

CHAPITRE III

Résultats Et Interprétations



III.1.Introduction

La détermination de la distribution du champ et du potentiel électriques sur les surfaces isolantes, en présence de la pollution, a fait l'objet de nombreuses recherches. Les niveaux élevés du champ électrique peuvent être responsables du bruit audible, de la pollution électromagnétique, des décharges partielles et du vieillissement prématuré de l'isolation, [27].

Compte tenu de la géométrie complexe des isolateurs, les méthodes numériques sont préférables pour déterminer les distributions du champ et du potentiel électriques le long d'isolateurs. A cet effet, plusieurs méthodes ont été développées. Parmi celles-ci, la méthode des éléments finis est un outil numérique très puissant. Elle est très utilisée dans la résolution des problèmes à domaine spatial fini. Elle s'adapte facilement aux différentes géométries et tient compte aussi des propriétés inhomogènes et non linéaires des matériaux. Le principe de cette méthode consiste à subdiviser le domaine d'étude en un nombre fini de sous-domaines (éléments finis) et de chercher des approximations locales par sous domaine de l'équation différentielle (modèle). Le choix de la forme des éléments de maillage affecte donc la précision des résultats obtenus, [27].

Dans la présente étude, nous avons utilisé le code de calcul COMSOL Multiphysics 3.4, se reposant sur la méthode des éléments finis, pour calculer les distributions du potentiel et du champ électriques sur le long d'un modèle d'isolateurs de haute tension types capot et tige 1512L soumis à différents paramètres électro-géométriques, à savoir la conductivité de la couche polluante, la tension de la ligne et la largeur de la couche propre.

III.2.Méthode des éléments finis (MEF)

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, [28].

III.2.1.Principe

La méthode de résolution par éléments finis permet de calculer des grandeurs physiques pour tous les points d'une structure donnée. Pour obtenir un résultat sur un domaine continu, il est nécessaire de discrétiser le volume ou la surface d'étude par un maillage, en la subdivisant en sous éléments, les éléments finis. Tous ces éléments sont interconnectés entre eux par des points particuliers

appelés des nœuds. Les solutions sont calculées uniquement pour chaque nœud, et l'approximation de la solution finale est interpolée dans chaque élément en partant des résultats obtenus pour les nœuds les délimitant. On ramène ainsi le problème d'un milieu continu à un ensemble de problèmes discrets contenant un nombre fini d'inconnues, elle permet ainsi de transformer les équations aux dérivées partielles en système d'équations algébriques. Le problème est alors exprimé sous forme matriciel, [28].

III.2.3. 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, [8].

III.3.Description du logiciel

La simulation numérique est une approche donnant la possibilité aux chercheurs d'analyser le comportement de plusieurs phénomènes qui, par leur complexité, échappent au calcul classique. La modélisation, quant à elle, est la mise en équations de ces phénomènes, pour la large gamme de problèmes scientifiques basés sur des équations aux dérivées partielles, COMSOL Multiphysics ® peut servir d'une manière puissante et interactive à les résoudre en se fondant sur la méthode des éléments finis ou encore interagir avec des logiciels de programmation tels que Matlab® ,[30].

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 mathématiques 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. Ce logiciel utilise la méthode des éléments finis. Les étapes de résolution peuvent être résumées selon l'organigramme montré dans la figure (III.1), [8].

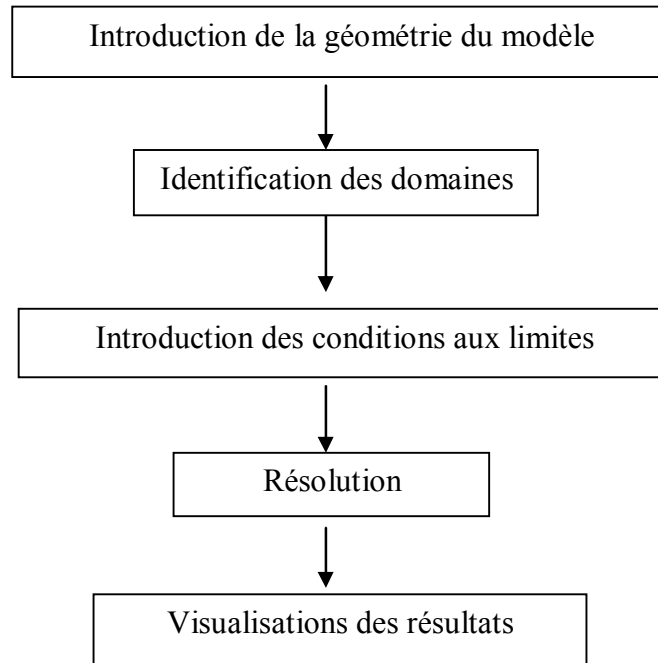


Fig.III.1 Diagramme de différentes étapes de résolution dans COMSOL.

III.4. Étapes de résolution dans COMSOL Multiphysics

III.4.1. Choix du modèle

Nous allons commencer par le choix du modèle. Lancez donc le module électrostatique (es) dans le navigateur de modèle. Nous allons ici nous limiter à une étude à 2D.

III.4.2. Géométrie

La première chose à faire une fois le programme ouvert est de dessiner la géométrie de notre système (isolateur), [28].

III.4.3. Introduction des propriétés des domaines

Le but ici est de définir les paramètres physiques qui définissent le domaine : la constante diélectrique, la conductivité, etc. Les paramètres sont évidemment liés à notre modèle physique étudié.

Pour résoudre les EDP, il est nécessaire de définir un certain nombre de conditions aux limites cohérentes.

A chaque frontière de domaine est associé un segment orienté. Il est possible de donner des valeurs de condition aux limites pour chacun de ces segments. Les options seront différentes suivant qu'il s'agisse ou non d'une frontière intérieure au système, [28].

III.4.4. Maillage des domaines

Le maillage des domaines est automatique. Il est possible de le raffiner globalement ou de manière localisée, [28].

III.4.5. Résolution du problème

Lorsque le problème est complètement défini, il ne reste plus qu'à le résoudre. Il est possible d'accéder à des menus pour modifier la résolution. De même, lors de la résolution d'un problème multi- physique, il est possible de ne résoudre que pour une certaine partie des variables, [28].

III.4.6. Analyse des résultats

Lorsque le programme a convergé vers une solution, il bascule automatiquement vers la fenêtre de post traitement, qui permet d'analyser les résultats, [28].

Il est possible de les visualiser sous forme de remplissage de couleur, de lignes de courant, de champ de flèches, etc...

III.5. Modélisation d'un isolateur

III.5.1. Géométrie de l'isolateur utilisé

Dans notre simulation, nous avons choisi modèle plan de l'isolateur 1512L. Les dimensions du modèle défini par Mr. Mekhaldi et al [30, 31] suivantes :

- 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.
- 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.

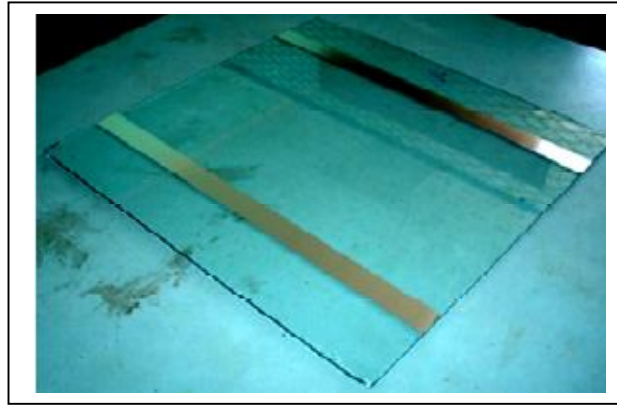


Figure.III.2. Modèle plan de l'isolateur 1512L.

III.5.2. 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, 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.

III.5.3. 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".

III.5.4. Maillage des domaines

La densité des éléments finis est importante 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 1376 éléments, et après le raffinement nous trouvons 5504 éléments dans le cas d'une modèle isolateur propre. Un exemple de maillage est illustré dans le cas propre, dans la figure (III.3).

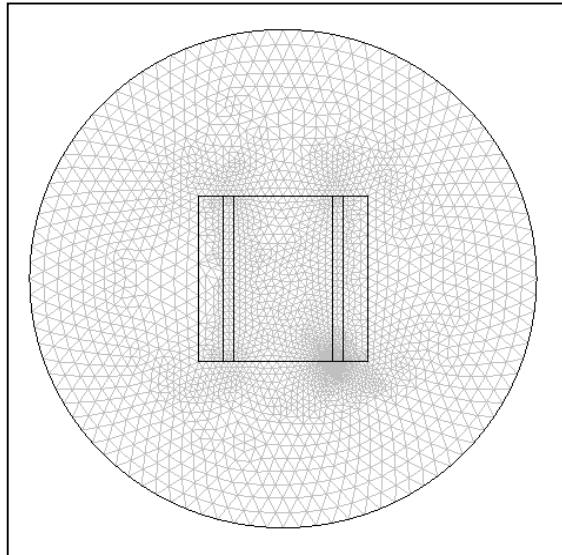


Figure III. 3 Maillage de l'isolateur.

III.6. Discussion des résultats

III.6.1. Etude du potentiel

III.6.1.1. Influence de la position et de largeur de la couche propre

Nous représentons sur les figures (III.4-7) suivantes, la répartition du potentiel sur le long de la ligne de fuite de l'isolateur , en fonction de la largeur et la position de la couche propre .Pour cela, nous avons introduit dans le logiciel les différentes largeurs des couches propres : ($L_1= 2\text{cm}$, $L_2= 4\text{cm}$, $L_3 = 6\text{cm}$, $L_4 = 8\text{cm}$ et $L_5 = 10\text{cm}$) pour des différentes positions : coté HT, milieu et terre, avec l'application d'une tension constante de 30kV et une conductivité de $1200\mu\text{S/cm}$.

Nous constatons d'après ces figures, le potentiel diminue brusquement au niveau des couches propres et lentement au niveau des couches polluées et nous remarquons que la position de la couche propre elle n'a pas aucun influence sur le potentiel, le comportement de la couche propre reste le même dans les trois coté (HT et milieu et terre).

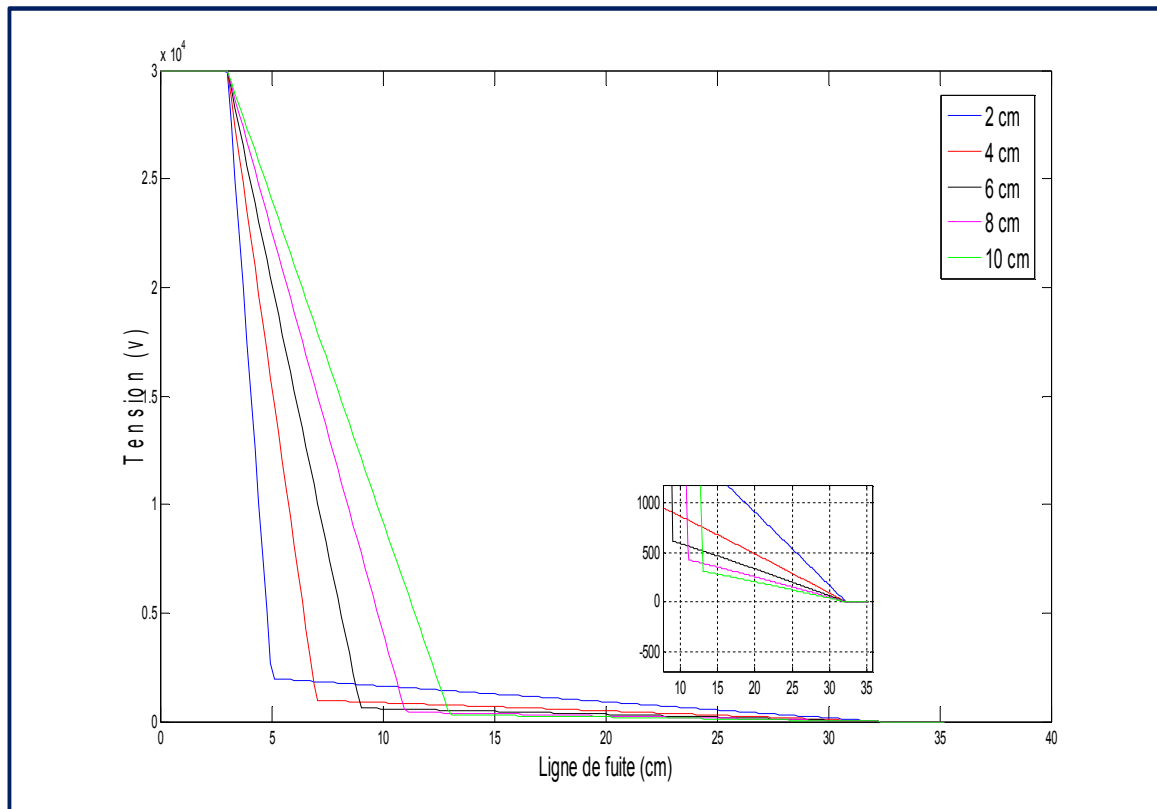


Figure III.4 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté HT)

