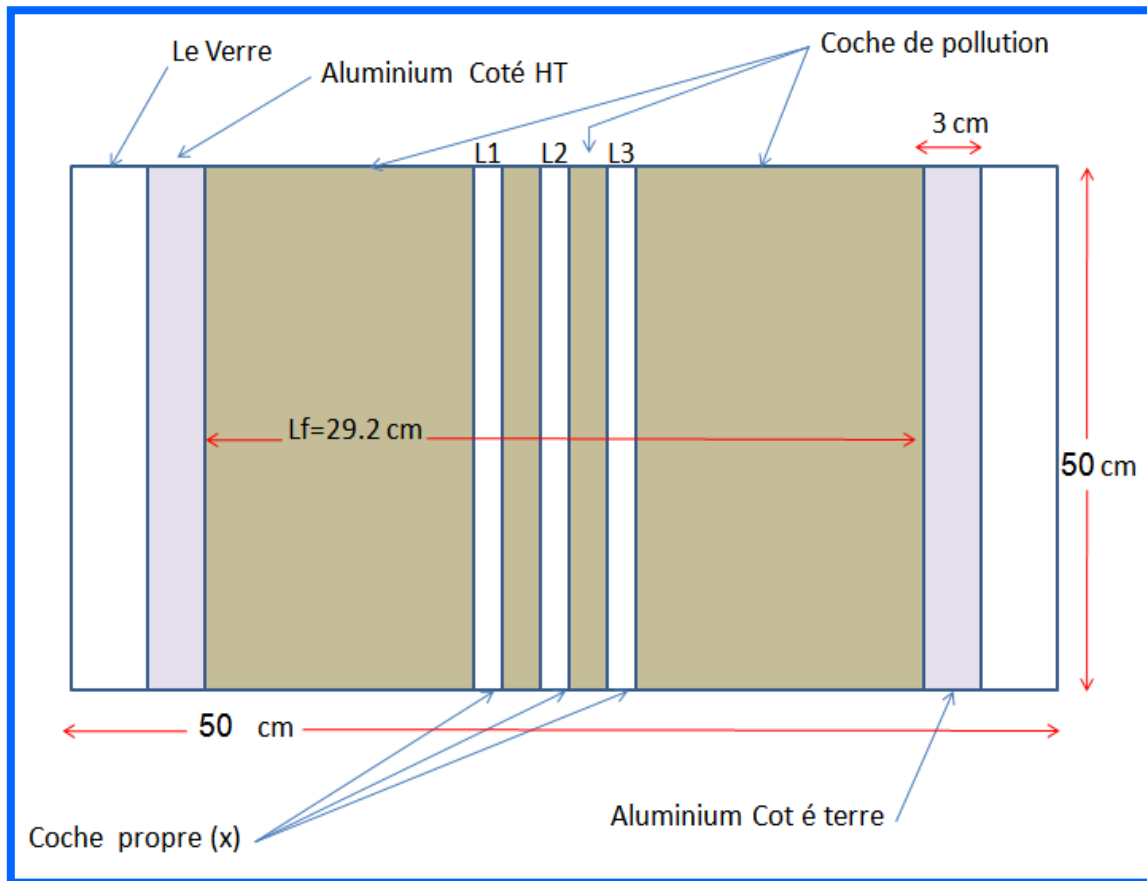


Figure IV. 3. Le modèle d'isolateur 1512 L.

IV.6. Modèle Mathématique :

La distribution de champ électrique peut être obtenue par les approximations des équations de Maxwell. Ces approximations prennent des formes (formulaires) différentes selon les propriétés matérielles (substantielles) de l'équipement. La distribution de champ électrique est déduite de la relation champ potentielle:

$$E = -\text{grad } V \dots \dots \dots (1)$$

La densité de flux électrique **D** par un fermé La surface est relatée (liée) d'un montant des charges internes par la relation de Gauss :

$$\text{div } D = -\rho \dots \dots \dots (2)$$

Combinaison (1) et (2) et présentant le diélectrique permittivité tenseur ϵ ($D = \epsilon E$), nous obtenons la description d'équation du potentiel électrostatique de Poisson habituel :

$$\text{div } \epsilon \text{ grad } V = \rho \dots \dots \dots (3)$$

En négligeant la charge spatiale, l'équation pour résoudre pour Les médias diélectriques est:

$$\nabla \epsilon \nabla V = 0 \dots \dots \dots (4)$$

Pour conduire des médias, il vient, depuis $\text{div } \mathbf{j} = 0$ et $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$:

$$\nabla \sigma \nabla V = 0 \dots \dots \dots (5)$$

IV.7. Analyse des résultats de simulation :

IV.7.1. Etude du potentiel:

IV.7.1.1. Influence de la conductivité:

Nous sommes intéressés à la détermination de la répartition du potentiel électrique sur la ligne de fuite d'un modèle 1512L, pour cela, nous avons introduit dans le logiciel des différentes valeurs de conductivité (700, 1200, 2400, 3000 $\mu\text{S/cm}$), avec l'application d'une tension constante de 30 kV et une largeur de la couche propre fixe de 3cm.

Les figures (IV.4-5) montrent la variation du potentiel électrique le long de la ligne de fuite pour les conductivités examinées. On remarque l'absence d'effet sur la distribution de potentiel lorsque nous changeons les valeurs des conductivités, la distribution de potentiel est réduite rapidement aux niveaux des couches propre et ralentie aux niveaux des couches polluées. Dans le cas propre le potentiel électrique prend la valeur maximale à l'électrode de haut tension 30 kV, il est diminué en faisant linéaire et rapide jusqu'à l'électrode de terre devient nulle.

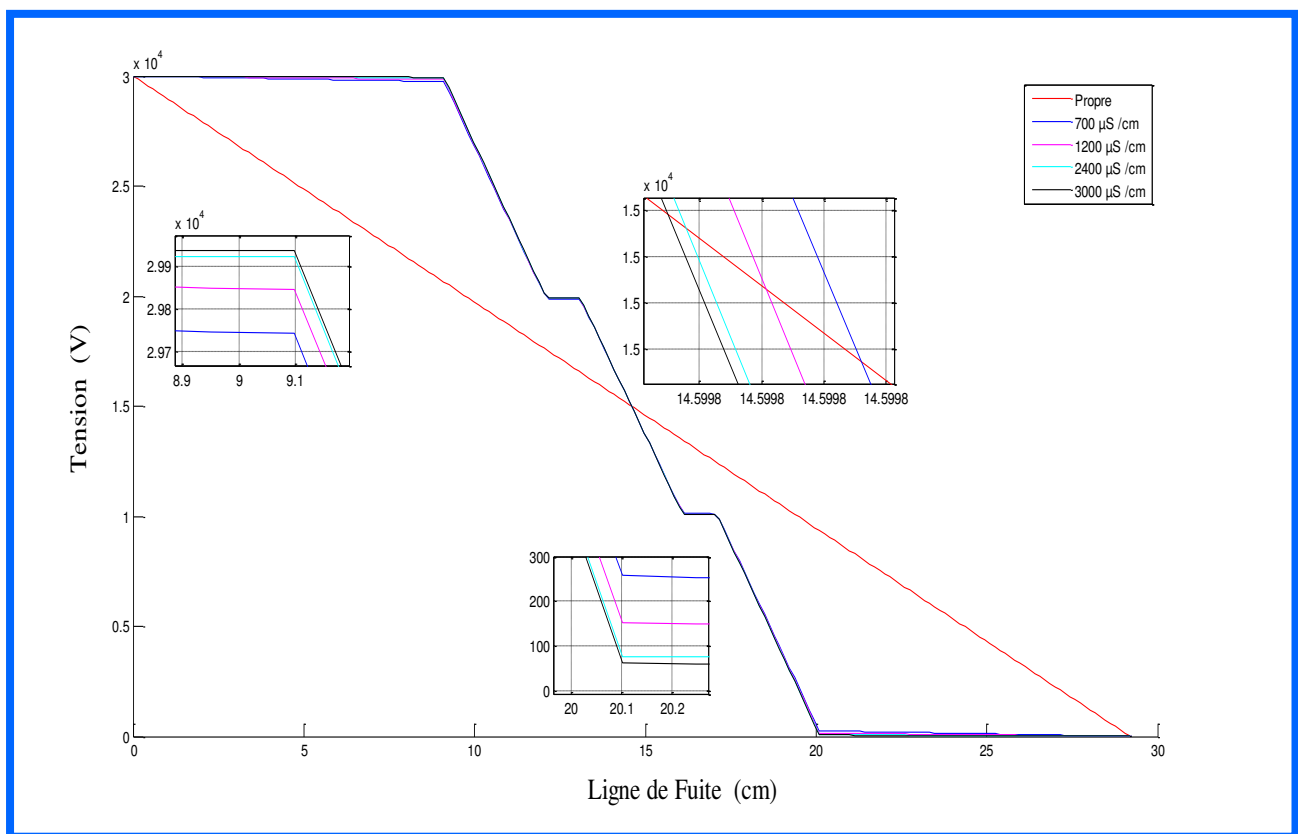
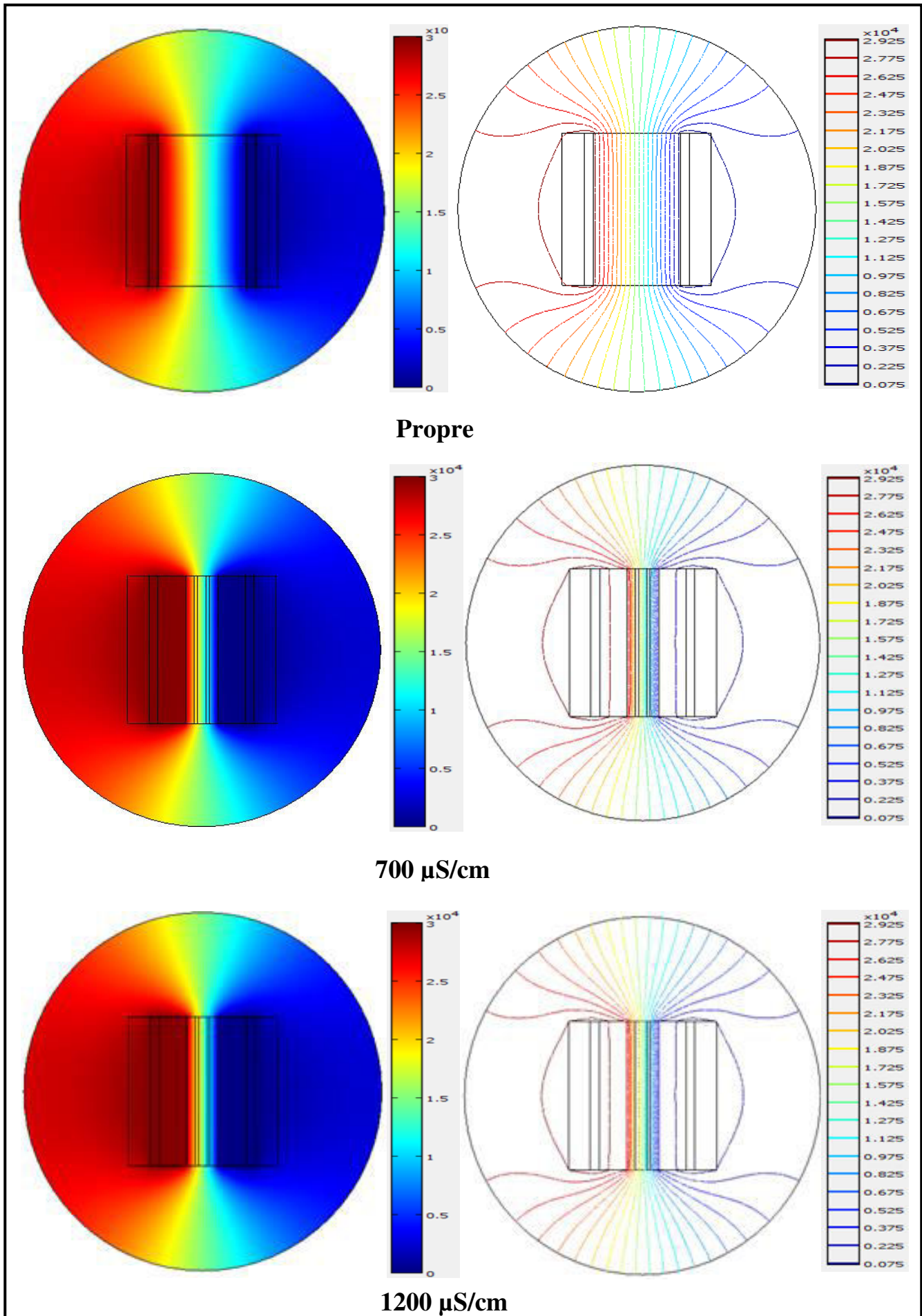


Figure IV. 4 . Potentiel électrique - ligne de fuite pour différente valeur de conductivité.



