

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques
Thème

Calcul par Comsol du Champ Electrique dans un Isolant Solide Haute Tension

Présenté Par :

- 1) Mr BESSAFI Hicham
- 2) Mr BENICHOU Aissa
- 3) Mr BENCHIKH Islem

Devant le jury composé de :

Mr S. Zelmat	Pr	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr D. Berrached	M.C.B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Mme A. Touhami	M.A.A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante

Année universitaire 2021/2022



Remerciement

A Mon Encadreur Madame A. Touhami

pour avoir dirigé ce mémoire .

Votre compétence et votre gentillesse ont toujours suscité grande estime.

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements

Merci

Dédicace :

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, la tendresse, Le respect, la
reconnaissance...*

Aux êtres qui me sont chers et c'est tout simplement que...



En dédie ce travail

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace :

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction générale.....1

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

I.1 Introduction..... 3

I.2 Les isolants solides Haute Tension 3

I.3 Types d'isolants et domaines d'utilisation 3

I.4 Principales caractéristiques des isolants solides :..... 5

I.4.1 Rigidité diélectrique..... 5

I.4.2 Permittivité et Pertes diélectrique..... 5

I.5 Les modes de défaillances 7

I.5.1 Arborences électriques..... 8

I.5.2 Décharge partielle 9

Chapitre II : Simulatiuon sur Comsol

II.1Introduction 14

II.2 Logiciel Comsol Multiphysics..... 14

II.2.1 Choix du modèle d'étude..... 15

II.3 Les étapes de simulation..... 16

II.3.1 Géométrie: 17

II.3.2Description des propriétés physiques 18

II.3.3 Conditions aux limites 19

II.3.4 Maillage 19

II.4 Présence d'une cavité d'air dans l'espace inter électrode 20

II.4.1 Cas d'isolant avec une cavité d'air à proximité de l'électrode pointue	20
II.4.3 Cas d'isolant avec une cavité d'air cavité au milieu d'espace inter électrode.....	21
II.4.2 Cas d'isolant avec une cavité d'air à proximité de l'électrode de terre.....	22
II.5 Maillage	22
II.6 Présence de plusieurs cavités dans l'isolant	24
II.6.1 Trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition horizontale	24
II.6.2 Trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition verticale.....	24
II.6.3 Trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition triangulaire	25
II.6.4 Maillage	26
II.5 Résolution.....	27

Chapitre III : Résultats et Intreprétations

III.1 Introduction	29
III.2 Cas d'isolant sans cavité	29
III.2.1 Résultats de simulation obtenus	29
III. 2.2 Interprétation	32
III.3 Cas d'isolant avec une cavité d'air.....	33
III.3. 1 Cavité à proximité de la pointe	33
III.3. 2 Cavité au milieu de l'espace inter électrode.....	35
III.3. 3. Cavité à proximité de l'électrode de terre	36
III.3.4 Interprétation :	37
III.4 Cas d'isolant avec plusieurs cavités	37
III.4 1 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition horizontale.....	37
III.4 2 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition verticale.....	39
III.4 2 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition triangulaire	42
III.4.3Interprétation	43
III.5 Présence d'une Vacuole d'eau dans l'isolant:	44
III.5.1 Cas d'une vacuole d'eau à proximité de l'électrode pointue :	44

III.5.1 Cas de trois vacuoles d'eau à proximité de l'électrode pointue :.....	45
III.5.2 Interprétations.....	46
III.6 Conclusion.....	46
Conclusion générale.....	47

Liste des figures

Fig.I.1 Défaut dans un isolant :(a) cavité et décollement au sein de l'isolant, (b) :structure de PRC contenet une cavités.....	7
Fig.I.2 : Arborescence lente dans un échantillon de polyéthylène.....	9
Fig I. 3 : Répartition du champ électrique dans isolant (PE) contenant une cavité d'air.....	11
Fig. II. 1 : interface de Comsol 5.3.....	15
Fig. II.2 : Organigramme du calcul des paramètres électrique par Comsol.....	16
Fig.II.3 : Système d'électrode pointe-plan.....	17
Fig.II.4 : système d'électrode pointe-plan dans l'espace Comsol.....	18
Fig. II.5 : système d'électrode asymétrique.....	19
Fig. II.6 : Maillage extrêmement fin pour un potentiel de 20 KV.....	19
Fig II. 7 : Cavité d'air à proximité de la pointe	20
Fig II. 8 : Cavité au milieu de l'espace inter électrode	21
Fig II.9 : Cavité d'air à proximité de l'électrode de terre.....	21
Fig. II.10 : Maillage système avec cavité d'air (a) : à Proximité de la pointe, (b) au milieu de l'espace inter électrode, (c) au voisinage de l'électrode de terre.....	22
Fig. II.11 : disposition horizontale des cavités d'air	23
Fig. II.12 : disposition horizontale des cavités d'air	24
Fig. II.13 : disposition triangulaire des cavités d'air.....	24
Fig II. 14 : Maillage des trois configuration (a) : trois cavités d'air à côté de la pointe, (b) trois cavités d'air au milieu de l'espace inter électrode, (c) : trois cavités d'air à côté de l'électrode de terre	25
Fig . III.1 : Surface équipotentielle pour une tension de 20 KV.....	28
Fig. . III.2 : Ligne verticale passant par la pointe pour tracer le champ électrique.....	29
Fig . III.3 : Surfaces du champ électrique pour 20KV.....	29
Fig . III.4: Lignes et direction du champ électrique pour 20KV.....	30
Fig . III.5 : Courbe du champ électrique selon la ligne verticale passant par la pointe.....	30
Fig III. 6 : Surface équipotentielle pour cavité à proximité de la pointe	32