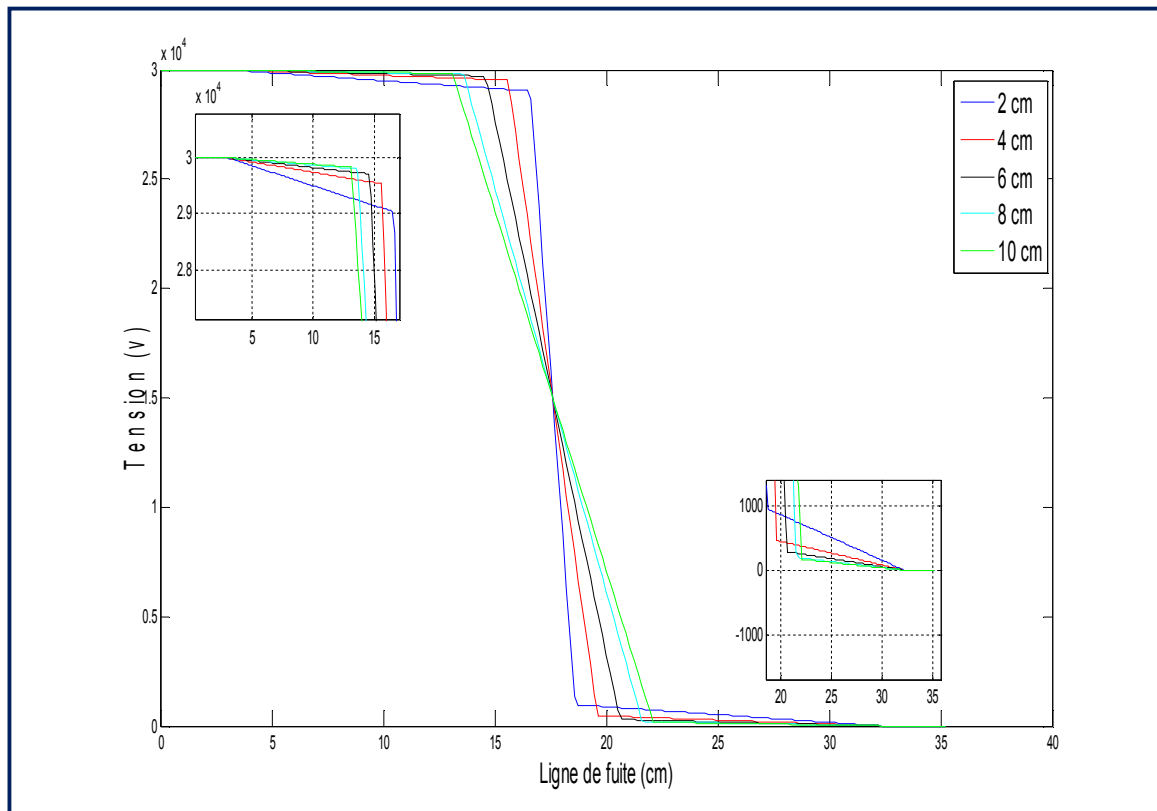


Figure III.5 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté milieu)

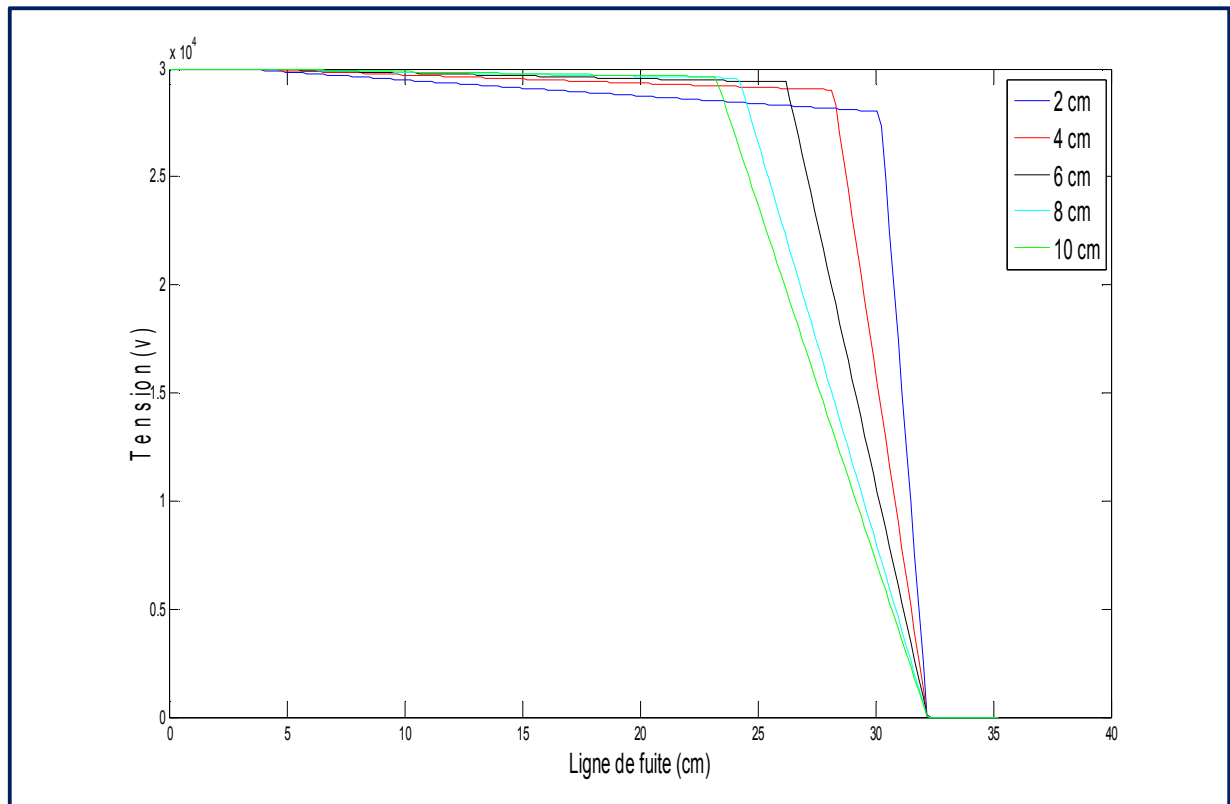
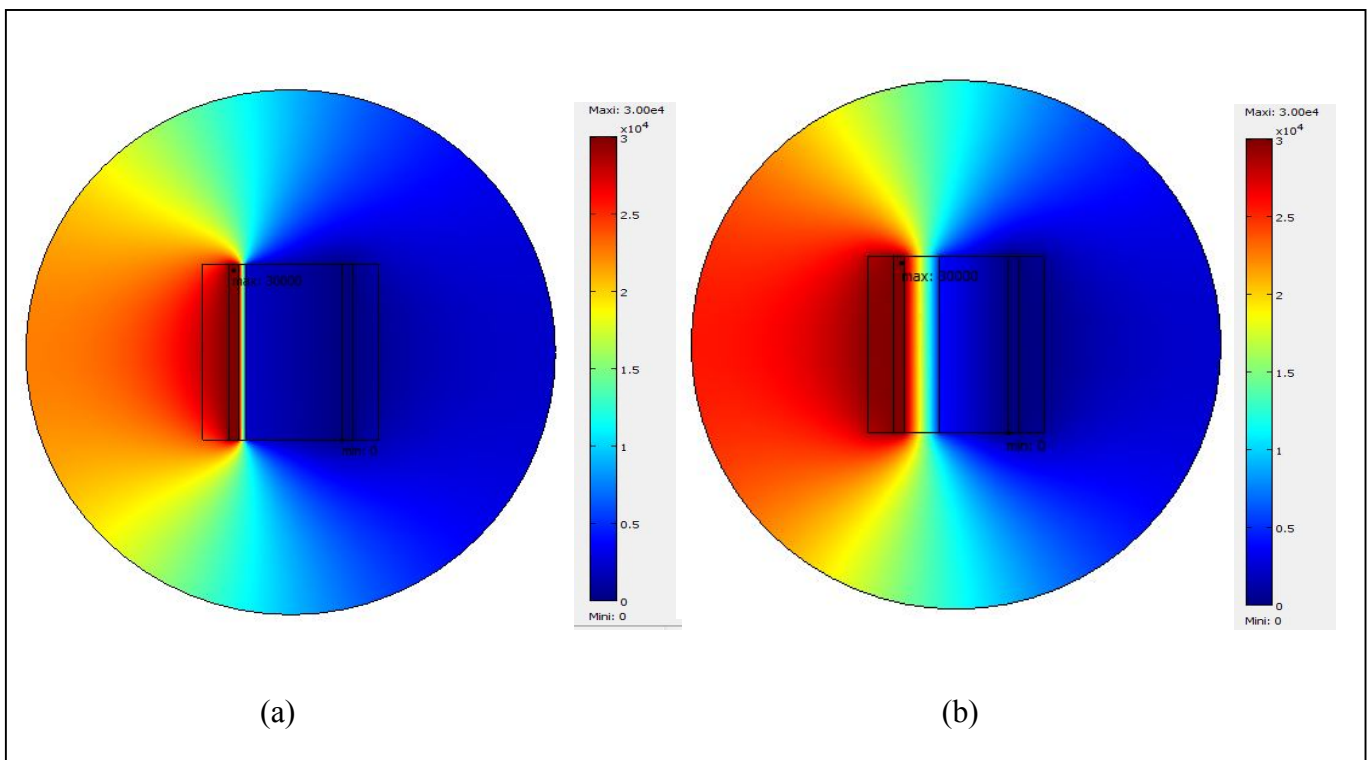


Figure III.6 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté terre)



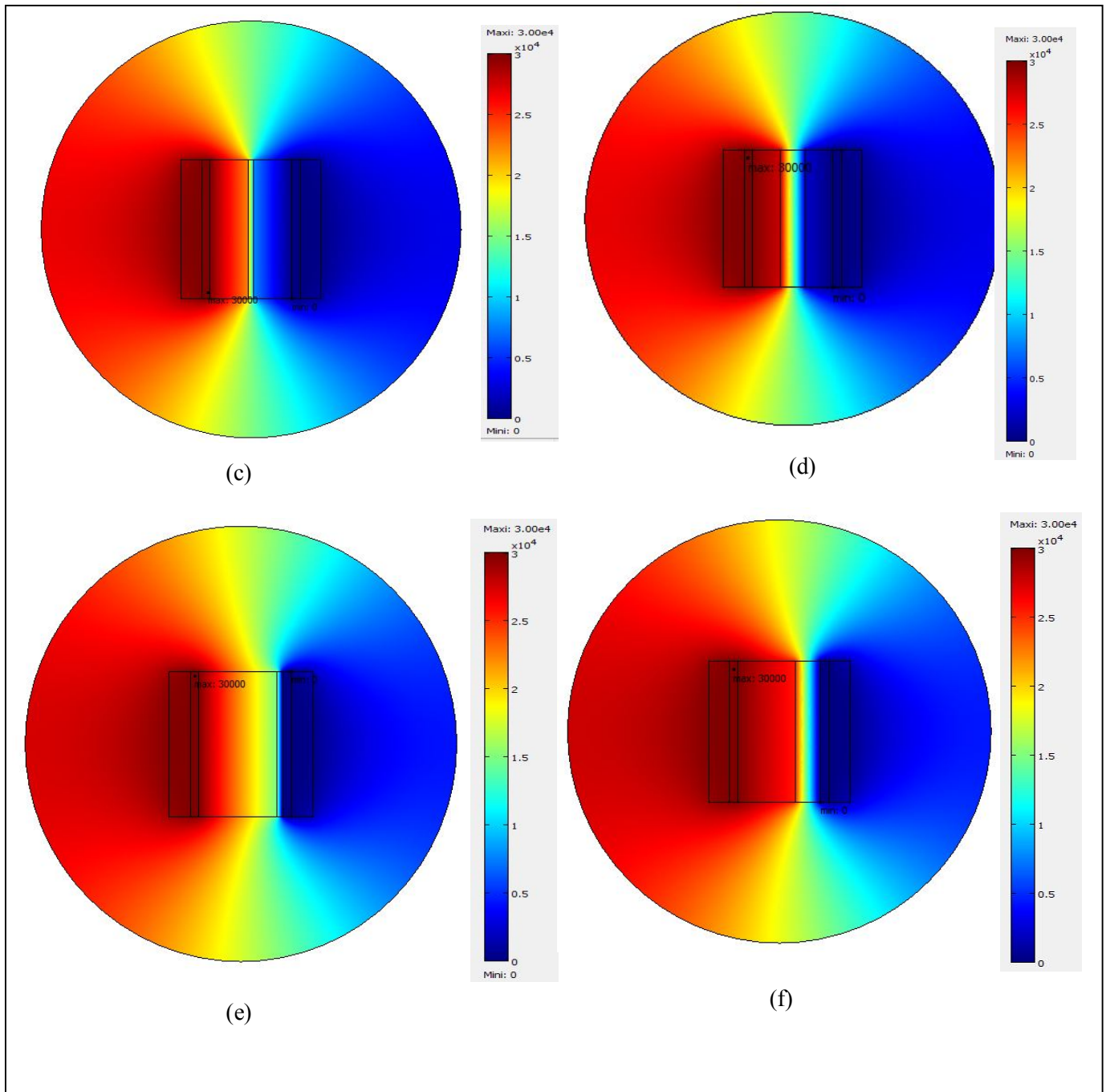


Figure III.7 Distribution du potentiel électrique en fonction de la largeur et de la position de la couche propre, (a) et (b) couches propre coté HT, (c) et (d) couches propres coté milieu, (e) et (f) couches propres coté terre.