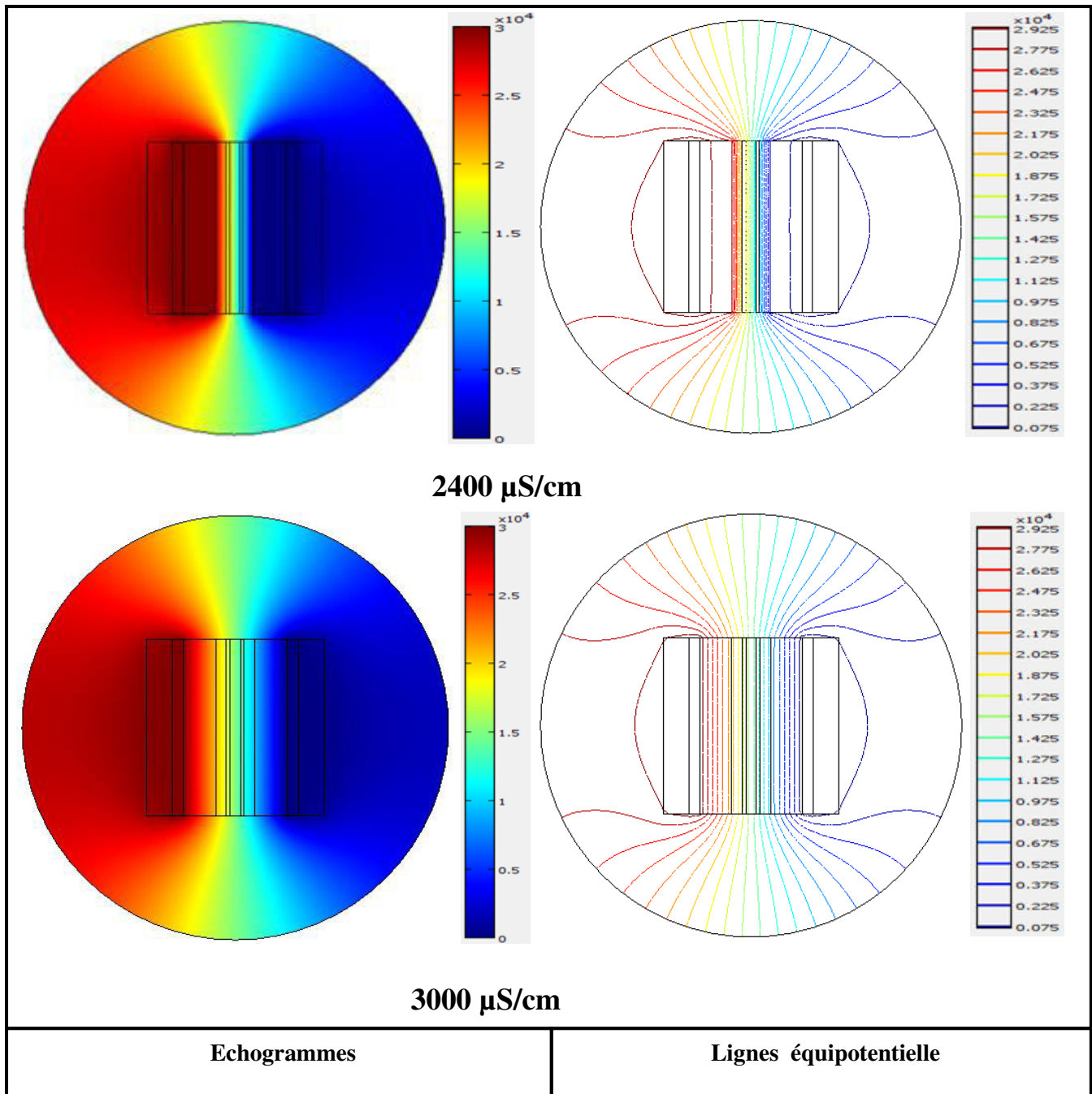


Figure IV.5. Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne actif.

IV.7.1.2. Influence de la tension de la ligne :

Les figures (IV.6-7) illustrent la variation du potentiel électrique en fonction de la ligne de fuite pour des différentes tensions appliquées. Pour ce travail nous avons introduit dans le logiciel cinq valeurs de tensions (10, 20, 40, 50 et 60kV) avec une conductivité constante 2400 $\mu\text{S/cm}$ et une largeur de la couche propre de $L_{1,2,3} = 3 \text{ cm}$.

Grâce à notre observation, nous constatons que les courbes ont la même forme, selon les valeurs du potentiel changent, le potentiel électrique prend la valeur maximale au niveau de l'électrode HT, en suit diminué rapidement au niveau de la couche propre et très presque constante aux niveaux

des couches polluées jusqu'à l'électrode de la terre il devient nul. Les lignes équipotentiels obtenir une valeur à peu près égale la tension de la ligne aux niveaux de l'électrode HT, qui sont des lignes parallèles causé par la géométrie du modèle (plan-plan).

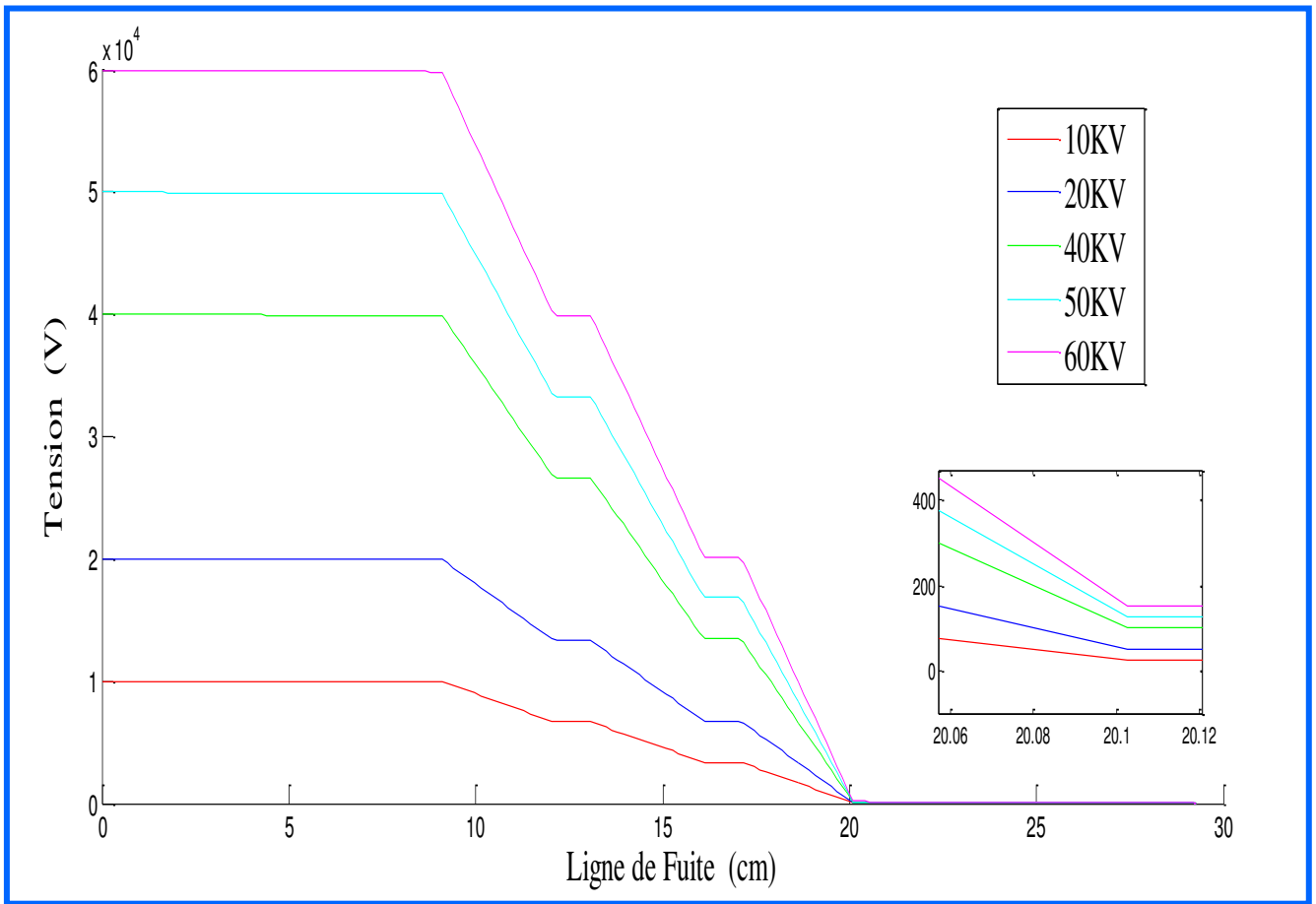
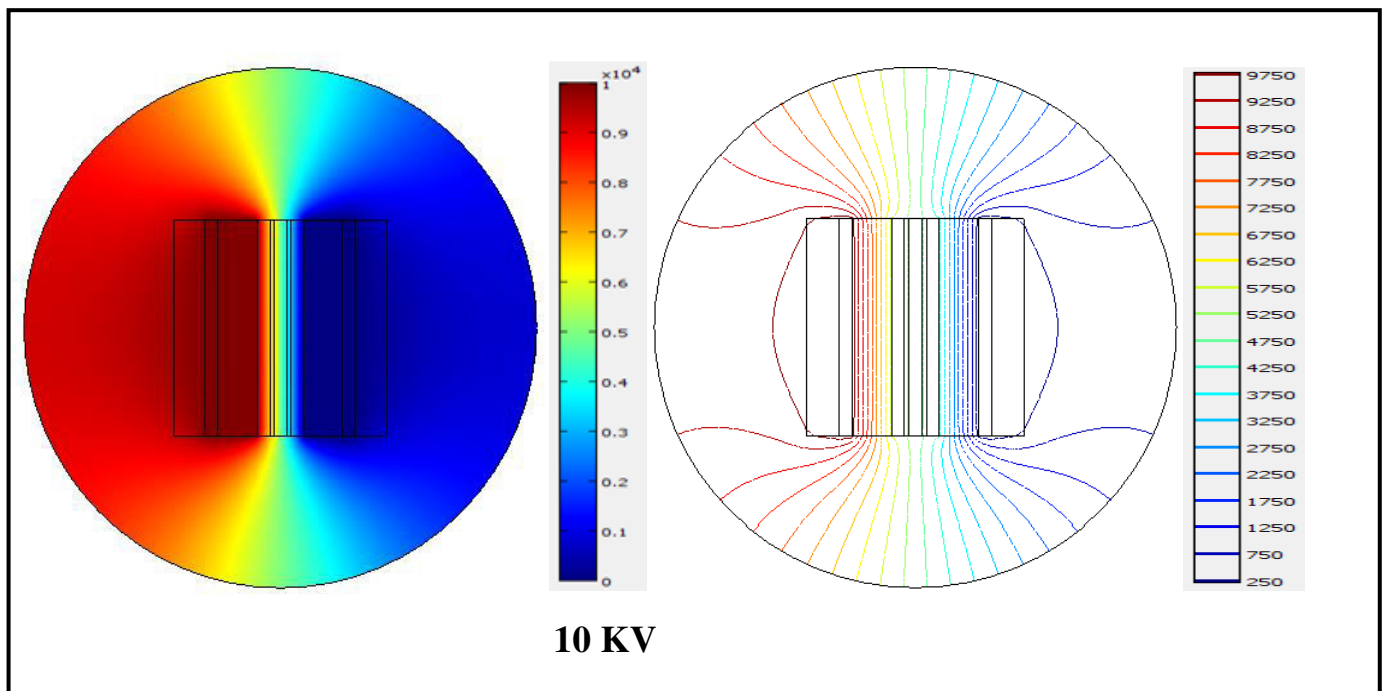
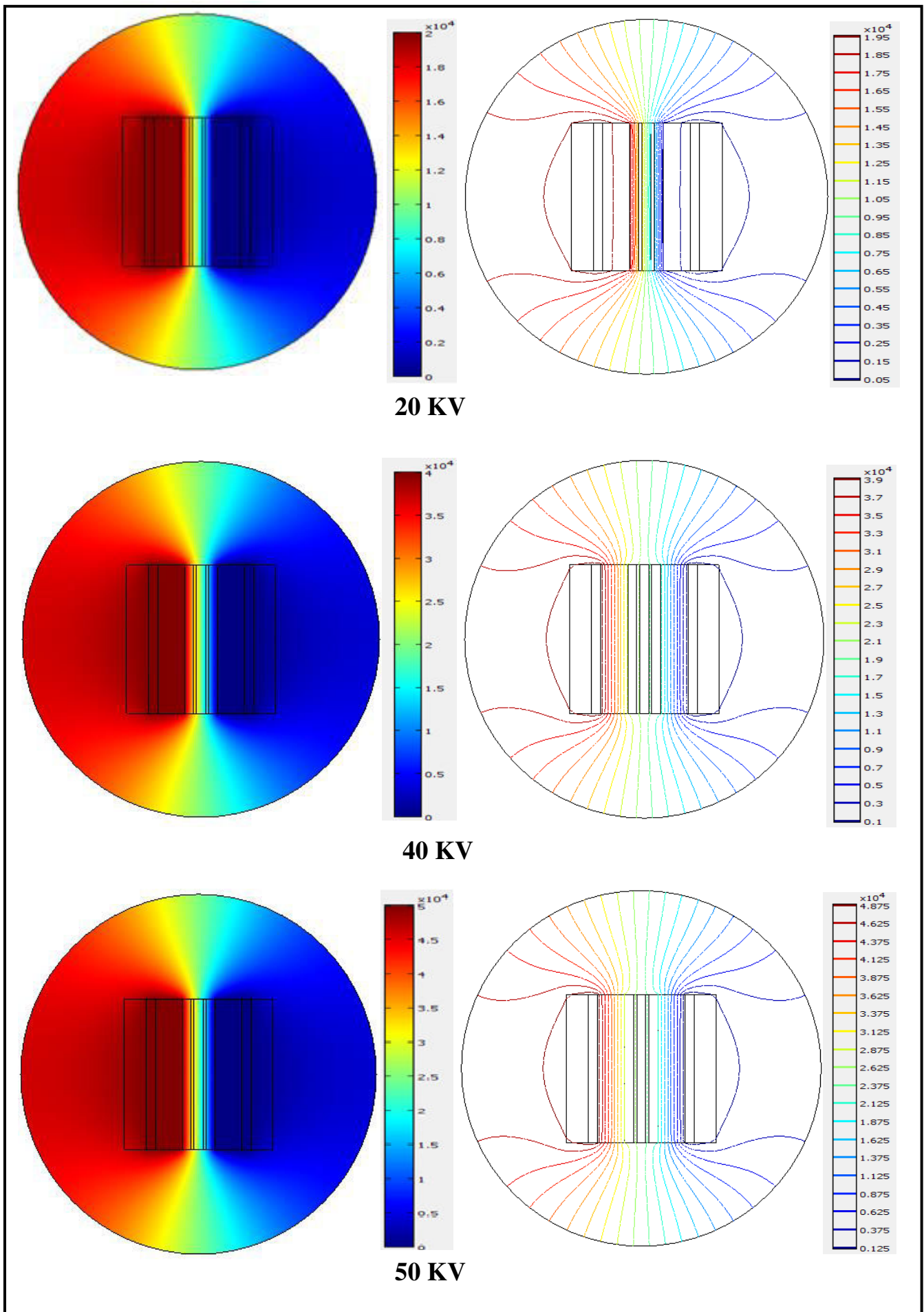