Fig III. 7 : Surface du champ pour cavité à proximité de la pointe.....	33
Fig III. 8: Lignes du champ pour cavité à proximité de la pointe ///.....	33
Fig III. 7: Surface équipotentielle pour cavité au milieu d'isolant.....	34
Fig III.8 : Lignes du champ pour cavité à proximité de la pointe	34
Fig III. 9: Surface équipotentielle pour cavité à proximité de l'électrode de terre	35
Fig III.10 : Lignes du champ pour cavité à proximité de l'électrode de terre.....	35
Fig. III.11 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités placées horizontalement.....	37
Fig. III.12 : Lignes du champ électrique pour trois cavités placées horizontalement.....	37
Fig. III.13 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées horizontalement.....	38
Fig. III.14 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités placées verticalement.....	39
Fig. III.15 : Lignes du champ électrique pour trois cavités placées verticalement.....	39
Fig. III.16 : Surfaces du champ électrique pour trois cavités placées verticalement.....	40
Fig. III.17 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées verticalement.....	40
Fig. III.18 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités formant un triangle.....	41
Fig. III.19 : Surfaces du champ électrique pour trois cavités placées triangulairement.....	41
Fig. III.20 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées triangulairement.....	42
Fig. III.21 : Lignes du champ électrique en présence d'une cavité d'eau.....	43
Fig. III.22 : Surface du champ électrique en présence d'une cavité d'eau.....	43
Fig. III.23 : Lignes du potentiel électrique en présence de trois cavités d'eau.....	44
Fig. III.23 : Lignes du champ électrique en présence de trois cavités d'eau.....	44

Liste des tableaux

Tab.I.1 : Champs électrique de fonctionnement des isolants dans quelques systèmes typiques.....	4
Tableau II.1 : Propriétés dimensionnelles de la configuration géométrique du modèle.....	17
Tab II.2 : Propriétés physiques des matériaux du modèle.....	18
Tab II.3 : Propriétés physiques des intrusions dans l'isolant.....	20

Résumé

Résumé

Notre étude consiste à étudier l'impact des défauts au sein d'un isolant haute tension en se basant sur l'analyse des lignes équipotentielles et la distribution du champ électrique. Cela permet de connaître les endroits où la contrainte électrique s'intensifie le plus. Il s'agit des cavités d'air emprisonnées à l'intérieur de l'isolant lors de sa construction ce qui donne naissance à des décharges partielles et par la suite l'endommagement des équipements électriques.

Plusieurs types de cavités de l'air ou d'eau et à différentes positions et dispositions ont été considérés. Différents résultats obtenus à l'aide du logiciel Comsol ont été analysés.

Mots Clés : Isolant Solide – Décharge Partielles – Cavités d'air - Champ Electrique

Abstract

Our study consists in studying the impact of defects within a high voltage insulator based on the analysis of equipotential lines and the distribution of the electric field. This makes it possible to know the places where the electrical stress intensifies the most. These are the air cavities trapped inside the insulation during its construction, which give rise to partial discharges and subsequently damage electrical equipment.

Several types of air or water cavities and at different positions and arrangements have been considered. Different results obtained using the Comsol software were analyzed.

Keyword: Solid Insulation – Partial Discharge – Air Cavities - Electric Field

Introduction Générale

Introduction Générale

La fonction d'isolation dans les dispositifs électriques de haute tension est d'une grande importance car toute défaillance du matériel est due à la rupture diélectrique (ou claquage) des isolants utilisés. Ces isolants ne sont jamais homogènes d'une part, pendant leur élaboration, de très faibles quantités de gaz se trouvent emprisonnées au sein du matériau et forment des cavités de formes et de dimensions très diverses. D'autre part lors de la mise en service de l'isolant autour de pièces métalliques des décollements se manifestent entre l'isolant et le conducteur. Ces défauts peuvent être le siège de décharge partielles qui pourront mener au vieillissement et par la suite à l'endommagement de l'ouvrage électrique.

Notre objectif est de simuler les différents type de défauts à l'aide du logiciel Comsol pour cela notre travail sera réparti comme suit :

Dans le premier chapitre nous présentons les isolants solides hautes tensions usuels, leur domaine d'utilisation, leur propriétés physiques et enfin les types de défaillance qui peuvent les endommager.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents essais sur le logiciel Comsol pour l'étude du phénomène d'arborescences électriques et ceci en utilisant un système asymétrique pointe-plan séparé par un milieu diélectrique dans lequel on introduit des cavités de permittivité relative variable à différentes position et disposition.

Le dernier chapitre est une présentation de l'ensemble des résultats de simulation ou nous analysons la contrainte électrique et les conditions favorisent l'obtention du champ d'initiation des arborescences électriques ainsi que la distribution des surfaces équipotentielles.

Nous finissons notre travail par une conclusion générale

Chapitre I :
Généralités sur
les isolants solides

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

I.1 Introduction

La fonction d'isolation dans les dispositifs électriques de haute tension est d'une grande importance car toute défaillance du matériel est due à la rupture diélectrique (ou claquage) des isolants utilisés. Dans ce chapitre, nous présentons les principaux isolants solides utilisés dans le domaine de la haute tension et leurs propriétés ainsi que les types de claquages rencontrés dans la pratique.

I.2 Les isolants solides Haute Tension

La fonction première d'un isolant électrique est de s'opposer au passage du courant entre conducteurs. Les propriétés diélectriques des matériaux utilisés sont donc de toute première importance. Les isolants solides jouent de plus le rôle de support mécanique des conducteurs et doivent en général transmettre par conduction la chaleur dégagée dans les différentes parties du dispositif [1].