III.6.1.2. Influence de la conductivité

Nous 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 conductivité. Pour cela, nous avons introduit dans le logiciel des différentes valeurs de conductivité (700, 1200, 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pour des différentes positions : coté HT, milieu et terre avec l'application d'une tension constante de 30kV et une largeur de la couche propre fixe de 8 cm. Les figures (III.8-11) illustrent la variation du potentiel sur le long de la ligne de fuite et la distribution du potentiel pour les conductivités examinées.

Nous constatons que la variation de la conductivité de la couche polluante pratiquement, n'a pas d'effet sur la distribution du potentiel sur le long de la ligne de fuite de l'isolateur, Aucune différence remarquable n'est observée. Nous remarquons que le potentiel diminue brusquement au niveau de la couche propre et lentement au niveau de la couche pollué. Pour tous les cas (propre ou pollué), le potentiel prend la valeur maximale 30kV au niveau de l'électrode HT, et 0 pour l'électrode de terre.

N.B : Pour le cas propre le potentiel décroît rapidement d'une manière linéaire jusqu'à l'électrode de terre où le potentiel s'annule car il n'existe aucun obstacle, et le modèle prend le caractère capacitif.

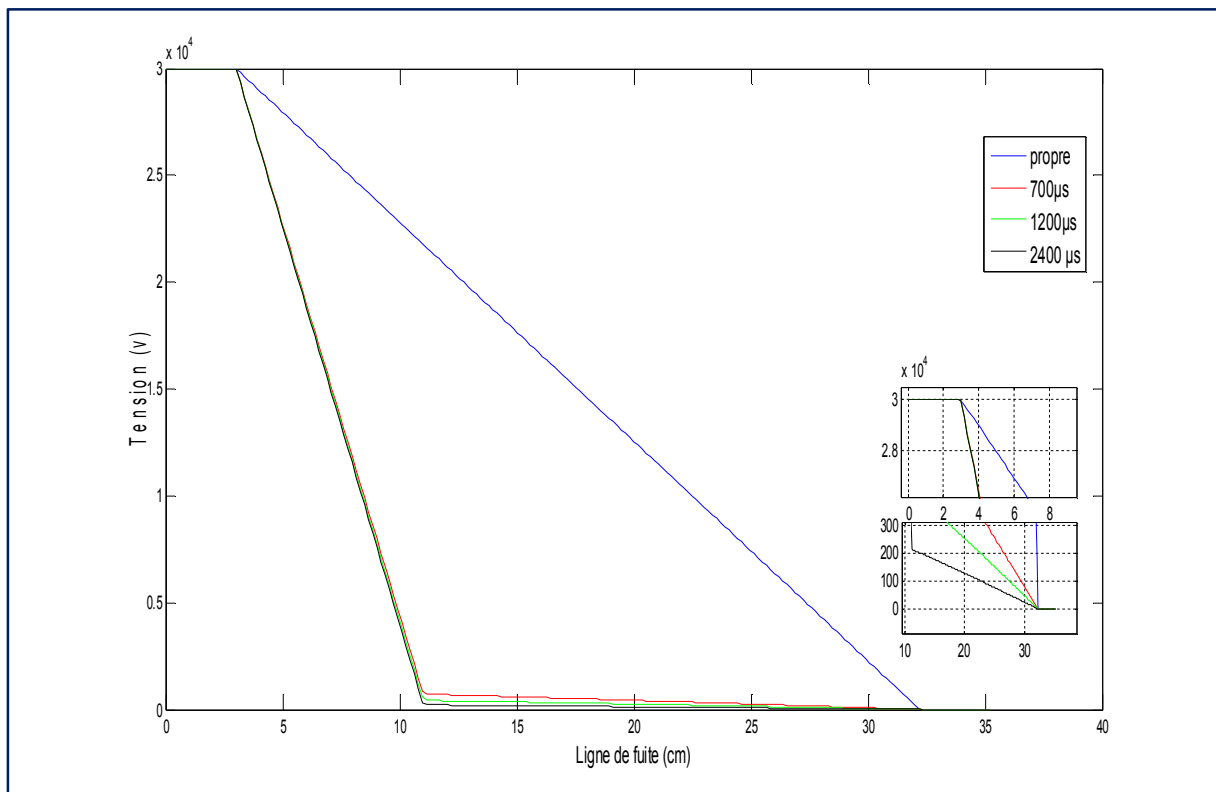


Figure III.8 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur (coté HT)

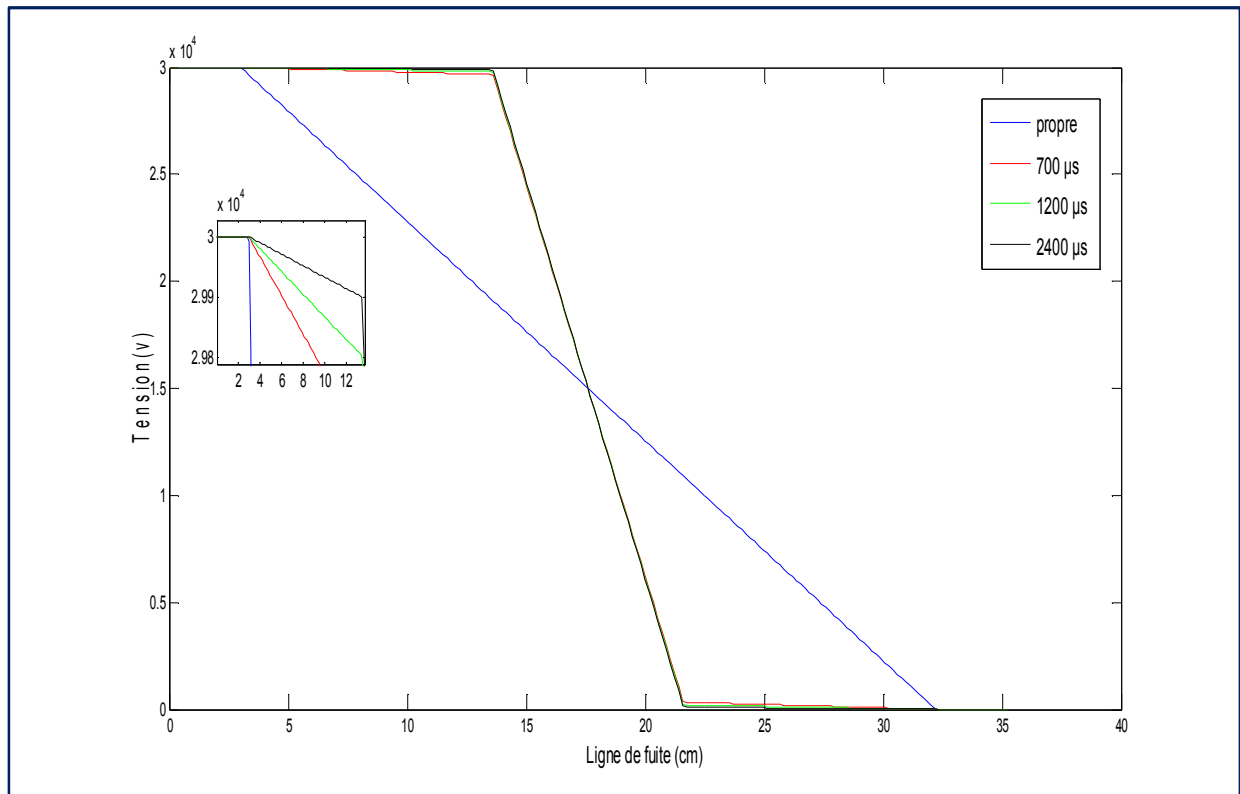


Figure III.9 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur (coté milieu)

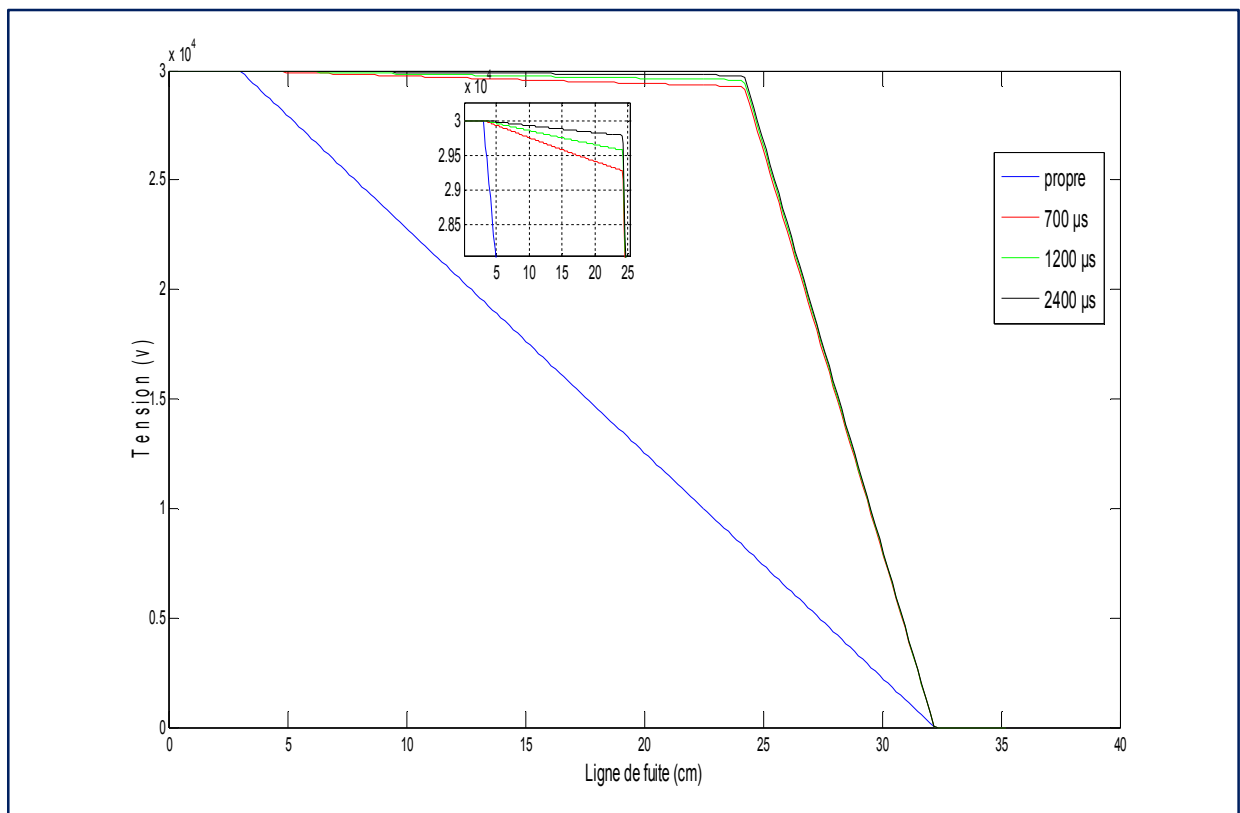


Figure III.10 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite d'isolateur (coté terre)