Figure IV.6. Potentiel électrique-ligne de fuite pour différente valeur de tension.





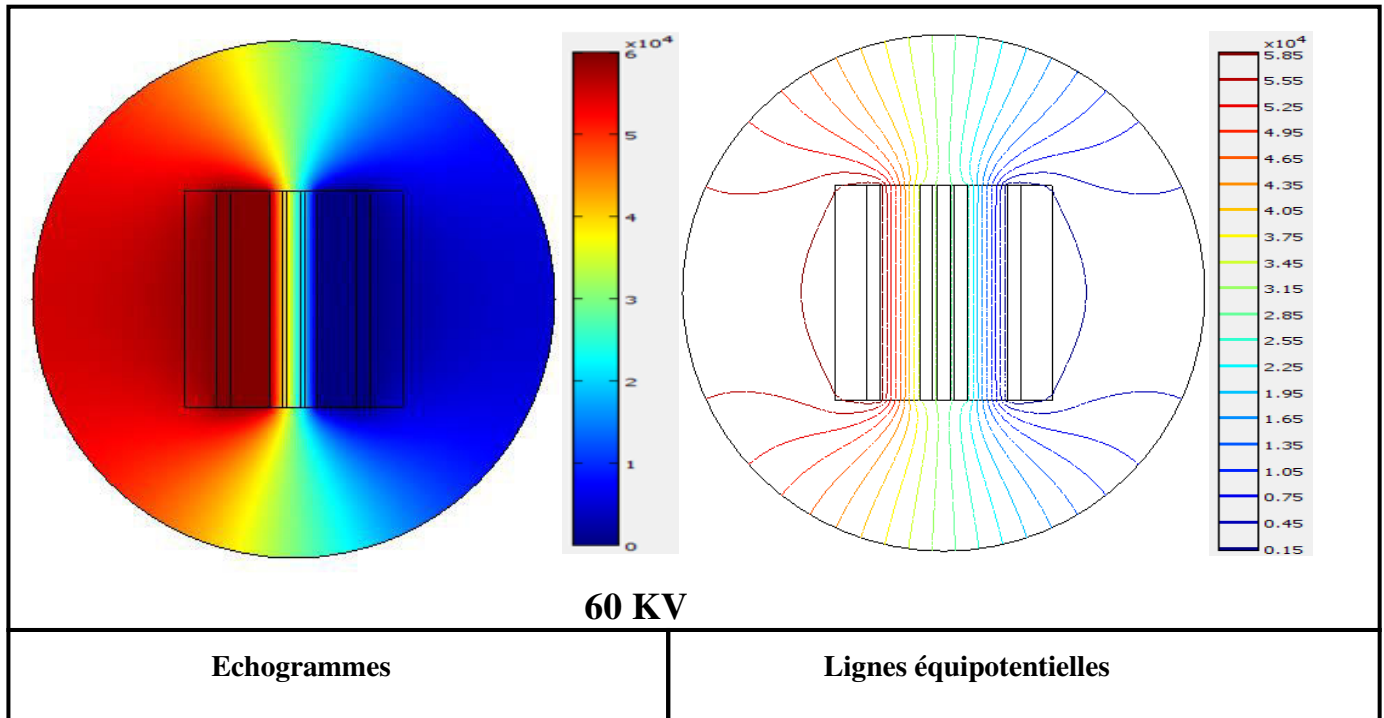


Figure IV.7. Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne active.

IV 7.1.3. Influence de largeur de la couche propre:

Les figures (IV.8-9) présente la distribution du potentiel électrique le long de ligne de fuite d'isolateur pour plusieurs largeurs de la couche propre, avec l'application d'une tension constante de 30 kV et une conductivité de 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La distribution du potentiel électrique n'est pas uniforme. La tension maximale apparaît sur l'isolateur le plus proche du conducteur de la ligne (HT) et diminue progressivement fur à mesure de se rapprocher du conducteur de la terre nous avons observée que le potentiel est diminué brusquement et rapide au niveau des couches propres, alors que la courbe à tracé la même forme générale mais il ya une translation selon la largeur de couche propre.

Le tableau ci-dessous déterminé les dimensions des couches propres.

Les cas	Les couches propres		
	X_i		
	L1	L2	L3
1 ^{er} cas	1 cm	1 cm	1 cm
2 ^{eme} cas	2 cm	2 cm	2 cm
3 ^{eme} cas	3 cm	3 cm	3 cm
4 ^{eme} cas	4 cm	4 cm	4 cm
5 ^{eme} cas	1 cm	2 cm	3 cm
6 ^{eme} cas	3 cm	2 cm	1 cm

Tableau IV.1. Largure de couche propre.