La pérennité de leur fonction est extrêmement importante puisqu'elle conditionne la fiabilité des dispositifs et des systèmes dans lesquels ils sont intégrés. La défaillance des isolants conduit souvent à des situations catastrophiques entraînant éventuellement de lourdes conséquences économiques :

- ✓ la « fragilisation » d'une partie du réseau de transport électrique en cas de défaillance sévère d'une liaison souterraine de forte puissance ;
- ✓ l'arrêt des machines de production d'électricité ;
- ✓ la défaillance d'alimentation électrique sur systèmes embarqués en orbite ;
- ✓ la destruction de faisceaux de connexions électriques par mise en court-circuit de fils isolés dans des systèmes électriques ou électroniques [1].

I.3 Types d'isolants et domaines d'utilisation

Les isolants solides trouvent des applications dans un grand nombre de dispositifs de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie électrique. Ils sont regroupés en deux catégories principales selon leur nature organique ou inorganique [1].

Les principaux **isolants inorganiques** regroupent :

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

les **verres** : essentiellement utilisés pour l'isolement des lignes électriques aériennes et sous forme de fibres dans les isolations composites où ils améliorent les propriétés mécaniques de pièces isolantes plastiques ;

Les **céramiques et oxydes** [2], largement répandus dans l'isolation haute ou basse tension, haute fréquence, sous vide et dans les condensateurs ;

les **micas et produits micacés** [3], particulièrement importants dans le secteur de l'isolation à la masse des bobinages des stators de machines tournantes de tension nominale comprise entre 1 et 30 kV.

La catégorie des **isolants organiques** [4] se subdivise entre **matériaux naturels** (caoutchoucs, paraffine et papier) et **synthétiques** (élastomères, polymères et composites), ces derniers étant de plus en plus utilisés.

Parmi les polymères, on distingue de plus entre les thermoplastiques et les thermodurcissables. Les isolants organiques sont largement utilisés dans le domaine de la câblerie, des condensateurs, des alternateurs, des transformateurs et des moteurs.

Les contraintes électriques auxquelles sont soumis les isolants dans le cadre du fonctionnement des systèmes sont très variables en fonction des dispositifs.

Le tableau 1 présente quelques données pour des isolants utilisés sous fort champ électrique.

Type de matériel	Contrainte électrique	Champ électrique maximal KV/cm	Isolation type
Alternateurs	Alternative	30	Composé mica-poly époxy ou mica-polyester
Câbles de transport d'énergie à isolation synthétique	Alternative	150-200	Thermoplastique (polyéthylène)
Condensateurs de puissance	Alternative	600-1000	Thermoplastique (polypropylène)
Composants de puissance	Alternative	400	polyimide
Tubes à vide soumis à une haute tension	<ul style="list-style-type: none"> • Continue • Impulsionnelle 	400	céramiques

Tab.I.1 : Champs électrique de fonctionnement des isolants dans quelques systèmes typiques [1]

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

I.4 Principales caractéristiques des isolants solides :

I.4.1 Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un matériau est la valeur maximale du champ électrique que l'on peut lui appliquer sans que se produise une dégradation irréversible nommée claquage ou perforation diélectrique rendant impossible une nouvelle application de la tension. Le claquage est précédé par une augmentation importante du courant circulant dans le matériau avec des conséquences thermiques destructives : fusion, évaporation, décomposition, carbonisation, ...

En pratique, la rigidité diélectrique est le rapport entre la tension de claquage et la distance entre les électrodes auxquelles cette tension est appliquée dans des conditions d'essai spécifiées. Pour que cela soit tout à fait exact, il conviendrait que le champ soit uniforme, c'est-à-dire que les électrodes soient planes et parallèles avec des bords tels qu'ils ne provoquent en aucun point de renforcement du champ [5].

I.4.2 Permittivité et Pertes diélectrique

Dans le cas (purement théorique) d'un diélectrique parfait, la permittivité relative ϵ_r se définit comme le rapport entre la capacité C_x d'un système d'électrodes immergées dans le diélectrique et la capacité C_v de la même configuration d'électrodes dans le vide :

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_v} \quad (\text{I.1})$$

Dans le cas des diélectriques réels (donc imparfaits), on définit la permittivité relative complexe ϵ_r^* . Cette notion permet d'analyser le défaut de quadrature entre le courant et la tension aux bornes d'un condensateur, et donc d'introduire des pertes diélectriques :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (\text{I.2})$$

Le facteur de dissipation diélectrique est égal au quotient ϵ_r''/ϵ_r' . Ce quotient est également appelé tangente de l'angle de pertes ou $\tan\delta$.

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

δ est l'angle complémentaire du déphasage entre la tension appliquée au diélectrique et le courant qui en résulte.

Le produit $\varepsilon_r' \cdot \tan\delta = \varepsilon_r''$ est appelé indice de pertes car il caractérise l'énergie dissipée dans le diélectrique.

La permittivité est une caractéristique importante d'un diélectrique lorsque l'on veut réaliser un condensateur de forte capacité. On recherche alors des matériaux à grande permittivité permettant d'obtenir des capacités élevées sous un faible volume. À l'inverse, lorsque l'on cherche à réduire la capacité d'une isolation (comme dans les câbles par exemple), les matériaux à faible permittivité sont les plus intéressants. La permittivité joue également un rôle capital dans la répartition du champ électrique à l'intérieur d'une isolation multi matériaux [5].

