



Simulation d'une Décharge Electrique Multi-Branches, sur une Surface Isolante Polluée Modélisant un Isolateur HT

A. BENSACI^a, D. MAHI^b, B. ZEGNINI^b

^aElectrical Department , Faculty of Electrical Engineering,

University of Sciences and Technology , BP 1505 El Mnaouer Oran 31000, Algeria

^bLaboratoire d'étude et de développement des semi conducteurs et diélectriques, Amar Telidji

University of Laghouat , BP37G ,Ghardaia road Laghouat(03000), Algeria

Corresponding author: bensaci_03@yahoo.fr

Abstract : The studies made until now could not explain the mechanism of the lengthening of the initial discharge until skirting. Nevertheless, one tested, by our contribution to elucidate the essential causes being able to bring to the propagation of the discharge. In this article, we made a simulation of the system discharge-electrolyte to determine the distribution of the potential and the value of the electric field in the vicinity of the discharge thus if that in the electrolyte. The computed electrical field in a backing region of the discharge is compatible with the development of streamers. Then the pollution level and the presence of partial arcs have a considerable effect on the distribution of the potential and the electric field along the channel. The obtained results will help to find a physical explanation to the extension of the leader of the discharge along channel filled with electrolyte that materialized the layer of pollution.

Key words-Flashover, Discharge, Streamers, Electrolyte, Simulation, Propagation, COMSOL v3.5.

Résumé : Les études faites jusqu'à maintenant n'ont pu expliquer le mécanisme de l'allongement de la décharge initiale jusqu'au contournement. Néanmoins, on a essayé, par notre contribution à élucider les causes essentielles pouvant amener à la propagation de la décharge. Dans cet article, nous avons fait une simulation du système décharge-électrolyte pour déterminer la distribution du potentiel et la valeur du champ électrique au voisinage de la décharge ainsi si que dans l'électrolyte. Les résultats montrent que les valeurs du champ électrique sont compatibles avec le développement de streamers dans une zone en aval de la décharge et la répartition du potentiel autour des branches ainsi créées montre que le champ électrique est suffisant pour permettre le développement de nouveaux streamers dans la direction de l'électrode de masse. L'étude a mis en évidence la décomposition progressive de la décharge en plusieurs branches et la possibilité de l'extension de ce type de branchement en direction de l'électrode de masse.

Mots clés - Contournement, décharge électrique, Electrolyte, simulation, propagation, streamers, COMSOL V3.5.

I. INTRODUCTION

Dans la littérature consacrée au contournement, plusieurs études ont faites afin de déterminer les conditions critiques de ce phénomène.

La détermination de la distribution du potentiel et du champ électrique de tout système haute tension est un problème complexe de calcul non pas par la simplicité des équations aux dérivées partielles qui les décrivent mais plutôt à cause de la forme irrégulière des diélectriques, de la proximité de surfaces métalliques aux formes complexes, des lignes de transmission [2,3].

Dans ce travail nous avons déterminé la distribution du potentiel et la valeur du champ électrique, non seulement dans la couche de pollution, mais à son voisinage.

II. APPLICATION DE LA METHODE DES ELEMENTS FINIS A LA SIMULATION DE NOTRE MODELE PHYSIQUE

Le dispositif expérimental sur la figure suivante [1,4,5]:

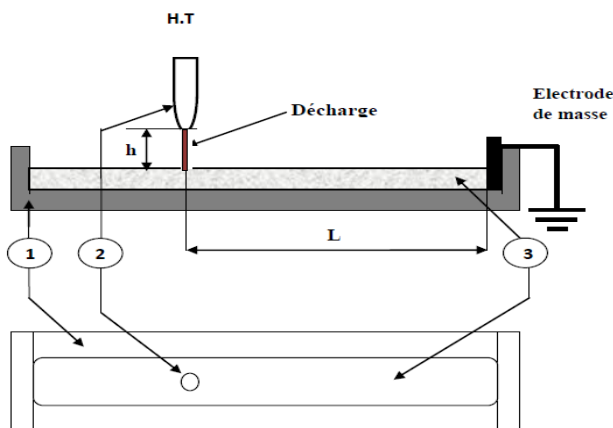


Fig. 1 : modèle physique

1 : La plaque de plexiglas (PMMA) servant de base du modèle, représente l'isolateur lui-même ; sa longueur est 40cm, sa largeur de 4 cm et sa profondeur de 3mm.