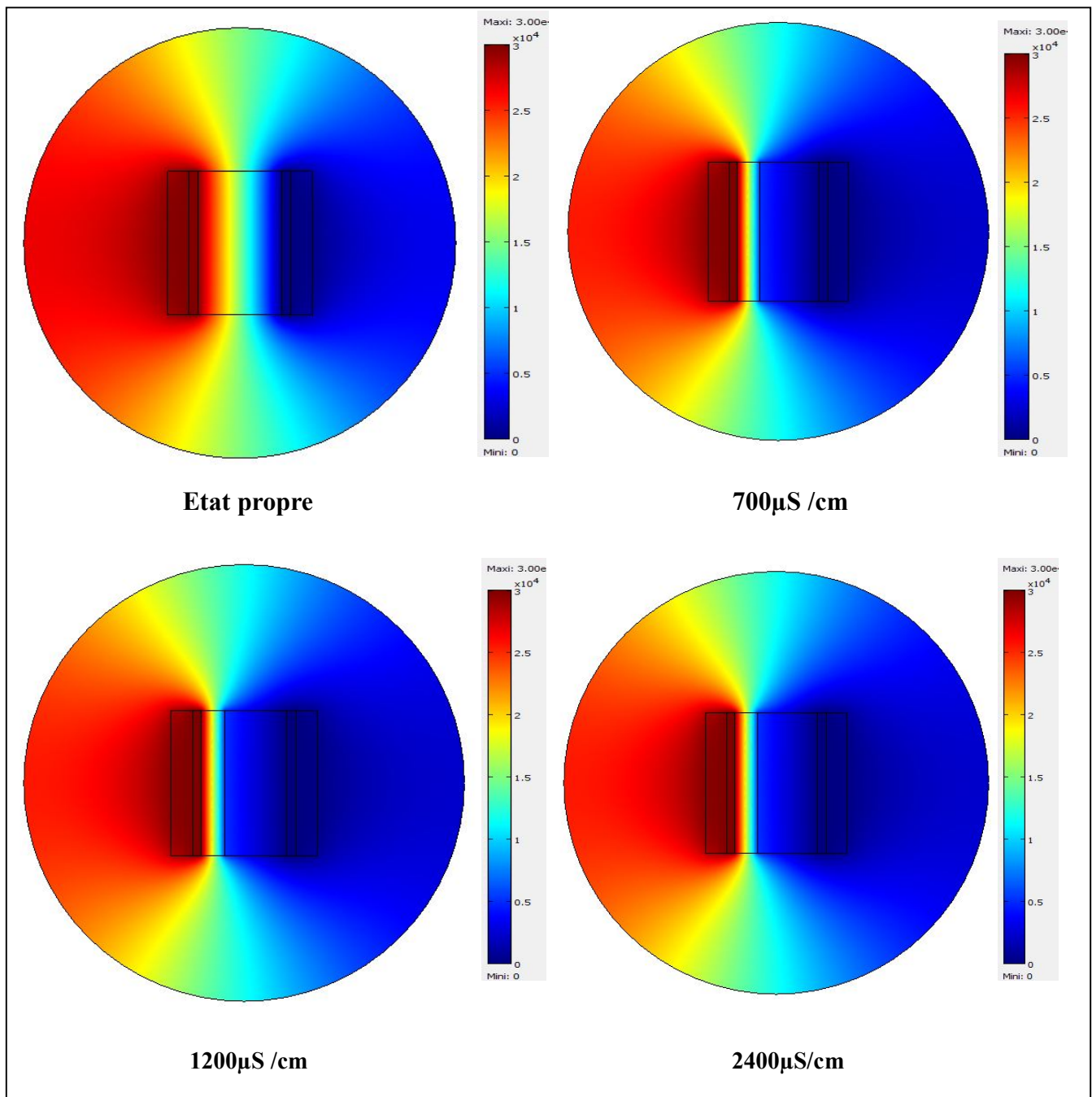


Figure III.11 Distribution du potentiel électrique en fonction de la conductivité (coté HT)

III.6.1.3. Influence de la tension de la ligne

Les figures (III.12-13) illustrent respectivement la variation du potentiel en fonction de la ligne de fuite ainsi la distribution du potentiel pour des différentes tensions appliquées. Nous avons introduit dans le logiciel cinq valeurs de tensions (10,20, 30, 40 et 50kV) avec une conductivité 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une largeur de la couche propre de 8cm.

Nous constatons que le potentiel au niveau de l'électrode HT est proportionnel à la tension de la ligne, ensuite il diminue d'une manière linéaire et rapide dans la couche propre, par contre dans la couche polluée diminue lentement jusqu'à l'atteint de l'électrode de terre où le potentiel s'annule, et la forme reste toujours la même.

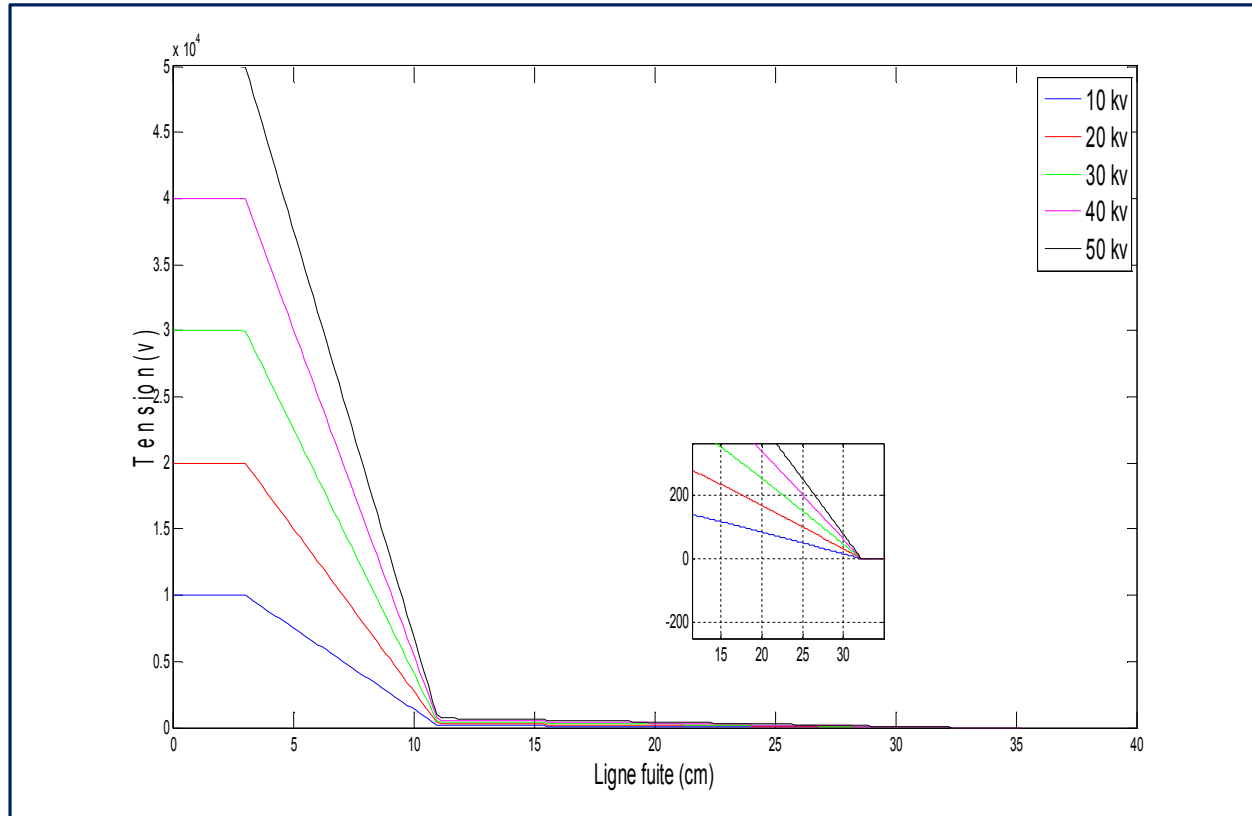
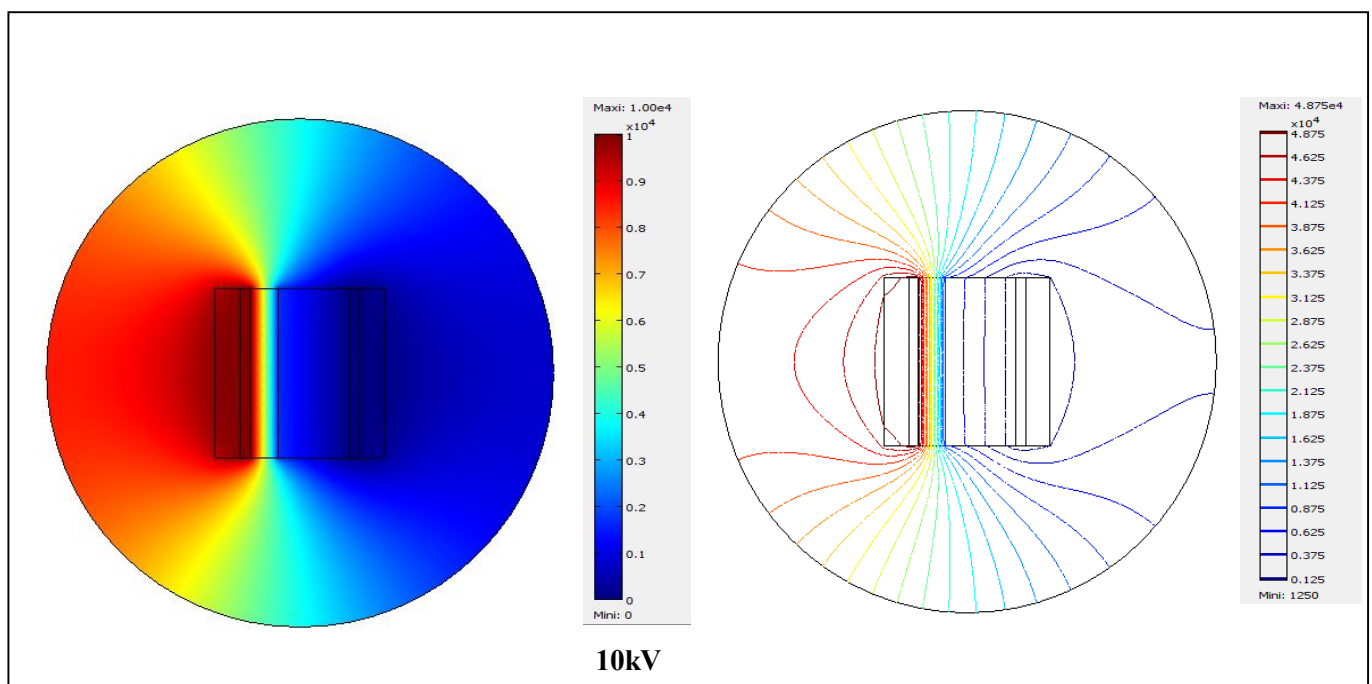
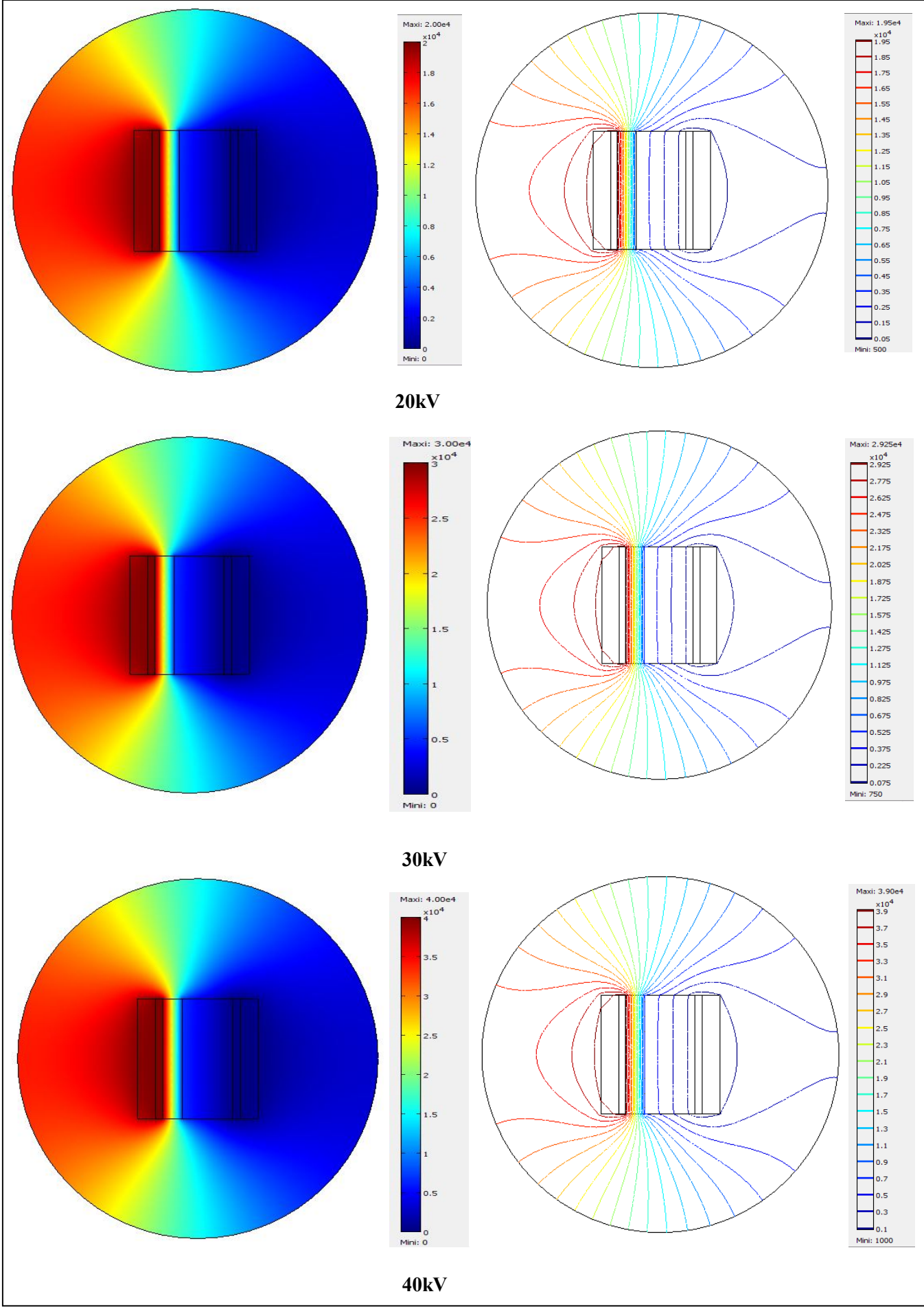