On peut retenir que le champ électrique est le plus élevé dans les matériaux à faible permittivité, et notamment dans les inclusions gazeuses qui sont à l'origine des décharges partielles.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la tangente de l'angle de pertes est à l'origine de la dissipation d'énergie dans le diélectrique avec pour conséquence un échauffement. Cet échauffement peut conduire à une diminution des caractéristiques à court ou à long terme (vieillessement)

En effet, la permittivité étant un nombre complexe, la composante du courant en phase avec la tension est donnée, en valeur efficace,

$$I_r = V \cdot C_0 \cdot \varepsilon_r'' \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \quad (\text{I.3})$$

Et les pertes diélectriques par la formule :

$$P = V^2 \cdot C_0 \cdot \varepsilon_r'' \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \quad (\text{I.4})$$

Où ω est la pulsation

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

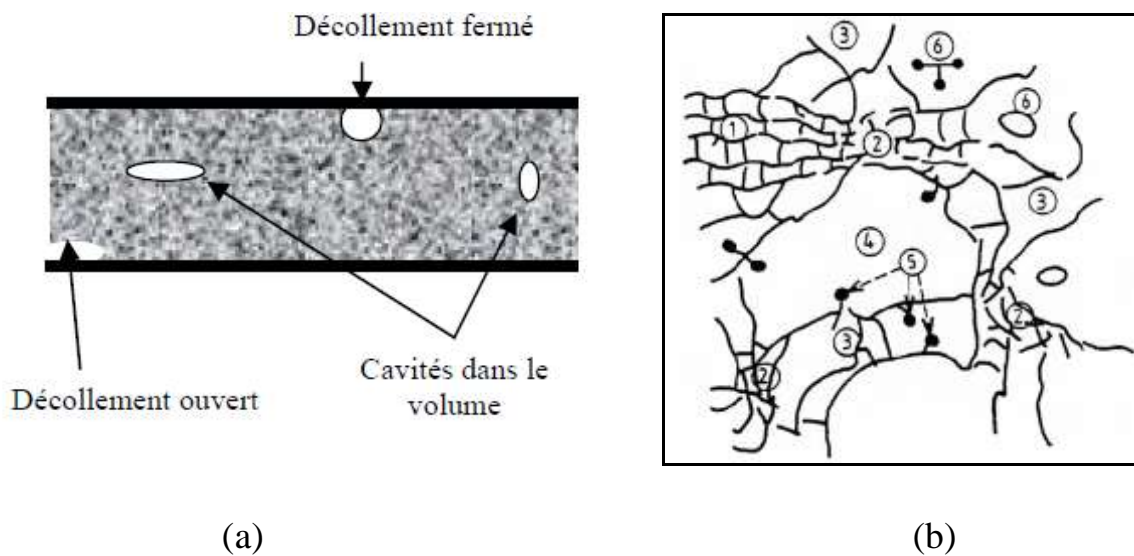
I.5 les modes de défaillances

Les modes de défaillance des isolants en service dépendent du système considéré. Divers types de dégradation peuvent apparaître suivant les conditions d'utilisation et l'orientation relative du champ électrique par rapport à la surface des isolants.

Les phénomènes dits de cheminement apparaissent en surface des matériaux sous faible contrainte lorsque le champ électrique est parallèle à la surface. La dégradation progressive de l'isolant est contrôlée par les conditions ambiantes, en particulier le degré d'humidité et l'existence de décharges électriques.

Lorsque le champ électrique est principalement perpendiculaire à l'isolant, la dégradation peut s'opérer sous l'effet des **décharges électriques** internes ou externes, ou par **arborescences** électriques.

Les décharges internes sont contrôlées par l'existence de vacuoles gazeuses ou de décollements entre constituants du dispositif.



- 1. Réseau régulier
- 2. zone fortement réticulé
- 3. zones peu réticulé
- 4. micro cavité
- 5. bouts de chaînes
- 6. molécules non liées qux réseau

Fig.I.1 Défaut dans un isolant :(a) cavité et décollement au sein de l'isolant, (b) :structure de PRC contenet une cavités [7]

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

I.5.1 Arborescences électriques

Les arborescences électriques sont des structures filamenteuses ramifiées constituées de micro canaux creux susceptibles de se propager sur des distances de plusieurs millimètres en volume et en sub-surface d'isolants. Le diamètre interne des filaments peut varier du micron à quelques centaines de microns en fonction de la nature des isolants et des conditions de développement de l'arborescence. Elles constituent une dégradation permanente des matériaux et sont étroitement associées au claquage.

Les arborescences sont classées selon la dynamique de propagation en[1] :

I.5.1.1 les arborescences à propagation rapide :

Des arborescences dont les temps de propagation sont extrêmement courts (très inférieurs à la microseconde) sont observables sous très forts niveaux de tension (voisins de ceux qui conduisent au claquage immédiat de l'isolant).

Le phénomène s'accompagne d'émissions optique et acoustique lorsque la propagation se fait en volume. Des émissions d'électrons et de rayons X ont été observées au cours de la propagation superficielle d'arborescences. Les effets thermiques et mécaniques de la propagation sont visibles en surface et en volume du diélectrique (fracturation du matériau, échauffement autour des micro canaux).

Sous contrainte électrique, la propagation conduit invariablement au claquage. Il s'agit clairement d'un phénomène disruptif observé sous des champs voisins des champs de rupture ($10^9 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$).