2 : Electrode haute tension, représente le potentiel de la ligne,

3 : La rainure contenant la couche de l'électrolyte.

h : La hauteur entre L'électrode haute tension et la couche de l'électrolyte ; représente la zone sèche (dans notre cas elle est 3 mm).

Les matériaux que nous avons utilisés dans notre modèle sont :

- Le plexiglas (PMMA) : $\epsilon_r = 3.6$,
 $r_p = 5000 - 20000 \Omega/cm$
- L'eau salée : $\epsilon_r = 80$
- L'Air : $\epsilon_r = 1$

III. OBJECTIF

Dans ce travail, nous avons fait une simulation du système décharge-électrolyte pour déterminer la distribution du potentiel et la valeur du champ électrique au voisinage de la décharge ainsi si que dans l'électrolyte [2,6].

Un problème important rencontré pendant la modélisation du contournement à l'aide du logiciel **COMSOL Multiphysics 3.5** [8,9], sur le modèle donné, est la simulation de la décharge.

La décharge a été modélisée à l'aide des conditions aux limites qui sont représentées par la répartition de potentiel le long de sa colonne de décharge [7].

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans notre dispositif, nous avons choisi la représentation axisymétrique avec l'axe de symétrie identique à l'axe de l'électrode haute tension et l'axe de la colonne de la décharge.

Cette représentation assimile l'électrode haute tension à un cylindre terminé par une demi-sphère et la colonne de la décharge à un cylindre, ceci exprime assez bien la réalité physique de leur forme [1].

a)- Système sans décharge

Dans la figure 2 représente les résultats du calcul de la répartition du potentiel pour cette configuration lorsque la tension appliquée est de 13.2 kV et une résistivité de pollution de la constriction des équipotentielles entre l'électrode haute tension et la surface polluée est assez remarquable : la chute de tension entre les deux est de 12870 V, car l'électrolyte en absence de courant qui le parcourt prolonge l'électrode de masse [1,3].

La figure (3) représente le champ électrique dans la même situation. Le champ maximal est égal à 56.15kV/cm. Selon son emplacement, nous pouvons prédire l'endroit de l'initiation d'une décharge. Le champ électrique étant supérieur à 30kV/cm pour tous les points situés sur l'axe de l'électrode H.T.

Entre cette électrode et la surface de l'électrolyte, le claquage de l'air va se produire spontanément à l'aplomb de l'électrode lorsque

la tension appliquée sera de 13,2kV, ce que confirment nos observations.

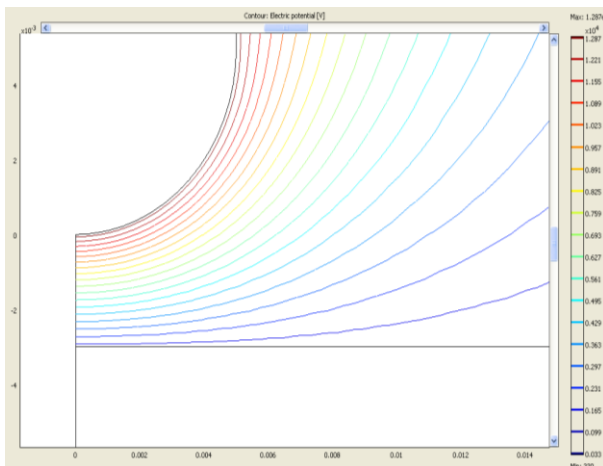


Fig. 2: Répartition du potentiel entre l'électrode haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge.