Figure III.12 Potentiel électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur





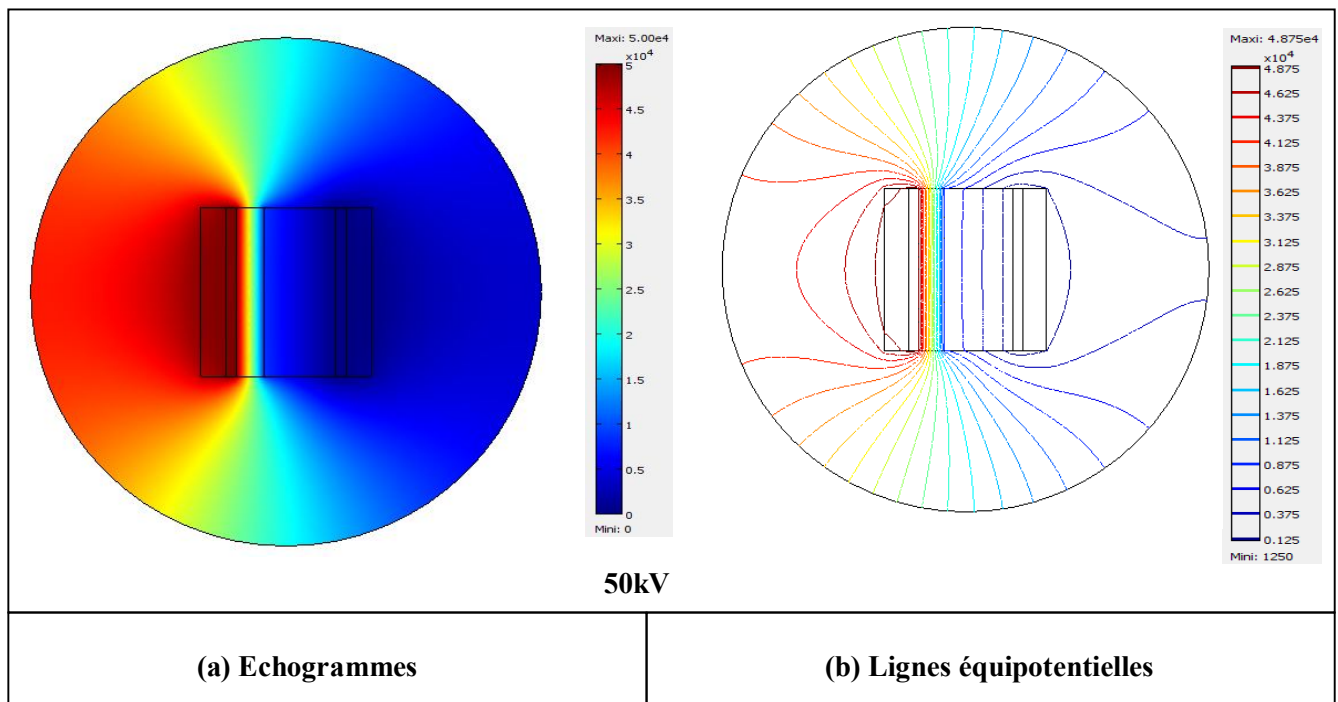


Figure III.13 Distribution du potentiel électrique en fonction de la tension de la ligne actif.

III.6.2. Distribution du champ électrique

III.6.2.1. Influence de la position et la largeur de la couche propre

Nous sommes intéressés à la détermination de la distribution du champ sur le long de la ligne de fuite de l'isolateur en fonction de la largeur et la position de la couche propre. Pour cela, nous avons mettre dans le **COMSOL** des différentes largeurs des couches propres: ($L_1 = 2\text{cm}$, $L_2 = 4\text{cm}$, $L_3 = 6\text{cm}$, $L_4 = 8\text{cm}$ et $L_5 = 10\text{cm}$) pour des différentes positions: coté HT, milieu et terre.

D'après les Figures (III.14-16) nous remarquons que, l'intensité du champ est inversement proportionnelle avec la largeur de la couche propre, et la position de cette dernière n'a pas une grande influence sur le champ électrique. L'intensité du champ électrique est plus importante au niveau de la couche propre. D'après la figure (III.14), nous constatons que le champ électrique ne s'annule jamais dans les matériaux diélectriques (verre).

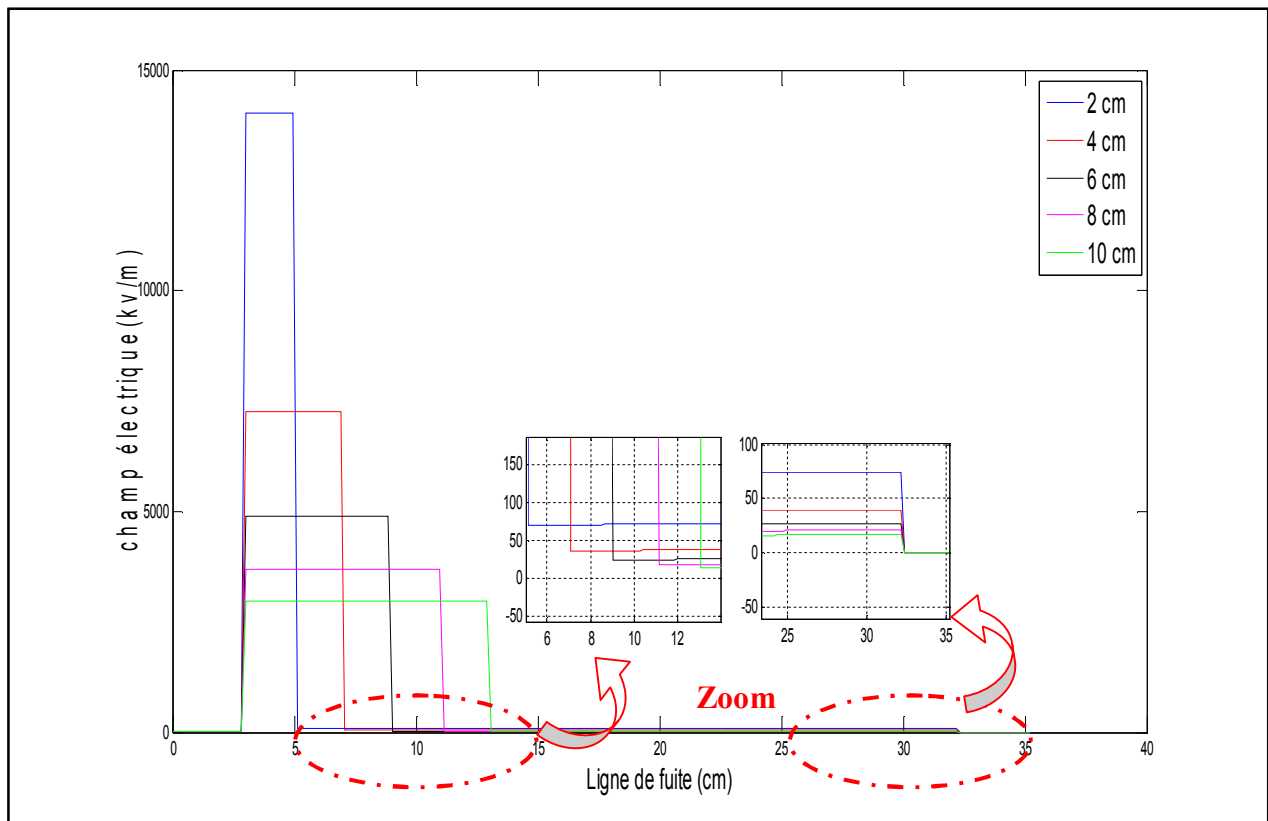


Figure III.14 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté HT)

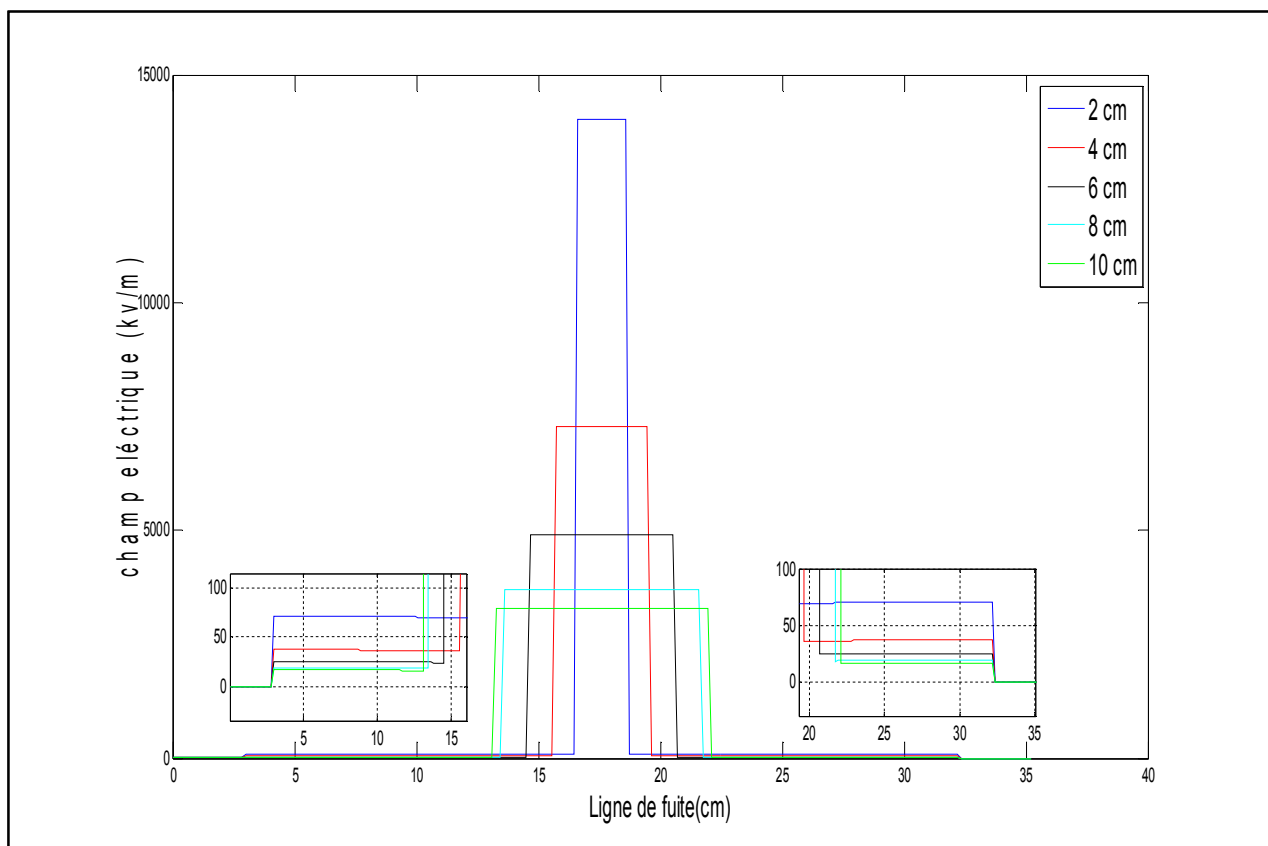


Figure III.15 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté milieu)