I.3.1.2 les arborescences à propagation lente

Les arborescences à propagation lente (durée de propagation très supérieure à la microseconde) ont été observées le plus souvent dans les polymères sous contrainte alternative à 50 Hz lorsque les conditions électriques locales qui ont déterminé la formation du canal initial sont très différentes des conditions électriques moyennes dans l'isolant. En fonction de la nature et du niveau des contraintes appliquées, les durées de propagation peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur (de la fraction de seconde à plusieurs mois).

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

Des canaux d'arborescence lente peuvent former un chemin continu entre électrodes du système, sans pour autant provoquer le claquage. Celui-là ne survient alors qu'après forte augmentation du diamètre des canaux.

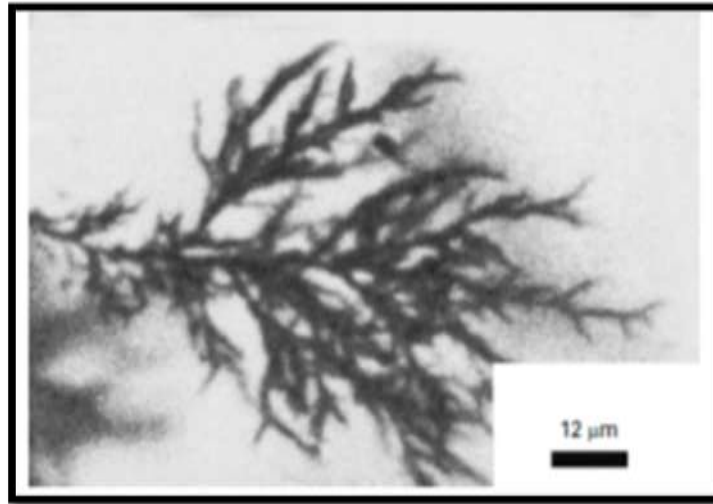


Fig.I.2 : Arborescence lente dans un échantillon de polyéthylène [1]

Dans les dispositifs, ces conditions locales sont associées à l'existence :

- d'**impuretés** de volume ou de défauts d'interface conduisant à une intensification du champ électrique par multiplication du gradient moyen. [9] ;
- de **cavités gazeuses** internes à l'isolant ou entre isolant et électrodes qui sont susceptibles d'être le siège de décharges électriques. Par érosion chimique des parois des cavités et modification des propriétés électriques locales, les conditions du développement d'arborescences électriques peuvent être réunies [10].

I.5.2 Décharge partielle

Une décharge partielle est définie comme une décharge électrique qui ne court-circuite que partiellement un isolant placé entre deux électrodes et entre lesquelles une différence de potentielle est appliquée [7]. La décharge partielle peut avoir lieu près d'un conducteur ou à l'intérieur d'un isolant.

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

.....

I.5.2.1 Différentes causes de décharges partielles :

I.5.2.1.1 particules conductrices libres

Sous l'action d'un potentiel alternatif, des particules conductrices libres peuvent rebondir sur les parois du dispositif électrique. Ces mouvements dépendent de la taille, de la forme des particules, de la tension du système et du potentiel auquel se trouve la particule quand elle s'arrache de l'enveloppe. Si cette particule retombe sur la paroi lorsque le potentiel est différent de celui du décollage, il existe alors une tension entre la particule et l'enveloppe, responsable de l'apparition [7].

I.5.2.1.2 Composants à potentiel flottant

Cette dénomination provient du fait qu'ils ne sont reliés ni au conducteur, ni à l'enveloppe. Ces composants se placent au potentiel qui existerait à cet endroit en leur absence, dit potentiel flottant. Il dépend donc de la distance du composant du conducteur haute tension. Un potentiel flottant n'est pas systématiquement source de décharges partielles, il faut réunir deux conditions pour avoir un tel phénomène :

le potentiel le plus important doit se situer entre le composant flottant et l'enveloppe du dispositif.

La présence d'un défaut est nécessaire dans l'espace compris entre le conducteur central et le composant.

I.5.2.1.3 Décharges à l'intérieur d'un composant diélectrique solide

On considère une cavité gazeuse dans un isolant solide placé entre deux électrodes. Si on applique une tension alternative aux électrodes, un champ électrique est créé dans la cavité. Ce champ électrique est plus élevé que celui de l'isolant, en vertu de la loi de continuité du vecteur de déplacement électrique. La figure Fig I. 1 illustre la répartition du champ dans un isolant contenant une cavité d'air.

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

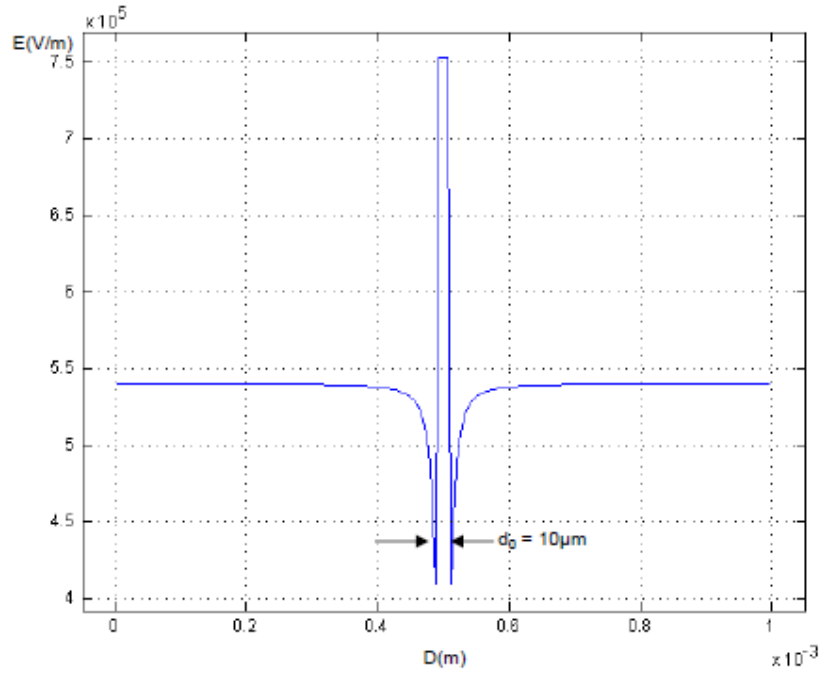


Fig I. 3 : Répartition du champ électrique dans isolant (PE) contenant une cavité d'air [7].