Hauteur de l'électrode au-dessus de la surface d'électrolyte $h=3\text{mm}$

Tension appliquée à l'électrode $V=13.2\text{ kV}$

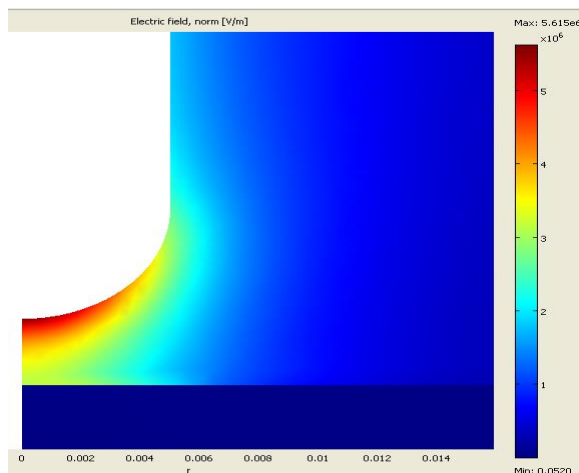


Fig. 3: Répartition du champ électrique entre l'électrode haute tension et la surface de l'électrolyte avant l'amorçage de la décharge.

b)- Système avec une décharge verticale

Nous supposons qu'une décharge est amorcée entre l'électrode haute tension et le point le plus proche sur la surface de l'électrolyte, donc situé sur même verticale.

Sur les figures 4 et 5, nous présentons la répartition du potentiel et du champ électrique après l'amorçage de la décharge ; la plus grande partie de cette chute de tension est située au

voisinage de la racine de la décharge à cause de la présence de la charge d'espace à l'interface.

Les résultats montrent que la région dans laquelle la valeur du champ électrique est 5.3kV/cm ($5.3 \times 10^5\text{ V/m}$) comparable à celle trouvée par Rizk ($5.4 \times 10^5\text{ V/m}$) qui correspond au champ d'amorçage de streamers positifs [3].

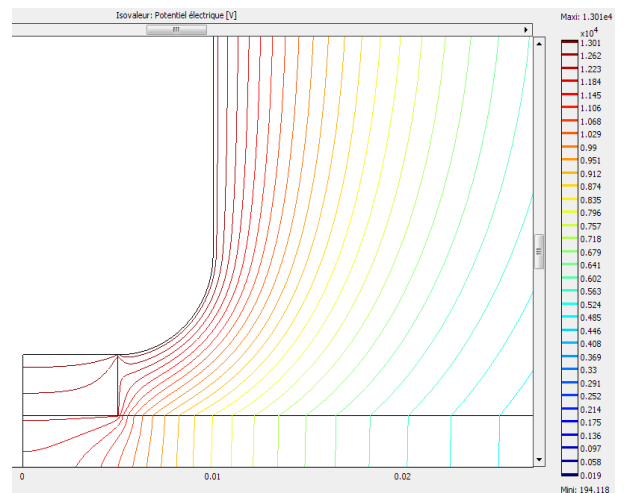


Fig. 4: Répartition du potentiel dans le dispositif expérimental après l'amorçage de la décharge.

Longueur de la décharge $h=3\text{ mm}$; Tension appliquée à l'électrode $V=13.2\text{ kV}$;

Rayon de la décharge $R_d=1.5\text{mm}$

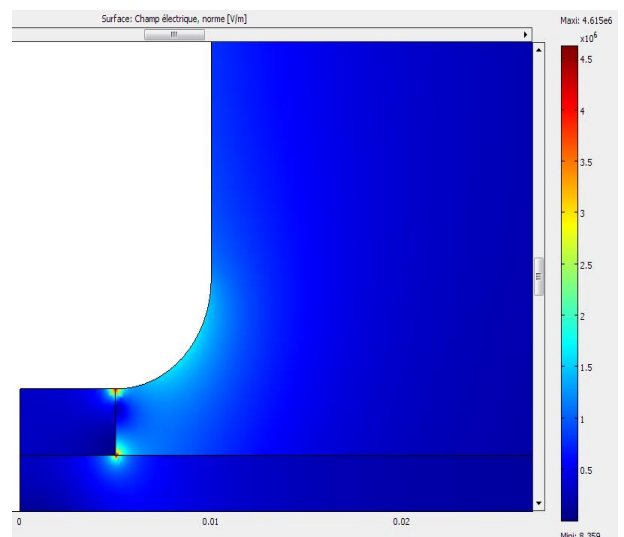


Fig. 5: Répartition du champ électrique dans le dispositif expérimental après l'amorçage de la décharge

c)- Ramification de la décharge (Ramification Décharge-streamers)

Afin d'examiner la situation où une décharge du type streamer a été amorcée dans la région du champ critique sur la figure 5.

