



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT de GÉNIE ÉLECTRIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Electrique

Option : Réseaux Electriques et Haute Tension

Présenté par :

ZOUBIR Latifa

YOUCEF Samia

Sujet du mémoire

Distribution du champ et du potentiel électriques

d'un isolateur de ligne 400kv

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr, A. Mimouni

Pr, Université de Tiaret

Président.

M^{me}. H. Bourenane

MAA, Université de Tiaret

Encadreur.

Mr, A. Mokhtari

MAA, Université de Tiaret

Examineur.

PROMOTION : 2015

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

*Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements à notre encadreur **M^{me}. H. BOURENANE** qui nous a proposé ce sujet, qui a suivi avec attention la réalisation de ce travail et qui nous a fait partager ses larges connaissances scientifiques.*

*Nous remercions. **M^{me}. K. GHILAME** pour l'aide qui nous a apportée durant ce travail.*

*Nous remercions **Mr. A. Mimouni** et **Mr. A. Mokhtari** d'être des membres de jury.*

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenus et à tout ce qui ont participé de réaliser ce mémoire, ainsi que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation.

Merci à tous.

SAMIA , LATIFA

SOMMAIRE

Sommaire

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I : GENERALITE SUR ISOLATEUR DE HAUTE TENSION ET POLLUTION
--

INTRODUCTION.....	3
I.1. Isolateurs	3
I.1.1. Définition :	3
I.1.2. Caractéristiques d'un isolateur :	3
I.1.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur :	4
I.2.Principaux types d'isolateurs :	5
I.2.1 Isolateurs de type rigide :	5
I.2.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne :	5
I.2.2.1-Isolateur à long fût :	6
I.2.2.2- Isolateurs à capot et tige :	7
I.3.Choix des isolateurs :	11
I.3.1.Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs:.....	11
I.4.Pollution Des Isolateurs	15
I.4.1. Sources de pollution :	16
I.4.1.1. Pollution atmosphérique :	16
I.4.1.1.1. Pollution naturelle :	16
I.4.1.1.2. Pollution industrielle :	17
I.4.1.1.3.Pollution mixte :	17
I.5 . Contournement.....	18
I.5.1. Définition :	18
I.5.2.Déroulement du contournement:	18
I.6. Sévérité de la pollution :	20
I.6.1. Mesure de la sévérité de pollution des sites :	21
I.6.1.1. La densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :	21
I.6.1.2.Conductance superficielle :	21
I.6.1.3.Courant de fuite :	21
I.7. Classification des sites pollués :	21

I.8. Techniques de lutte contre la pollution:.....	23
I.8.1. Allongement de la ligne de fuite :	23
I.8.2. Isolateurs plats :	23
I.8.3. Graissage périodique :	23
I.8.4. Revêtement silicone :	23
I.8.5. Les isolateurs composites :	23
I.8.6. Nettoyage des isolateurs :	24
CONCLUSION	24

<p>CHAPITRE II : Travaux antérieurs dans le domaine de la pollution des isolateurs et la simulation numérique</p>

INTRODUCTION.....	25
II.1. Travaux sur la pollution des isolateurs :	25
II.1.1. Travaux de Subba Reddy B, Sultan N A, Monika P M, Pooja B, O Salma, Ravi Shankar K.V : [17].....	25
II.1.2. Travaux de B. M'hamdi, M. Tegar et A. Mekhaldi : [18].....	30
II.1.3. Travaux de Chakravorti et Mukherjee : [19]	33
CONCLUSION	34

<p>CHAPITRE III : SIMULATION DU CHAMP ET DU POTENTIEL ELECTRIQUE</p>
--

INTRODUCTION :	35
III.1. COMSOL Multiphysics :	35
III.1.1. L'interface graphique de COMSOL :	36
III.2. Simulation :	42
III.2.1. Modèle plan :	44
III.2.1.1. Etude du potentiel :	44
III.2.1.2. Distribution du champ électrique.....	52
III.2.2. Modèle réel :	59
III.2.2.1. Etude du potentiel :	59
III.2.2.2 Distribution du champ électrique :	65
CONCLUSION	70
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	71

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les équipements haute tension 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 constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes. Ils ont un double rôle mécanique, en reliant les conducteurs sous tension, et électrique, en assurant l'isolement électrique entre les deux parties.

La pollution, à l'état sec, n'engendre pas une dégradation de la rigidité diélectrique. Cependant, en s'humidifiant, elle provoque la dissolution des sels et la formation d'une couche électrolytique. Cette dernière engendre la naissance d'un courant de fuite qui, par effet Joule, chauffe la couche de pollution qui sèche progressivement [1]. La répartition du potentiel entre électrodes est changée. Ainsi, une partie importante de la tension appliquée se trouve rapportée sur la bande sèche engendrant, si le champ local dépasse un certain seuil, un claquage diélectrique et l'établissement d'une décharge électrique ou d'arcs partiels. Dans certaines conditions, cette décharge peut s'allonger jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur.

Une connaissance approfondie de la distribution du potentiel et du champ électrique le long des isolateurs, recouverts de couches polluantes, permettrait de déterminer les valeurs critiques de potentiel et de champ électrique donnant naissance à ces arcs partiels.

Avec le développement croissant de l'informatique et de logiciels de calcul électromagnétique de plus en plus puissants, il est maintenant possible d'obtenir des résultats rapides et précis. Parmi les méthodes numériques disponibles et applicables aux calculs électromagnétiques, la Méthode des Éléments Finis. Ainsi, son utilisation, par le biais du logiciel commercial COMSOL Multiphysics 4.3, fut retenue pour réaliser les différentes simulations.

Notre travail comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous citons les phénomènes de pollution des isolateurs et leurs conséquences sur le transport de l'énergie électrique, ainsi que les techniques de lutte contre ces phénomènes.

Le deuxième chapitre présente quelques travaux antérieurs liés à la détermination du potentiel et du champ électrique par des méthodes numériques.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude, via le logiciel commercial COMSOL Multiphysic 4.3, de la distribution du potentiel et du champ électriques le long :

- D'un modèle plan d'isolateur F160D-146DC en fonction de niveau de la tension appliquée, de la conductivité de la pollution et de la largeur de la couche propre.
- D'un élément réel d'isolateur F160D-146DC en fonction de type de pollution (uniforme, non uniforme), de niveau de la tension appliquée, de la conductivité de la pollution.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale représentant une synthèse globale de notre travail et perspectives.

Chapitre I

GENERALITE SUR

ISOLATEUR DE HAUTE

TENSION ET POLLUTION

Chapitre I : Généralité sur isolateur de haute tension et pollution

INTRODUCTION

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir.

I.1. Isolateurs

I.1.1. Définition :

L'isolateur est un matériau isolant solide que présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court-circulation, les pertes de courant et les charges d'électrocution. [2]

I.1.2. Caractéristiques d'un isolateur :

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

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.

Ligne de fuite Lf : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.

Ligne de contournement Lc : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices. [2]

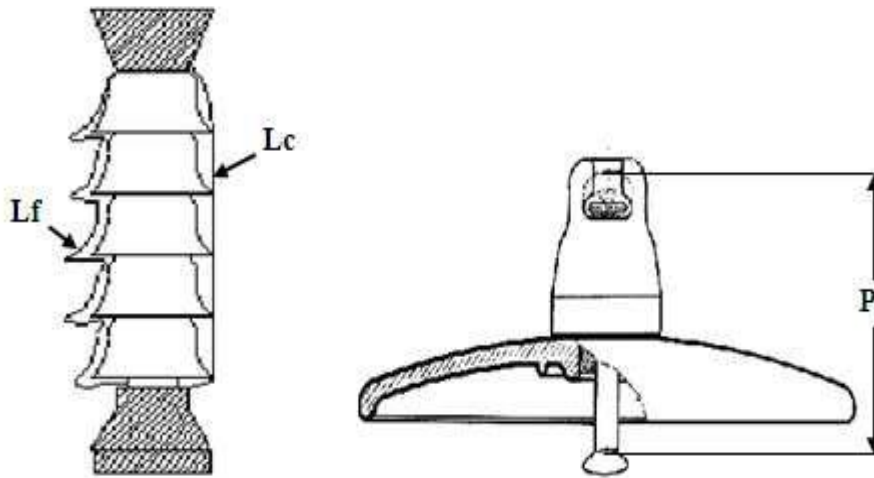


Figure I. 1 : Les caractéristiques d'un isolateur.

1.1.3. 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).

Les matériaux isolants solides les plus utilisés sont essentiellement le verre trempé et la porcelaine. Mais les résines synthétiques commencent aussi à être utilisées.

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement. 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, qui sont les suivants :

- 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) [3]

I.2.Principaux types d'isolateurs :

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs de type rigide et les éléments de chaîne :

I.2.1 Isolateurs de type rigide :

Un isolateur rigide (Figure 2) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides. [3]

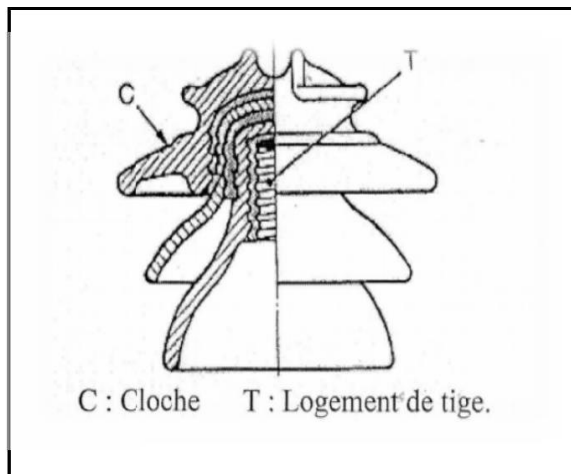


Figure I. 2 : isolateur rigide.

I.2.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne :

C'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaires pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne, à la pince de suspension du conducteur ou au support, ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (chaînes d'alignement), soit horizontales (chaînes d'ancrages). [3]



Figure I. 3: Chaine d'isolateur.

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- L'isolateur capot et tige.
- L'isolateur long fût.

1.2.2.1-Isolateur à long fût :

Il est constitué d'un cylindre plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes . A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis. [4]

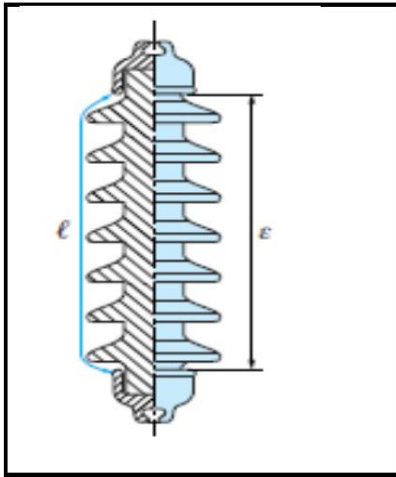


Figure I. 4 : Isolateur long fut à extrémités
Métalliques tronconique.

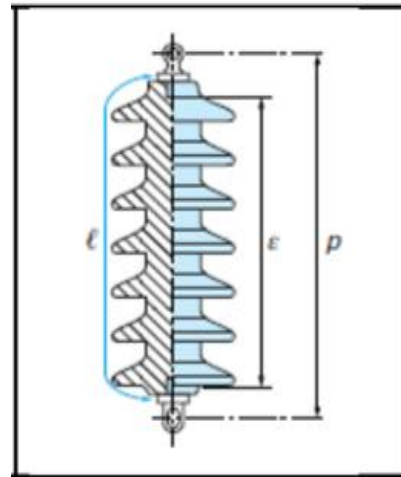


Figure I. 5 : Isolateur long Fut à extrémités
Métallique des formes tiges scellées.

1.2.2.2- Isolateurs à capot et tige :

Chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige [4].

La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (Figure I.6). La forme de la tête est conçu de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur lesquels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement [5].

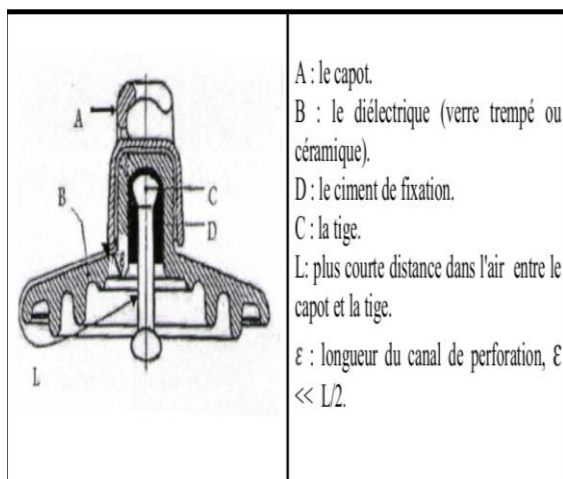


Figure I. 6: isolateur capot et tige

On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement :

a-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 supérieur à la demande standard. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne (Figure.I.7). [6]



Figure I. 7 : Isolateur capot et tige de profil standard.

b/- Profil antibrouillard

Plus large que le profil standard, l'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution. [6]

b-1- Profil antibrouillard (forme A) :

Son diamètre est plus grand que celui du profil standard. Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Le profil et les grands espacements des rainures permettent un auto lavage par l'action de vent et de la pluie.

Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire (Figure I.8) [6]

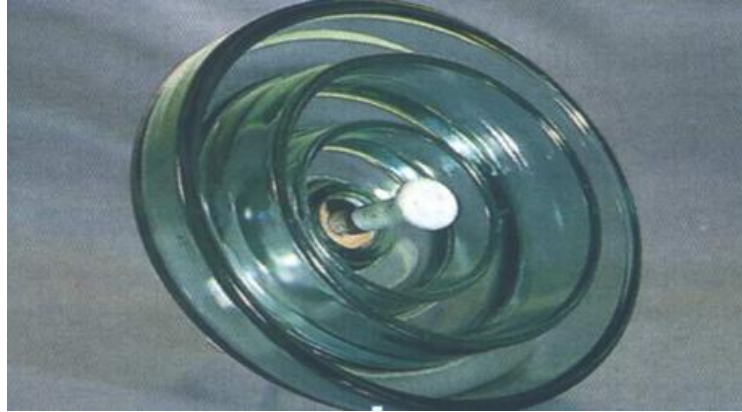


Figure I. 8: Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme A).

b-2-Profil antibrouillard (forme B) :

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et de 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 (Figure I.9) [6].



Figure I. 9 : Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme B).

C/- Profil plat :

L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air, cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquent par la pluie.



Figure I. 10 : un isolateur de capot et tige de profil plat

d/- Profil sphérique :

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel.

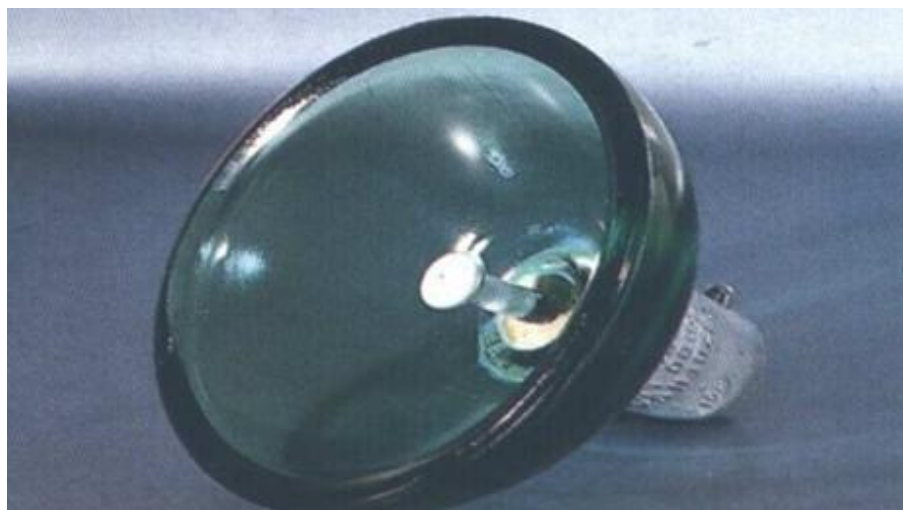


Figure I. 11 : un isolateur de capot et tige de profil sphérique

1.3.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 dépend 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. [7]

1.3.1.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 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.

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. [7]

A / Céramique :

Le développement de la fabrication des céramiques date 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 la céramique dans les postes : isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance. [6] [8]



Figure I. 12 : isolateur en matière céramique

B / Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation des défauts est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit. [5] [9]

B .1 .le verre trempé :

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 a 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100° C. [7]



Figure I. 13 :isolateur en matière le verre trempé.

B .2.Le verre recuit :

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faible et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension. [9]



Figure I. 14 : isolateur en matière le verre recuit.

c/. Matériaux synthétiques :

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résinée et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leurs avantages est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique (FigI.15). [12]

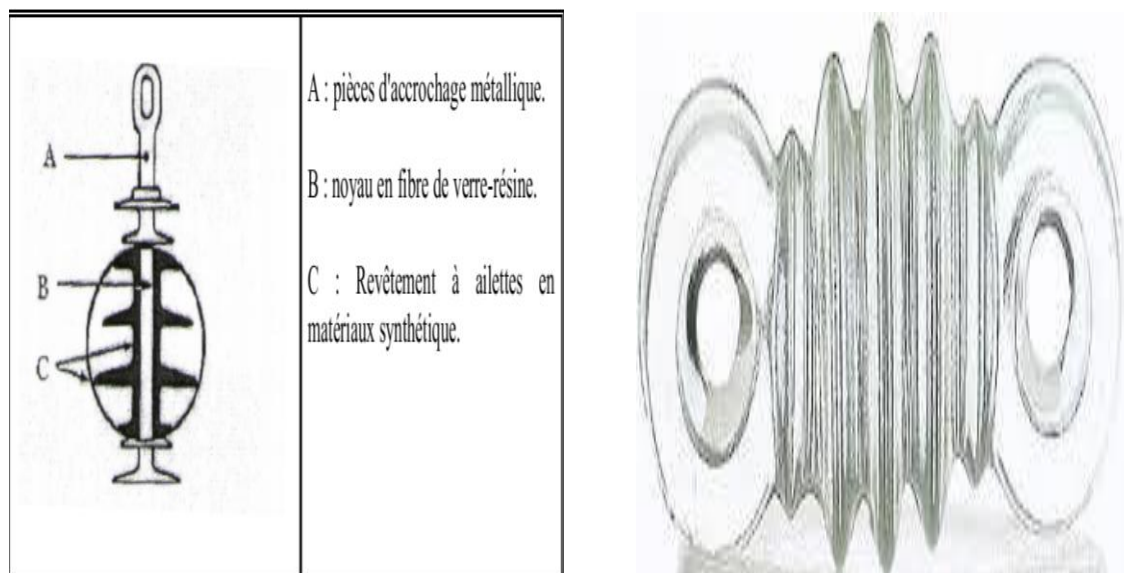


Figure I. 15 : profil d'un isolateur en matériaux synthétique

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (Figure I.17).

L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécanique, atmosphériques...) (figureI.16)



Figure I. 16 : vieillissement des isolateurs



Figure I. 17 : Propriétés hydrophobes des isolateurs

1.4.Pollution Des Isolateurs

La pollution est un phénomène qui constitue un sérieux problème sur l'isolement des ouvrages de haute tension, dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de haute tension. Ceci est dû à la formation de couches plus ou moins conductrices sur la surface des isolateurs. Ces couches peuvent engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle des surfaces des isolants et par suite la diminution de la tension de tenue des isolateurs. L'échauffement de la couche polluante conductrice humidifiée, provoqué par la circulation des courants de fuite sur la surface de ces isolateurs, entraîne des assèchements locaux de la couche de la pollution et l'apparition d'arcs de petite longueur (arcs partiels). Dans certaines conditions, ces arcs partiels peuvent se développer le contournement total des isolateurs, en connectant l'extrémité sous haute tension à celle mise à la terre, et conduisant ainsi à la mise hors service de l'ensemble de l'installation. [10] [11]

La répartition de la pollution est loin d'être uniforme et homogène et dépend essentiellement :

Du profil de l'isolateur (forme géométrique de la surface) .

- De l'orientation (verticale ou inclinée) de la chaîne par rapport au sol .

- De la distance à la source de la pollution .
- De la nature des dépôts, poids et taille des particules .
- Des caractéristiques climatiques du site (vent, pluie, givre,...) .
- Des caractéristiques géographiques du site zone urbaine, industrielle, littoral,sahara,...etc. [12]

1.4.1. Sources de pollution :

La nature de la pollution est sujette à l'origine des agents entrant dans sa formation. On distingue trois sources : [8] [9]

1. Pollution atmosphérique
2. Pollution industrielle.
3. Pollution mixte.

1.4.1.1. Pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique peut être regroupée selon l'origine des facteurs agissant sur la formation de cette couche de pollution et elle est classée comme suit :

1.4.1.1.1. Pollution naturelle :

Elle dépend du climat et des facteurs météorologiques d'une région elle provient de dépôts de poussières véhiculées par les vents tels que, le sable, les embruns marins (dans les régions côtières).

Suivant la nature des dépôts, on distingue :

- 1- Pollution marine :
- 2- Pollution désertique

Pollution marine :

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance. Dans certaines conditions, ils se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur.

Pollution désertique :

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur les isolateurs, une couche de pollution contenant des sels solubles ; les couches de sable deviennent plus au moins conductrices à cause de l'existence de sels dans le sable.

Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur.

Autre type de Pollution naturelle :

La pluie est un phénomène naturel. Dans certaines conditions de pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne d'isolateur. Comme l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène peut conduire au contournement; c'est le contournement sous pluie.

1.4.1.2. Pollution industrielle :

Dans des zones à forte concentration industrielle, au voisinage des usines de pétrochimie, de cimenteries, ...etc., les isolateurs se recouvrent peu à peu de poussières résultant des fumées dégagées par ces dernières, et qui sont faiblement conductrices, mais hygroscopique, à la présence d'une humidité intense. Le sel contenu dans ces poussières abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs. De plus, dans les régions agricoles, les agents polluants peuvent être insecticide, engrais, grains de pollens, Cette pollution peut aussi être d'origine domestique, quant il s'agit des facteurs tels: fumées et gaz résultant des moyens de réchauffement des habitations ou de moyens de transport .[13]

1.4.1.3. 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 .

1.5 . Contournement

1.5.1. Définition :

Le contournement est représenté par une décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne cette dernière. Aussi le terme contournement est employé pour des décharges par amorçage dans l'air. [14]

1.5.2.Déroulement du contournement:

Phase 1 : dépôt de pollution

Des grains de pollution se déposent sur la surface de l'isolateur (Figure I.18).