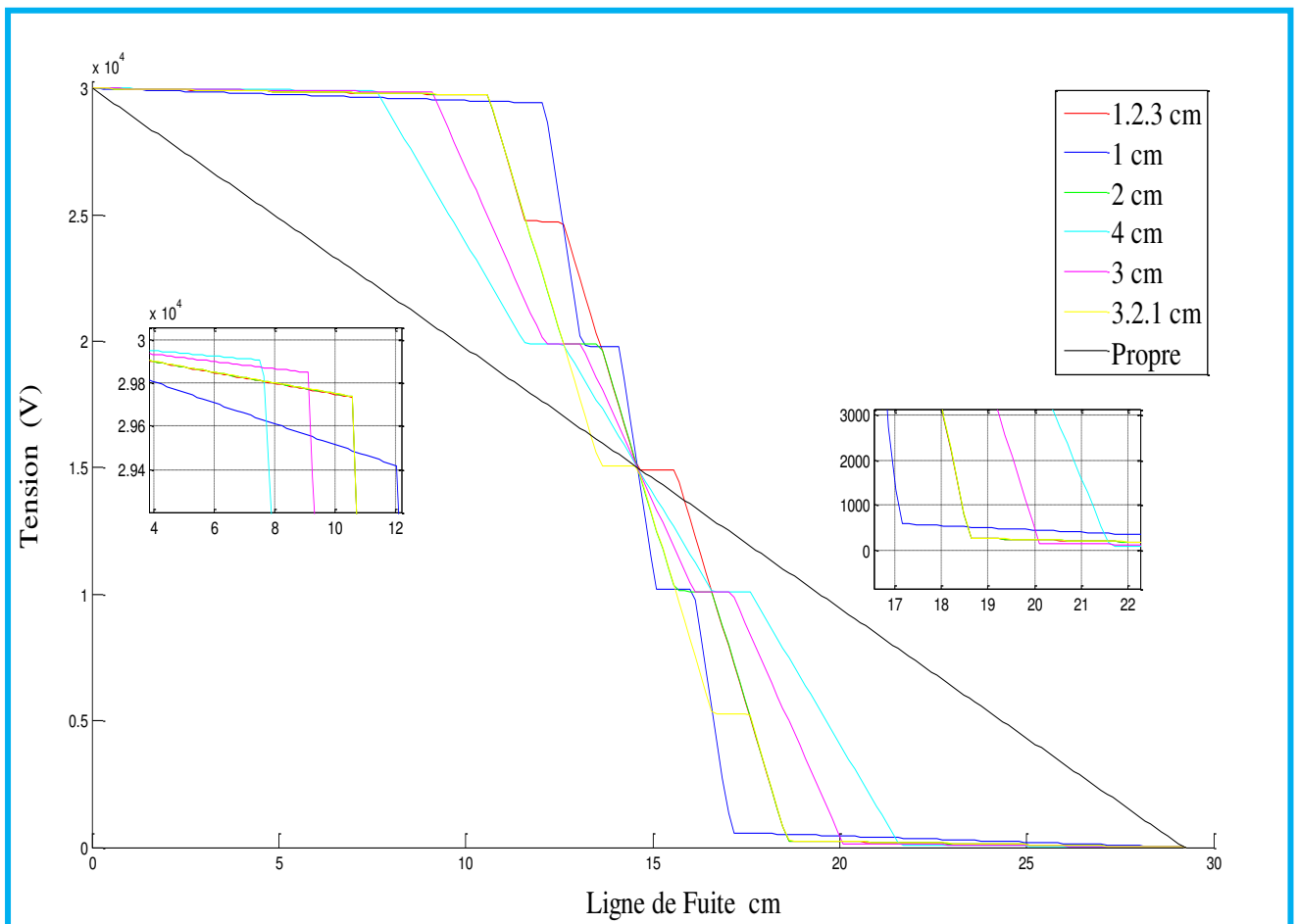


Figure IV.8. Potentiel électrique-ligne de fuite de l'isolateur pour déférente larguer.

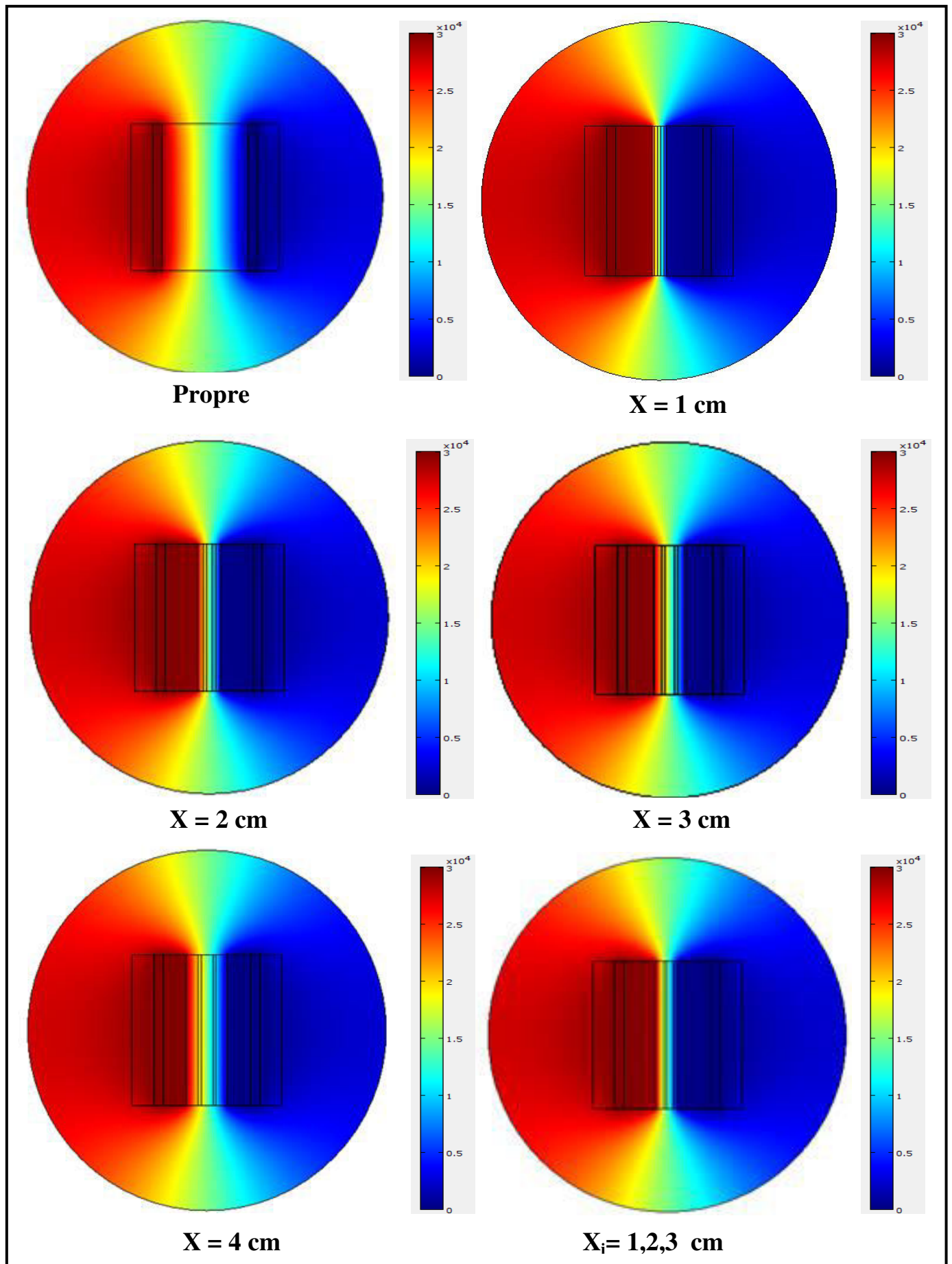


Figure IV.9. Distribution du potentiel électrique en fonction de la largeur de la couche propre.

IV.7.2. Distribution du champ électrique :

IV.7.2.1. Influence de la conductivité :

Dans ce qui suit, nous nous intéressons à l'influence de la conductivité sur la distribution de champ électrique pour différentes valeurs de la conductivité (700, 1200, 2400, 3000 $\mu\text{S/cm}$) avec une tension et une largeur de 30 KV, 3 cm respectivement.

Nous avons remarqué après l'apparition des résultats que le changement de la conductivité a un léger effet sur l'intensité du champ électrique, il est nul à l'intérieur des électrodes (électrode HT et de la terre), dans le cas propre le champ électrique prend la valeur maximale 1000 KV/m et reste constant sur la longueur de la ligne de fuite jusqu'à l'électrode de terre où il s'annule.

Le champ électrique est plus intense aux niveaux des couches propres ce qui explique expérimentalement l'apparition des arcs électriques aux niveaux des couches propres avant le contournement de modèle plan d'isolateur. Les lignes du champ électrique, sont divergentes à partir de l'électrode active (orientées de l'électrode de HT vers les extrémités de la plaque et elles se convergent vers l'électrode de masse).

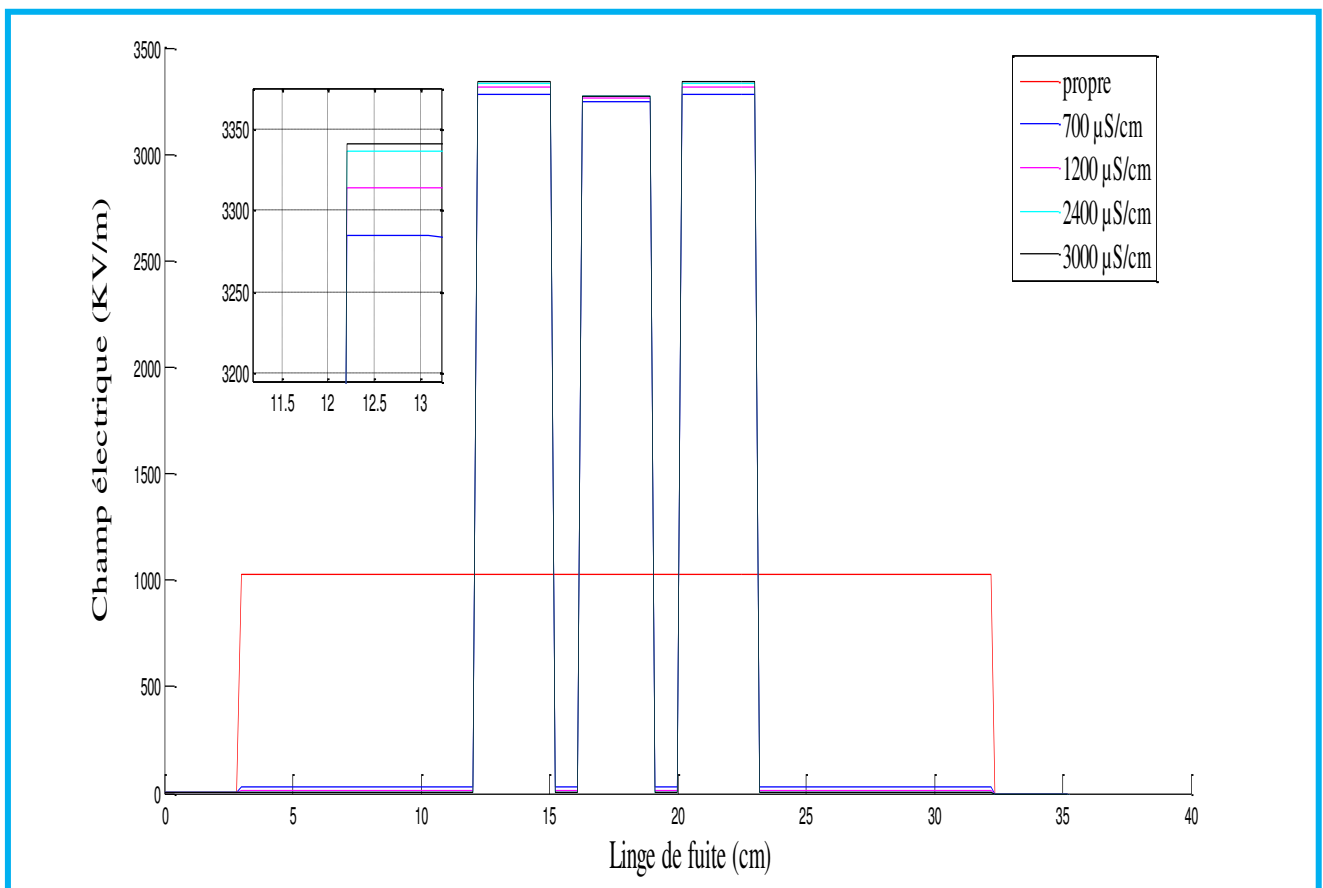
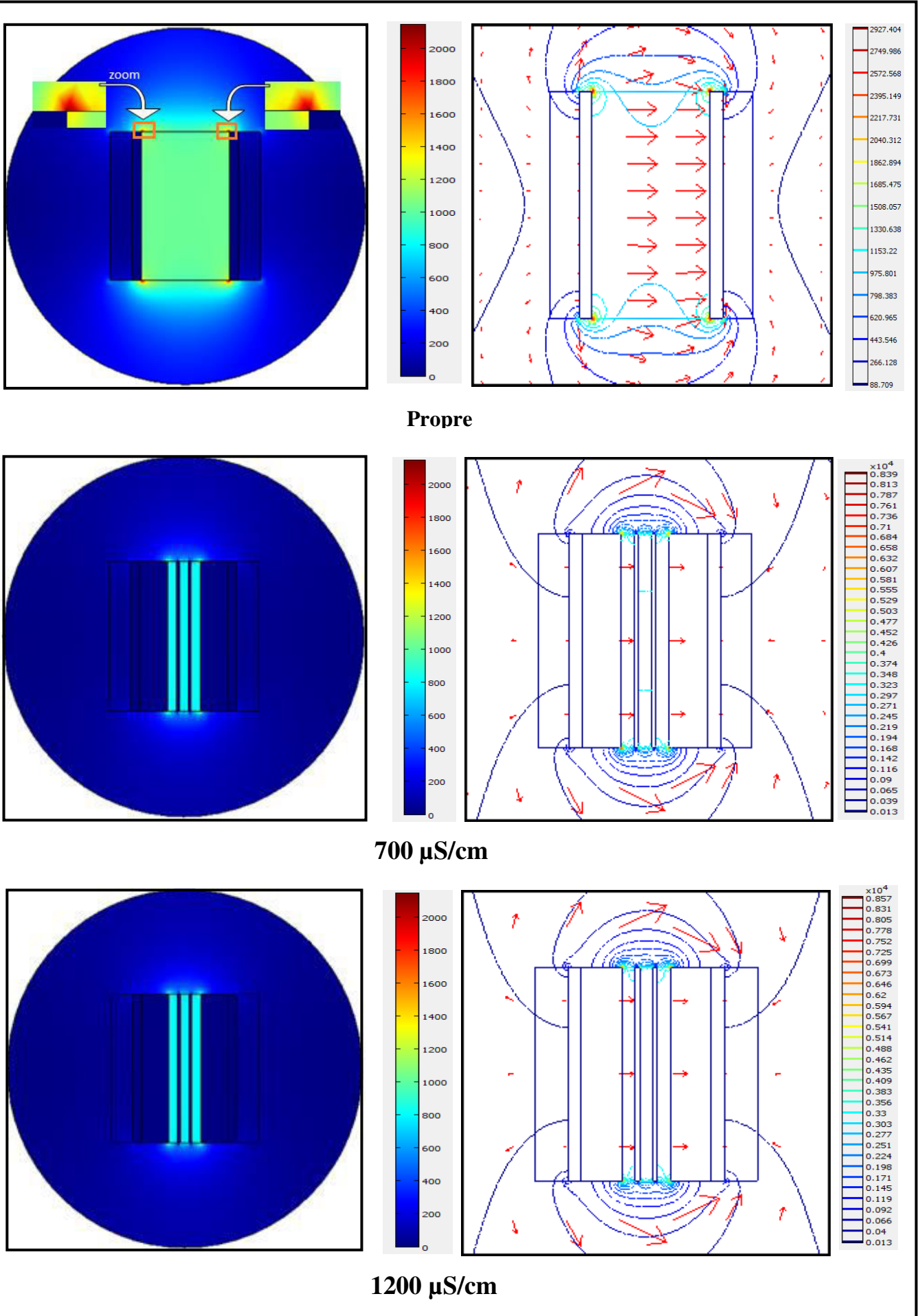