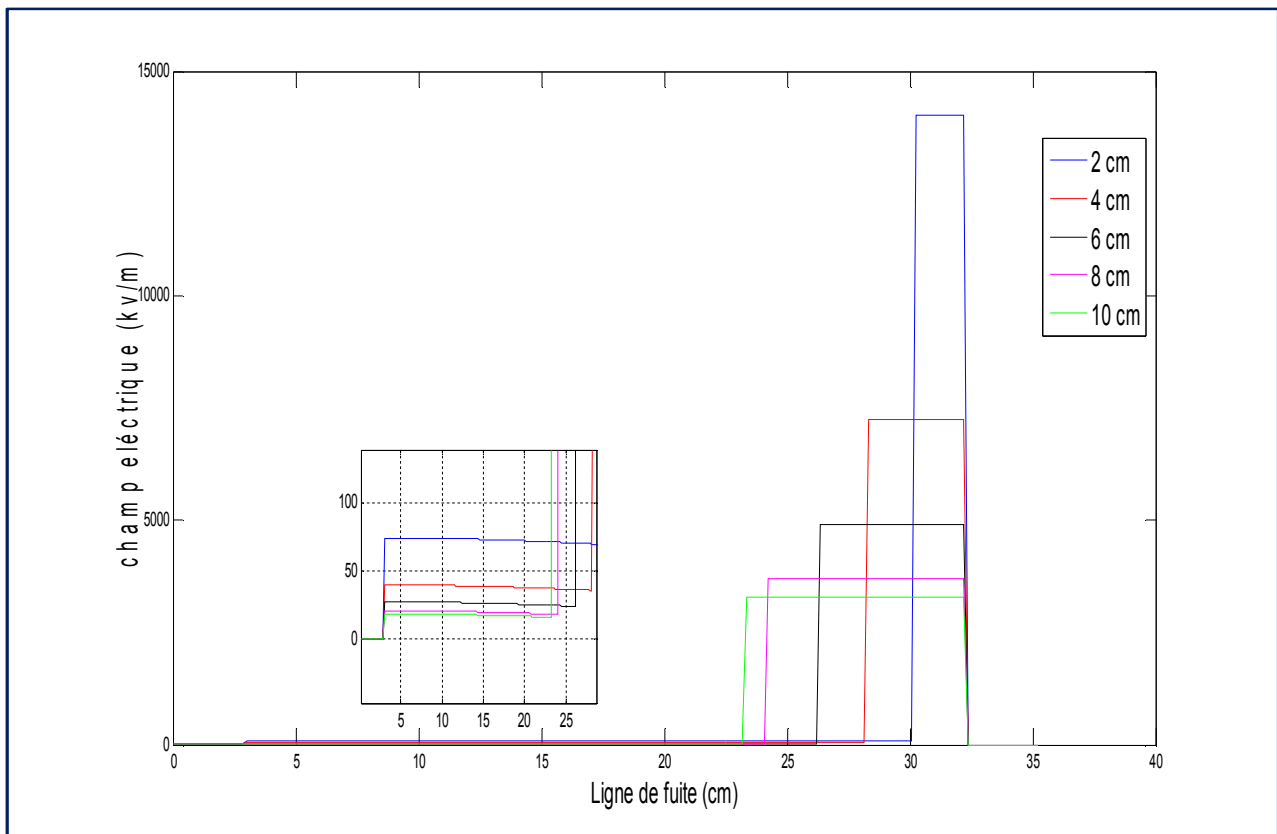
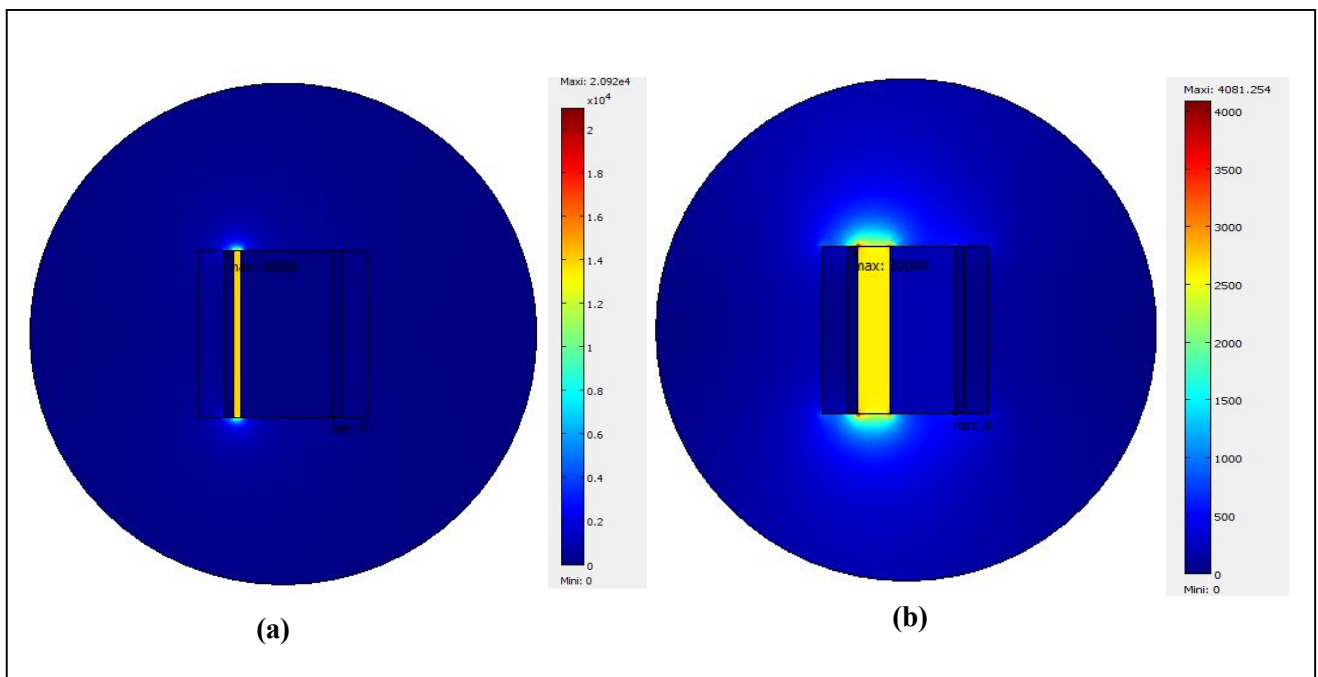


Figure III.16 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté terre).



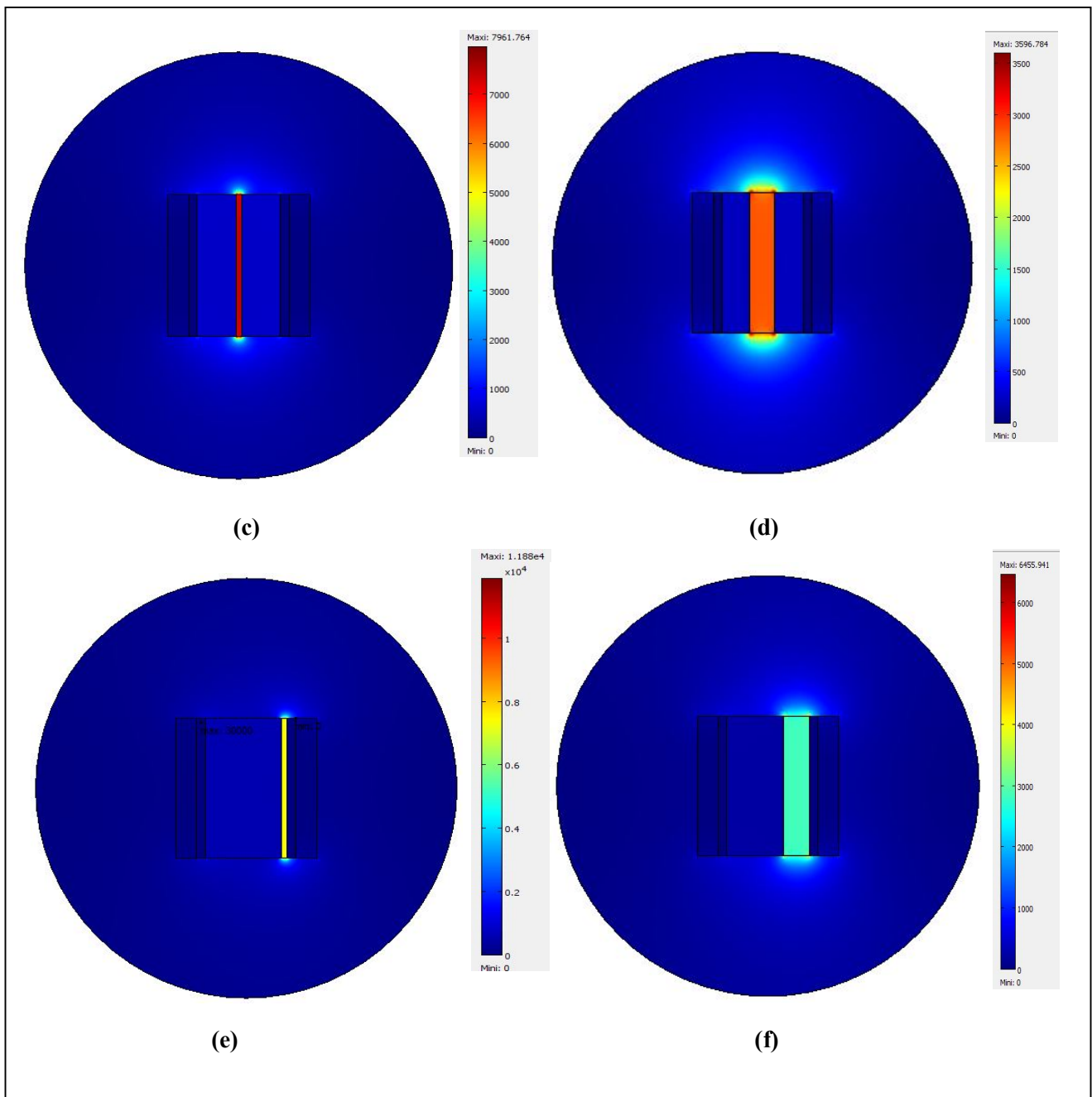


Figure III .17 Distribution du champ électrique en fonction de la largeur et de la position de la couche propre, (a)et (b) couches propres coté HT, (c) et (d) couches propres coté milieu, (e) et (f) couches propre coté terre.

III.6.2.2. Influence de la conductivité

Pour la même tension (30 kV), les figures (III.18-21) illustrent la variation de l'intensité du champ électrique sur le long de la ligne de fuite de l'isolateur en fonction de la conductivité.

D'après les résultats obtenus nous remarquons que, la variation de la conductivité a une légère influence sur l'intensité du champ électrique, et pour le cas propre le champ est nul à l'intérieur des électrodes et il prend une valeur de (1000kV/m) à l'extrémité intérieur d'électrode actif, l'intensité du champ reste constante sur le long de la ligne de fuite jusqu' à l'atteinte de l'extrémité intérieur de l'électrode de masse où le champ s'annule.

Le champ électrique est pratiquement nul à l'intérieur des deux électrodes, parce que les deux électrodes sont conductrices, [27]. Les lignes du champ électrique dans la plaque sont en parallèle car la configuration de la géométrie représente une distribution du champ électrique uniforme (plan-plan).

On remarque aussi, aux niveaux des extrémistes (supérieur et inférieur) de l'électrode active (par exemple figure (III.21 a $700\mu\text{S/cm}$)) le champ électrique est intense, qui explique le mouvement des électrons au niveau de ses extrémités.

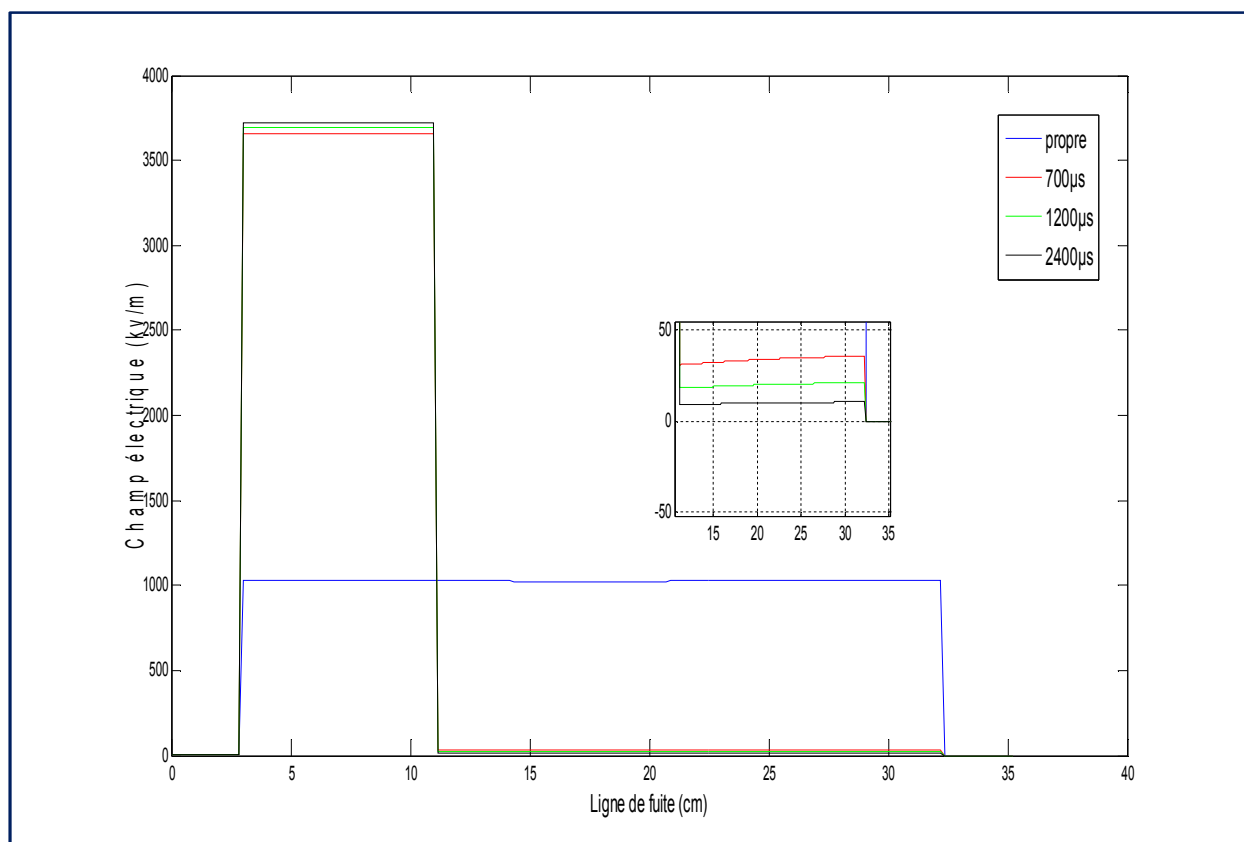


Figure III .18 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur coté (HT)