Phase 2 : Formation d'un électrolyte conducteur

A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel (I_f) circulant sur la surface de l'isolateur (Figure I.18). [14]

Phase 3 : formation d'une bande sèche

Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche (Figure I.18) : Pollution des isolateurs [14]

Phase 4 : contournement

Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche:

- Soit la décharge s'éteint \Rightarrow pas de contournement (Figure I.18).
- Soit la décharge progresse sur la surface \Rightarrow contournement de l'isolateur (Figure I.18)

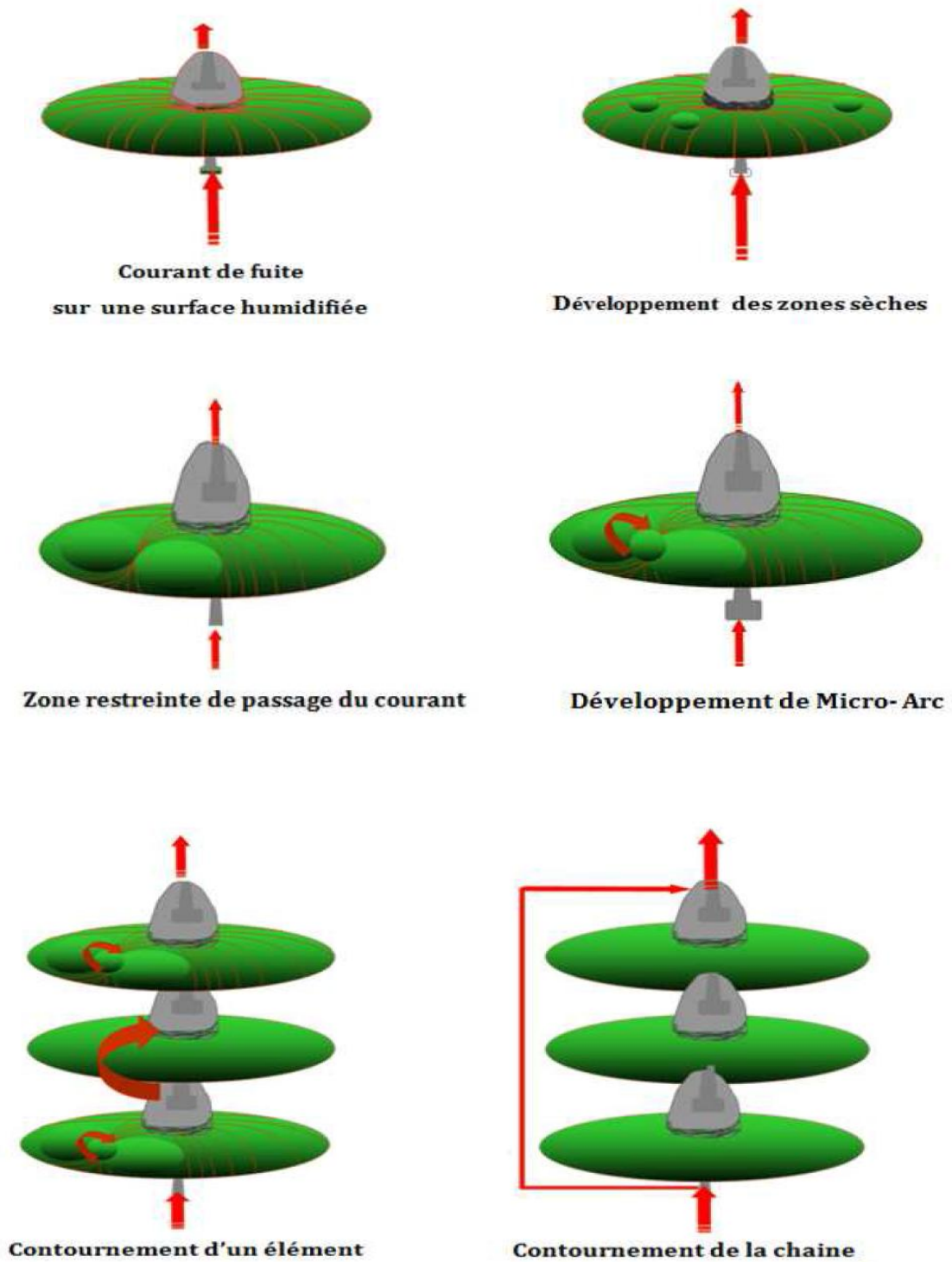
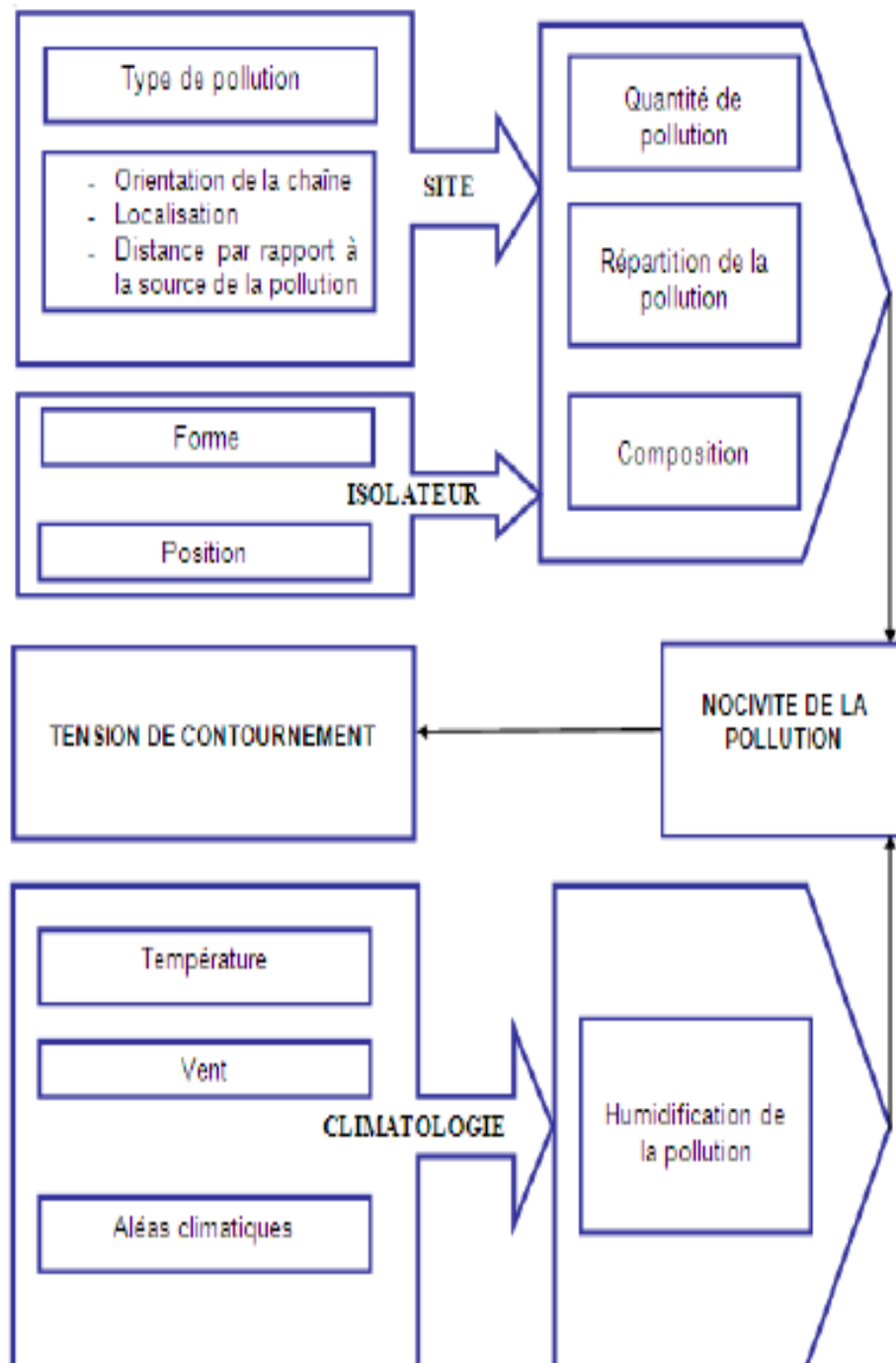


Figure I. 18 : Etapes déroulement du contournement sur une surface polluée

I.6. Sévérité de la pollution :

La sévérité de la pollution dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont Liés au site d'exploitation.

Elle est schématisée par la CEI comme s'est indiqué sur la (figure .



I.19)

Figure I. 19: Les facteurs influençant la nocivité de pollution

1.6.1. Mesure de la sévérité de pollution des sites :

Le choix des isolateurs à installer sur le réseau ne peut se faire que si la sévérité de la pollution est connue. Les principales méthodes qui ont été employées pour caractériser la sévérité d'un site sont :

1.6.1.1. La densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :

Cette méthode consiste à nettoyer la surface d'un isolateur pollué à l'aide d'une matière absorbante (coton) et de l'eau distillée. La conduction de la solution contaminante permet par une mesure, d'obtenir la qualité équivalente de sel et par suite de déterminer la salinité équivalente.

1.6.1.2. Conductance superficielle :

A l'aide de mesure de courant de fuite d'un isolateur pollué dans un site donnée, nous mesurons le rapport : $G = I / V$

La conductivité superficielle est obtenue en multipliant la conductance G par un facteur de forme de l'isolateur, généralement la tension est appliquée aux électrodes terminales, ce qui fournit la conductivité superficielle globale de l'isolateur.

1.6.1.3. Courant de fuite :

Si deux isolateurs identiques, l'un exposé à la pollution naturelle dans site donnée et l'autre pollué artificiellement dans un laboratoire, présentent les mêmes valeurs maximales du courant de fuite, sous une même tension, on peut dire que la pollution artificielle est alors équivalente à la pollution naturelle (réelle du site).

1.7. Classification des sites pollués :

Il est possible de caractériser la sévérité de la pollution d'un site en utilisant par exemple, la méthode du brouillard salin équivalent. La sévérité considérée est alors exprimée en terme de salinité équivalente. En effet, on peut faire correspondre à chaque site ou règne indifféremment une pollution naturelle, industrielle ou mixte, une solution saline équivalente.

Afin de définir l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la salinité équivalente et le niveau de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées :

Niveau de pollution	Exemples d'environnements typiques
<p style="text-align: center;">I Faible</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installation de chauffage. -Zones avec faible densité d'industries ou d'habitations mais soumise fréquemment aux vents et / ou pluies. -Régions agricoles. -Régions montagneuses.
<p style="text-align: center;">II Moyen</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et / ou avec une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage. -zone à forte densité d'habitations et / ou d'industries mais soumises fréquemment aux vents et / ou à des chutes de pluies. -zones exposées aux vents de mer, mais trop proches de la cote.
<p style="text-align: center;">III Fort</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installations de chauffage polluantes. -zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.
<p style="text-align: center;">IV Très fort</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais. -Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées aux embruns ou au vent très fort et polluant venant de la mer. -Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumises à une condensation régulière.

Tableau I.1 : Classification de la pollution selon le type d'environnement.

1.8. 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.

1.8.1. Allongement de la ligne de fuite :

Cette méthode permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont utilisées :

- 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.
- L'utilisation des matériaux polymères qui sont collés sur la surface des isolateurs existants pour prolonger la ligne de fuite.

1.8.2. Isolateurs plats :

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoyant très bien sous l'effet du vent.[15]

1.8.3. 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 . [15]

1.8.4. 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. [15]

1.8.5. 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.[16]

1.8.6. 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. [16]

CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre un résumé d'une étude bibliographique sur les isolateurs en précisant leur rôle et leurs différents types, ainsi que la pollution qui représente l'une des contraintes auxquelles sont soumis les isolateurs des réseaux électriques en présentant ses différents niveaux, ainsi la sévérité de la pollution des sites et les différents paramètres contribuant à la dégradation de l'état de surface des isolateurs.

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 les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Chapitre II

*Travaux antérieurs dans le
domaine de la pollution des
isolateurs et la simulation
numérique*

Chapitre II : Travaux antérieurs dans le domaine de la pollution des isolateurs et la simulation Numérique

INTRODUCTION

Depuis les dernières décennies, l'intérêt croissant vis-à-vis des phénomènes de contournement des isolateurs sous diverses conditions atmosphériques, a donné lieu à un nombre exhaustif d'études qui ont été publiées à travers le monde. Dans le but de donner plus de détails sur le phénomène étudié, une revue de littérature est présentée. Il s'agit de présenter quelques travaux relatifs à la détermination numérique du potentiel et du champ électriques le long des isolateurs pollués.

II.1. Travaux sur la pollution des isolateurs :

II.1.1. Travaux de Subba Reddy B, Sultan N A, Monika P M, Pooja B, O Salma, Ravi Shankar K.V : [16]

Ce travail est effectué pour étudier l'influence de la couronne de garde sur la distribution du potentiel et du champ électrique le long de la ligne de fuite de la chaîne pour différents types d'isolateurs en céramique. Les simulations informatiques sont effectuées à l'aide d'un logiciel disponible dans le commerce ANSYS qui est basé sur la méthode des éléments finis

Modèle des Isolateurs Étudiés :

Dans cette étude, trois types d'isolateurs en céramique capot et tige sont choisis Type A, B et C. Schéma d'isolateur étudié est illustré par la (Figure.II.1).

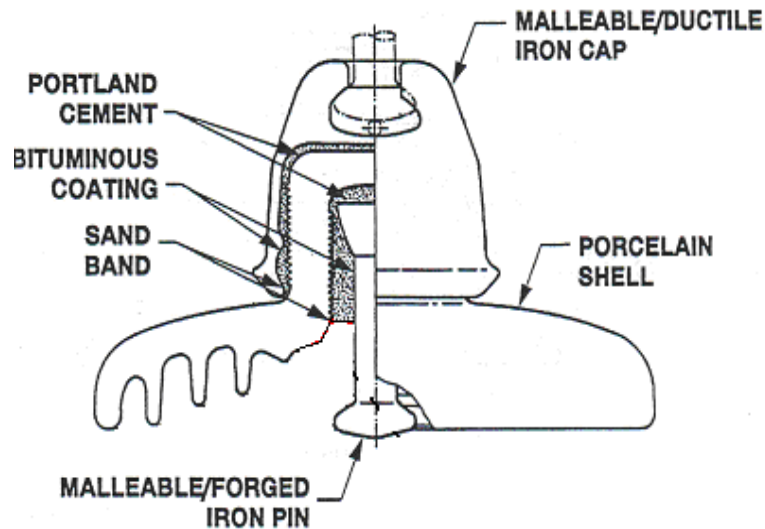


Figure.II.1 : modèle d'isolateur étudié

Les dimensions des isolateurs utilisés sont : Type-A : diamètre d'éléments : 280mm, hauteur : 170mm et la ligne de fuite L_f : 350mm. De même, les dimensions de Type B est : diamètre : 330 mm, hauteur : 170 mm, L_f : 540 mm et pour le Type C diamètre : 380 mm, hauteur : 205 mm et L_f : 590 mm respectivement.

Les données de profil réel de l'isolateur sont transférées manuellement à l'ordinateur pour les simulations. La permittivité des matériaux utilisés 6 pour céramique/porcelaine, 2,6 pour ciment, 2.14 pour polystyrène, 1000 pour le métal et 1 pour l'air entourant chaîne d'isolateur. Les tensions appliquées sont : 11, 75, 100,125 et 400kV.

Résultats Et Discussions

D'après (figure.II.2, 3), ils ont constatés l'influence de la couronne de garde sur équipotentiel du la chaîne d'isolateur type A (400 KV).

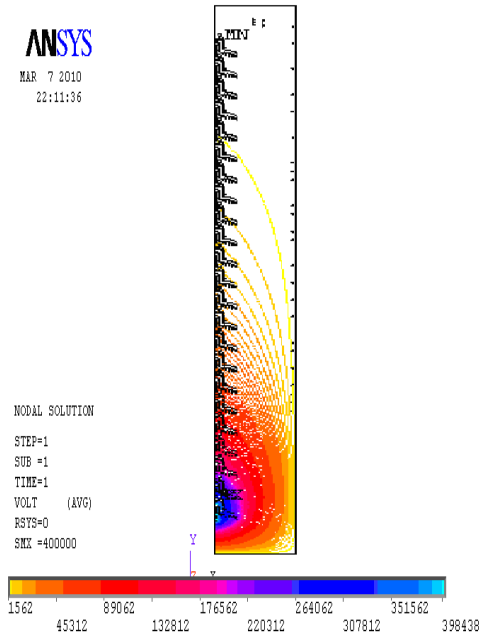


Figure II.2 : équi-potentiel de la chaîne d'isolateur type A sans couronne de garde (400 KV)

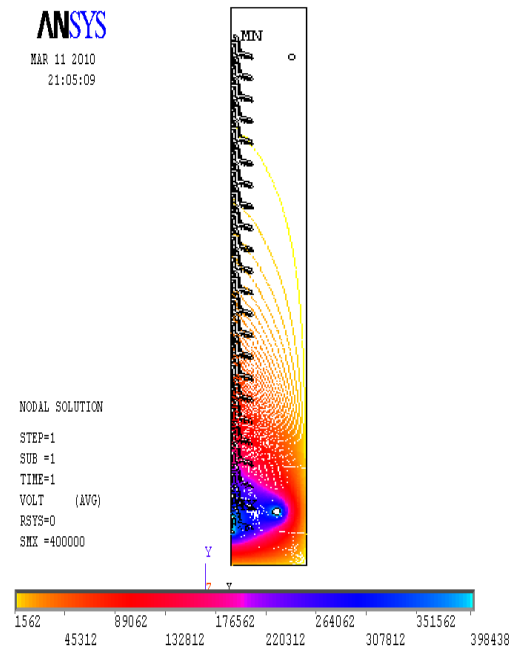


Figure II.3 : équi- potentiel de la chaîne d'isolateur type A avec couronne de garde (400 KV).

(Figure.II.4, 5) montrent la répartition du potentiel et du champ électrique d'un isolateur type A.

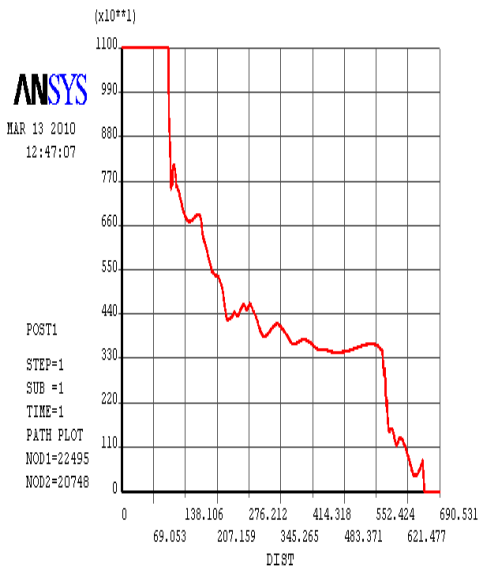


Figure II.4 : distribution du potentiel au niveau d'isolateur type A

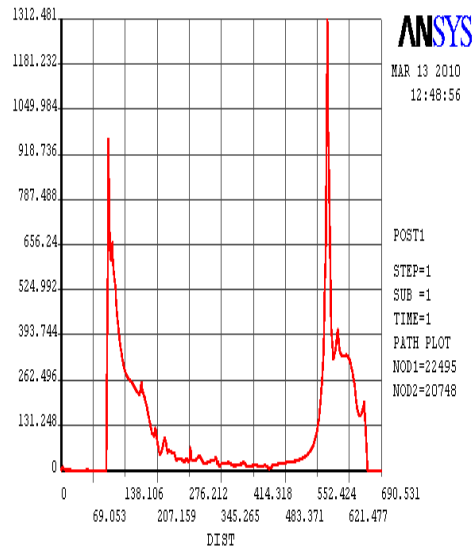


Figure II.5 : distribution du champ au niveau d'isolateur type A

(Figure II.6) représente une comparaison de potentiel pour isolateur type A avec et sans couronne de garde.

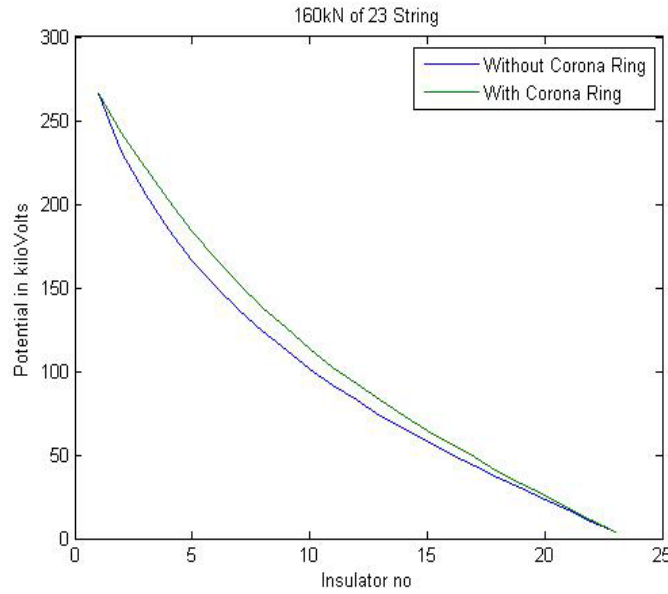


Figure II.6 : comparaison de potentiel d’isolateur type A avec et sans couronne de garde.

Les (fig. II 7, 8, 9, 10, 11,12) montrent l’influence de la couronne de garde sur la distribution du champ électrique le long des chaines d’isolateur type A, B et C.