Dans ce cas, nous avons utilisé un plan horizontal est créé par une coupe parallèle à la surface du canal. L'utilisation de cette représentation suppose que les variations des grandeurs électriques sont beaucoup plus importantes dans le plan horizontal que dans le plan vertical.

Les résultats du calcul sur les figures (6) dans l'électrolyte et (7) dans l'air montrent que le champ électrique a été modifié localement par la présence de la branche de la décharge surtout dans le canal d'électrolyte.

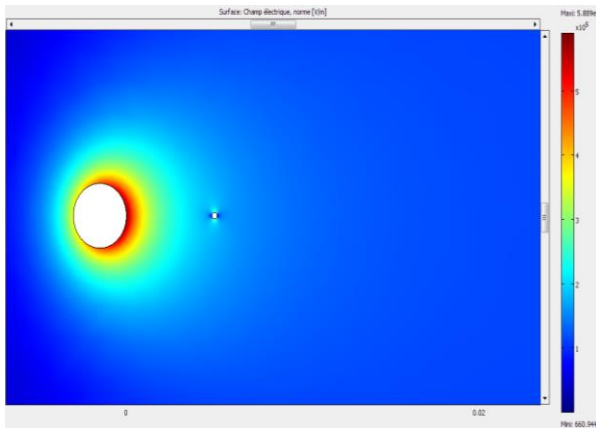


Fig. 6: Calcul du champ électrique sur la surface du canal d'électrolyte en présence d'une ramification de la décharge.

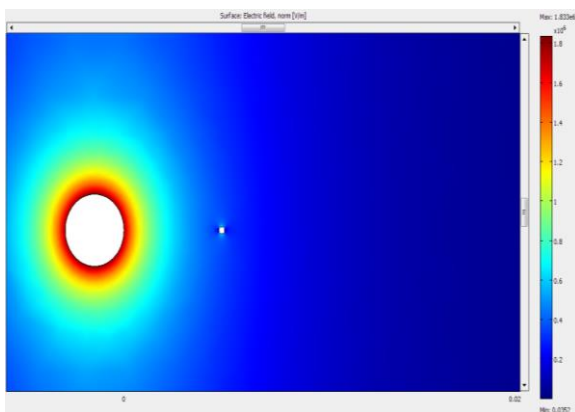


Fig. 7: Calcul du champ électrique dans l'air au-dessus de la surface du canal d'électrolyte en présence d'une ramification de la décharge.

d)- Ramification Décharge – Décharge

Nous supposons maintenant que le streamer a créé un canal conducteur donnant d'abord naissance à une décharge lumineuse anormale

tendant ensuite, par une augmentation de courant, à se développer vers un régime de transition vers l'arc [1,4,6].

Le potentiel du pied de la branche de la décharge est donné par le potentiel à l'endroit où la branche entre dans l'électrolyte. En supposant le courant suffisant dans la branche, nous avons ensuite calculé le gradient du potentiel de la décharge au-dessus du canal d'électrolyte en utilisant l'équation d'Ayrton. Ce gradient est lié à la valeur du courant qui le crée par la relation $E = A \cdot i^{-n}$

Les valeurs de courant choisies pour la colonne et la branche de la décharge sont respectivement de 100 mA et 3 mA, les rayons de la décharge sont aussi fonction des densités de courant et qui en découlent sont respectivement de 1,5 mm et de 0.15 mm.

D'après le résultat du calcul sur la figure 8, nous constatons que seule la répartition du champ électrique dans l'air est radicalement modifiée à cause de l'équation de la chute de tension dans la décharge.