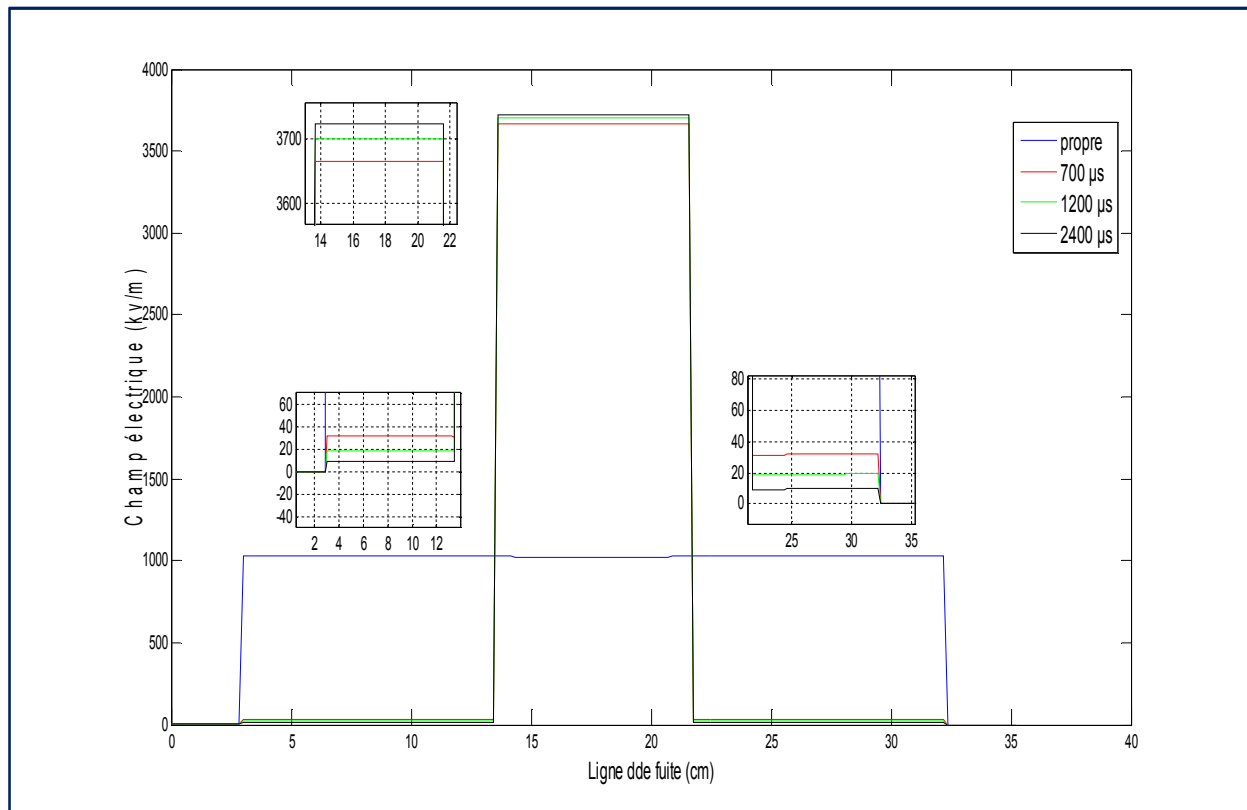


Figure III .19 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur coté milieu

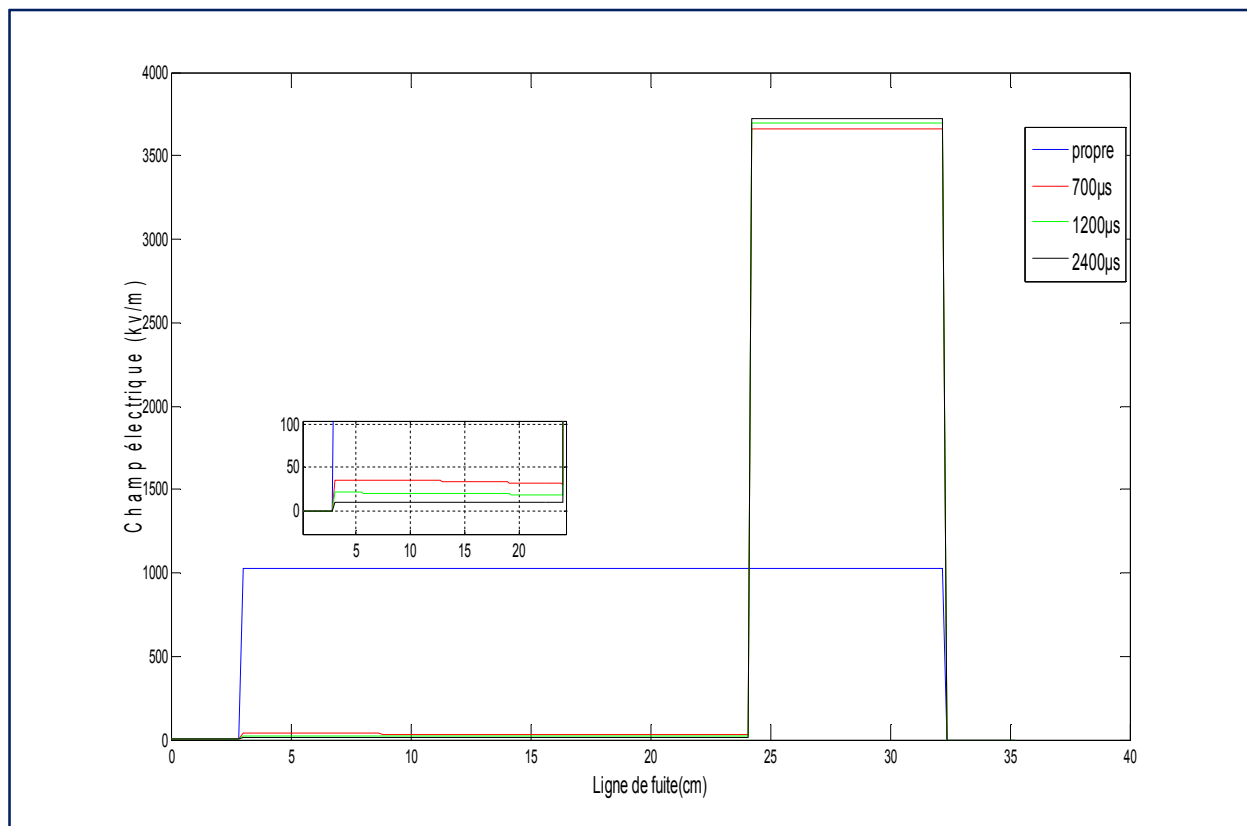


Figure III .20 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur (coté terre)

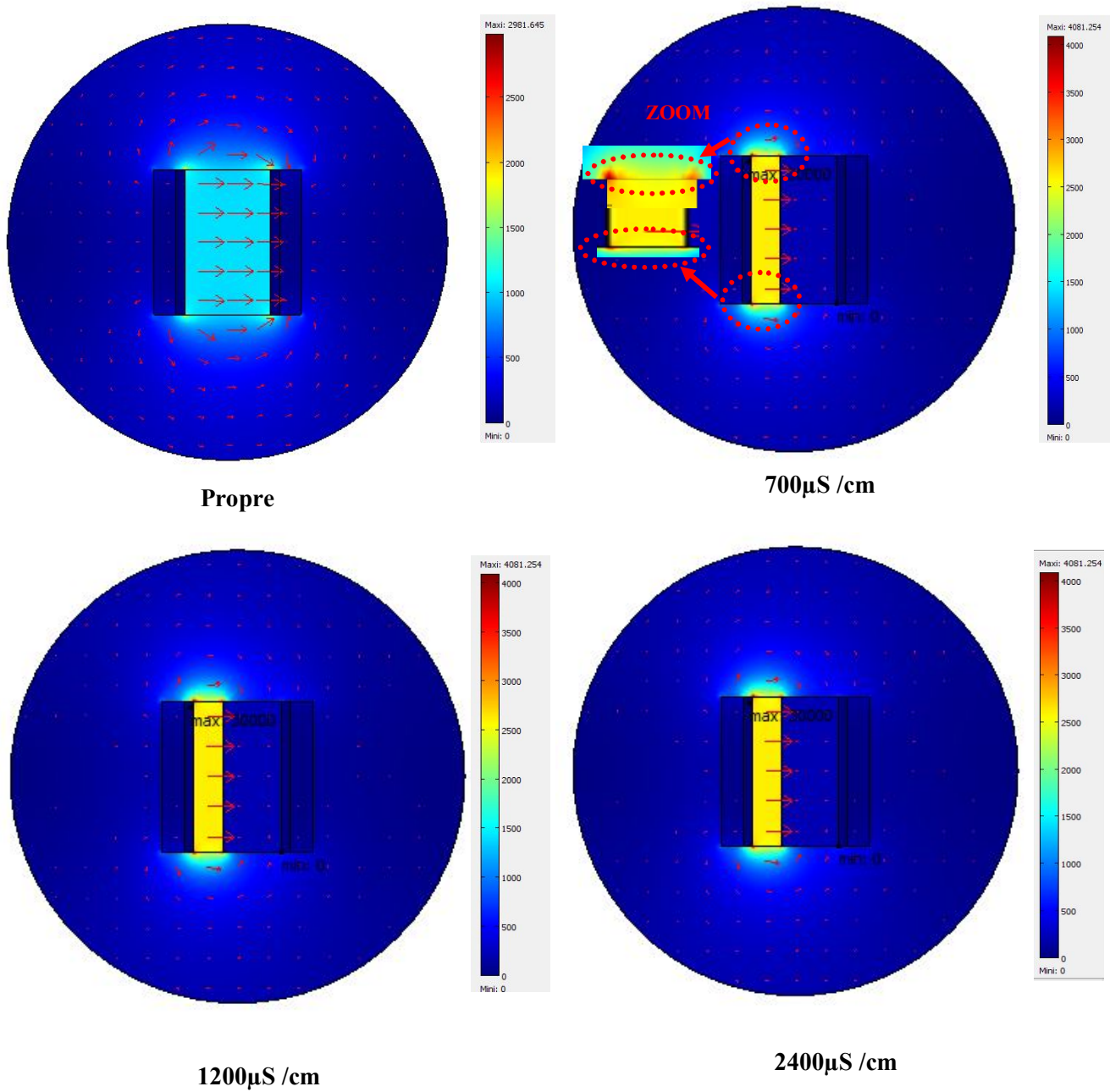


Figure III.21 Distribution du Champ électrique en fonction de la conductivité.

III.6.2.3. Influence de la tension de la ligne

Les figures (III.22 et III.23) représentent la variation du champ électrique en fonction 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 au niveau de la couche propre.