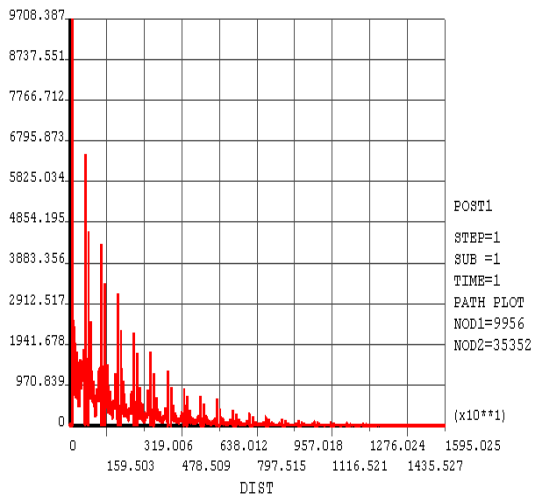


Figure II.7 : distribution du champ électrique d’isolateur de type A (400 kv) sans couronne de garde

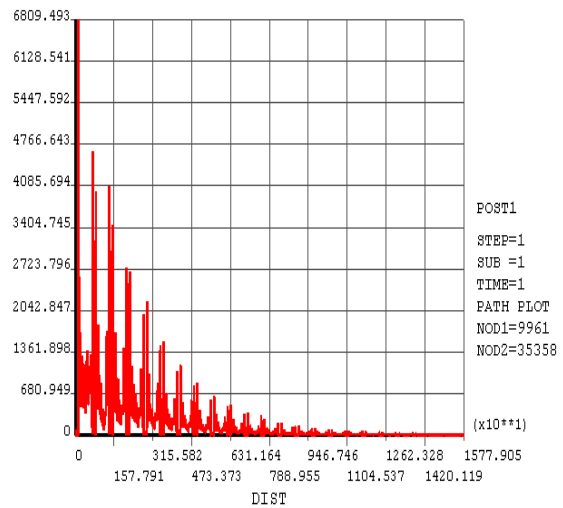


Figure II.8 : distribution du champ électrique d’isolateur de type A (400 kv) avec couronne de garde

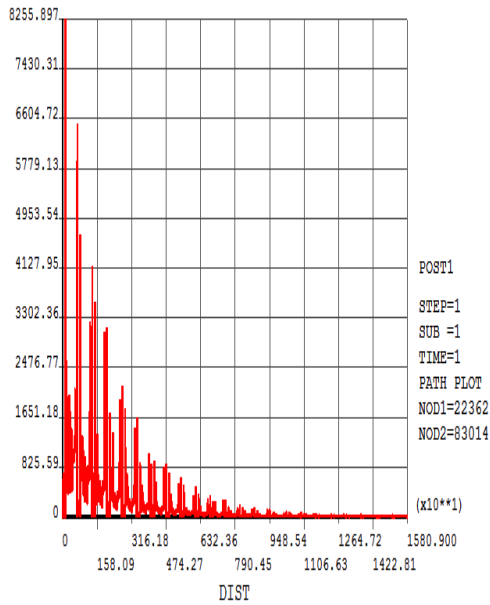


Figure II.9 : distribution du champ électrique d'isolateur de type B (400 kv) sans couronne de garde

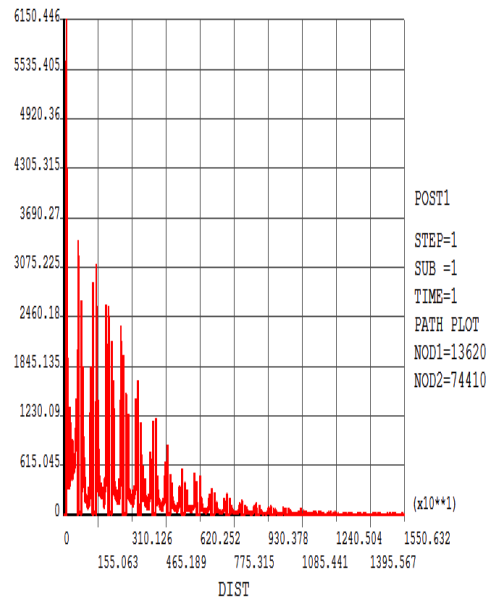


Figure II.10 : distribution du champ électrique d'isolateur de type B (400 kv) avec couronne de garde

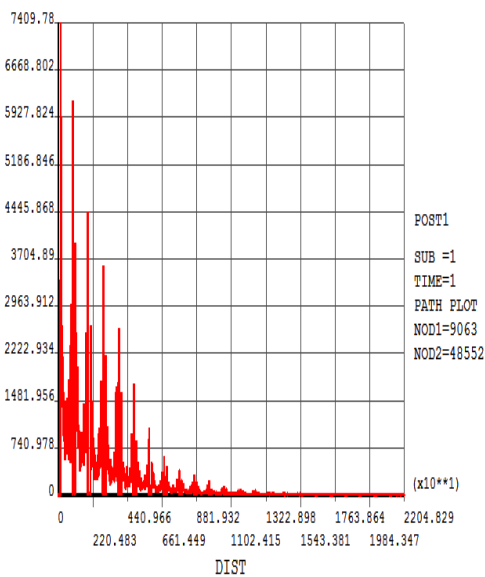


Figure II.11 : distribution du champ électrique d'isolateur de type C (400 Kv) sans couronne de garde

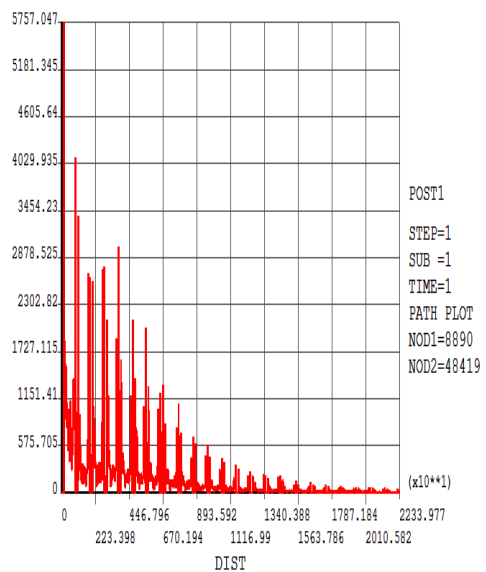


Figure II.12 : distribution du champ électrique d'isolateur de type C (400 KV) avec couronne de garde

Conclusion :

Calculs du champ électrique aident à l'amélioration de la conception et l'identification des zones vulnérables.

Le champ électrique augmente en fonction de la tension appliquée sur tout dans les endroits critique (tige-céramique, céramique-capot).

II.1.2.Travaux de B. M'hamdi, M. Tegar et A. Mekhaldi : [17]

Introduction

Dans le présent travail, les auteurs ont étudié la distribution du potentiel et du champ électrique le long d'une seule chaîne d'isolateur (I), deux chaînes d'isolateurs en parallèle (II) et deux chaînes d'isolateurs forme (V) sous tension alternative 400kV sans couronne de garde ou avec différent diamètres et positions verticale de couronne de garde. Les simulations sont effectuées par le logiciel COMSOL Multiphysics 3.5 qui est basé sur la méthode des éléments finis.

Modèle d'isolateur utilisé

Le modèle d'isolateur incluant dans les différentes chaînes d'isolateur I, II et V est de type F160D-146DC à capot et tige en verre trempé (spécification CEI 60672.3), il est caractérisé par un diamètre $\varnothing = 420$ mm, hauteur $h=146$ mm et le chemin de fuite $L_f=375$ mm. Les données de profil réel de l'isolateur sont transférées manuellement à l'ordinateur pour les simulations. La permittivité des matériaux utilisés 7 pour le verre, 3 pour le ciment et 1 pour l'air, le diamètre de tube de la couronne de garde est 30mm. La tension appliquée est 400kV. Figure II.13 montre les différentes géométries I chaîne, II chaînes et V chaînes.

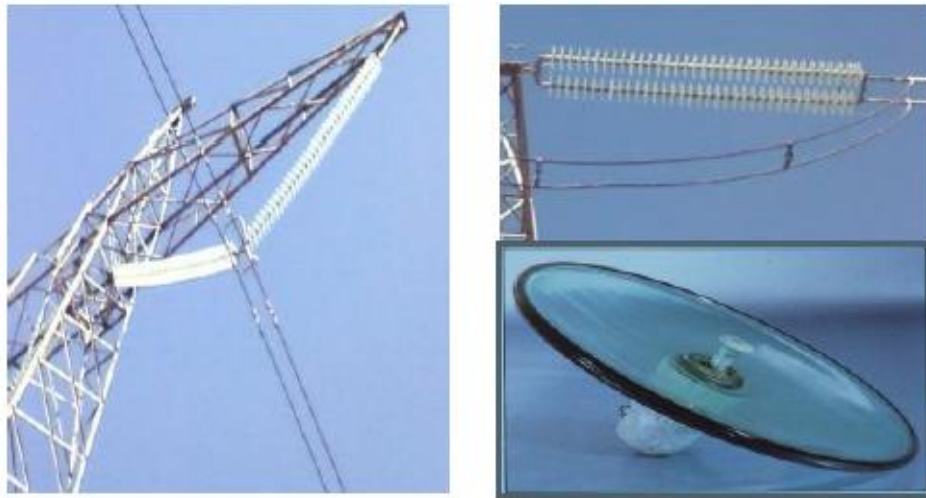


Figure.II.13. Isolateurs et st anneau utilisé pour cette étude.

Résultats Et Discussions

D'après la figure II.14 montre la distribution du champ le long d'une chaîne d'isolateur V Sans et avec couronne de garde.

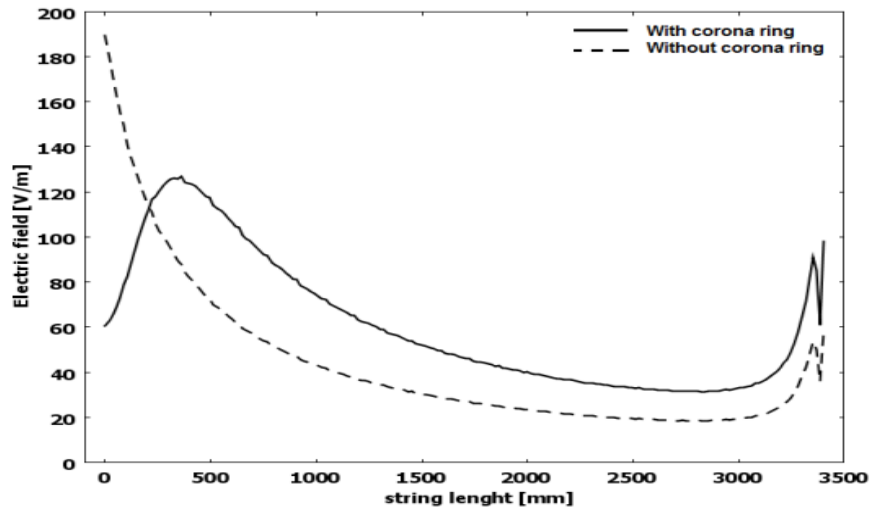


Figure.II.14 : Répartition du champ électrique V-chaîne sans ou avec couronne de garde.

(Figures II. 15) illustrent l'influence de la hauteur de la couronne de garde sur la distribution du champ électrique.

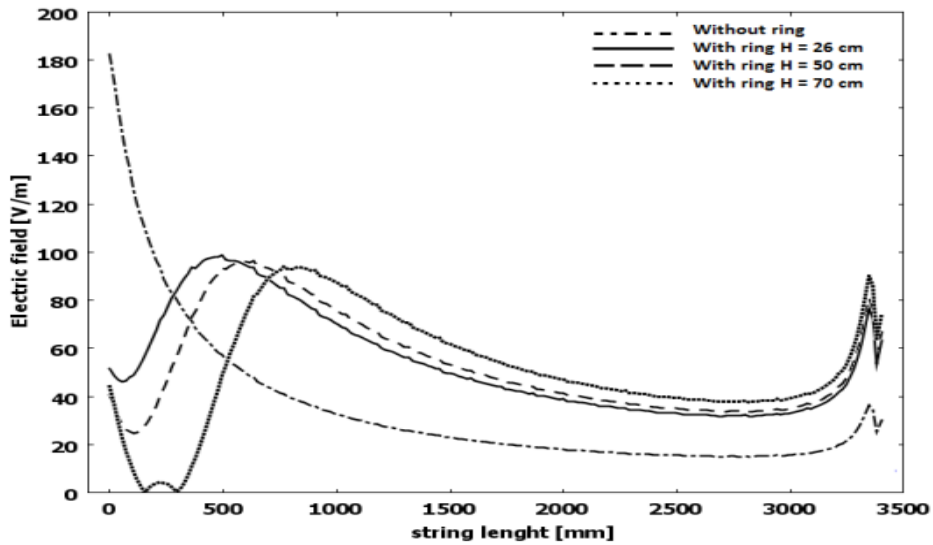


Figure II.15 : distribution du champ en hauteur de l'I-chaîne de (400 kv) couronne de garde.

(Figure II.16) montre l'influence de la couronne de garde sur la répartition du potentiel le long d'une chaîne d'isolateur.

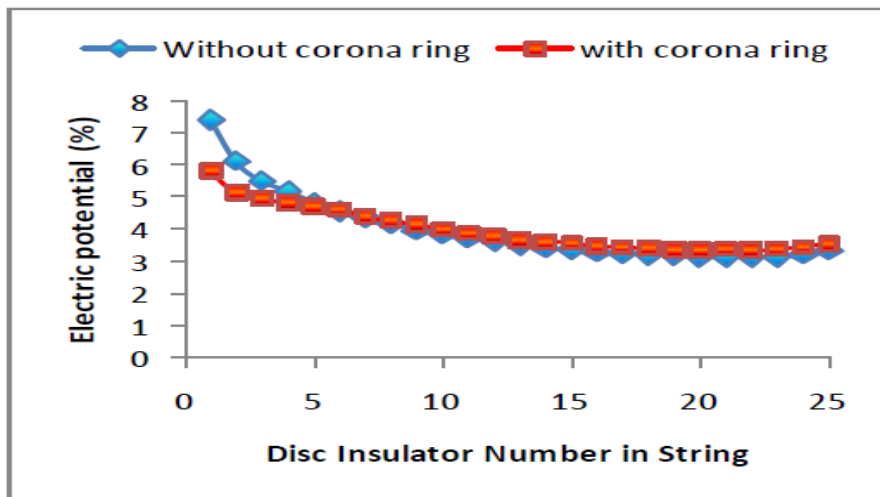


Figure II.16 : Comparaison de la distribution du potentiel électrique pour les simulations avec ou sans couronne de garde.

Conclusion

Calculs de champs aident à l'amélioration de la conception et l'identification des zones vulnérables.

Habituellement dans la distribution du champ électrique, l'amplitude du champ électrique est élevée au niveau de côté HT, diminue de façon exponentielle le long de la chaîne. L'amplitude augmente légèrement à niveau à la fin de la terre.

La distribution du champ électrique le long de la chaîne d'isolateurs sans couronne de garde est élevée. Tandis que sa présence peut diminuer l'amplitude de champ électrique pour des niveaux appréciables, changer la position d'apparition de son maximum et conduit à la distribution de tension uniforme.

La hauteur de couronne de garde a une influence significative sur le champ électrique et le potentiel. Sur la base de la position verticale de la couronne de garde à côté de l'HV, le champ électrique obtient sa valeur minimale. La hauteur idéale pour un isolant HV sera différente d'un isolant à l'autre.

Quand la couronne de garde est placée plus proche de côté HT, le champ électrique obtient sa valeur minimum.

II.1.3. Travaux de Chakravorti et Mukherjee : [18]

Ils ont développé un algorithme basé sur la méthode de simulation de charges, pour calculer la distribution du champ électrique sur un isolateur de haute tension, sous pollutions uniforme et non-uniforme. Le produit de la résistivité électrique du contaminant (Ω/m) et l'épaisseur de la couche de pollution (m) donne un seul paramètre ρ_s , appelé la résistivité surfacique. Ils ont trouvé que pour des $\rho_s \geq 10^{11} \Omega$, le champ est capacitif. Alors que pour $\rho_s \leq 10^8 \Omega$, il est résistif. Pour des valeurs intermédiaires, le champ est capacitif-résistif. La valeur maximale du champ électrique résistif est deux fois plus grande que celle correspondante au champ capacitif. Ce maximum se produit dans la pointe de la plus haute ailette.

Pour la pollution non-uniforme, une très grande surtension est apparue dans les jonctions de deux milieux avec deux résistivités surfaciques différentes. Une pollution

partielle de la surface de l'isolateur proche des électrodes, mène vers une surtension supérieure à celle dans le cas de la pollution uniforme. L'effet des zones sèches a été aussi étudié. Plus la zone sèche est large, moins il y aura une surtension au niveau des frontières de la zone sèche. La position de la zone sèche n'a pas une grande influence sur le champ électrique au niveau des frontières de cette zone. [19]

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons résumé un certain nombre de travaux de recherche qui préoccupent les chercheurs, dans le domaine de la pollution des isolateurs. En effet, nous avons rappelé les principaux travaux rapportés dans la littérature, en vue de décrire la distribution du potentiel et du champ électrique.

Chapitre III

DISTRIBUTION DU POTENTIEL ET DU CHAMP ELECTRIQUE

Chapitre III : Distribution Du Potentiel Et Du Champ Électrique

INTRODUCTION :

La modélisation est une étape importante dans toute simulation numérique. En particulier, elle permet de définir et d'étudier les caractéristiques géométriques et physiques du problème étudié ; proposer un modèle simplifié qui soit le plus proche de la réalité.

L'objectif principal de cette simulation est de calculer la distribution du potentiel et du champ électrique le long d'un isolateur. Comme il était très difficile de mesurer expérimentalement la distribution du potentiel et le champ électrique le long d'un isolateur, l'utilisation d'une méthode numérique par l'intermédiaire d'un logiciel s'est avérée être une des meilleures solutions.

En effet, la méthode des éléments finis est la mieux adaptée au problème posé. Les logiciels basés sur cette méthode numérique couvrent généralement un domaine plus vaste que le problème étudié et dans certains cas ils ne répondent pas aux exigences spécifiques du problème.

Cependant, ils offrent souvent une interface simplifiant la modélisation du problème (interface de conception et définition des propriétés des matériaux), la résolution du problème (définition des conditions initiales et conditions aux limites, maillage automatique ainsi que différents solveurs) et enfin, la visualisation des résultats (affichage des résultats sous forme de courbes, d'équipotentiels, de vecteurs, etc...). [19]

III.1.COMSOL Multiphysics :

Le COMSOL Multiphysics 4.3, est un outil très employé dans des secteurs divers de recherche, car il facilite 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, l'utilisation de logiciel ne demande pas de connaissances approfondies dans les mathématiques ou les analyses numériques. [20]

III.1.1.L'interface graphique de COMSOL :

Au démarrage du logiciel, le navigateur de modèle apparaît. En sélectionnant l'option 'Module Electrostatics (es)' pour construire une géométrie surfacique et spécifier les conditions aux limites et les propriétés physiques de l'isolateur, COMSOL procède à l'exécution des étapes. [21]

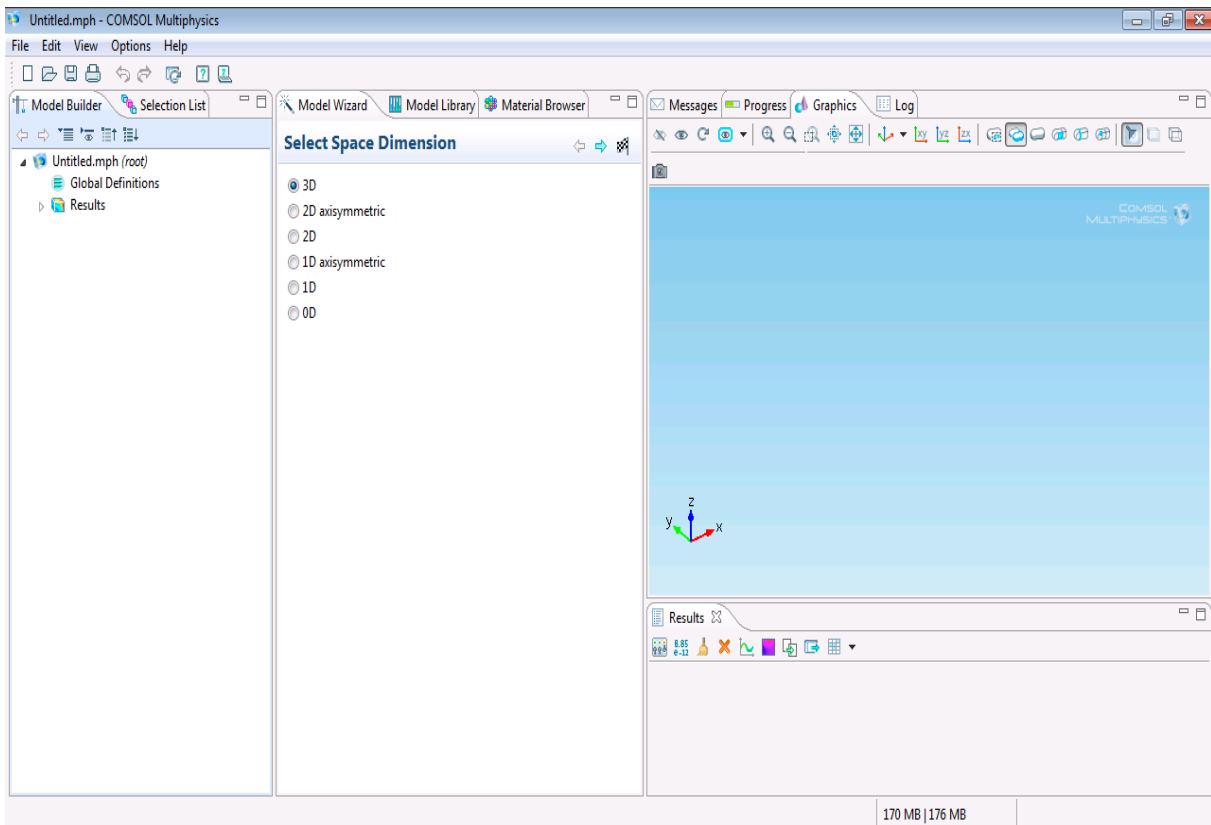


Figure III.1. Fenêtre de démarrage le logiciel

Après on choisit « select space » pour préciser les dimensions du travail (0D, 1D, 1D Axisymétrique, 2D, 2D axisymétrique ou encore en 3D).

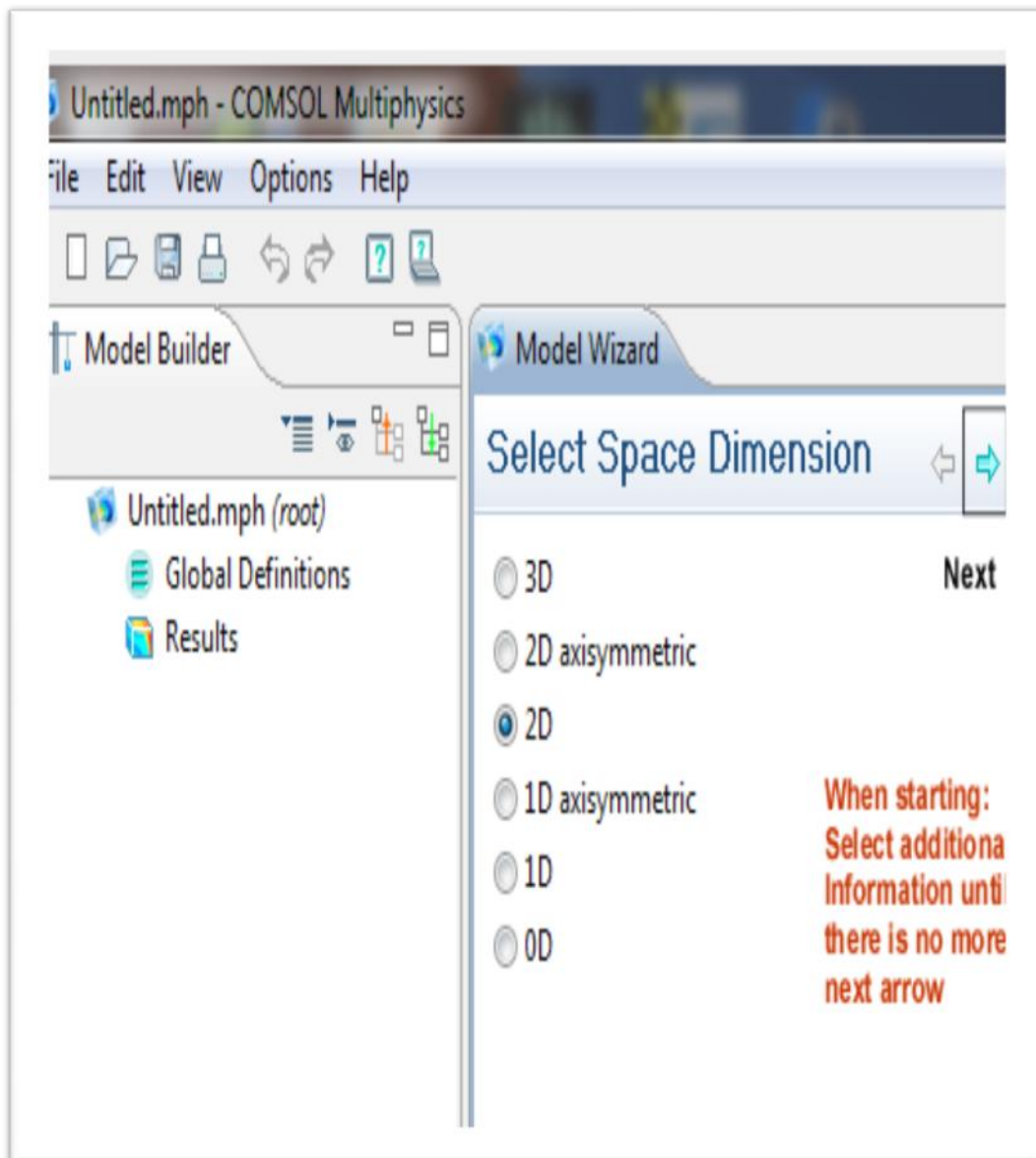


Figure III.2. Fenêtre de « SELECT SPACE »

Dans cette étape, on choisit le type de champs physique du modèle (PHYSICS). Pour notre cas on choisit « ELECTROSTATICS ».