En tenant compte de la continuité du vecteur de l'induction électrique dans un milieu non ionisé à l'état initial :

$$D_{isolant} = D_{cavité} \quad \text{Alors} \quad E_v = \frac{\epsilon_i}{\epsilon_v} \cdot E_i \quad (I.5)$$

Ou E_i est le champ électrique dans l'isolant, E_v est le champ électrique dans la cavité, ϵ_i est la permittivité relative de l'isolant, ϵ_v est la permittivité relative de la cavité.

Deux facteurs contribuent à faire apparaître les décharges partielles dans les isolants:

D'une part, la permittivité relative des isolants solides étant toujours plus élevée que celle des gaz, le champ électrique dans les cavités est proportionnellement plus élevé.

D'autre part, la rigidité diélectrique des gaz est nettement plus basse que celle des solides.

Lorsque le gaz est soumis à un champ électrique, les électrons libres présents dans le volume de la cavité s'orientent et acquièrent une énergie cinétique supplémentaire. Ils peuvent alors ioniser les molécules avec lesquelles ils entrent en collision. Des électrons secondaires sont libérés et l'ensemble des électrons participe alors par des collisions successives à la génération d'une avalanche électronique. Celle-ci a comme conséquence le développement d'un streamer, un canal conducteur à travers la cavité dans une durée de quelques

Chapitre I : Généralités sur les isolants solides

.....

nanosecondes. Cette décharge ne court-circuite pas les deux électrodes toujours isolées par le reste du matériau isolant, d'où le nom de décharge partielle (DP) [7].

I.6 Conclusion :

L'évolution des isolants solides s'est toujours accompagnée d'un intérêt considérable pour comprendre et prévenir des phénomènes qui conduisent au claquage des dispositifs électrique.

Ces isolants ne sont jamais homogènes car au cours de leur élaboration, de très faibles quantités de gaz se trouvent emprisonnées au sein du matériau et forment des cavités de formes et de dimensions très diverses. On ajoute également que lors de la mise en service de l'isolant autour de pièces métalliques des décollements se manifestent entre l'isolant et le conducteur. Ces défauts peuvent être le siège de décharge partielles qui pourront mener au vieillissement et par la suite à l'endommagement de l'ouvrage électrique.

Dans le prochain chapitre nous nous intéressons à l'analyse de la contrainte électrique dans un système inhomogène constitué d'une électrode pointue haute tension et une électrode plane avec et sans présence de cavités (air ou eau) et ceci sous l'environnement Comsol.

CHAPITRE II

Simulation sur Comsol

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.1 Introduction

Pour étudier la dégradation des isolants solides par le phénomène d'arborescences électriques, les chercheurs simulent les défauts en introduisant une aiguille pointue dans un isolant. La tension appliquée entre l'aiguille et l'électrode plane généralement en contact avec le matériau. La pointe sert de site d'initiation.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à l'étude paramétrique du champ électrique généré par l'électrode pointue (soumise à la haute tension) enfoncée dans un matériau isolant. Nous varions la tension appliquée, le type de matériau puis nous examinons l'effet de la présence des bulles d'air ou des vacuoles d'eau sur le champ électrique. Le calcul s'effectue à l'aide du Logiciel Comsol version 5.3

Notre but sera :

- Visualiser la distribution du potentiel électrique dans l'isolant solide avec et sans défaut
- Visualiser la distribution du champ électrique dans l'isolant solide avec et sans défaut
- Déterminer la valeur maximale du champ électrique dans l'isolant avec et sans défaut

II.2 Logiciel Comsol Multiphysics

La détermination de la distribution du champ électrique et du potentiel électrique de tout système haute-tension est un problème complexe de calcul non pas par la simplicité des équations aux dérivées partielles qui les décrivent mais plutôt à cause de la forme irrégulière des diélectriques, de la proximité de surfaces métalliques aux formes complexes, des lignes de transmission, et dans certains cas, de la présence d'une couche conductrice. Dans ce contexte, les progrès de l'informatique ont permis de développer des codes de calcul afin de déterminer de façon précise la distribution du champ et du potentiel électrique. Dans notre étude, le calcul du champ électrique a été effectué à l'aide du logiciel de calcul COMSOL Multi Physics version 5.3

Ce logiciel est avant tout un outil de résolution d'équations aux dérivées partielles par éléments finis. Sa particularité est de disposer d'une base de données d'équations permettant de modéliser différents phénomènes physiques, comme l'électrostatique, la magnétostatique ou encore l'électromagnétisme.