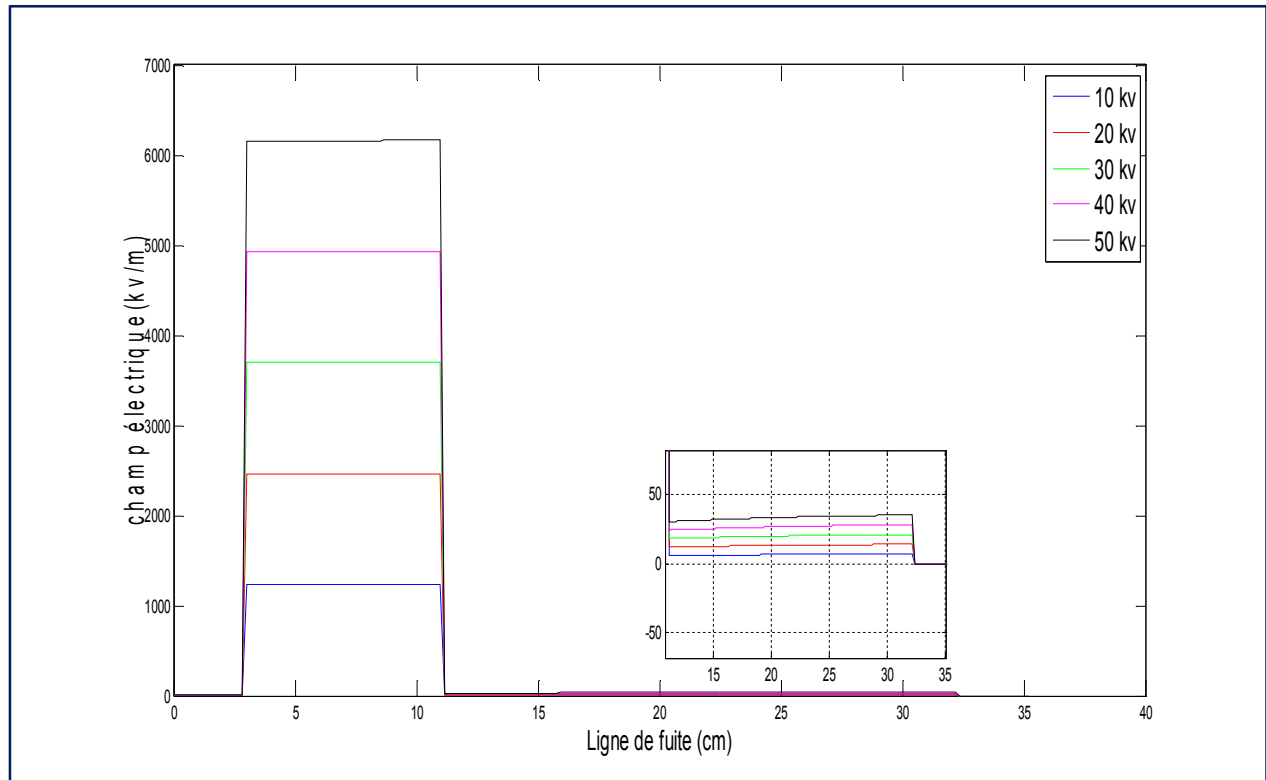
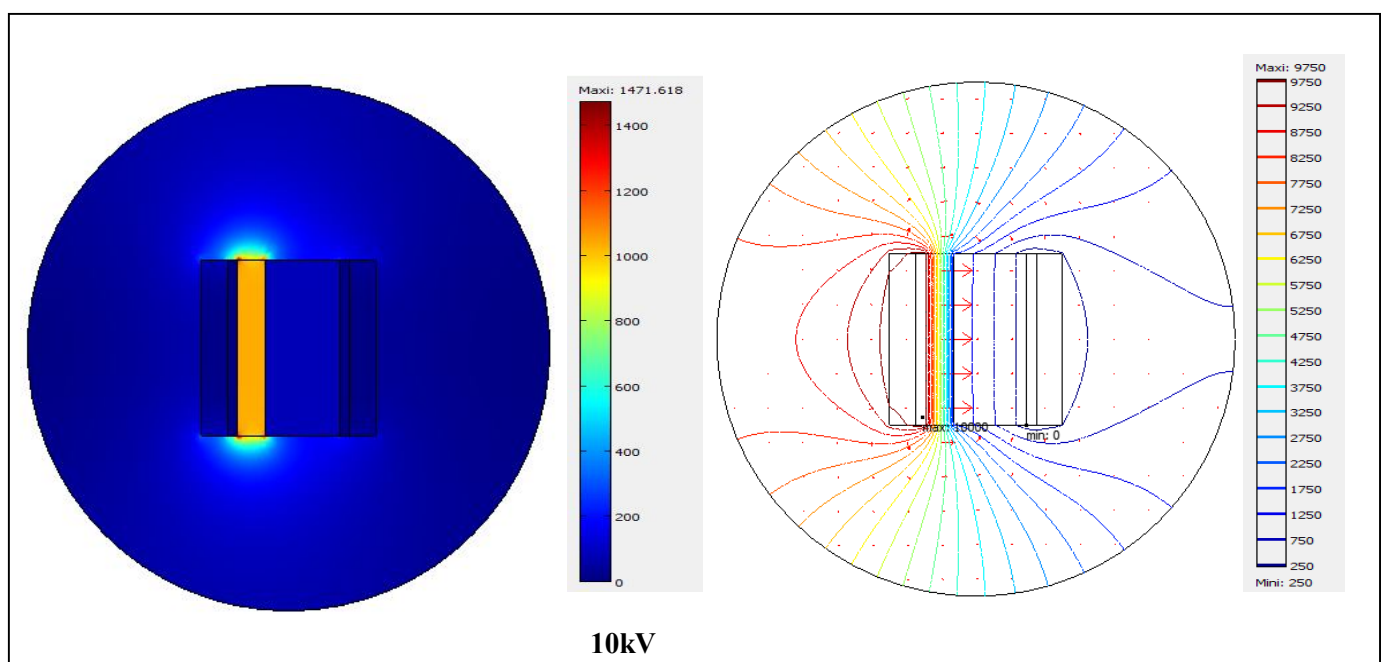
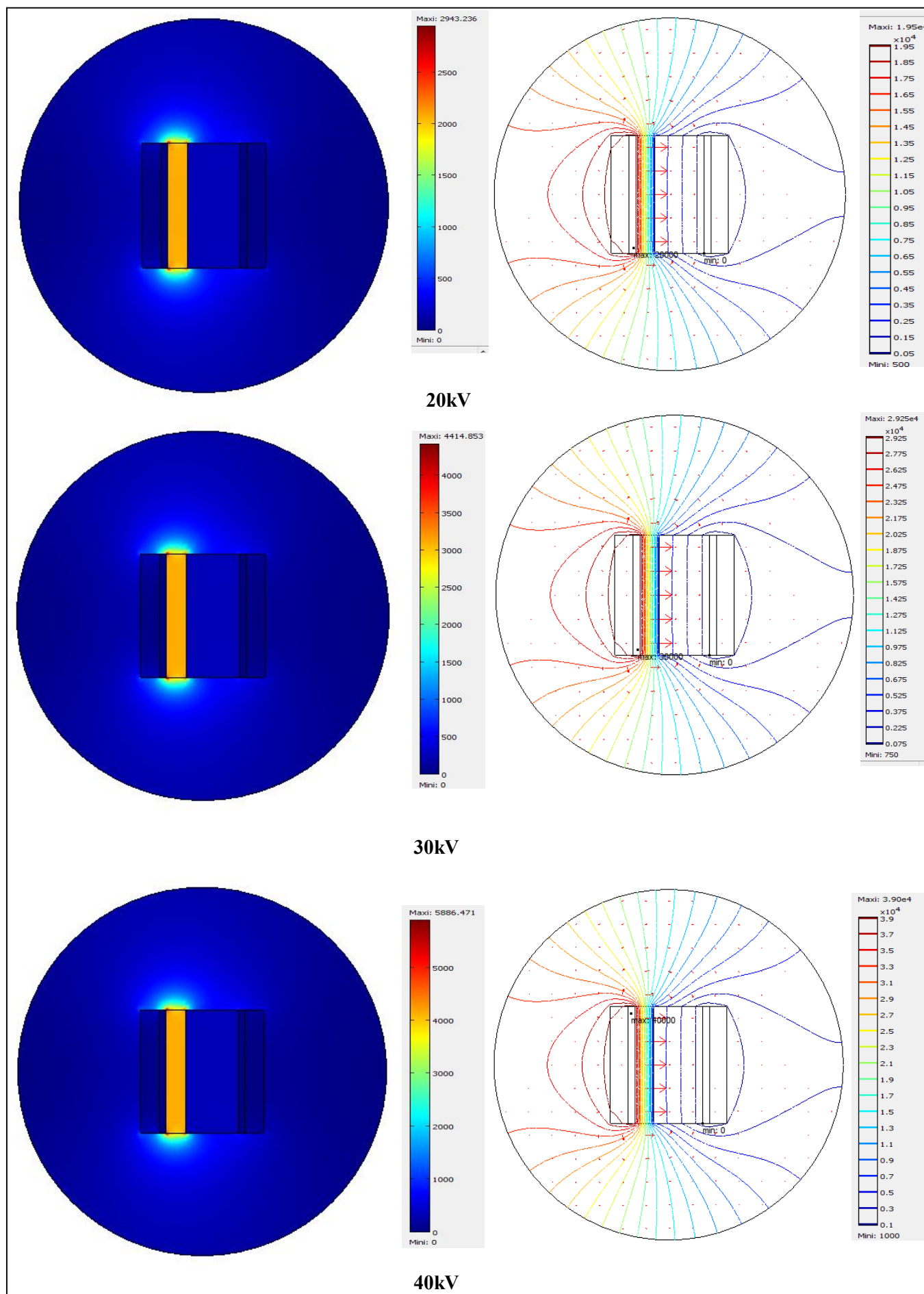


Figure III.22 Champ électrique le long de la ligne de fuite de l'isolateur





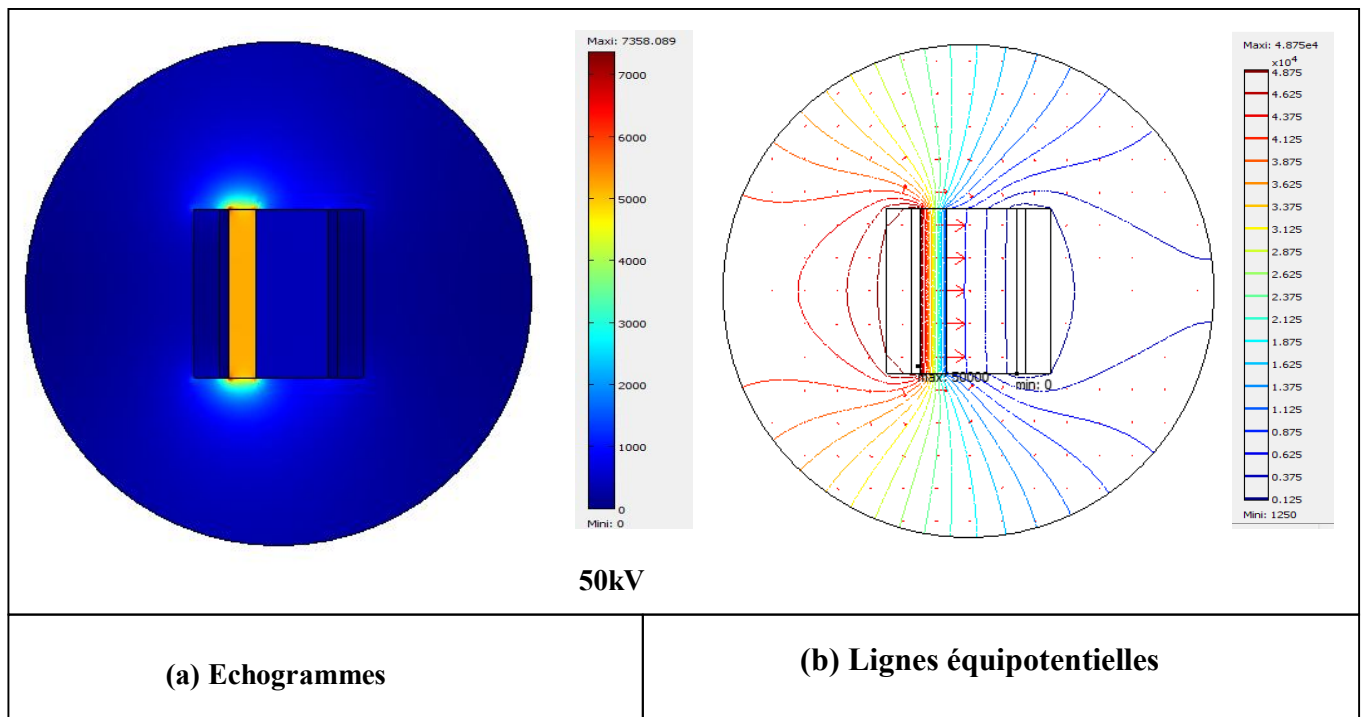


Figure III.23 Distribution du champ électrique en fonction de la tension de la ligne actif.

III.7 Conclusion

Utilisant le logiciel **COMSOL** Multiphysics, basé sur la méthode des éléments finis, nous avons pu analyser les distributions du potentiel et du champ électriques sur le long de la ligne de fuite du modèle d'isolateur 1512L soumis à différents paramètres électro-géométriques, à savoir la conductivité de la couche polluante, la tension de la ligne et la largeur de la couche propre.

Comme principaux résultats, nous pouvons dire que la conductivité de la couche polluante pratiquement n'a pas d'effet sur les répartitions du potentiel et une légère influence sur l'intensité du champ électrique, et pour le cas propre le champ est nul à l'intérieur des électrodes.