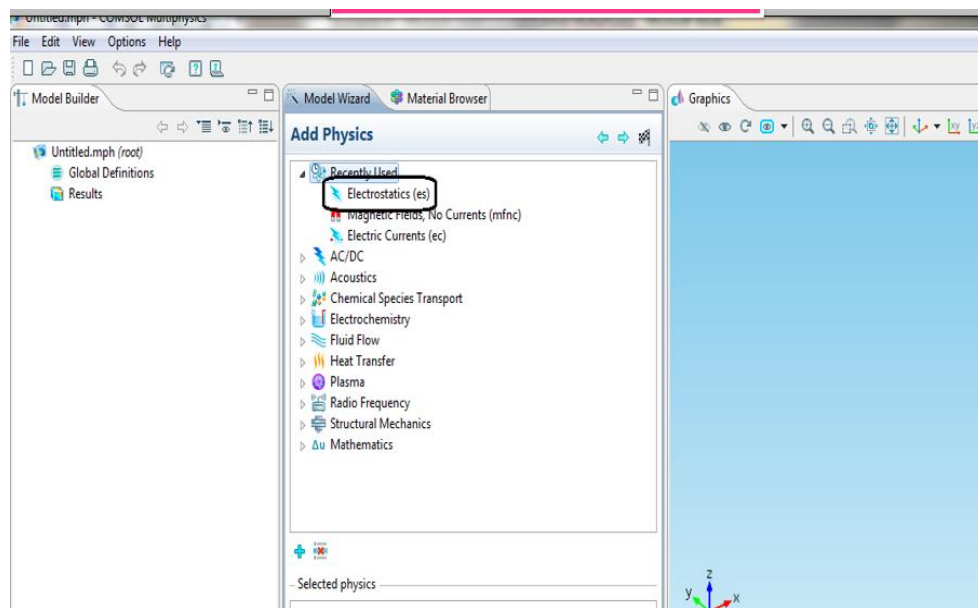


Figure III.3. Fenêtre de « ADD PHYSICS(MODEL) »

La prochaine étape est de sélectionner le type d'étude qu'on doit appliquer « SELECT STUDY TYPE ». Dans cette étude on choisit le type « STATIONARY ».

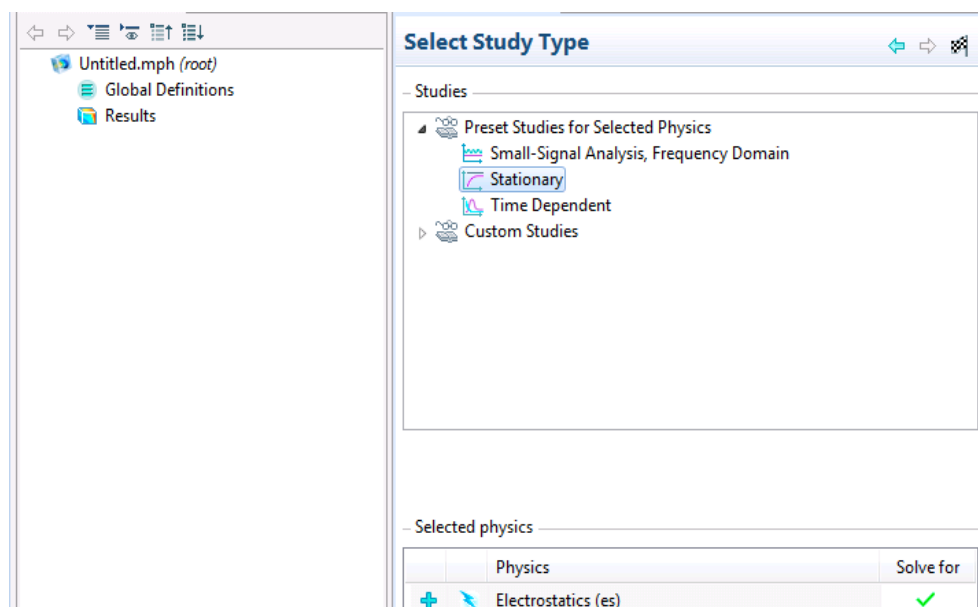


Figure III.4. Fenêtre “SELECT STUDY TYPE”

Ce logiciel utilise la méthode des éléments finis, la simulation de l'isolateur (F 160D-146DC) peut se résumer dans les étapes successives suivantes :

La première étape consiste à définir la géométrie entière en deux dimensions de l'isolateur par COMSOL. Une place importante dans le processus de modélisation crée la géométrie.

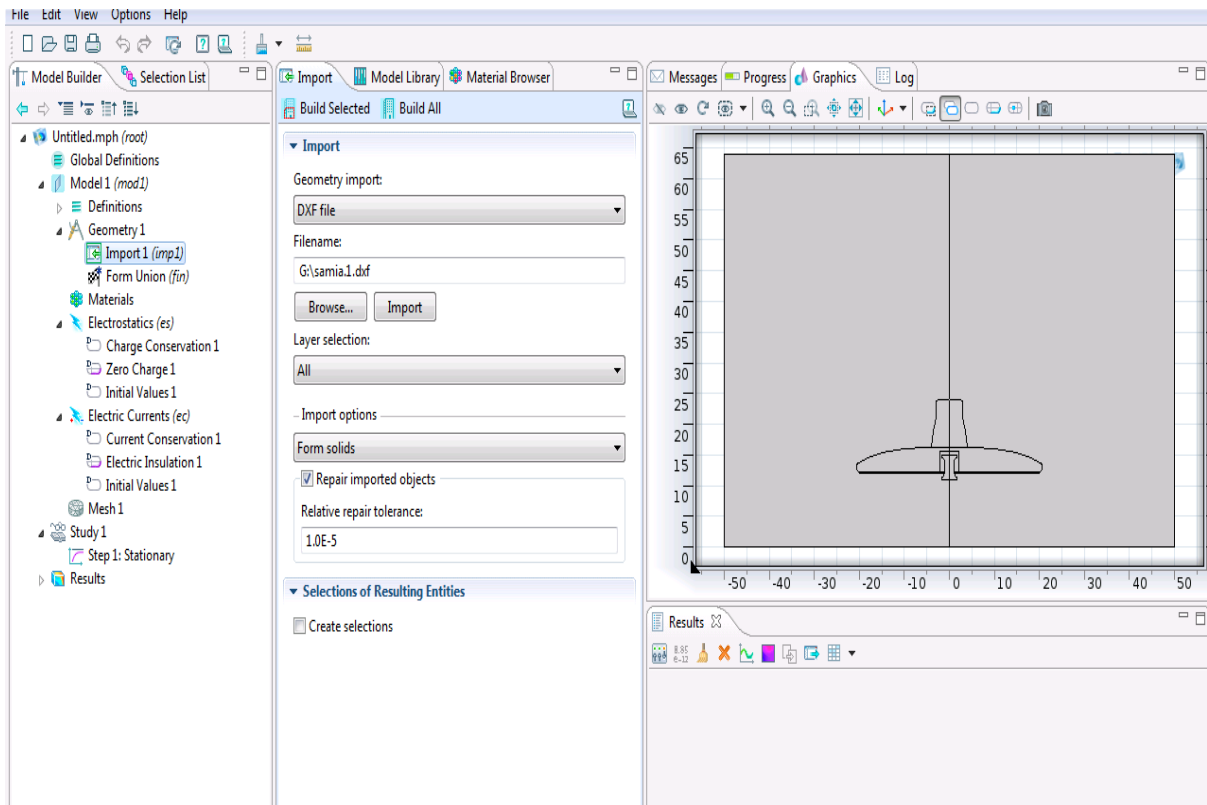


Figure III.5. Géométrie d'isolateur

La deuxième étape porte sur la définition des propriétés électriques des matériaux présents.

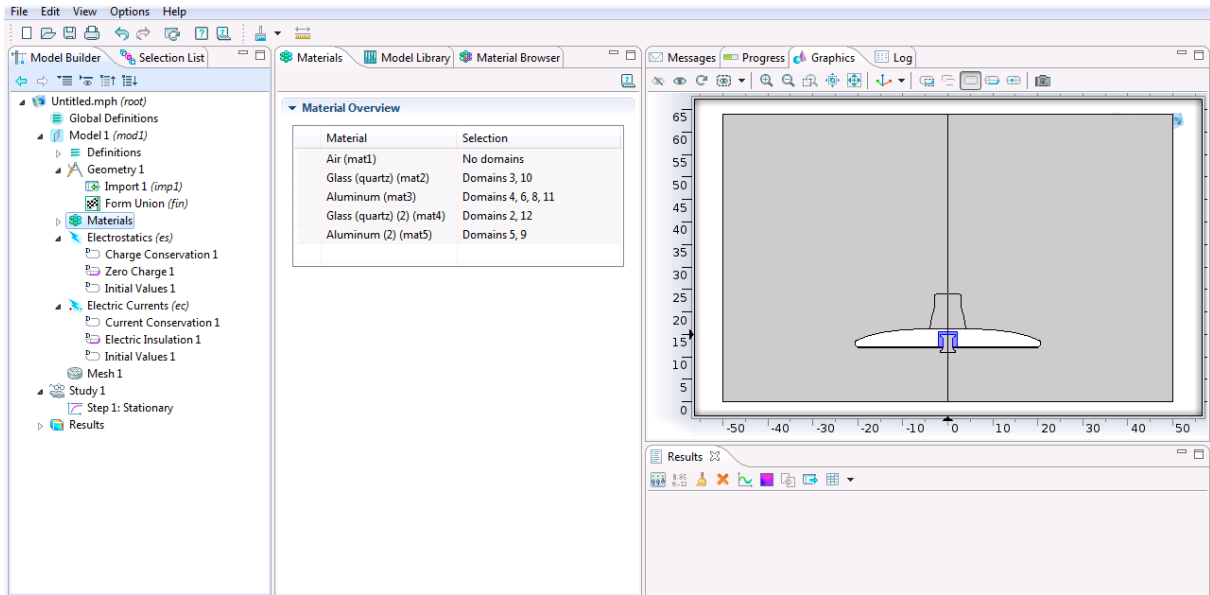


Figure III.6. Matériaux de l'isolateur

Cela consiste à définir les permittivités relatives et les conductivités électriques pour chaque partie de l'isolateur.

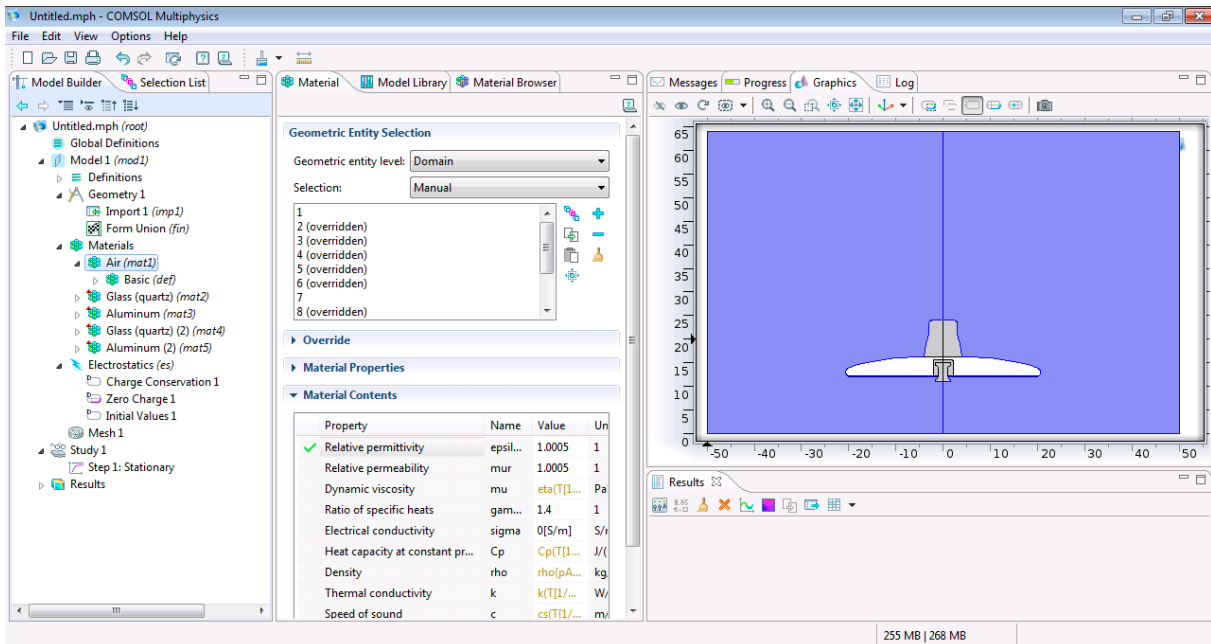


Figure III.7. permittivités relatives et conductivités électriques pour chaque partie de l'isolateur.

Après, on sélectionne le Type de champs physique à utiliser ‘ELECTROSTATIC’. Dans ce cas on doit préciser l’emplacement de la mise à terre ‘GROUND’, et la borne de tension «ELECTRIC POTENTIEL» où la tension est appliquée.

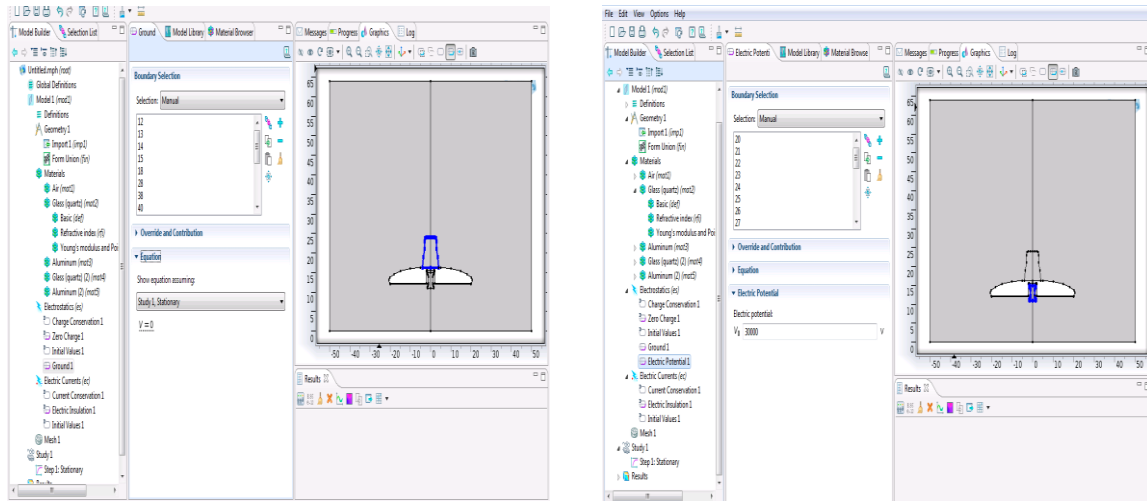


Figure III.8. Conditions aux limites.

COMSOL propose un maillage adéquat qui est plus dense autour des formes de petite dimension et un maillage moins dense ailleurs. Les dimensions de maillage peuvent aussi être modifiées manuellement selon le choix de l'utilisateur.

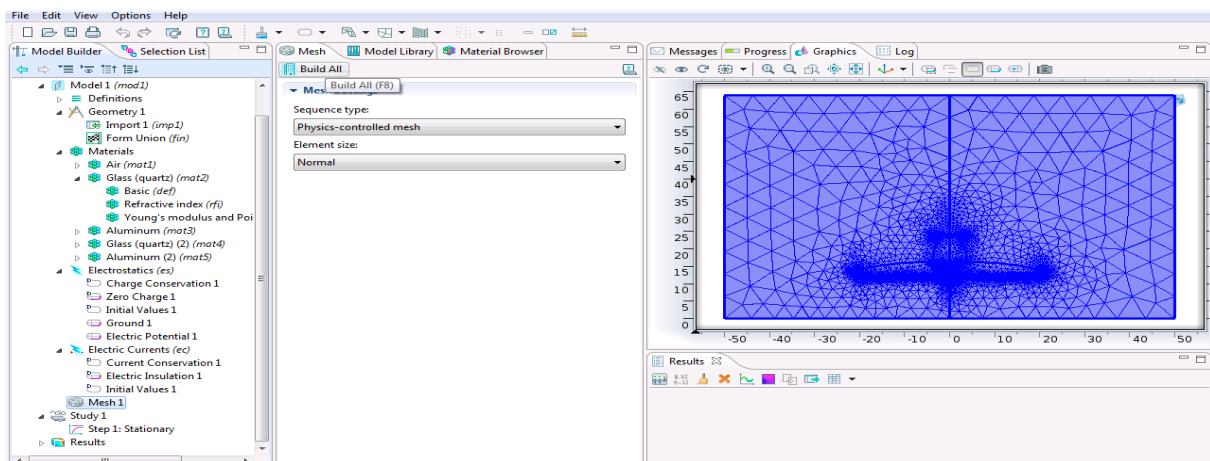


Figure III. 9. maillage d'isolateur

La dernière étape consiste en l'affichage des résultats comme le potentiel et le champ électriques avec leurs modules, suivant chaque partie de l'isolateur et leurs répartitions spatiales. [22]

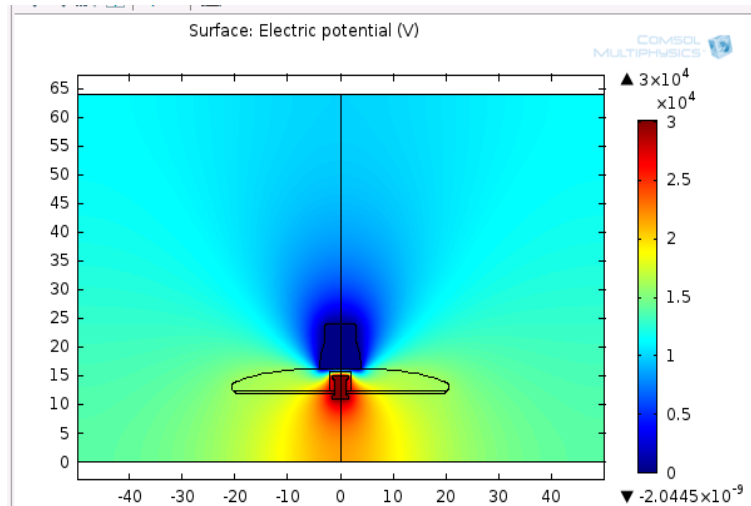


Figure III.10. Résultats de simulation

III.2. Simulation :

Dans la simulation, nous avons choisi deux modèles d'isolateur (F 160D-146DC) :

Le premier modèle est un plan qui est constitué de trois parties ayant des propriétés différentes : le verre ayant une permittivité relative de 6, les électrodes en aluminium de permittivité relative de 1000000 et de conductivité de 369000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, rattachés aux couches polluées ayant une permittivité relative de 80 et dont nous varierons la conductivité. L'air entourant l'isolateur a une permittivité de 1.

Le deuxième modèle est un isolateurs réel qui est constitué de trois parties ayant des propriétés différentes : le verre ayant une permittivité relative de 6, le capôt et la tige en métal de permittivité relative de 1000000 et de conductivité de 1000000, rattachés entre eux par du ciment ayant une permittivité relative de 5. L'air entourant l'isolateur a une permittivité de 1.

Les principales dimensions du modèle plan étudié et de l'isolateur réel F 160D-146DC sont données dans les tableaux III.1 et III.2 après avoir mesuré les différentes grandeurs à l'aide d'un mètre ruban.

Les caractéristique d'un isolateur réel et modèle plan sont représentées par les tableaux III.1 et III.2.



Figure III.11. Isolateur F160D-146DC.

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Charge minimum de rupture mécanique	160 KN
Diamètre du disque	420 mm
Poids	8 Kg
Dimension de fixation métallique, IEC 60120	20
Longueur de fuite	375 mm
Pas	146 mm

Tableau III.1 : Caractéristiques de l'isolateur réel (IEC 60305).

Grandeur	Longueur (mm)
Longueur de la Plaque	435 mm
Largeur de la Plaque	435 mm
Epaisseur de la Plaque	5 mm
Distance inter-électrode à l'état pollué	375 mm

Tableau III.2 : Dimensions du modèle plan étudié.

III.2.1. Modèle plan :

III.2.1.1. Etude du potentiel :

III.2.1.1.1. Influence de la largeur de la couche propre :

Nous sommes intéressés à la détermination de la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite de l'isolateur en fonction de la largeur. Pour cela nous avons introduit dans le logiciel des différentes largeurs des couches propres : ($L_1 = 1\text{cm}$, $L_2 = 3\text{cm}$, $L_3 = 5\text{cm}$).

Une tension constante de 30kv et une conductivité de $1000\mu\text{S/cm}$.