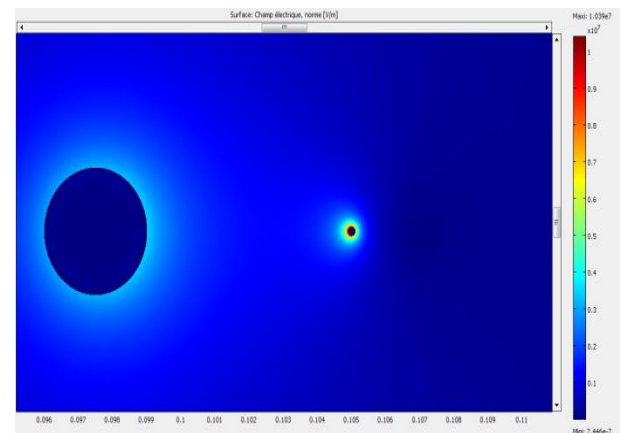


Fig. 8: Calcul du champ électrique dans l'air à 1 mm de la surface du canal d'électrolyte en présence d'une ramification de la décharge. Distance entre les centres des branches de la décharge $d=5\text{mm}$

Nous nous sommes intéressés à l'étude de l'influence de la distance entre les centres des disques sur la répartition du champ, nous avons choisi les distances : 5 mm, 3 mm, 2 mm et 1 mm.

D'après les résultats obtenus sur la figure 9, nous remarquons une augmentation du champ en aval de la branche de la décharge au fur et à mesure que la distance entre les centres des disques s'accroît.

Cet accroissement du champ est favorable à l'initialisation de streamers qui pourront conduire au développement d'une ramification de la branche déjà existante. Ainsi d'après les résultats obtenus, on montre que l'espace entre la décharge principale et auxiliaire peut s'ioniser.

Sur la figure 10, nous essayons l'étude de la décomposition progressive de la décharge en présence des plusieurs branches. En se basant sur la théorie du modèle multi arcs, le résultat obtenu il valide notre modèle du multi-arc car le décharge électrique se développe ramification.

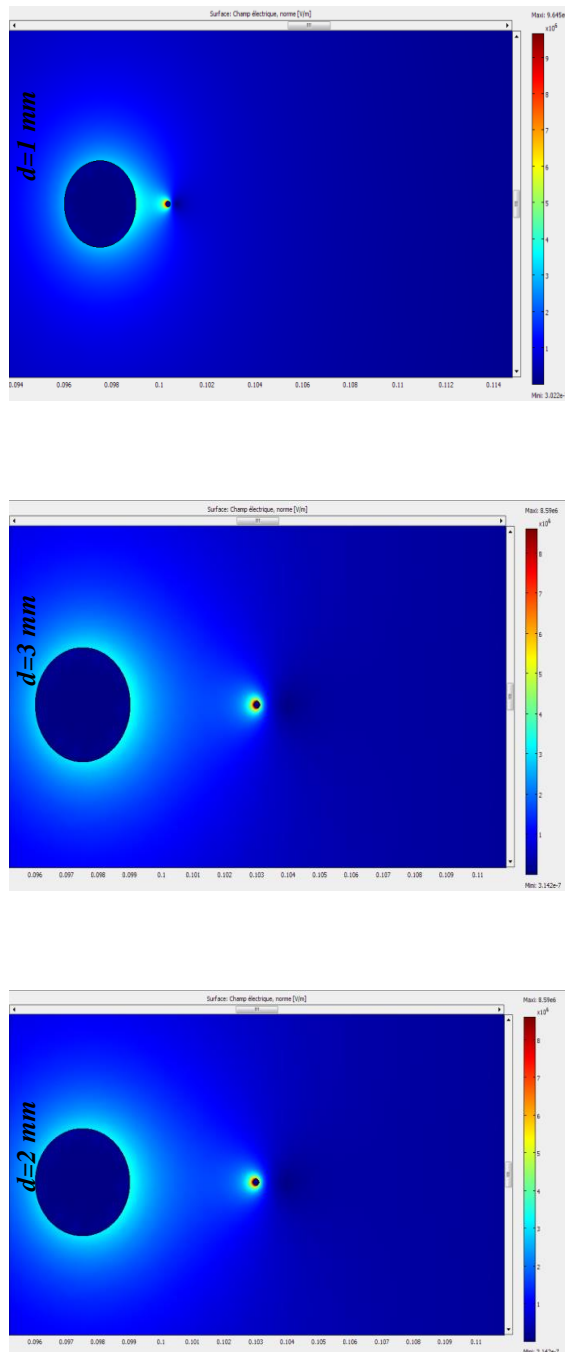


Fig. 9: Calcul du champ électrique dans l'air à 1 mm de la surface du canal d'électrolyte en présence d'une ramification de la décharge
Rayon de la colonne de la décharge $R_d=1.5\text{ mm}$;
Rayon de la ramification $r_d=0.15\text{ mm}$;