Figure IV.10. Champ électrique - ligne de fuite d'isolateur pour différentes valeurs de conductivité.



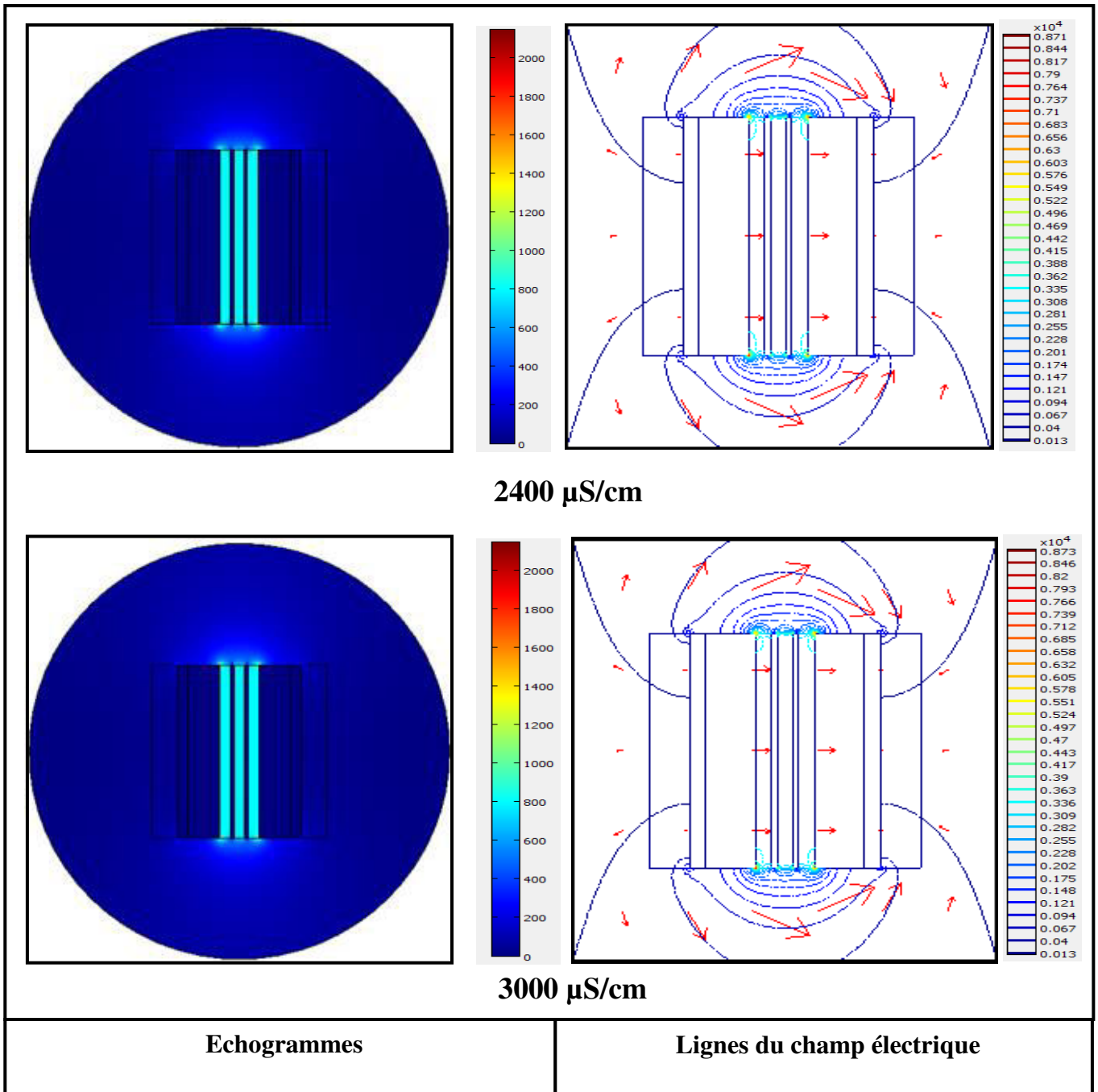


Figure IV.11. Distribution du Champ électrique en fonction de la conductivité.

IV.7.2.2. Influence de la tension de la ligne :

Sur les figures (IV.12-13), nous présentons le champ électrique le long de la ligne de fuite, pour différentes tensions (10, 20, 40, 50, et 60 KV). À travers cette figure, l'accroissement de la tension de la ligne entraîne l'augmentation de l'intensité du champ aux niveaux des couches propres. Ou dans le cas propre. Il est évident, que le champ s'intensifie avec l'augmentation de la tension appliquée. Les lignes du champ électrique entre les deux électrodes sont en parallèle à cause de la géométrie plan-plan entraînant une distribution du champ électrique uniforme.