D'après les figures (III.1 ; III.2 ; III.3) nous remarquons que

- Pour le cas ou $L_1 = 1\text{ cm}$, $L_2 = 3\text{ cm}$, le potentiel diminue brusquement au niveau des couches propres et lentement au niveau des couches polluées.
- La variation de la largeur de la couche propre a une influence légère sur la répartition du potentiel au niveau de la couche propre. La forme reste la même.
- Pour le cas $L_3 = 5\text{cm}$ (c'est-à-dire $3 \cdot L_3 > 1/3 L_f$), la répartition du potentiel est plus proche que celle de l'état propre. C'est résultats sont en bon concordance avec des résultats expérimentaux trouvés par Tegar et El Mihoub [22] [23]

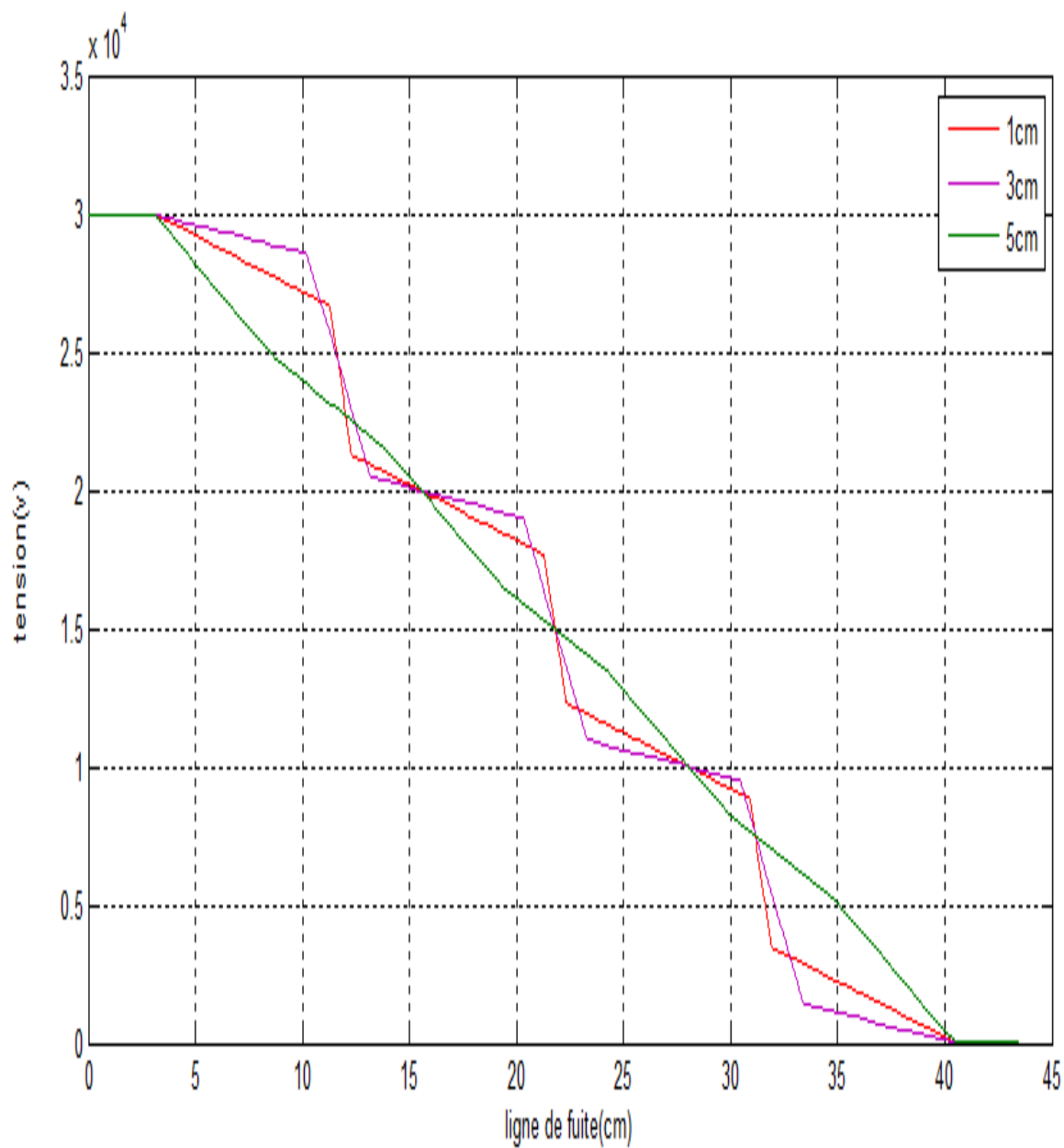


Figure III.12 : potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur

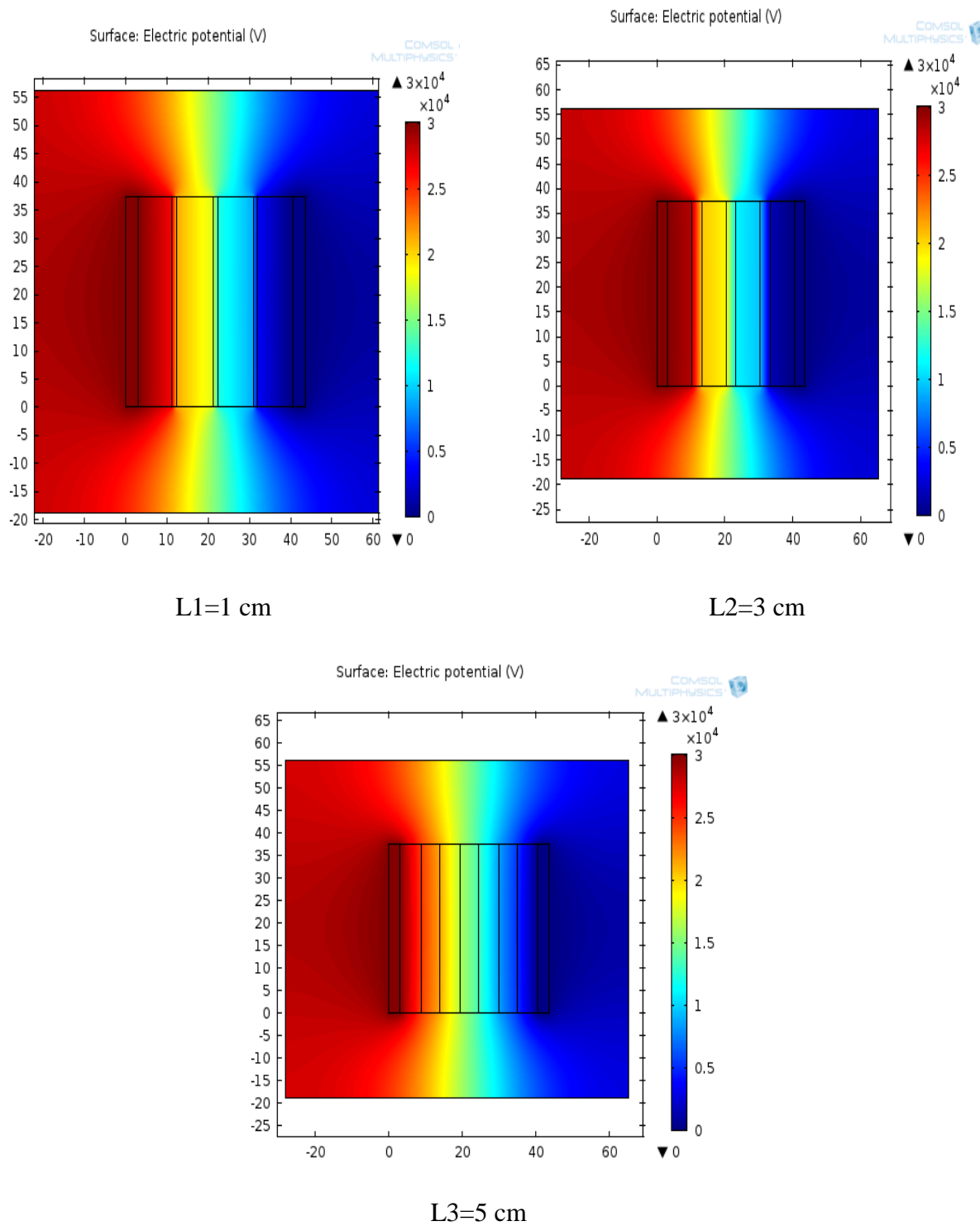


Figure III.13. Distribution du potentiel électrique en fonction de la largeur de la couche propre (L1), (L2) et (L3).

III.2.1.1.2. Influence de la conductivité :

Pour déterminer la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite du modèle plan d'isolateur en fonction de la conductivité, nous avons introduit dans le logiciel des différentes valeurs de conductivité (0, 500, 1000, 2000 μ S/cm), une tension constante de 30kv et une largeur de la couche propre fixe de 3cm.

D'après la figure (III.14) et (III.15) nous constatons que :

- La variation de la conductivité (500, 1000, 2000 μ S/cm), de la couche polluante n'a pratiquement pas d'effet sur le potentiel le long de la ligne de fuite de l'isolateur
- Le potentiel est très important au niveau de l'électrode de haute tension et de la couche polluée puis diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'électrode actif.
- Les trois courbes passent également par des régions où le potentiel reste constant, il s'agit des couches polluées de modèle d'isolateur.
- Pour l'état sec, le potentiel prend la valeur maximale 30 kV au niveau de l'électrode actif puis décroît d'une manière linéaire au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette électrode jusqu'à l'atteinte de l'électrode de masse où le potentiel s'annule.

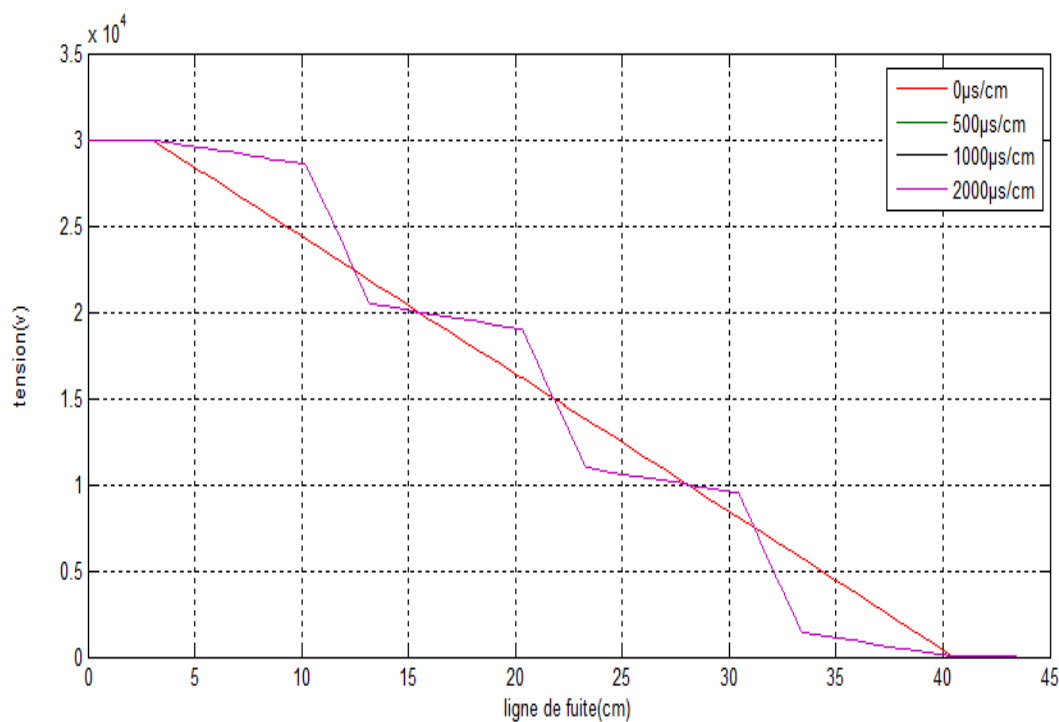


Figure III. 14 : Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur

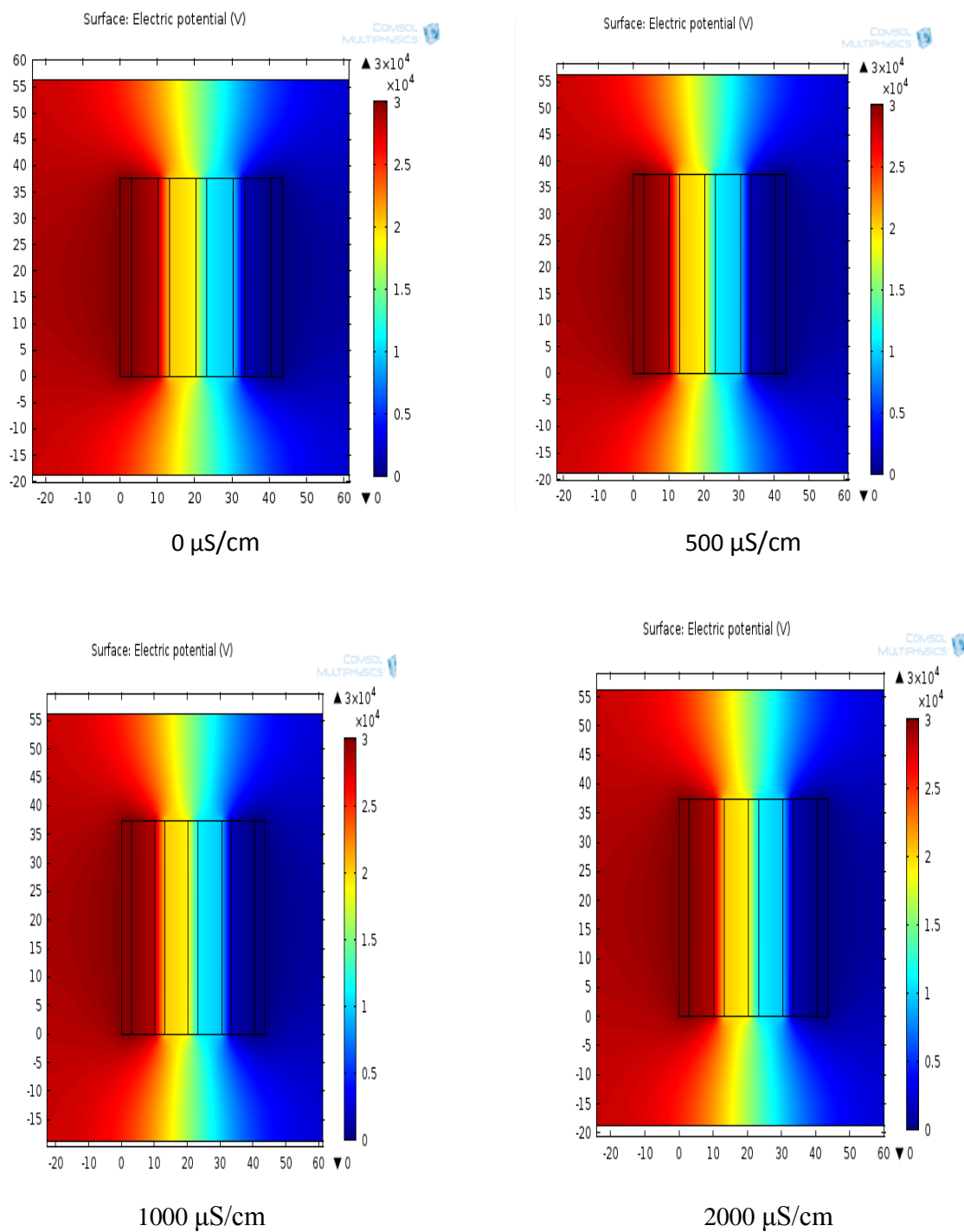


Figure III.15 : Distribution du potentiel électrique en fonction de la conductivité.

III.2.1.1.3. Influence de la tension de la ligne :

Afin d'étudier l'influence de la tension de la ligne sur la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite de l'isolateur, nous avons introduit dans le logiciel quatre valeur de tension de ligne (10, 30,50kV), une conductivité de 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et une largeur de la couche propre de 3cm.

La figure (III.16) et (III.17) donnent la variation du potentiel en fonction de la tension de la ligne, nous remarquons que :

- La figure III.16 donne la variation du potentiel en fonction de la ligne de fuite, nous remarquons que les trois courbes passent également par des régions où le potentiel reste constant. Il s'agit des électrodes et des couches polluées de l'isolateur
- La figure III.17 montre qu'en fonction de la tension, seules les valeurs du potentiel changent, la forme demeure la même.

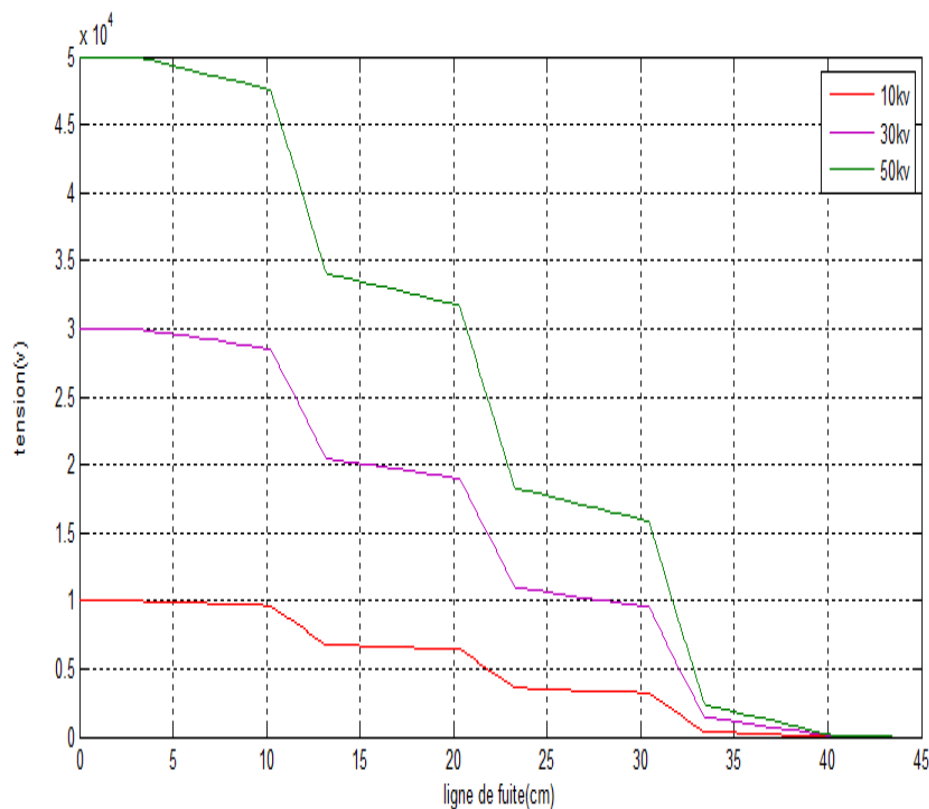
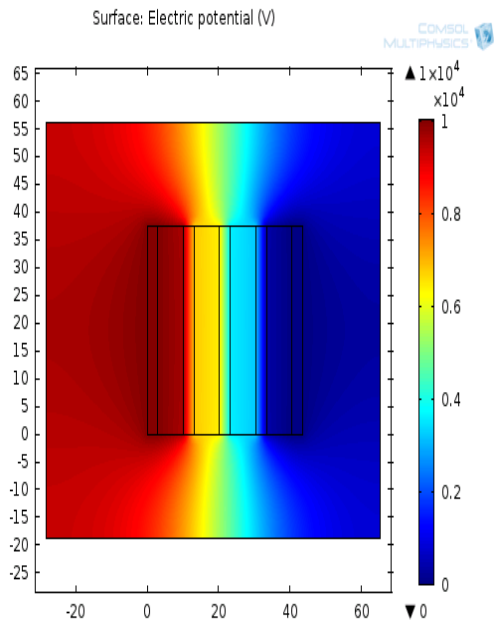
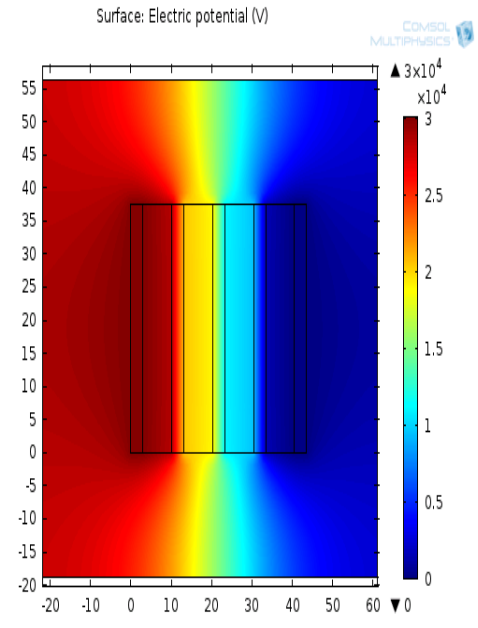


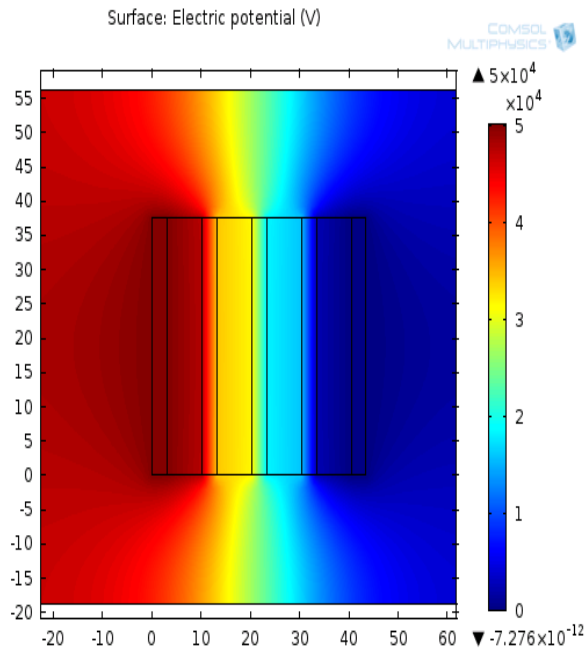
Figure III.16. Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur



10 KV



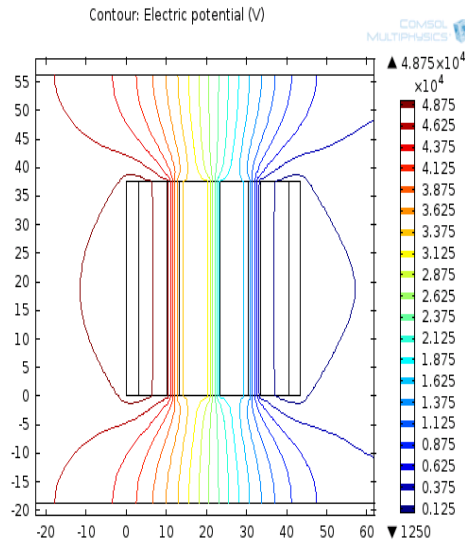
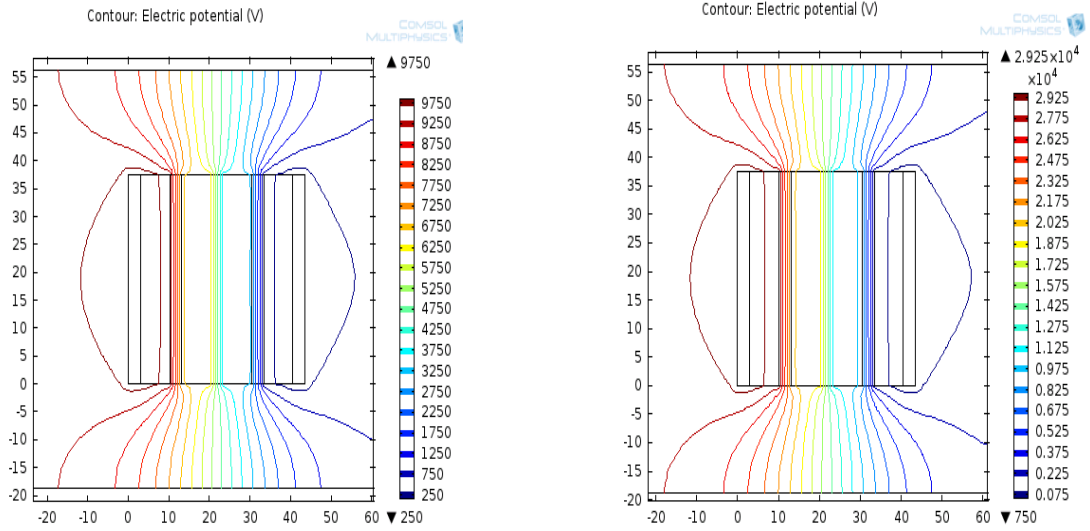
30 KV



50 KV

(a)

Echogrammes



b) ligne de contourne.

Figure III.17. Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne.