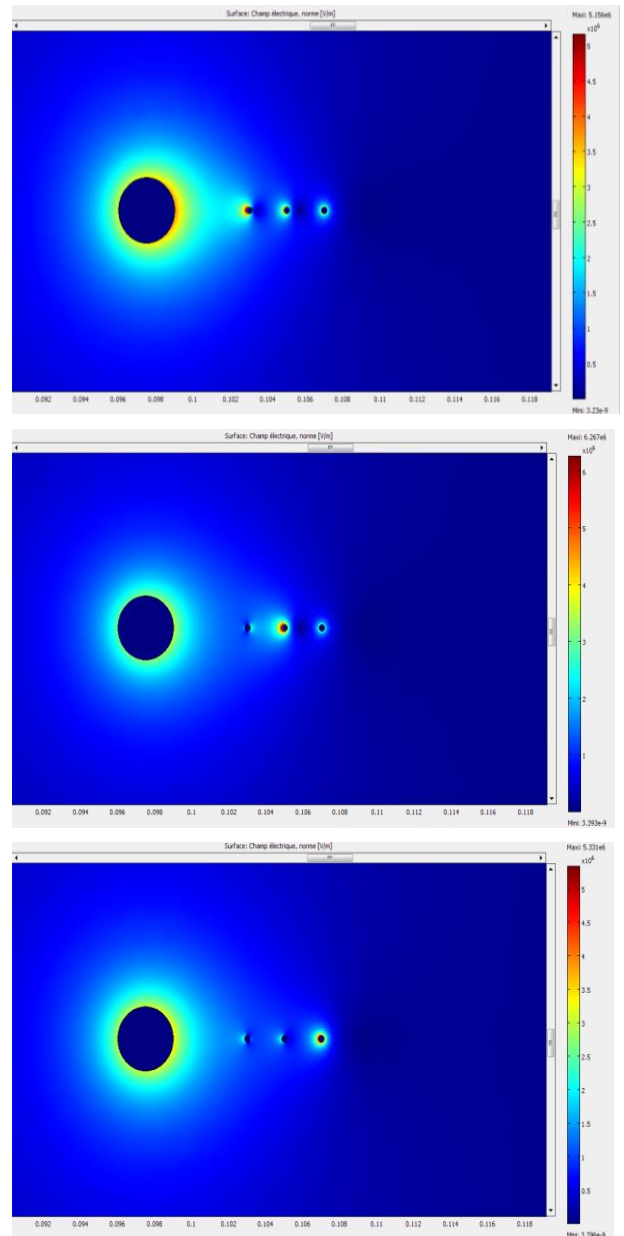


Fig. 10 : Extension de la décharge en présence des plusieurs branches de la décharge

e)- Calcul de distance de la Limite d'influence

Nous pouvons de déterminer la limite de l'influence lorsque nous éloigner de branche de décharge,

D'après les résultats obtenus sur la figure 11, il n'y a pas d'influence entre la colonne

principale de la décharge et la nouvelle branche, et même entre les autres branches de décharge.