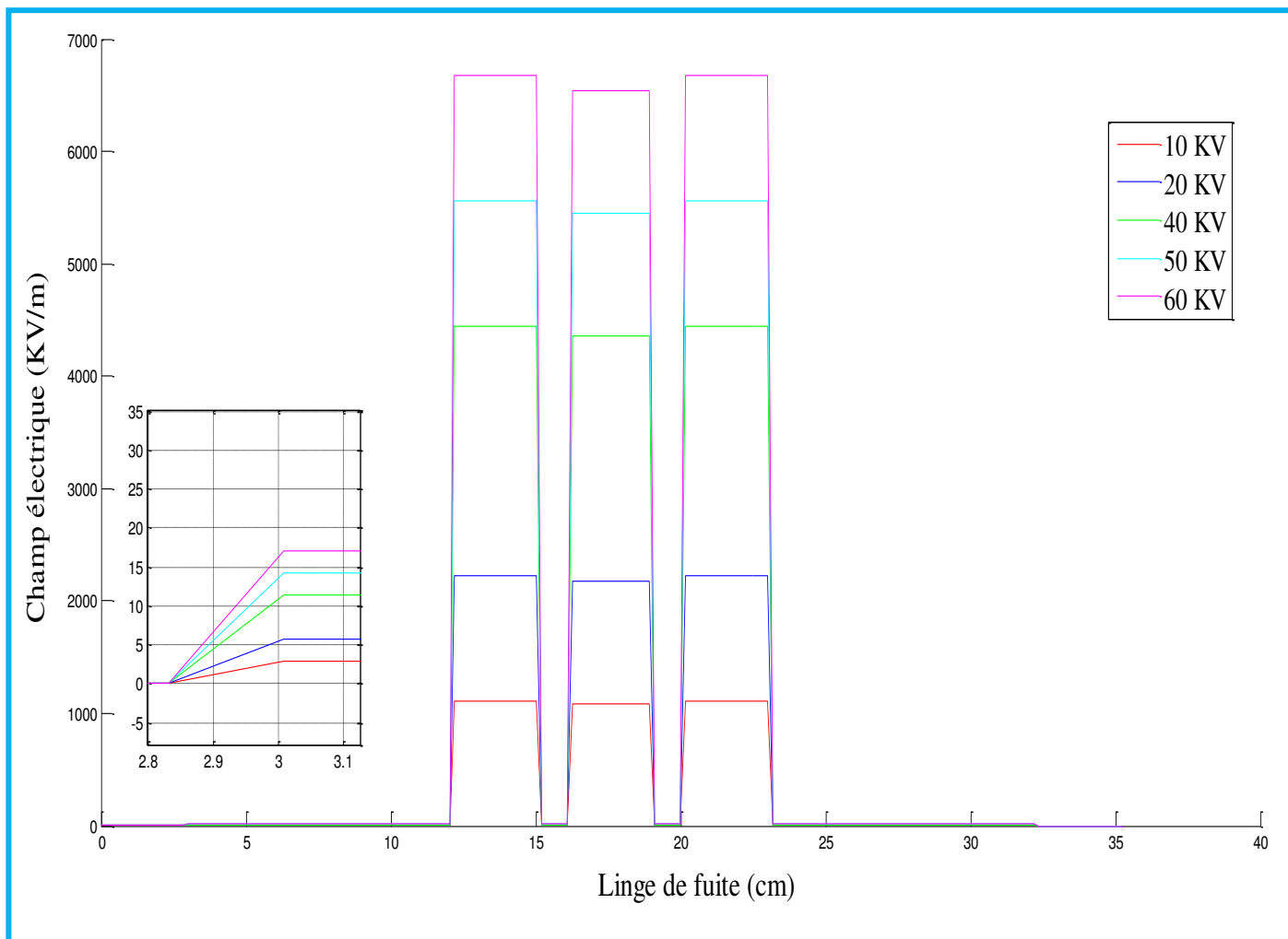
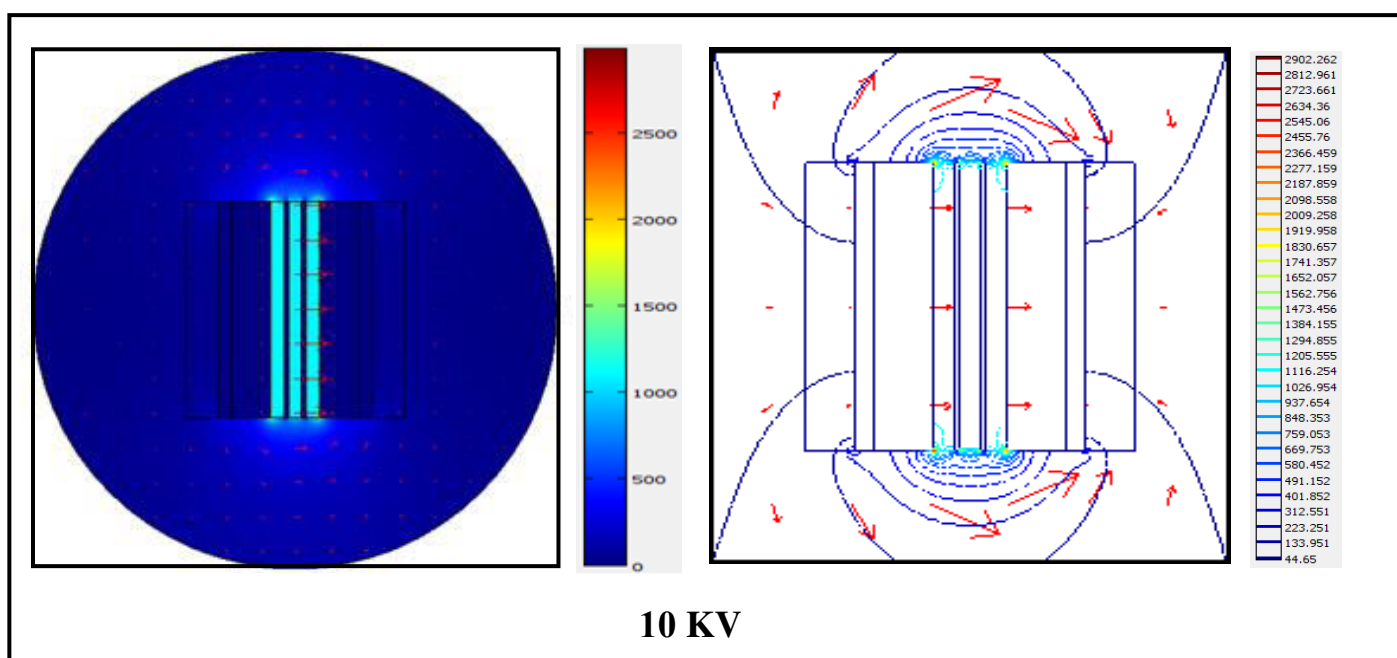
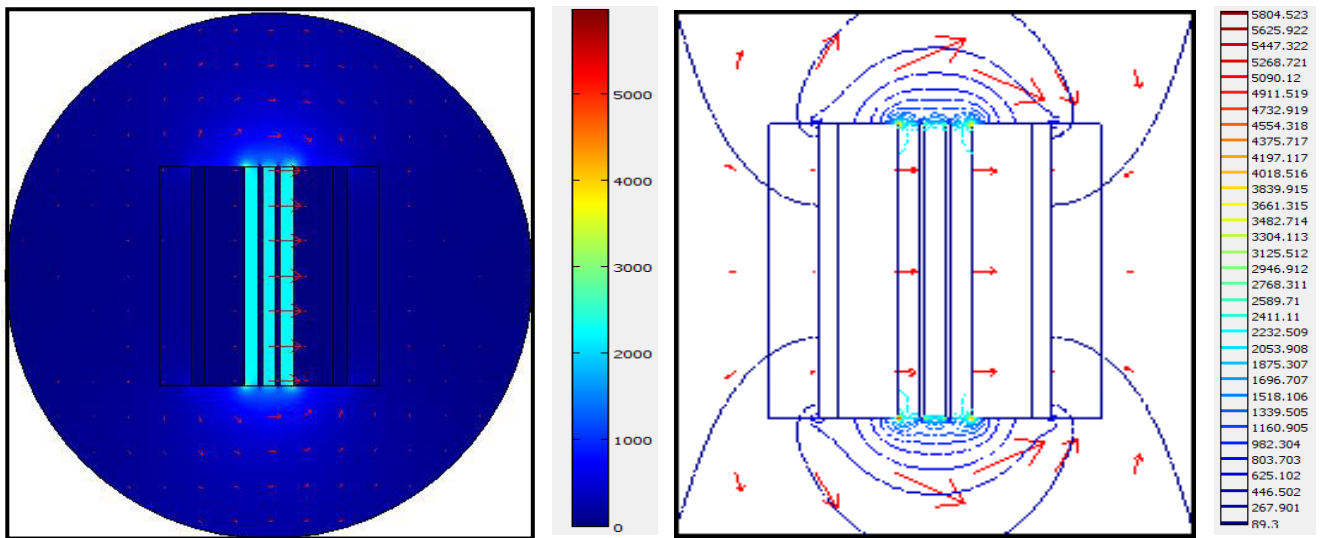


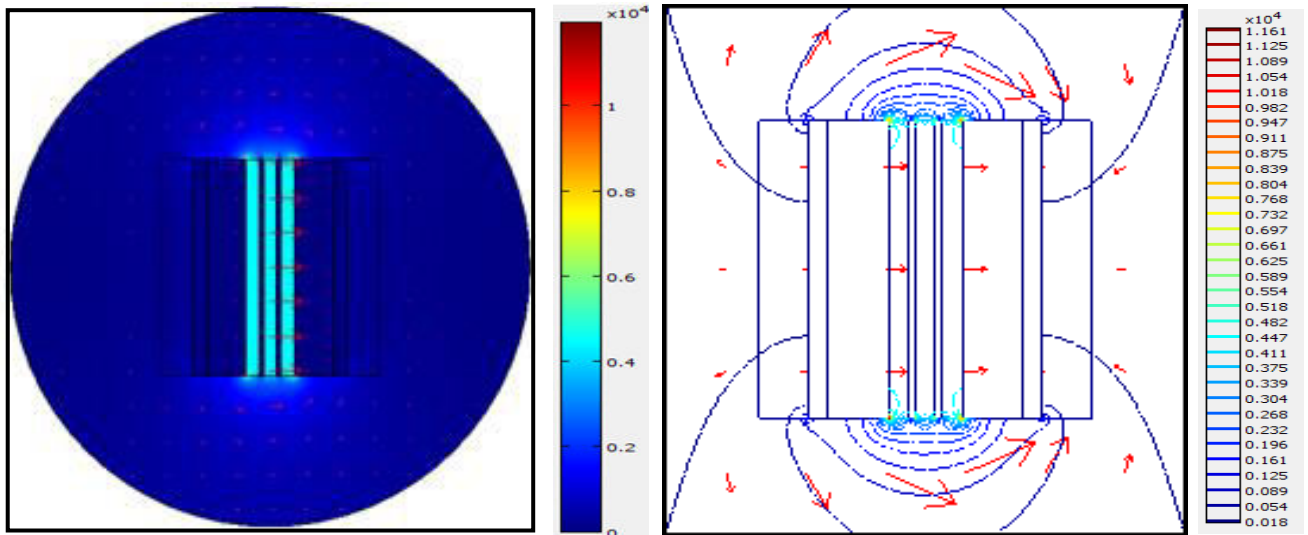
Figure IV.12. Champ électrique-ligne de fuite de l'isolateur pour différente valeur de tension.



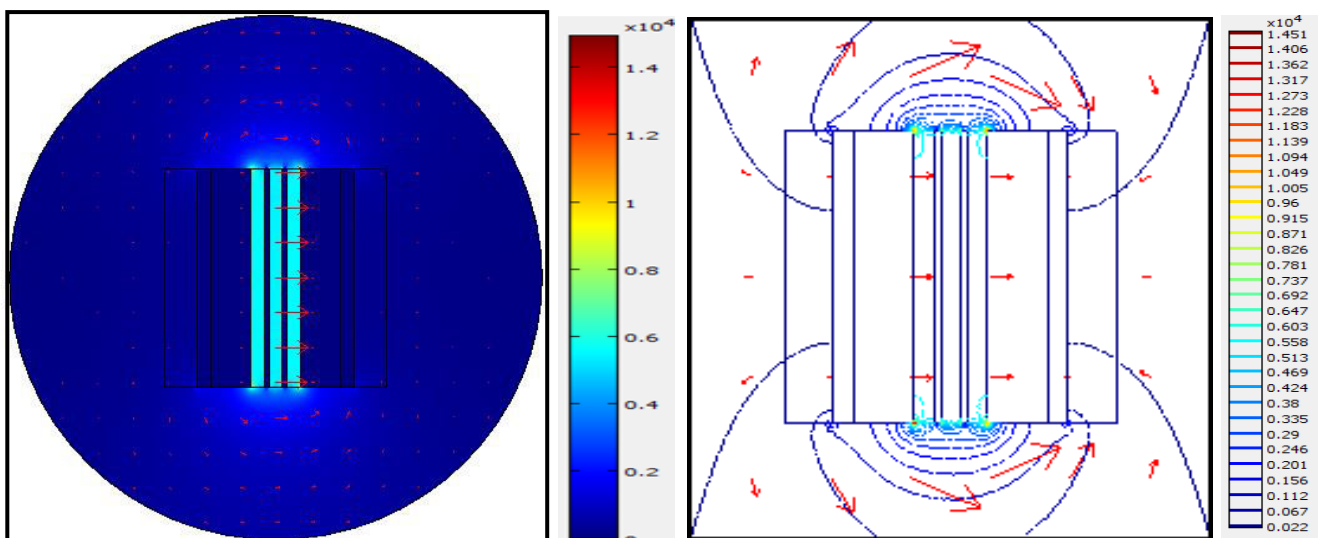
10 KV



20 KV



40 KV



50 KV

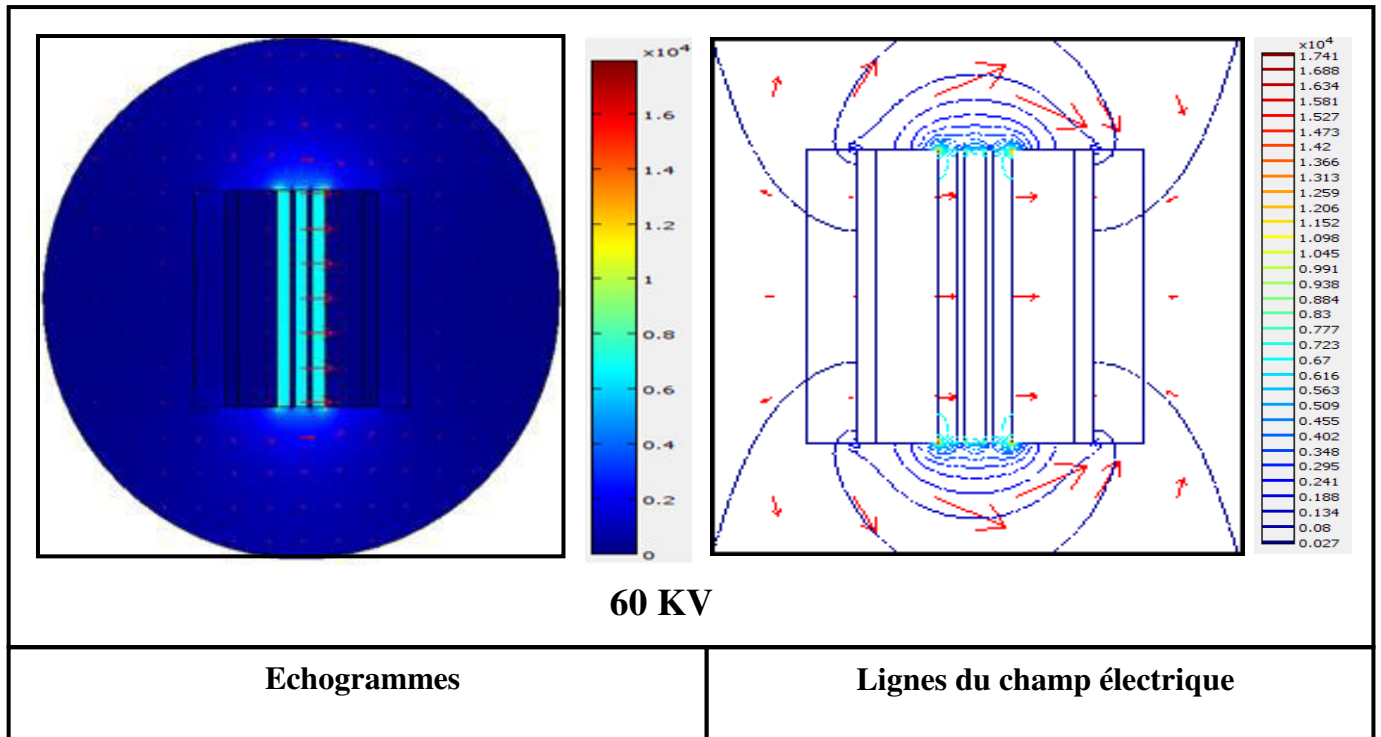


Figure IV.13. Distribution du champ électrique en fonction de la tension de la ligne active.