III.2.1.2. Distribution du champ électrique

III.2.1.2.1. Influence de la largeur de la couche propre :

D'après les Figures (III .18, III.19) nous constatons que :

- Le champ électrique est plus intense aux niveaux des couches propres ce qui explique expérimentalement l'apparition des arcs électrique aux niveaux des couches propres avant le contournement de modèle plan d'isolateur.
- l'intensité du champ est inversement proportionnelle à la largeur des couches propres, ces résultats sont pareilles à ceux trouvés par CHAKRAVORTI et MUKHERJEE. [19]

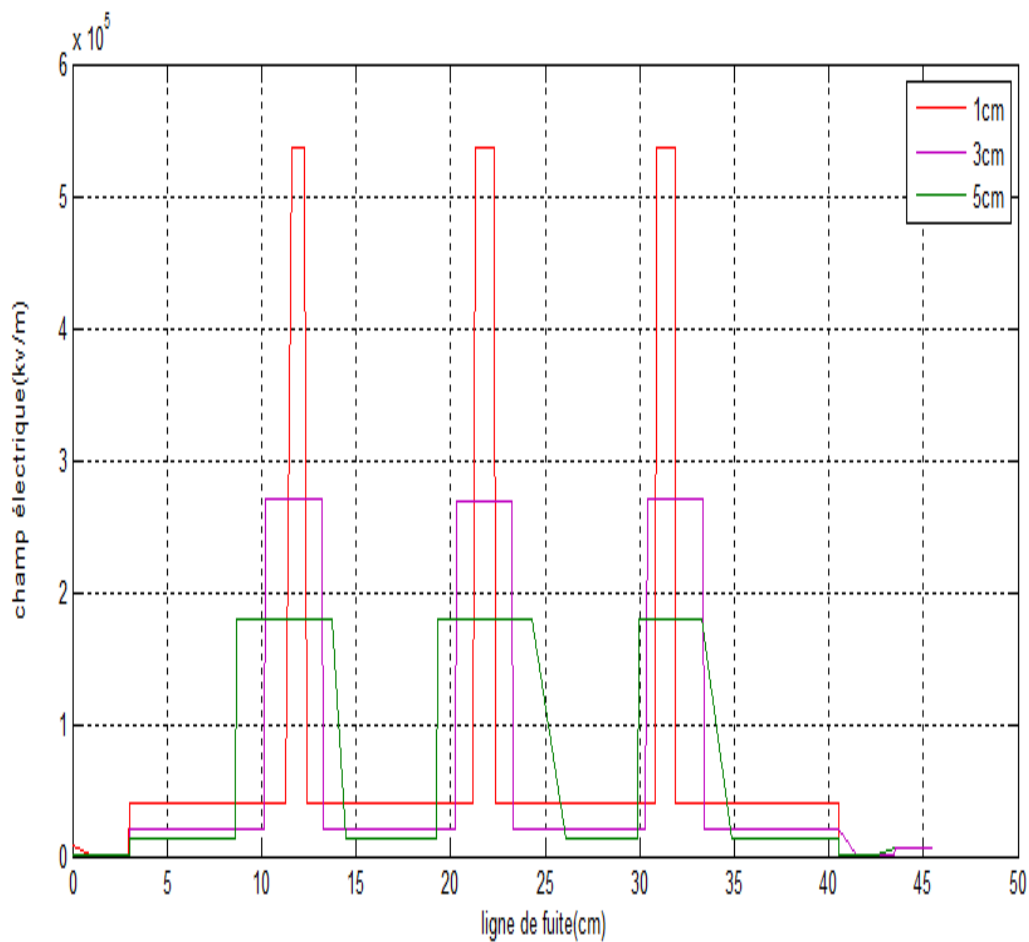


Figure III.18 : Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur.

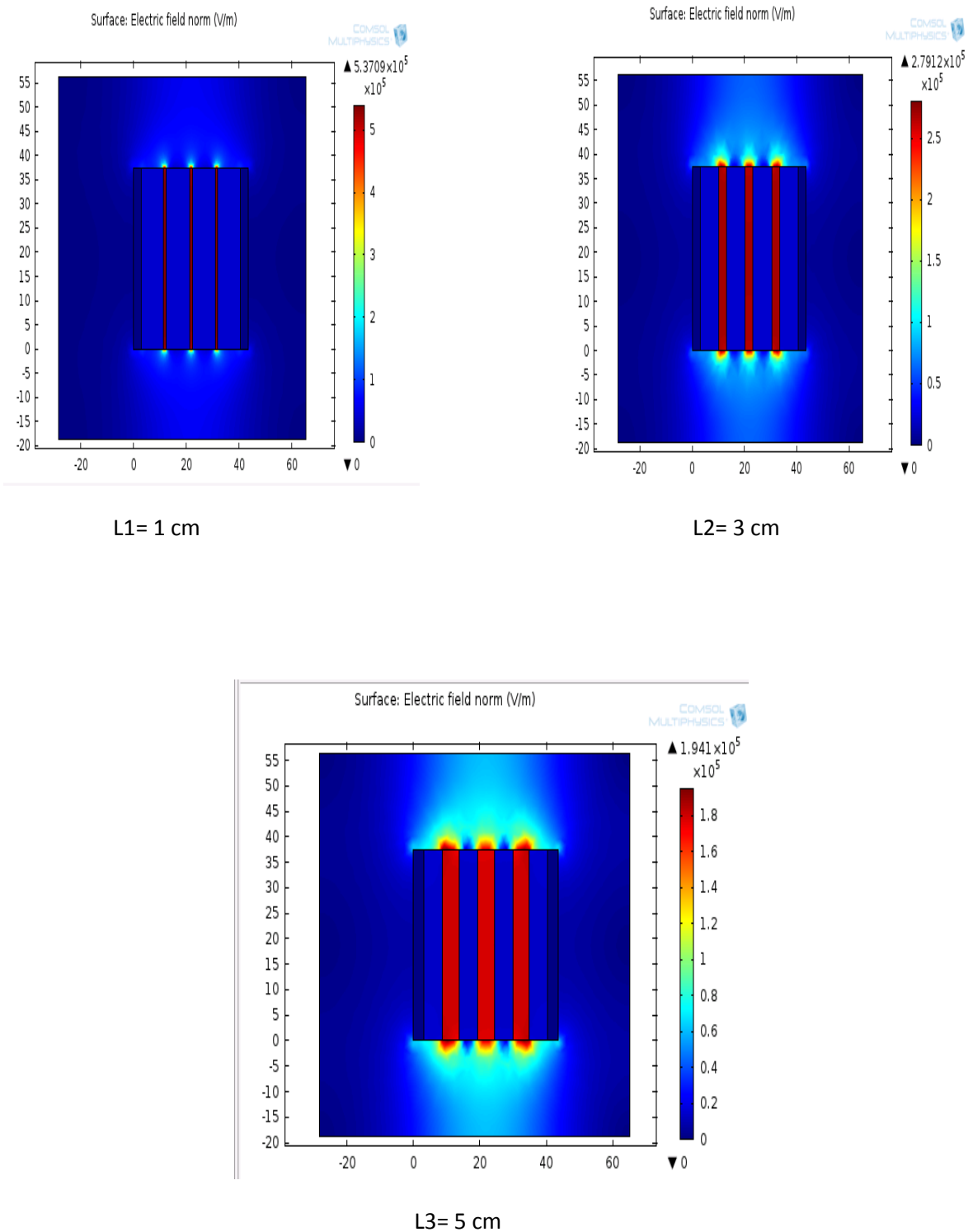


Figure III.19 : Distribution du champ électrique en fonction de la largeur de la couche propre (L1), (L2) et (L3).

III.2.1.2.2. Influence de la conductivité :

Les figures III.20 et III.21 montrent l'influence de la conductivité sur la distribution du champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur, nous constatons que :

- La variation de conductivité n'a aucune influence sur l'intensité du champ électrique.
- Pour le cas sec ($\sigma = 0\mu\text{S/cm}$) le champ est nul à l'intérieur des électrodes et il prend une valeur de (700 kV/m) à l'extrémité intérieure d'électrode actif, l'intensité du champ reste constante le long de la ligne de fuite jusqu'à l'atteinte de l'extrémité intérieure de l'électrode de masse ou le champ s'annule.

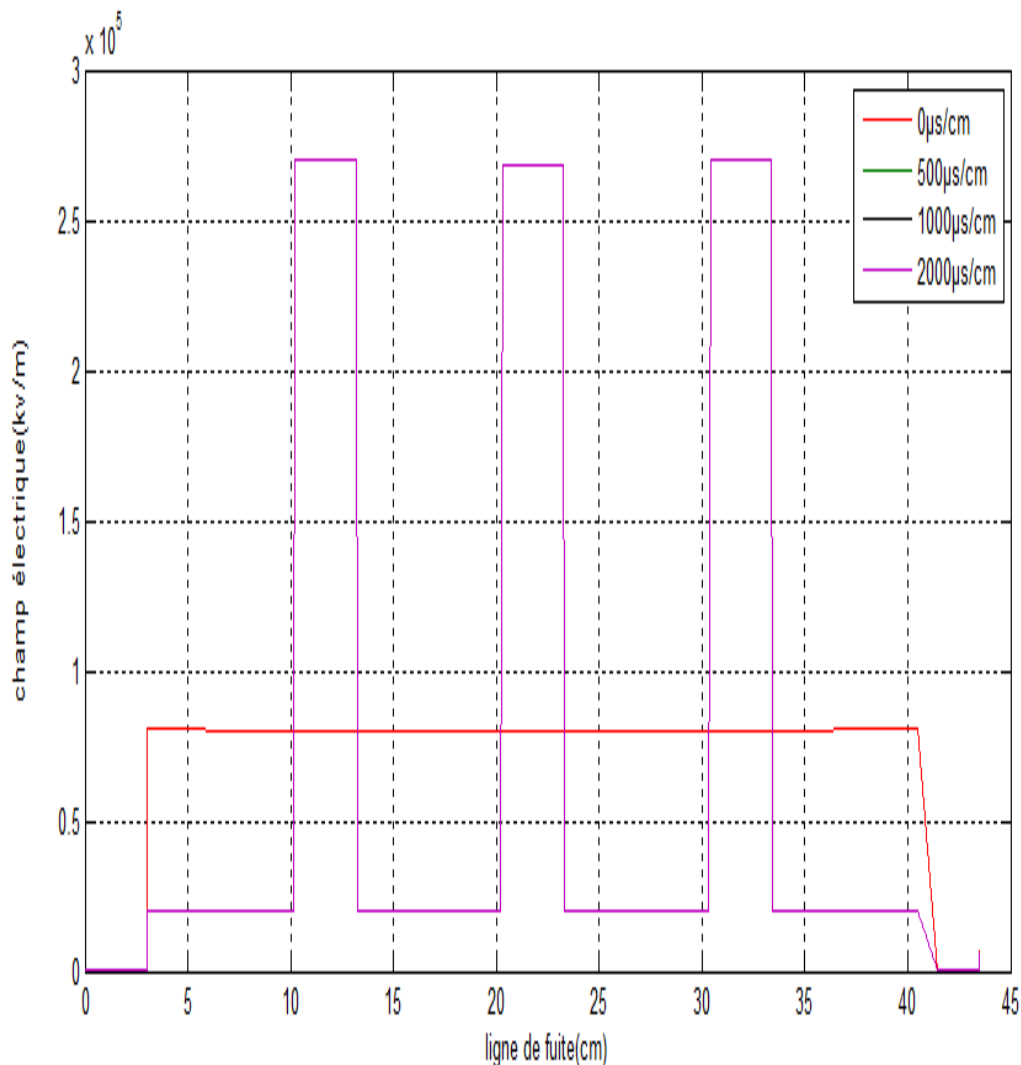


Figure III.20 : Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur.

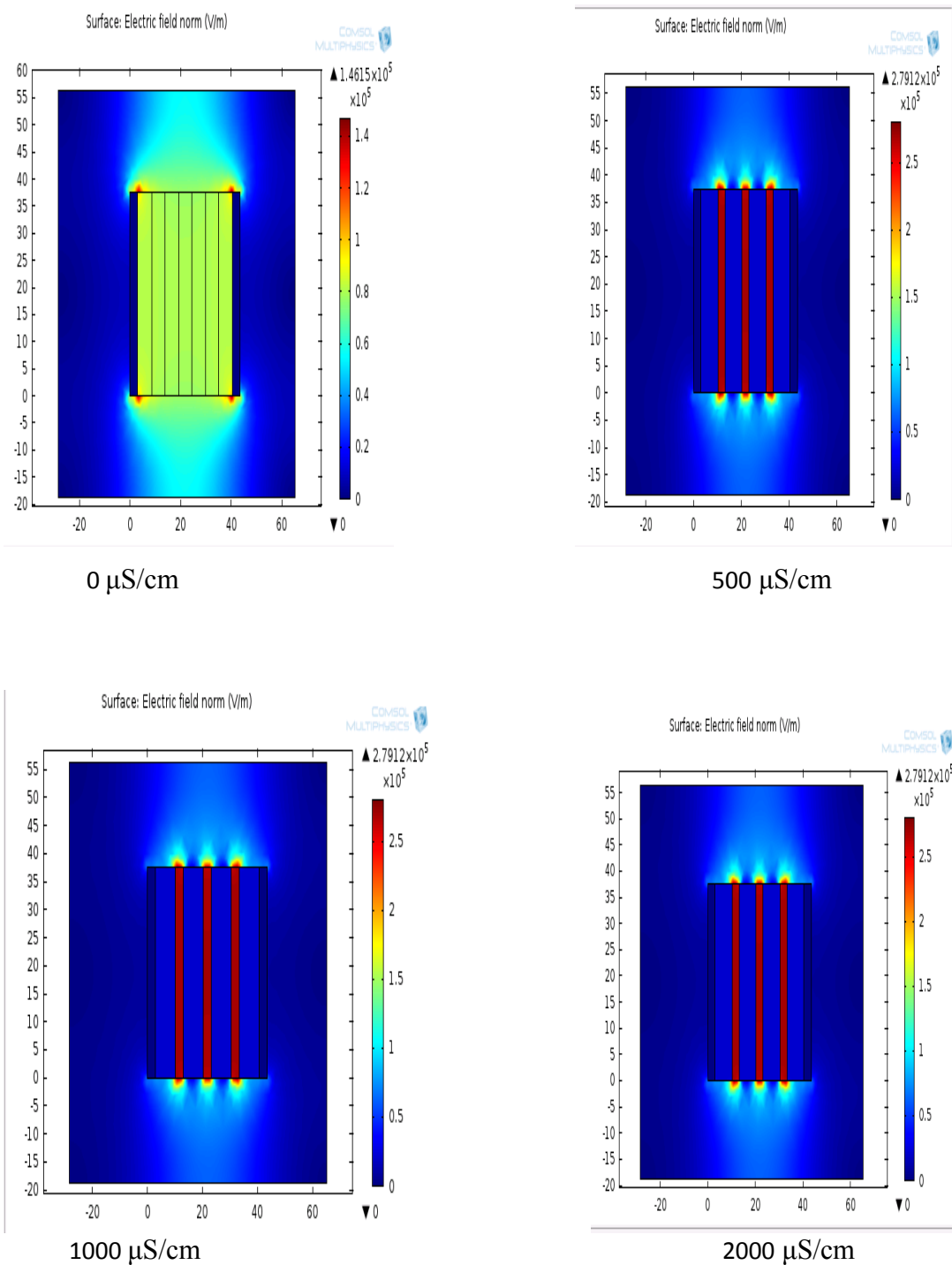


Figure III.21 : Distribution du champ électrique en fonction de la conductivité.

III.2.1.2.3. Influence de la tension de la ligne :

Les figures (III.22 et III.23) nous représentent le champ électrique le long de la ligne de fuite, pour différentes tensions. Selon cette figure, l'accroissement de la tension de la ligne entraîne l'augmentation de l'intensité du champ aux niveaux de la couche propre.

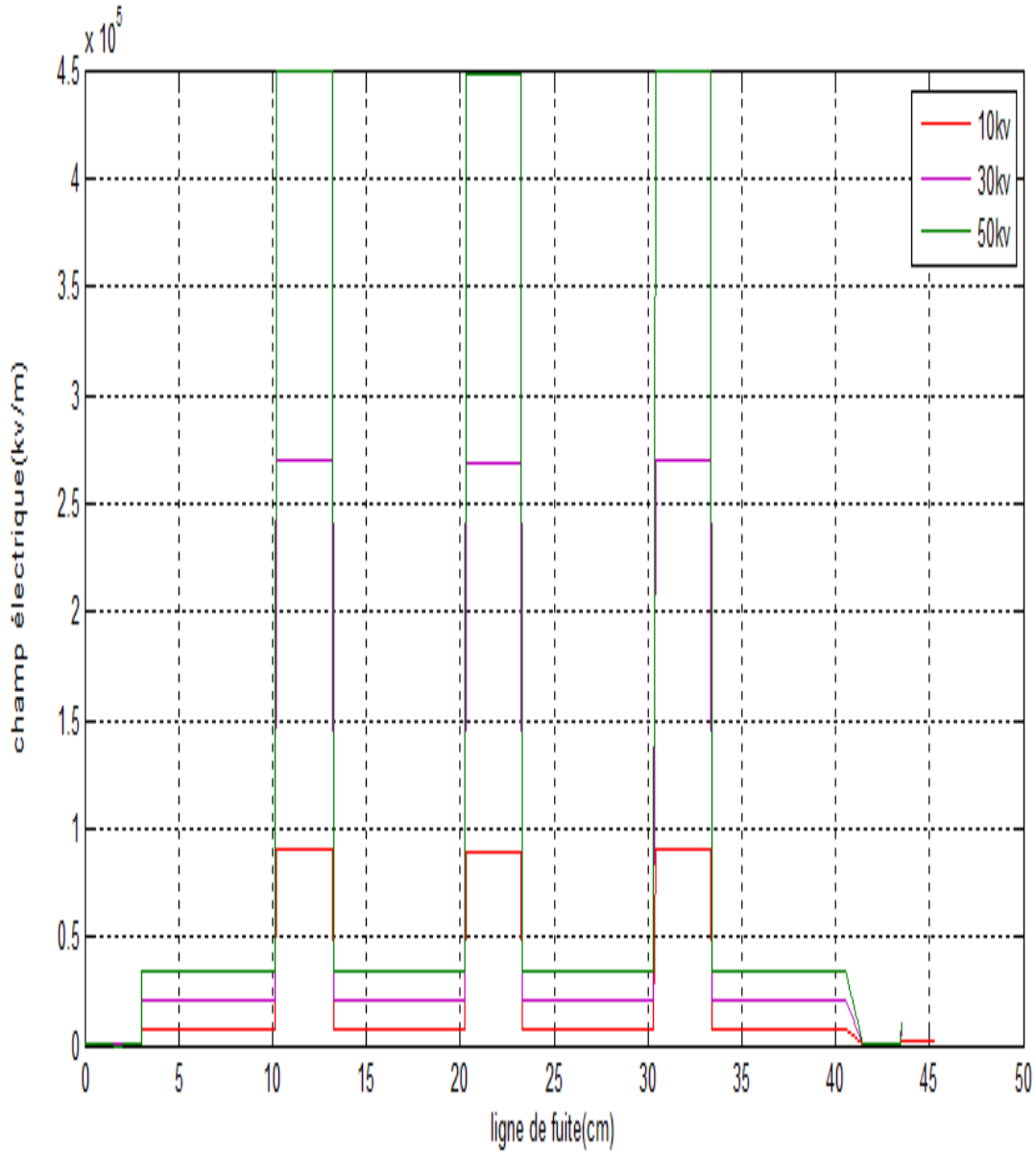
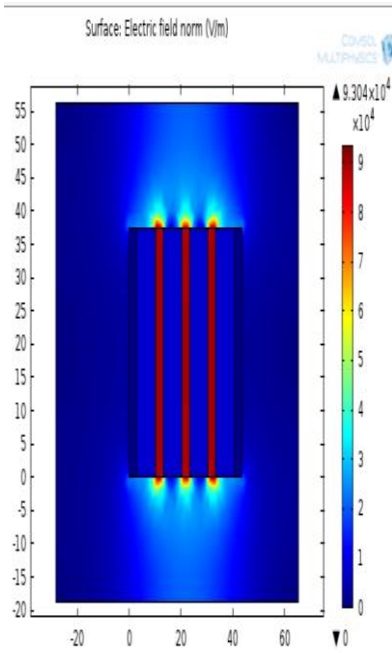
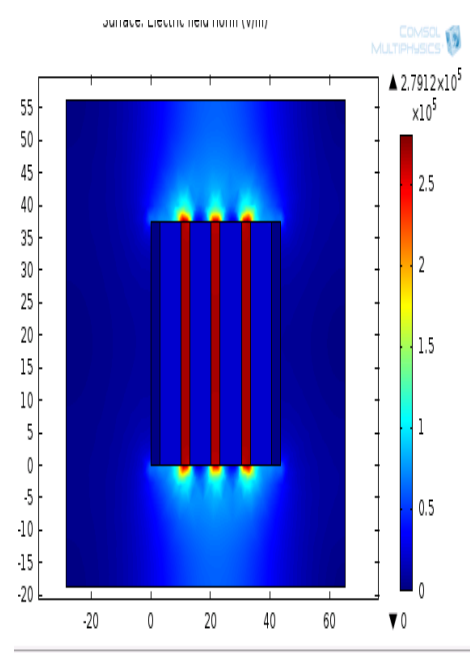


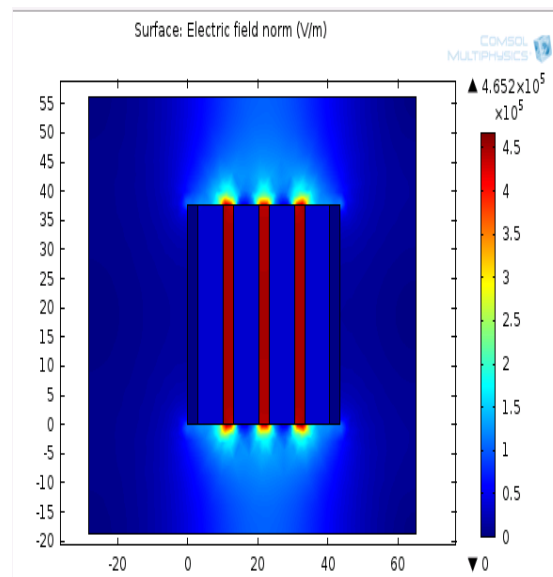
Figure III.22 : Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur



10KV

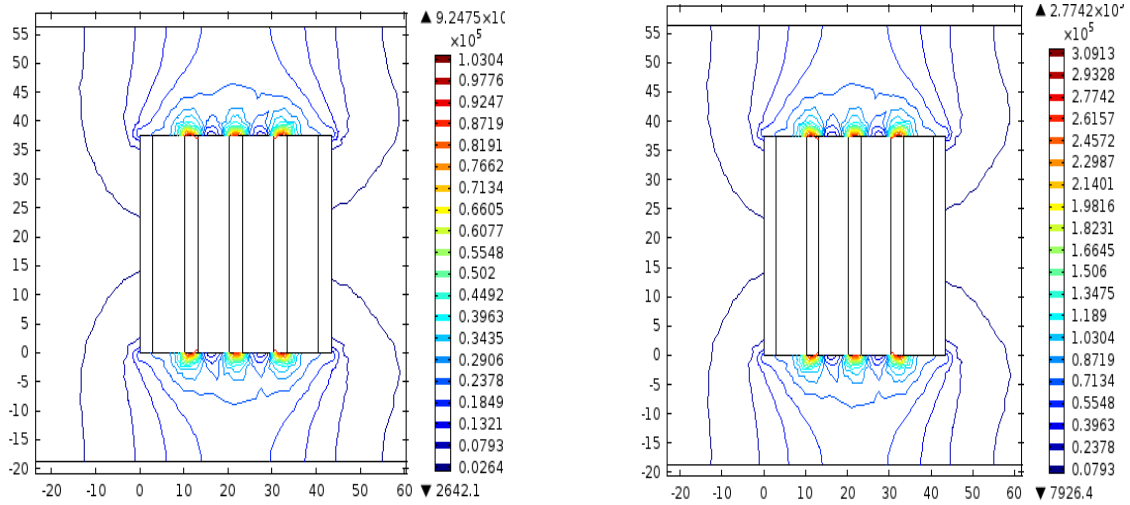


30 KV



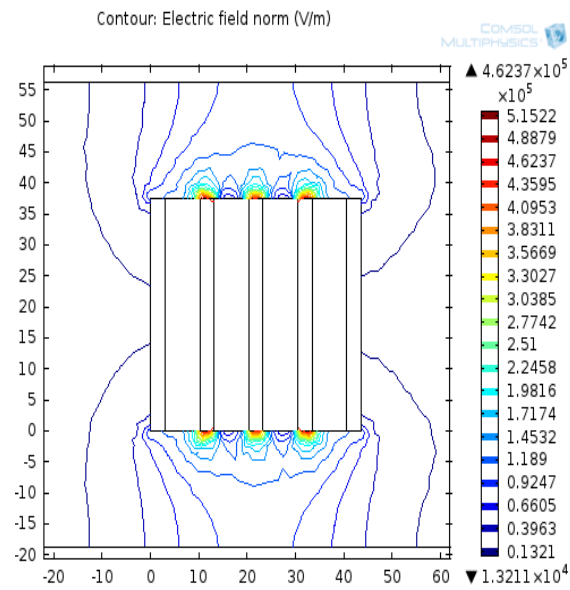
50 KV

(a) Echogramme



10 KV

30 KV



50 KV

(b) Lignes (contours)

Figure III.23 : Distribution du champ électrique en fonction de la tension de la ligne.