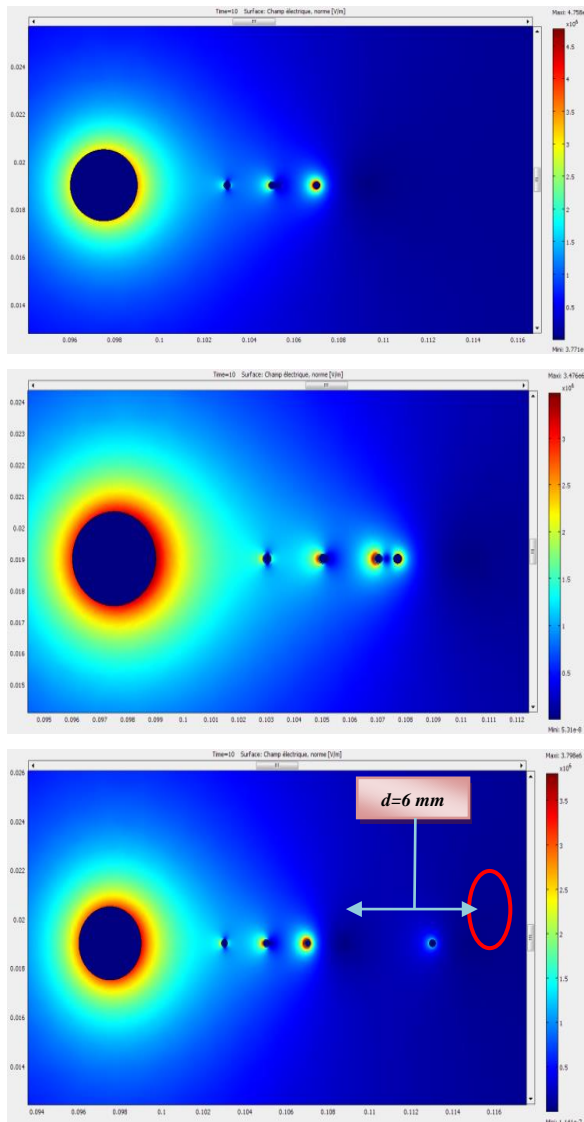


Fig. 11: Calcul la distance inefficace (pas d'influence) en présence de la décharge ;

V.CONCLUSION

Nous avons utilisé un outil de calcul basé sur la méthode des éléments finis (COMSOL Multiphysics) pour décrire la répartition du potentiel le long de la décharge. Nous avons pris en considération la géométrie réelle de notre dispositif expérimental pour déterminer localement le champ électrique.

Parmi les principaux résultats obtenus dans cette étape :

L'existence de valeurs du champ électrique compatibles avec développement de streamers dans une zone en aval de la décharge,

L'étude de la décomposition progressive de la décharge en plusieurs branches mettant en évidence la possibilité de l'extension de ce type de branchement en direction de l'électrode de masse,

Certains streamers peuvent être nourris par d'autres issus de l'espace voisin de la décharge principale et devenir, avec l'augmentation du courant qui les traverse, des décharges de type luminescent, puis de transition entre la luminescence et l'arc.

REFERENCES

- [1] B. Zegnini, D. Mahi "Distribution of the electric field in the discharge interval under AC voltage on contaminated electrolytic surfaces simulated HV polluted insulator" 2002 Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena CEIDP 2002, sponsor by IEEE /DEIS, October 20-24 2002, Cancun, Quintana Roo, Mexico, pp164-167.
- [2] B. Benamar and E. Favre, "Finite Element Solution for Ionized Fields in DC Electrostatic Precipitator", Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Users Conference 2007 Grenoble.
- [2] D. Mahi, " Observation de l'allongement d'une décharge électrique sur des surfaces faiblement conductrices et corrélation avec les modèles de contournement électrique d'isolateurs HT pollués ", Thèse Doctorat d'Etat de l'Université Djilali Liabès, Sidi Belabès, Algérie, 2001.
- [3] P.Zmajkovic, "Modélisation du contournement électrique et validation expérimentale du mécanisme propose pour l'extension de la décharge", thèse de doctorat, uni. Paule Sabatier Toulouse, 1996.
- [4] N. Dhabhi-Megrice and A. Beroual, "Flashover Dynamic Model of Polluted Insulators under ac Voltage", IEEE Trans. Dielectric. Electr. Insul, Vol.7, pp. 283_2 89, 2000.
- [5] D. Mahi and F.Benazzouz, B.Zegnini "Multi-branches modeling of an electric on slightly conductive surfaces", IEEE 2002 Annual report Conference on Electrical Insulation and Phenomena.
- [6] M. Pollentes, P. Zmajkovic and C.Hurax, "Experimental setup for measurements of light emission and electrical parameters during the DC interfacial breakdown on contaminated electrolytic surfaces", 5th International conference on conduction and breakdown in solid dielectrics IEEE, 1995;
- [7] B. Benamar and E. Favre, "Finite Element Solution for Ionized Fields in DC Electrostatic Precipitator", Excerpt from the Proceedings of the COMSOL Users Conference 2007 Grenoble.
- [8] COMSOL Multiphysics- AC/DC Module Model Library, September 2008.