IV.7.2.3. Influence de la largeur des couches propres :

Dans cette partie du travail, l'étude de la répartition du champ électrique sur la ligne de fuite, pour plusieurs largeurs des couches propres avec une tension et conductivité constante 30 KV, 2400 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) respectivement.

La variation de champ électrique sur la long de la ligne de fuite, est représentée sur la figure (IV.14-15), Il est clair que L'intensité du champ électrique et plus intense au niveau des couches propres, donc l'intensité du champ est inversement proportionnelle à la largeur des couches propres. à l'état propre l'intensité de champ électrique obtenue la valeur maximale du côté de l'extrémité de l'électrode active et reste constante par la suite. En outre, l'amplitude du champ électrique est nul du côté de la terre, et presque nul aux niveaux des bords pollués.

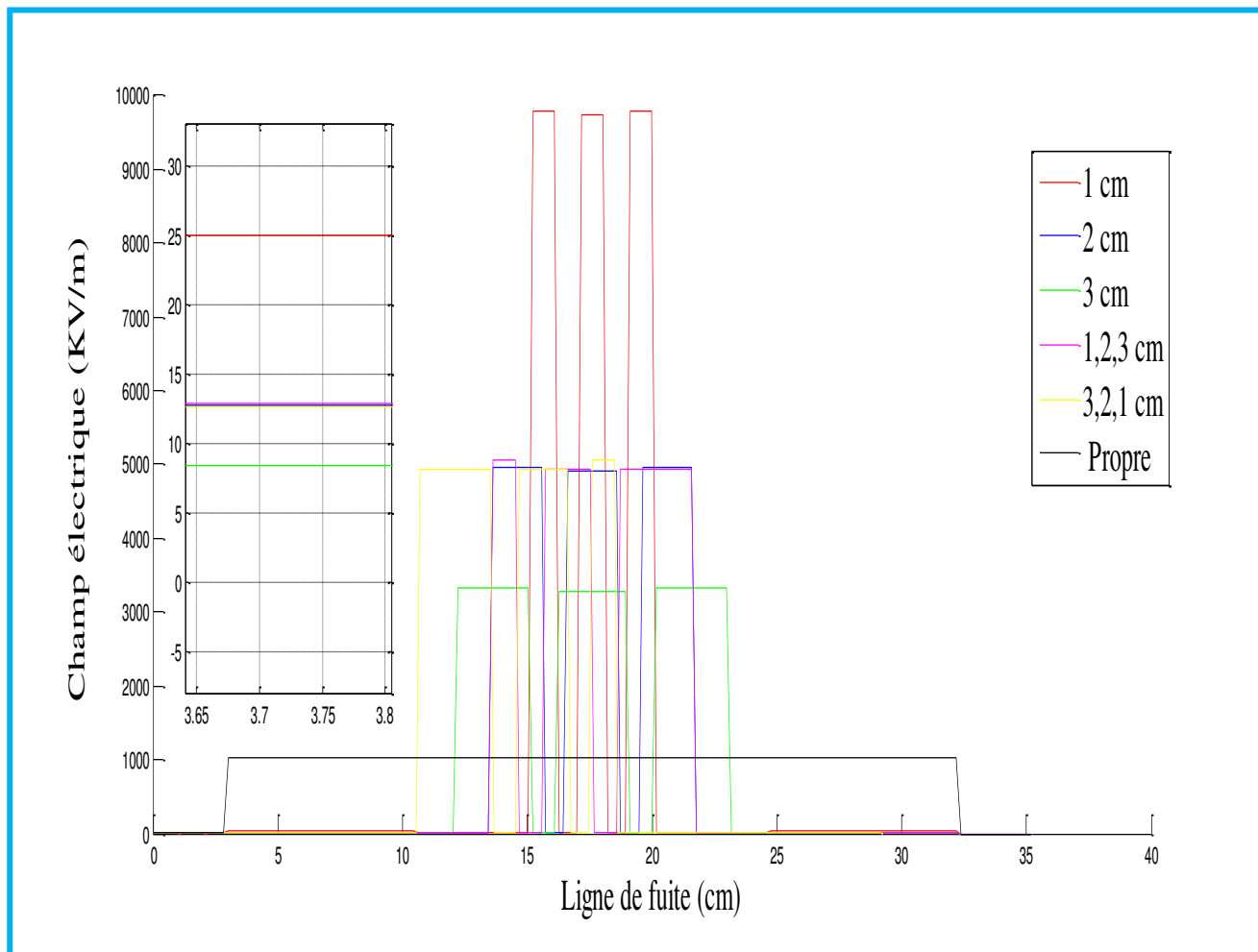
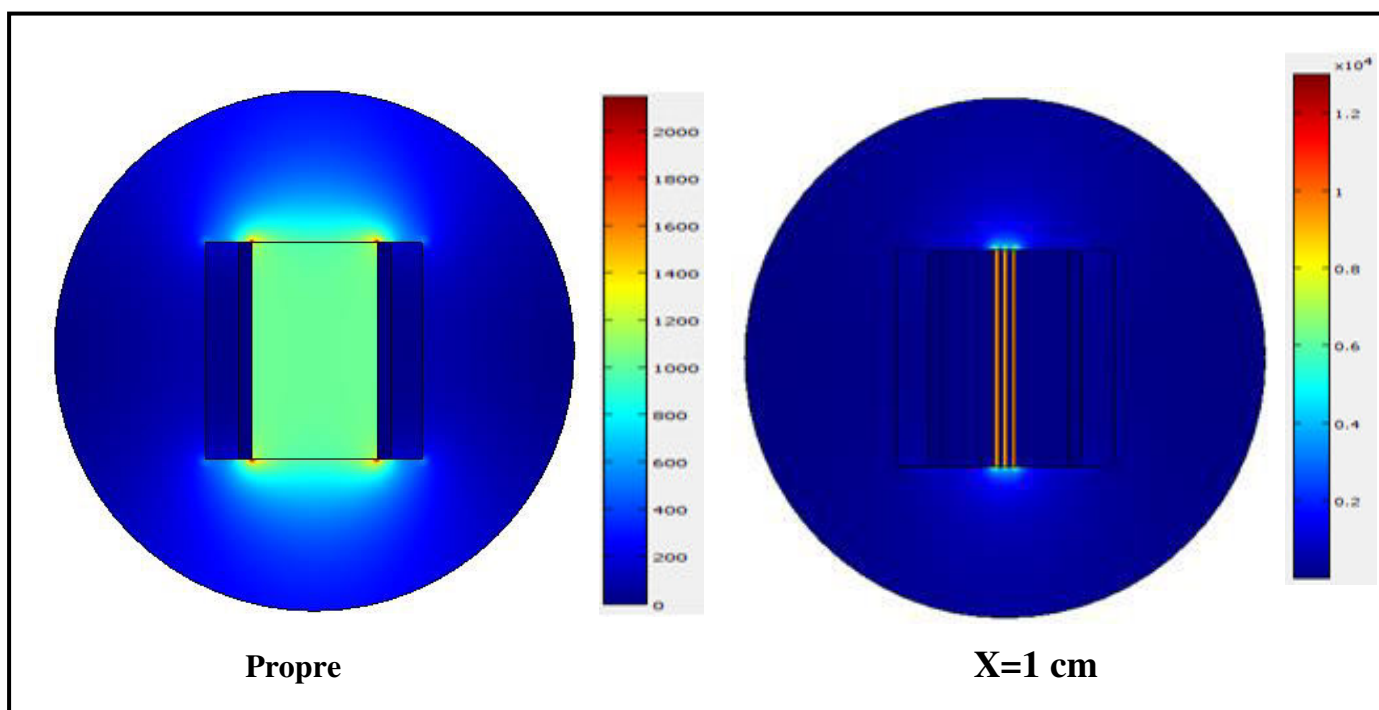


Figure IV.14. Distribution du champ électrique-ligne de fuite pour différente largeur des couches propres.



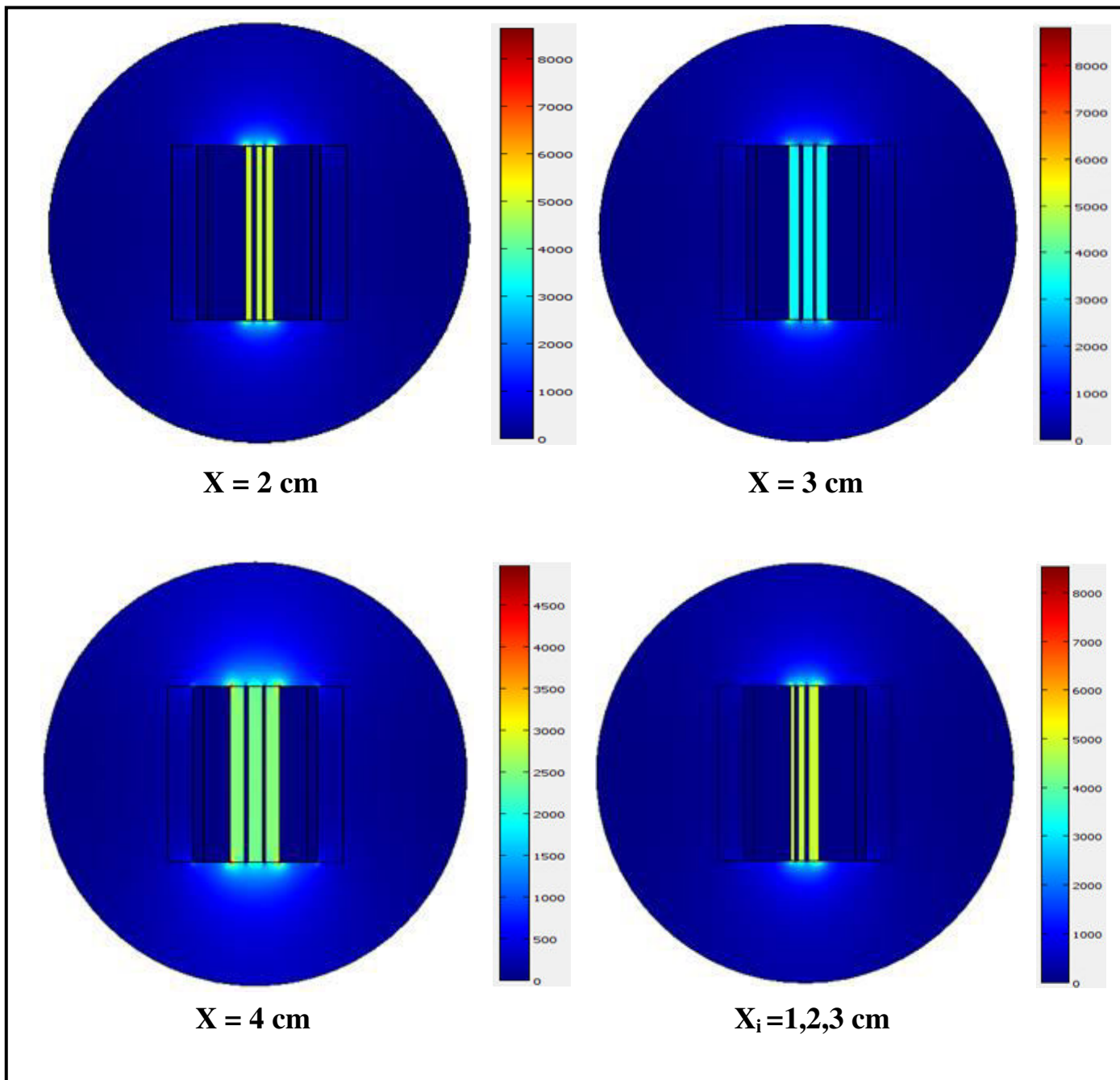


Figure IV.15. Distribution du champ électrique en fonction de la ligne de fuite.