III.2.2. Modèle réel :

Cette section est consacrée à l'étude des distributions du potentiel et du champ électriques le long d'une chaîne d'isolateurs **F160D-146DC**.

Pour illustrer l'impact d'un paramètre quelconque noté x , nous traçons le potentiel et le champ en fonction de la ligne de fuite de l'élément, pour différents x .

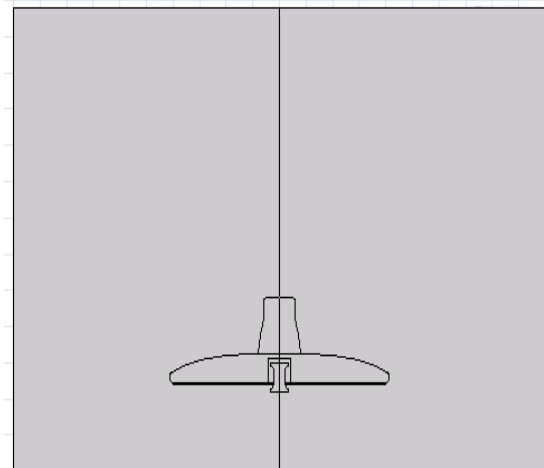


Figure III.24 : isolateur réel

III.2.2.1. Etude du potentiel :

III.2.2.1.1. Influence de la conductivité :

Nous nous sommes intéressés à la détermination de la répartition du potentiel le long de un seul élément d'isolateurs **F160D-146DC**, en fonction de la conductivité.

Pour cela, nous avons introduit dans le logiciel, outre des valeurs de la conductivité déjà considérées lors des essais ($\sigma = 0, 500, 1000, 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) le cas dont la pollution se concentre dans les parties protégées contre les facteurs d'auto nettoyage et aussi un isolateur polluée uniformément avec conductivité de $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

La tension a été maintenue constante et égale à 30 kV. Ceci permet de simuler le comportement d'isolateur de ligne 30 kV.

D'après les figure (III.25, III.26) nous constatons que :

Pour la pollution non-uniforme ($\sigma = 500, 1000, 2000 \mu\text{S/cm}$). Les courbes du potentiel sont confondues trois fois plus grands que le potentiel dans le cas de pollution uniforme.

La forme des courbes de différents états de surface d'isolateur (pollution uniforme et pollution non-uniforme) demeure la même. La seule différence au niveau des valeurs de potentiel.

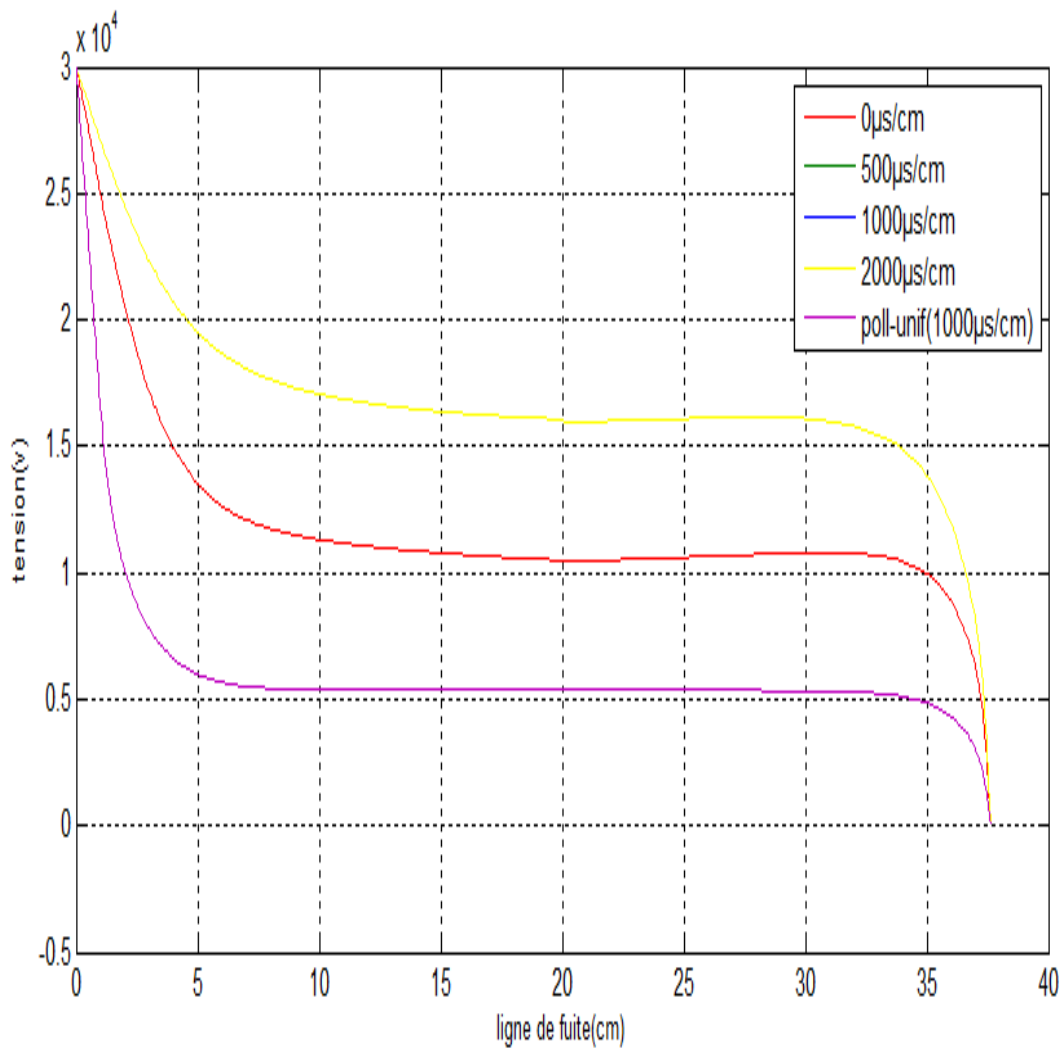


Figure III.25 : Potentiel électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur

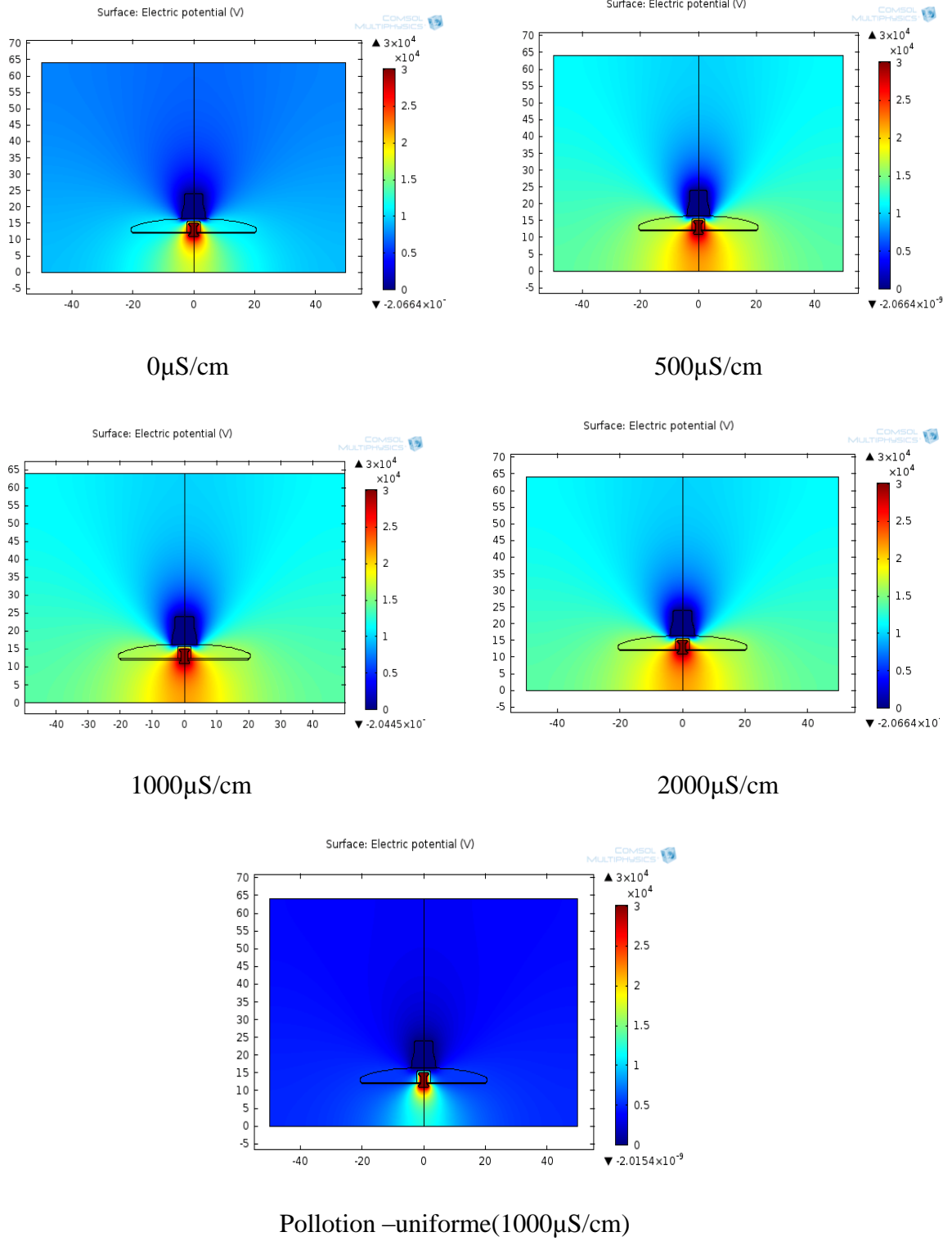


Figure III.26 : Distribution du potentiel en fonction de la conductivité.

III.2.2.1.2. Influence de la tension de la ligne :

La figure (III.27, III.28) donne la variation du potentiel en fonction de la ligne de fuite, pour différentes tensions. Trois niveaux de tension ont été considérés. Nous remarquons que :

Le potentiel distribue de manière équitable ; le long de la ligne de fuite.

Les trois courbes du potentiel ont la même forme la différence juste au niveau des valeurs.

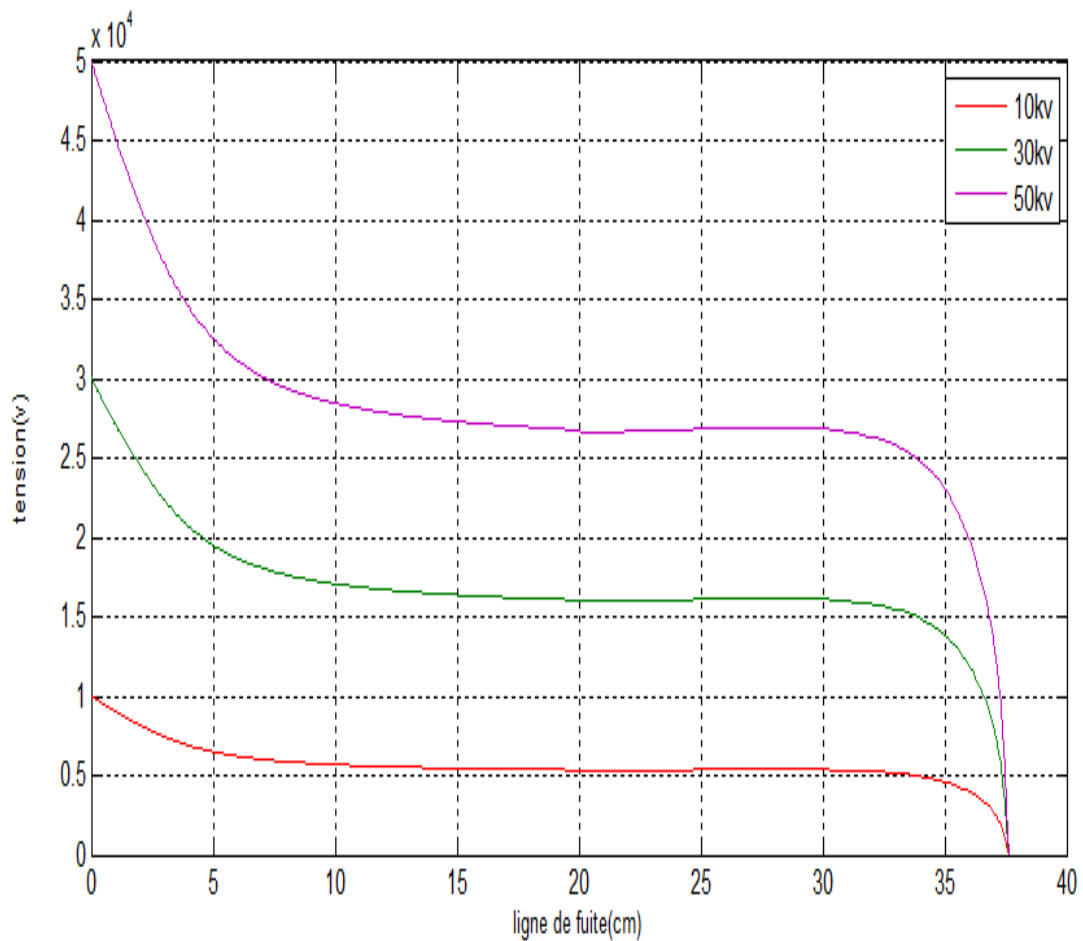
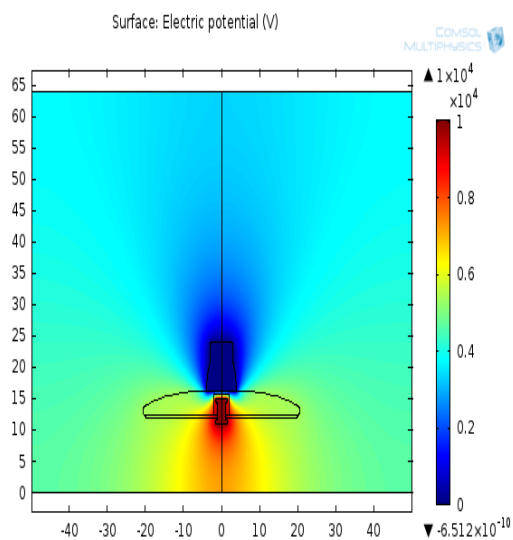
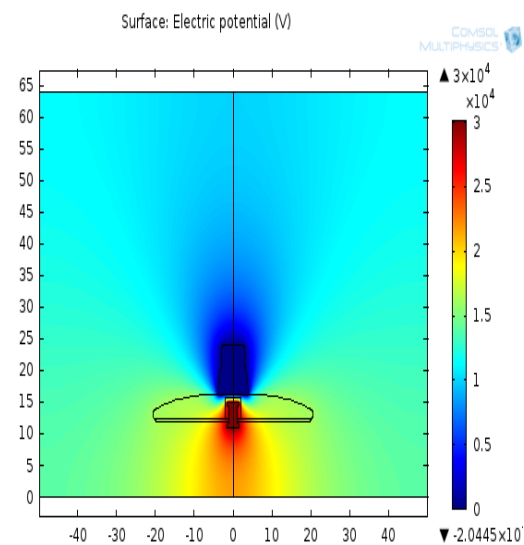


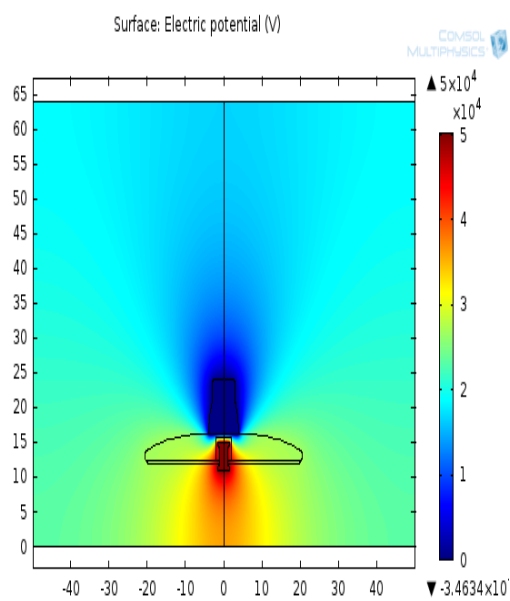
Figure III.27 : Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de un seul élément d'isolateur



10 KV

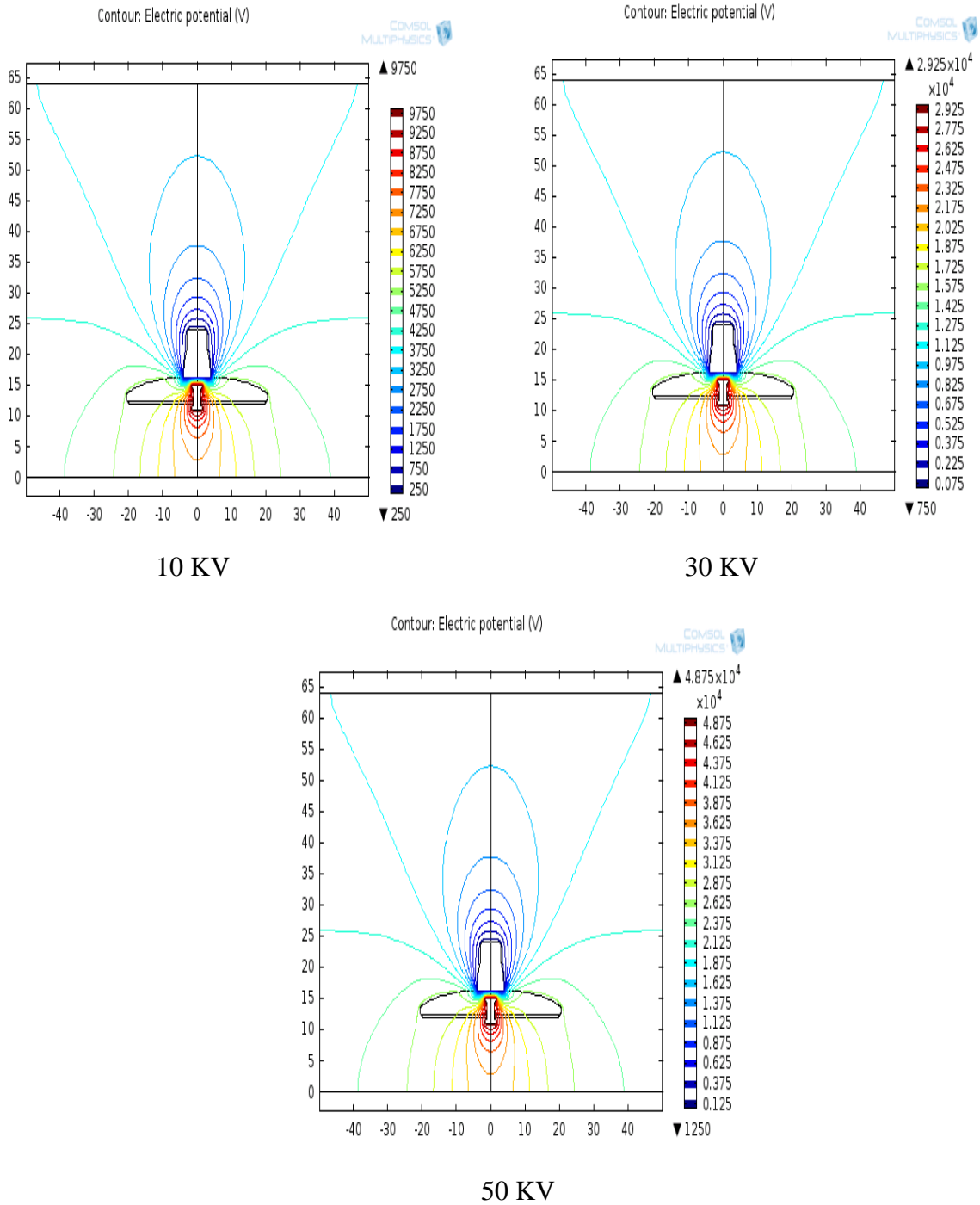


30 KV



50 KV

(a) Echogrammes



b) ligne de contours

Figure III.28 : Distribution du potentiel en fonction de la tension de la ligne

III.2.2.2 Distribution du champ électrique :

III.2.2.2.1. Influence de la conductivité :

Pour la même tension (30 kV), et d'après la figure (III.29, III.30) qui montre la variation de l'intensité du champ électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur. Nous constatons :

Les trois courbes pour différents conductivités ($\sigma = 500, 1000, 2000 \mu\text{S/cm}$). Sont confondues donc la conductivité n'a pas d'influences sur la répartition du champ électrique.

C'est l'état de surface (état sec, pollution non-uniforme, pollution uniforme) qui influe sur la répartition du champ électrique.

Le champ est plus intense au niveau de capot et tige.

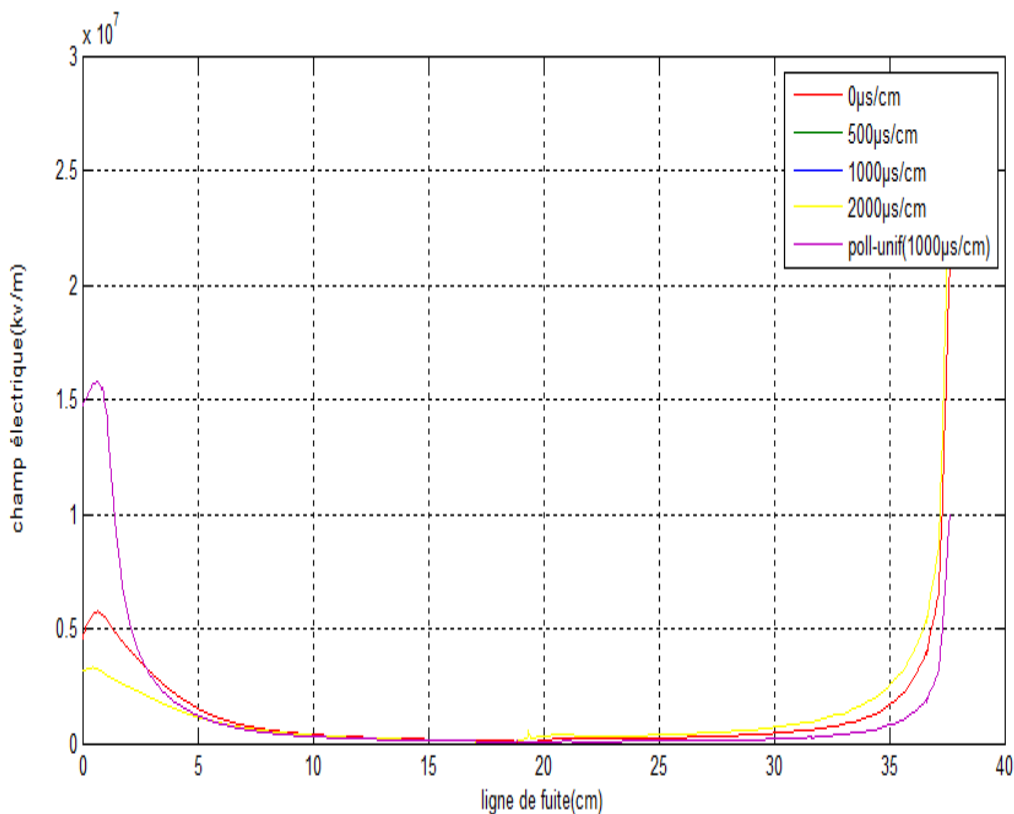
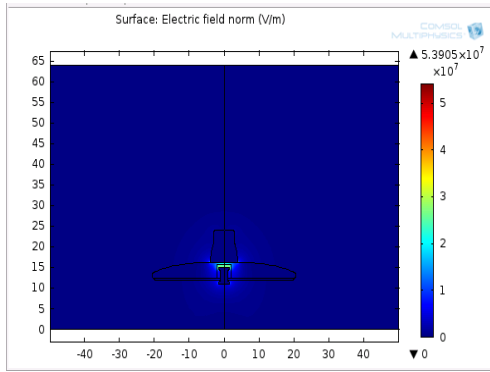
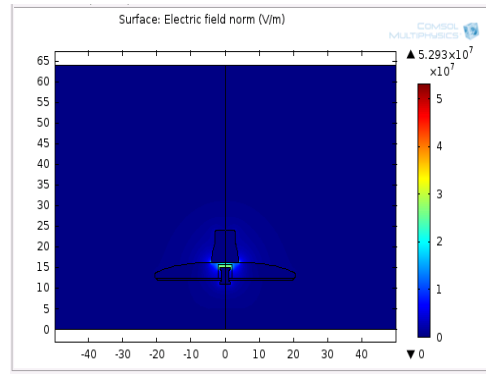


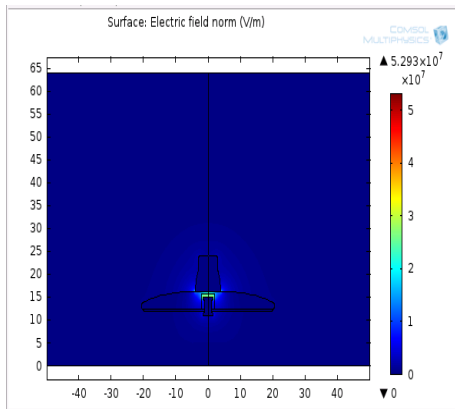
Figure III.29 : Champ électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur



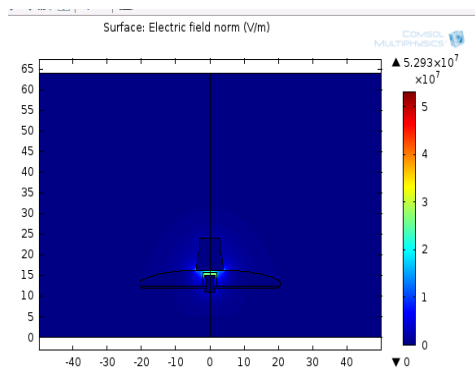
0μS/cm



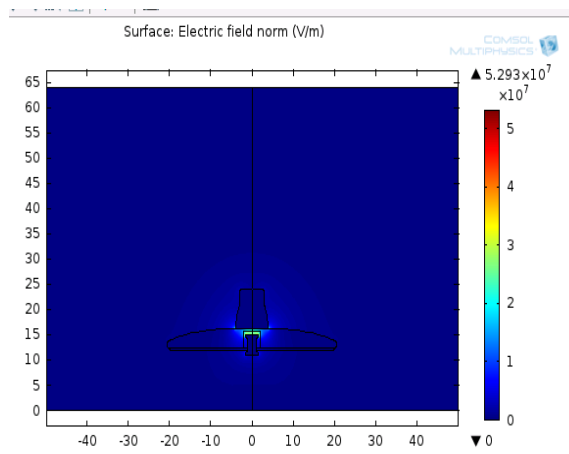
500μS/cm



1000μS/cm



2000μS/cm



Po-uniforme

Figure III.30 : Distribution du champ électrique en fonction de la conductivité

III.2.2.2.2. Influence de la tension de la ligne :

Sur la figure (III.31, III.32), nous présentons le champ électrique le long de la ligne de fuite, pour différentes tensions. Selon cette figure, l'accroissement de la tension de la ligne entraîne l'augmentation de l'intensité du champ électrique le long de la ligne de fuite d'isolateurs à l'état propre. Nous remarquons également que le champ électrique atteint ses valeurs maximales aux extrémités d'isolateur (électrodes HT et terre). [24]

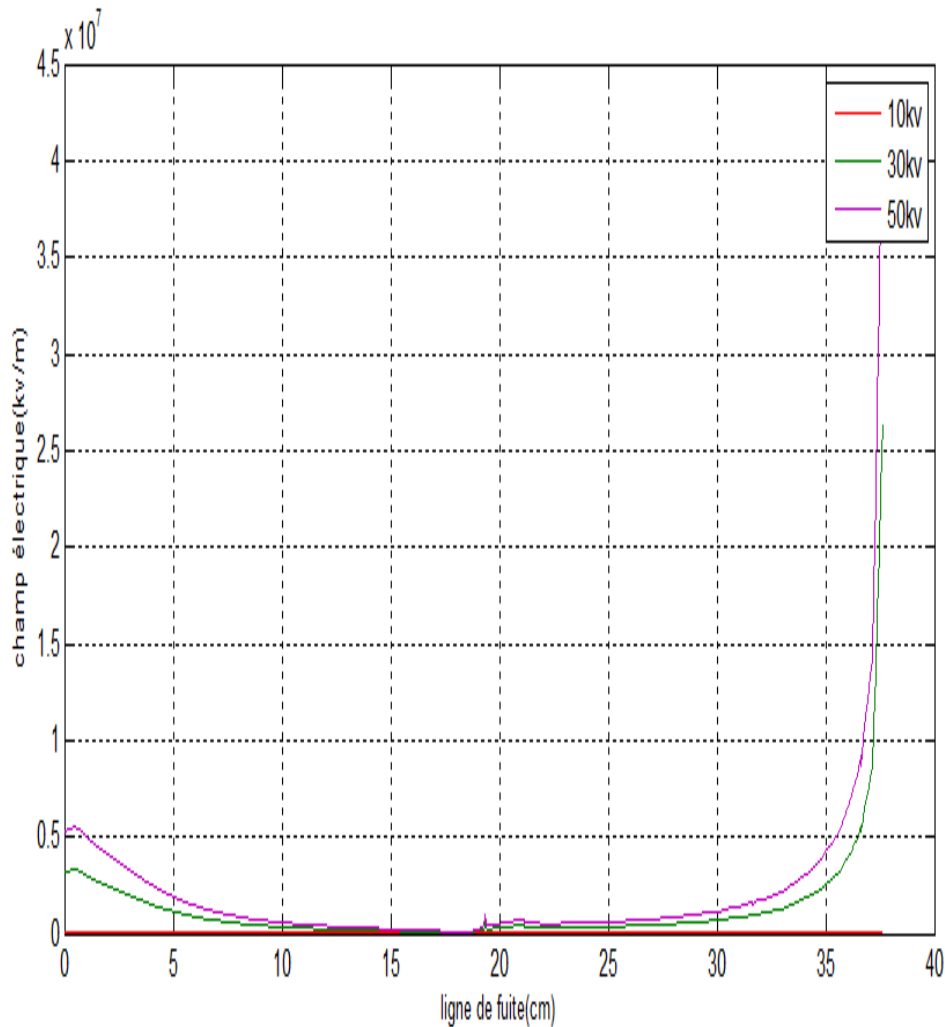
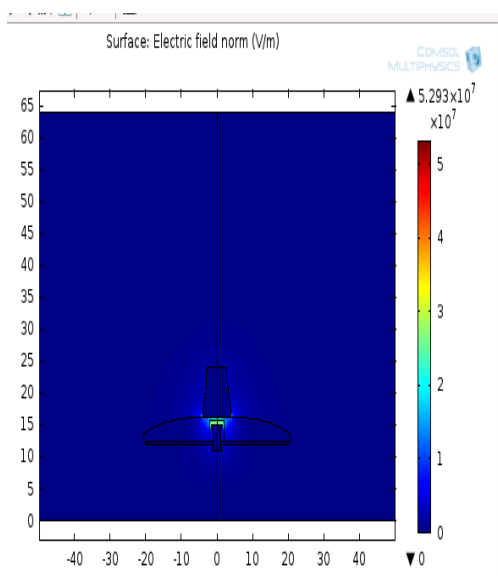
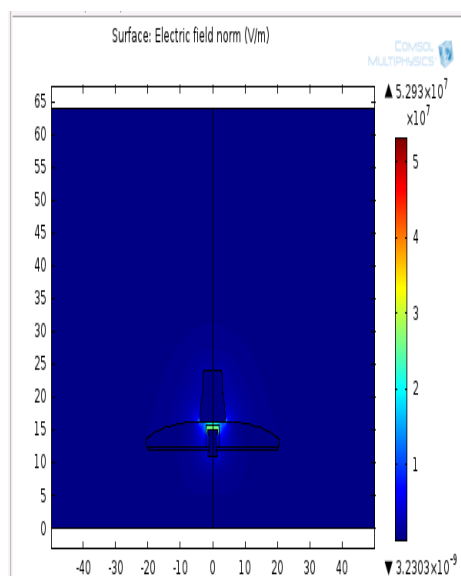


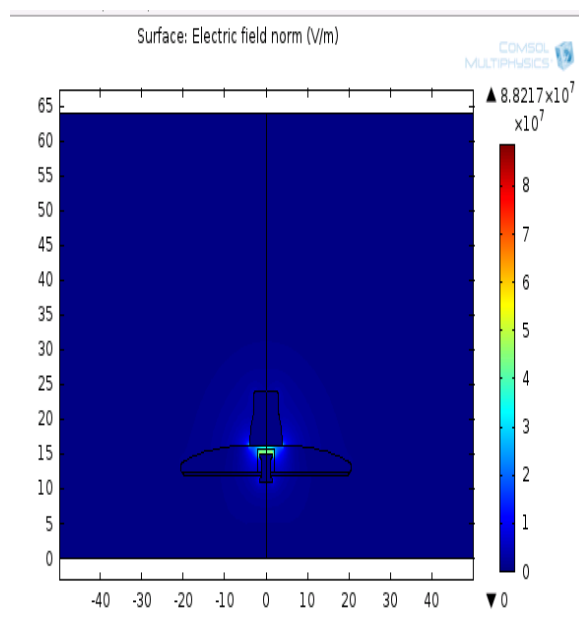
Figure III.31 : Champ électrique le long de la ligne de fuite de la chaîne d'isolateurs



10 KV

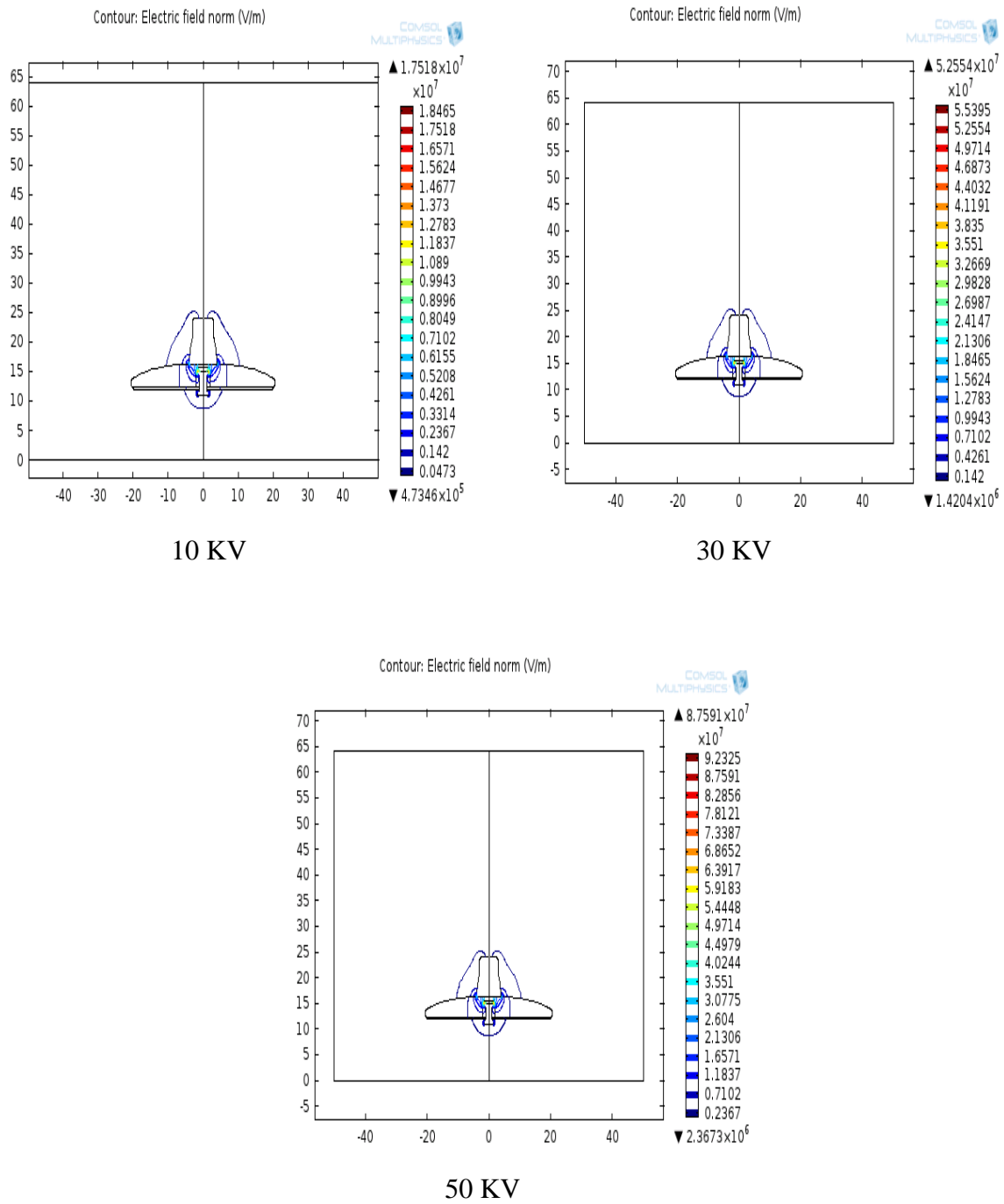


30 KV



50 KV

(a) Echogrammes



b) ligne de contours

Figure III.32 : Distribution du champ électrique en fonction de la tension de la ligne

CONCLUSION

Utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics 4.3, basé sur la méthode des éléments finis, nous avons pu analyser la distribution du potentiel et du champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur **F 160 D-146 DC**, soumise à différents paramètres électro-géométriques, à savoir la conductivité de la couche polluante, la tension de la ligne, la largeur des couches propres et type de pollution (uniforme, non-uniforme).

Comme principaux résultats, nous pouvons dire que la conductivité de la couche polluante n'a pratiquement pas d'effet sur les répartitions du potentiel et du champ électriques. Par contre l'état de surface de l'isolateur influe sur la répartition du champ électrique. Ce dernier est plus élevé dans le cas où l'isolateur est pollué. Par ailleurs, les parties près du conducteur sont les plus exposées aux contraintes électriques, à savoir la différence de potentiel et le champ électrique.

La tension appliquée affecte uniquement les valeurs du potentiel et du champ électriques, mais pas leurs formes.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

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

L'objectif de ce travail a porté sur l'étude de la distribution du potentiel et du champ électriques le long de l'isolateur **F 160 D-146 DC** modèle plan et modèle réel. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel COMSOL Mutliphysics 4.3, basé sur la méthode des éléments finis. Cette étude nous a permis de conclure que :

- C'est l'état de surface qui influe sur la répartition du potentiel et du champ électrique et non pas la conductivité de la pollution.
- La valeur maximale du champ est obtenue dans le cas où l'isolateur est pollué.
- Les électrodes de modèle plan d'isolateur sont des équipotentiels où la valeur du potentiel est toujours fixe.
- Le champ électrique augmente avec la tension appliquée. Cependant, la forme du champ et du potentiel électriques restent les mêmes. En d'autres termes, la différence est dans les valeurs et non pas dans la forme.
- La valeur maximale du champ électrique est obtenue dans les couches propres de plus faible largeur de modèle plan d'isolateur.

Perspectives :

- Simulation d'une chaîne d'isolateur de haute tension **F 160 D-146 DC** de ligne 400 kV.
- Modélisation d'un isolateur de haute tension **F 160 D-146 DC**, sous tension alternative, continue et impulsionnelle.

Références

Bibliographiques

Bibliographie

- [1] J. Y. Saison, « Etude du phénomène d'humidification des dépôts naturels et artificiels de pollution sur des isolateurs électriques », Thèse de Doctorat Es Sciences, Université de Strasbourg, France, 1992.
- [2] Cours A.Tilmatine "Isolateurs des lignes aériennes haute tension" 2003. Université Djilali Liabes.
- [3] J.Dunlap « Performances des isolateurs pollués pour les lignes de Haute Tension » CIGRE, Rapport 33-05, France, 1996.
- [4] http://www.hydroquebec.com/terminologie/chroniques/chro_isolateur.html.
- [5] X.Ducouret, "Lignes aériennes : matériels, isolateurs", Techniques de l'ingénieur D4423-2006.
- [6] Office National de l'électricité "Isolateurs composites pour lignes électriques THT, HT et MT" 2000.
- [7] M.A.Salam and Hj Morsidi bin Hj Kassim "Performance study of line Post Insulator Under Different pollution conditions", 2nd IEEE, International conférence on power and Energy, Décembre, 2008, Johor Bahar, Malaysia
- [8] H.Mohseni, A.Shaygani "In-Situ Insulations Test of 400KV GIC", IEEE, 2008.
- [9] LU Fang cheng, Wang Shenghui, LI Hening "Insulator Pollution Grade Evaluation Based on Ultraviolet Imaging and Fuzzy logic Inférence", IEEE, 2010.
- [10] Jixing Sun, Guoqiang GAO, "Influence of pollution Distribution on insulator surface of Flashover characteristics", IEEE transaction Dielectrics and electrical Insulation, Vol.21, NO.4, August 2014.
- [11] Feifeng Wang, Peihong Zhang, Mingze Gao "Improvement in the Electric Field Distribution of Silicone Rulber Composite Insulators by Non-linear Fillers "Research fund of the key laboratory of dielectric engineering of Hailong Jiang, IEEE, 2010.

- [12] Rabah chaarani, "Étude de l'influence des caractéristiques des isolateurs sur leurs performances Électriques Dans des conditions de Givrage", Thèse du Doctorat en Ingénierie, Université Du Québec ,2003.
- [13] Nisrine Mhaguen, "Développement de Modèle Dynamiques de prédiction de la tension critique de contournement des isolateurs ", Université Du Québec ,2011.
- [14] Khelfaoui Abdallah, Bouberma Omar, "modélisation par méthode des éléments finis des phénomènes de conduction surfacique sur l'isolateur pollues", " Diplôme de Master Académique en Génie Électrique, Département de génie électrique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.
- [15] Melle Hamza Slamet Amina, "contribution à l'étude du modèle développé d'un isolateur pollué", mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, département d'électrotechnique, u.s.t.o - Mohamed Boudiaf, 2013.
- [16] Subba Reddy , Sultan N , Monika P , Pooja , O Salma Ravishankar K., Department of Elect Engg., Dept. of Electrical & Electronics Engg \$3Electro-porcelain Division Indian Institute of Science, MSRIT, Bangalore –INDIA, M/s Bharat Heavy Electrical Ltd, Bangalore-INDIA << Simulation of Potential and Electric Field for High Voltage Ceramic Disc Insulators >>Bangalore-560012 1reddy@hve.iisc.ernet.in, 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIS 2010, Jul 29 - Aug 01, 2010, India
- [17] B.M'hamdi, M.Teguar and A. Mekhaldi , <<Potential and Electric Field Distributions on HV Insulators String Used in The 400 kV Novel Transmission Line in Algeria>> 2013 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, Bologna, Italy, June 30 – July 4, 2013.
- [18] S.Chakravorti, and P. K. Mukherjee, « Power Frequency and Impulse Field Calculation around a HV Insulator with Uniform or Non-uniform Surface Pollution », IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 28, No. 1, pp. 43-53, February 1993.
- [19] M.KERN « Introduction à la méthode des éléments finis », paris : école nationale supérieure des mines de paris. 2004-2005
- [20] Comsol Multiphysics User's guide, version 4.3. [Logiciel], Burlington, ma : Comsol, Inc., juin 2013.

[21] M. ADEL Kara, << Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué>> Mémoire de Magister, département d'Electrotechnique, Université de stif1 ,2013.

[22] M.Teguar, <<Modelisation d'isolateurs pollues soumis a diver's parametres Eléctrogeometriques>> Thèse Doctorat ENP.Alger .Algerie, 2003.

[23] ELMIHOUB, HAKMI<<Comportement d'Un Modèle d'Isolateur HT Pollué Sous Tension Alternative 50Hz >>, Mémoire de fin d'étude, Département de génie électrique, Université –Ibn Khaldoun-Tiaret, 2013-2014.

[24] Zhao, and M. G. Comber, « Calculation of Electric Field and Potential Distribution along Non-Ceramic Insulators Considering the Effects of Conductors and Transmission Towers», IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 313-318, January 2000.

ملخص

باستعمال برنامج COMSOL Mutliphysics 4.3 الذي يعتمد على طريقة العناصر المنتهية. ، قمنا بدراسة توزيع الكمون و الحقل الكهربائي على طول خط التسرب لعوازل التوتر العالي من نوع F 160 D-146 DC ملوث طبيعيا تحت توتر متناوب 400 كيلوفولط 50هرتز. اخذين بعين الاعتبار تأثير بعض العوامل المتمثلة في التوتر المطبق، قيمة الناقلية، عرض المناطق النقية و نوعية التلوث

الكلمات المفتاحية: العوازل ، تلوث ، ناقلية، كمون، حقل كهربائي.

Résumé

En utilisant le logiciel COMSOL Multiphysics 4.3, basé sur la méthode des éléments finis, notre étude présente la répartition du potentiel et du champ électrique, le long de la ligne de fuite d'un seule élément d'une chaine d'isolateur de type F 160 D-146 DC naturellement pollué sous tension alternative 400kV, 50Hz.

Nous avons pris en considération l'influence de la tension appliquée, la conductivité des couches polluées, la largeur des couches propres et le type de pollution uniforme et nom uniforme.

Mots clés: isolateurs, pollution, conductivité, potentiel, champ électrique.

Abstract:

Using COMSOL Mutliphysics 4.3 software, based on the finite elements method, our work presents the repartition of the electric potential and field along of the leakage distance of the polluted insulator under alternating voltage 50Hz,400KV Taking into account some of parameters, such as the applied voltage, the pollution layer's conductivity, the number of insulators and the width of the clean layer.

Key words: insulators, pollution, static model, conductivity, potential, electric field.