IV.7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats de la différente simulation effectuée sur le modèle d'un isolateur 1512 L. ce chapitre nous a permis étude la distribution de potentiel et champ électrique par logiciel COMSOL basé sur la méthode de élément fine, en afin on peut dire que :

- a) Le potentiel est décroissant linéairement au niveau de bande propre et diminution non remarquable au niveau de couche pollué.
- b) Le potentiel est prendre les valeurs maximales de tension à l'électrode HT et zéro dans l'électrode de la terre.
- c) Le champ n'pas nulle dans les mâtereaux diélectrique, au niveau de couche pollué et l'intérieur de deux électrode s'annule.
- d) Le champ est important dans les coches propres.

Conclusions Générales

Conclusions Générales :

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 de 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 adaptés 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.

En suite 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.

partie réservée à la simulation avait pour le but principal l'étude de la distribution de potentiel et champ électrique d'un modèle d'isolateur 1512L, sous différentes conditions propre et pollué. Nous nous sommes intéressés essentiellement à l'influence de la tension appliquée, la largeur de couche propre et la conductivité de cette couche sur la répartition de champ et potentiel électrique le long de la ligne de fuite. Les principaux résultats que nous pouvons donner sur la base des simulations effectuées sur le modèle d'isolateur sous différentes conditions sont les suivantes :

- * Le changement de la conductivité de la couche polluante pratiquement, n'a pas d'effet sur la distribution du potentiel.
- * Les valeurs maximales des potentiels sont près de l'électrode haute tension et commencent à décroître jusqu'à son annulation quand on se rapproche de l'électrode de terre.
- * A l'état propre le potentiel diminue d'une façon linéaire et rapide jusqu'à l'électrode de terre où le potentiel s'annule.
- * Le potentiel au niveau de l'électrode HT est proportionnel à la tension de la ligne et prend la même valeur de la tension appliquée.
- * Dans les couches polluées le potentiel électrique décroît lentement et presque constant.
- * L'augmentation de la largeur de la couche propre engendre la diminution de l'intensité de champ électrique.
- * Le champ électrique maximal pour les zones propres, est supérieur à ce obtenu dans la largeur de couche propre 1 cm.
- * Le champ électrique est nul à l'intérieur des électrodes et presque nul aux niveaux de bande polluée.

- * Le champ électrique ne s'annule jamais dans les matériaux diélectriques.
- * La variation de la conductivité a une influence légère sur l'intensité du champ électrique.
- * Les lignes du champ électrique entre les deux plaques conductrices c'est en parallèle car la configuration de la géométrie (plan-plan).
- * l'intensité du champ électrique proportionnelle à La tension de la ligne aux niveaux des couches propre.

Références bibliographiques

- [1] **Ahmed Seddik Bouhadjar, Amokrane Mounir**, « Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes modélisation », Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ENP d'Alger, Juin 2008.
- [2] **S. Tounsi, F. Chikh**, « Influence du Sol sur le Comportement d'un Modèle d'Isolateur sous Tension », Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ENP, Alger, 2008.
- [3] **N. Dhahbi Megriche**, « Modélisation dynamique des décharges sur les surfaces d'isolateurs pollues sous différentes formes de tension: élaboration d'un critère analytique de propagation », Sciences de l'ingénieur physiques, Ecole Centrale de Lyon, 1998.
- [4] **Adel kara**, « contribution a l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollue », Mémoire De magister, Seif, 2013.
- [5] **T.Guia**, « Comportement d'un modèle Isolateur sous à une Tension Impulsionnelle », Mémoire de Magister, Département de Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, ENP, Alger, Mai 2010.
- [6] **Belhouchet Khaled**, « Estimation des paramètres de l'arc de contournement des isolateurs pollués en utilisant l'approche génétique », Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas Setif.
- [7] **El Bahi Azzag**, « problèmes de contournement et perforation des isolateurs de haute tension », thèse doctorat d'état, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2007.
- [8] **Bourim Hammoum, Ahmed Kerbouche**, «Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien», Mémoire d'Ingénieur d'Etat ENP, Alger, 2007.
- [9] **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.
- [10] **Hamza Slamet Amina**, «Contribution à l'étude du modèle développé d'un isolateur pollué », Mémoire de Magister en électrotechnique, université d'Oran, 2013.
- [11] **M'hamdi Ben alia**, « amélioration des performances des chaines d'isolateur de de haute tension », Thèse de Doctorat en Sciences, ENP, Alger, 2016.
-

Bibliographie

- [12] **Chakou Abdelkarim Djemmaa Mohamed**, « Elaboration d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué sous une tension impulsionnelle », mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [13] **Sayah Moatez Béllah** «Prédiction du contournement d'une Chaîne d'isolateur MT 175 CTV-Sonelgaz Polluée Artificiellement par la Logique Floue », mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.
- [14] **M. Tegar, A. boubakeur**, « Pollution des Isolateurs de Haute Tension », ENP d'Alger, 2002.
- [15] **F. Taleb, A. Bouleghlem**, «Comportement de l'Isolateur capot et tige 1512l Artificiellement Pollué sous Tension Alternative 50 Hz » Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ENP, Alger, 2010.
- [16] **M. Rahali Hilal**, « Comportement d'un modèle d'isolateur sous différentes configurations de pollution sous tension alternative 50 HZ », Mémoire de Magister, ENP, Alger, 2011.
- [17] **A.Tilmatine**, « Isolateurs Des Lignes Aériennes Haute Tension », cours de haute tension, chapitre 6.
- [18] **Fatiha Aouabed**, « Contribution A L'étude D'un Circuit Equivalent Des Isolateurs Synthétiques Sous Pollution En Utilisant L'emtp », Mémoire De Magister, Setif.
- [19] **M. A. Boudjamaa, R. Sebti**, « Modélisation Des Phénomènes De Pollution Des Isolateurs De Haute tension », Mémoire de Master, université d'Ouargla, 2012.
- [20] **Meraghi Tahar, Guia Issam**, « effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension », mémoire de master, 2015.
- [21] **Mohamed Aminé Soufi, Menouar Zemirline**, « Conception d'un Modèle Dynamique de Contournement d'un Isolateur Pollué sous Tension Alternative 50 Hz », Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ENP d'Alger, 2004.
- [22] **Siméon Diampeni Kimbakala**, « Modélisation dynamique des décharge se propagent sur des surface isolant polluées des dépôts discontinue sous différents formes de tension », thèse de doctorat, l'école centrale de Lyon, 2007.
- [23] **Sid Ahmed Bessedik**, « Contournement des isolateurs pollués», thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf d'Oran, 2015.
-

[24] **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.

[25] **Tlidjane Aissa, Mekhalfia Riadh, Kebaili Hamza**, « Etude du phénomène de contournement des isolateur pollues sous tension continue », Thèse d'ingénieur d'état en génie électrique, université de m'sila 2010.

[26] **N. Dhahbi, Megriche Beroual**, « Flashover Dynamic Model of Polluted Insulators under AC Voltage », IEEE Trans, on Diel, and Elect, Insul, Vol. 7, N° 2, pp. 283.289, April 2000.

[27] **Bentriou Cherifa**, « Simulation Numérique d'un Isolateur de Haute Tension a Fréquence Industrielle 50 Hz », mémoire de master en génie électrique, université de m'sila 2016.

[28] **Mohamed Oussama Meftah, Mourad Rahal**, « Performances d'Isolateurs HT Pollués sous Tension Alternative 50Hz et Distributions du Champ et du Potentiel Electricques utilisant COMSOL », Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ENP d'Alger, juin 2011.

[29] **Mesrouk Mehdi**, « Etude d'une électrode tri-couches à base de TCO/Métal/TCO pour une cellule solaire organique », Mémoire de magister, université Mouloude Mammeri de Tizi-Ouzou 2013.

[30] **B.M'hamdi, M.Teguar, A.Mekhaldi**, « Potential and Electric Field Distributions on HV Insulators String », 7th International Conference on Electrical Engineering, university hadj lakhder Batna, 8-10 October 2012.

Résumé :

Dans ce travail, nous avons étudié les effets de la pollution sur les isolateurs. L'objectif principal de cette étude est de simuler en 2D la distribution du potentiel et du champ électrique le long de la ligne de fuite d'isolateurs de haute tension ; capot et tige 1512L, sous différentes conditions : conductivité de couche polluée, largeur de couche propre et tension appliquée, on a calculé la répartition de potentiel et du champ électrique autour de la ligne de fuite, en utilisant une méthode numérique par l'intermédiaire d'un logiciel commercial COMSOL Multiphysics qui s'est avérée être une des meilleures solutions.

Mots Clés : isolateur, pollution, champ électrique, potentiel électrique, COMSOL Multiphysics,

Abstract:

In this work, we have studied the effects of the pollution on insulator. The principal objective of this research is to simulate the distribution of the potential and the electrical field along the leak line of high voltage insulators using 2D modeling for: cap and pin 1515L. Under different conditions: conductivity of polluted layer, width of clean layer and tension applied. We calculate the potential and the electrical field distribution around the insulators using a numerical method by the intermediary of commercial software COMSOL Multiphysics proved to be one of the best solutions.

Keywords: isolator, pollution, electric field, electrical potential, COMSOL Multiphysics.

الملخص:

إن الهدف الرئيسي لهذا البحث هو محاكاة توزيع الكمون و مجال الحقل الكهربائي على طول خط تسرب لعوازل الجهد، وذلك في مستوى ثنائي الأبعاد في شروط عمل مختلفة : ناقلية الطبقة الملوثة، عرض الطبقة النظيفة و التوتر المطبق، استخدمنا طريقة العناصر المنتهية لأنها الأكثر ملائمة لحساب الجهد و الحقل الكهربائي في سطوح العوازل، و أثبتنا أن استخدام الطريقة العددية بواسطة برنامج التجاري COMSOL Multiphysics من أفضل الحلول.

الكلمات المفتاحية : العوازل، التلوث، الحقل الكهربائي، الجهد الكهربائي، COMSOL Multiphysics.