Sa spécificité est également de permettre de coupler différentes EDP, de manière à décrire des phénomènes multi physiques, particulièrement adaptés au micro technologie. Il est ainsi possible d'obtenir la déformation d'une membrane causée par la pression dans un liquide par

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

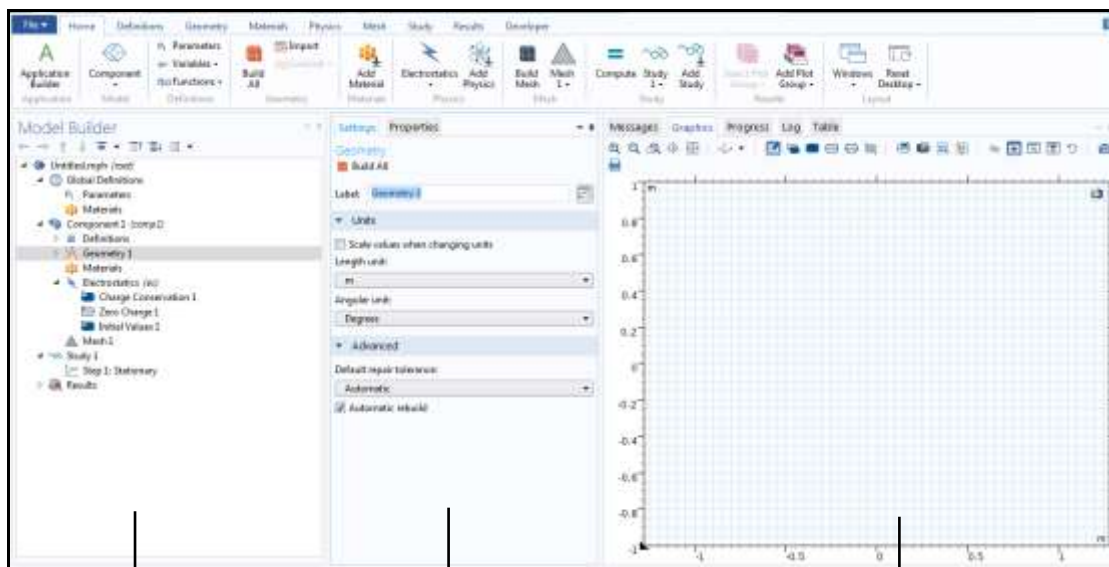
exemple. Ou encore l'élévation de température dans un conducteur dû au passage d'un courant électrique.

Le logiciel dispose d'une famille de solveurs directs et itératifs, développés en C++, permettant de résoudre les problèmes linéaires, non-linéaires stationnaires, temporels et aux valeurs propres, et capables de traiter de manière simultanée n'importe quelles combinaisons de modèles physiques. Le choix du solveur optimal se fait automatiquement en fonction de la nature du problème à résoudre.

Logiciel Comsol Multiphysics est logiciel multi disciplinaire basé sur la méthode des éléments finis, permet le résolution des équations aux dérivés partielles PDE mode.

II.2.1 Choix du modèle d'étude

Le problème est résolu en 2D et nous avons choisi le modèle électrostatique avec régime stationnaire pour calculer le champ électrique dans l'espace inter électrode avec et sans présence d'impuretés.



Etapes de simulation

Zone des Paramètres de simulation

Espace géométrique pour le traçage du Modèle

Fig. II. 1 : interface de Comsol 5.3

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.3 les étapes de simulation

Les principales étapes de simulation par Comsol sont représentés dans l'organigramme suivant :

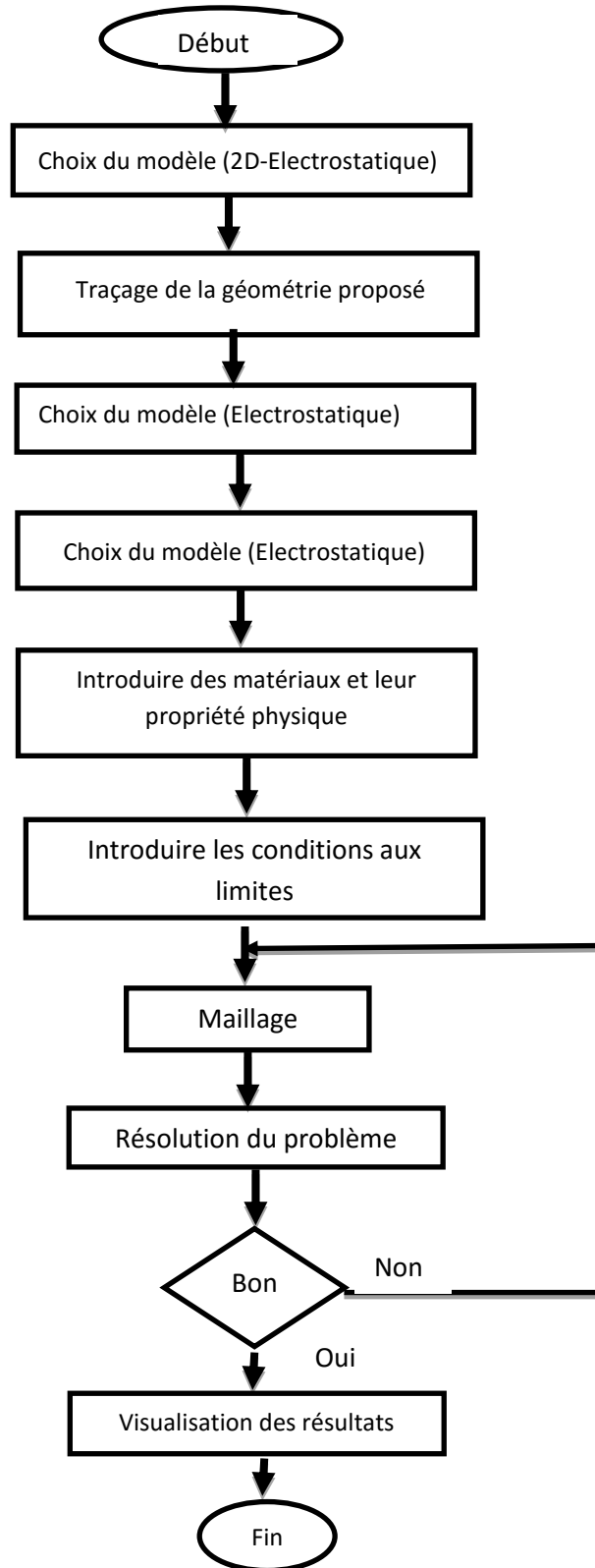


Fig. II.2 : Organigramme du calcul des paramètres électrique par Comsol

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.3.1 Géométrie:

La géométrie proposée est constitué d'une électrode métallique généralement en cuivre de faible rayon de courbure et une électrode plane relié à la terre. Le système d'électrode est séparé par le milieu isolant solide.

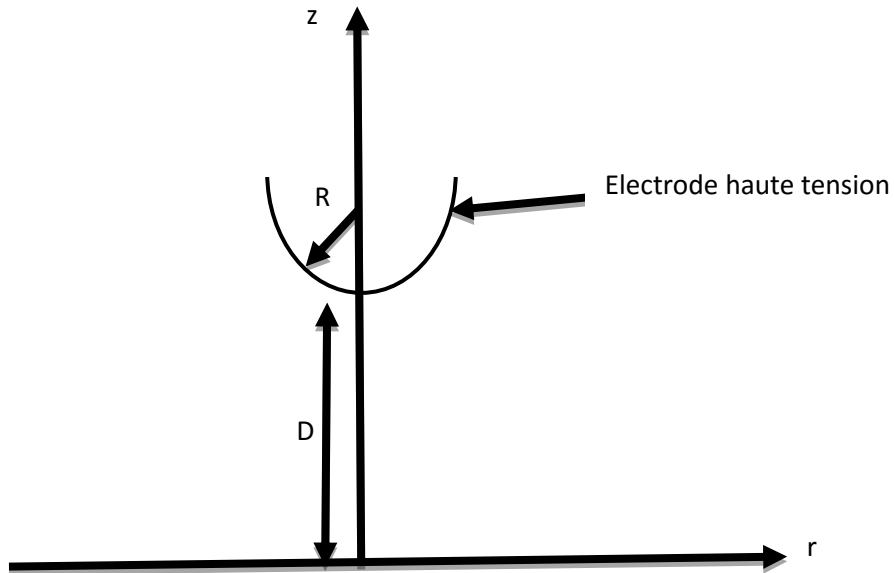


Fig.II.3 : Système d'électrode pointe-plan

Electrode haute tension (pointe)	Profondeur de pénétration: 1cm Rayon de courbure; 300 μ m Diamètre: 0.1 cm Espace inter électrode D= 1cm
Isolant solide	Hauteur: 2cm Largeur: 1cm

Tableau II.1 : Propriétés dimensionnelles de la configuration géométrique du modèle[8]

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

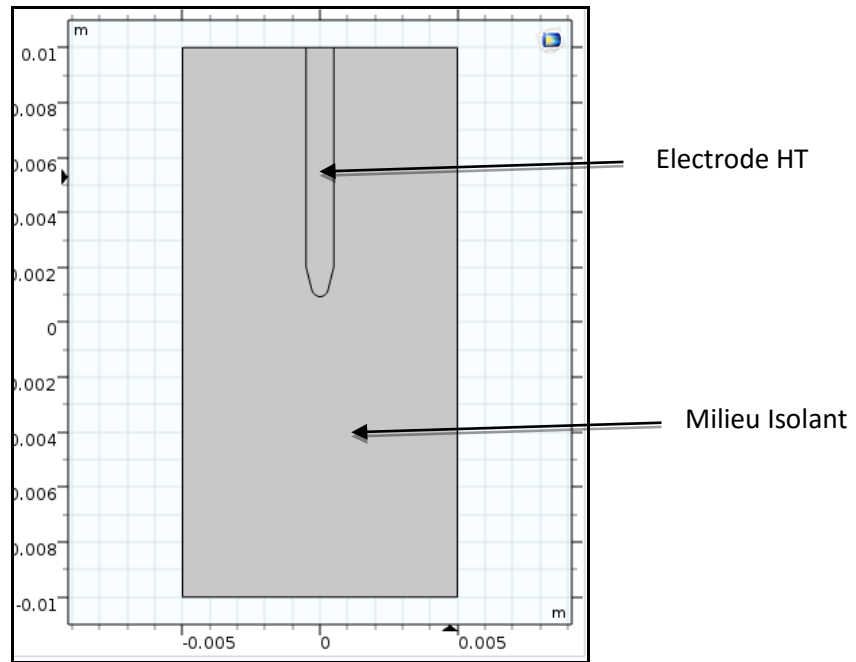


Fig.II.4 : système d'électrode pointe-plan dans l'espace Comsol

II.3.2 Description des propriétés physiques

Les matériaux conducteur et isolant choisis ainsi que leurs propriétés physiques sont introduits dans le modèle, tableau II.2

Matériau	Permittivité relative (C/V.m)	Conductivité électrique (s/m)
Copper	8.96	5.96e+7
Polyéthylène (PE)	2.3	10e-16
PVC	3.4	1e-14

Tab II.2 : Propriétés physiques des matériaux du modèle

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.3.3 Conditions aux limites

Nous appliquons à notre configuration géométrique différentes valeurs du potentiel électrique. nous initions par la valeur 20KV. Les isolants utilisés sont de permittivité relative 2.3 et 3.4.

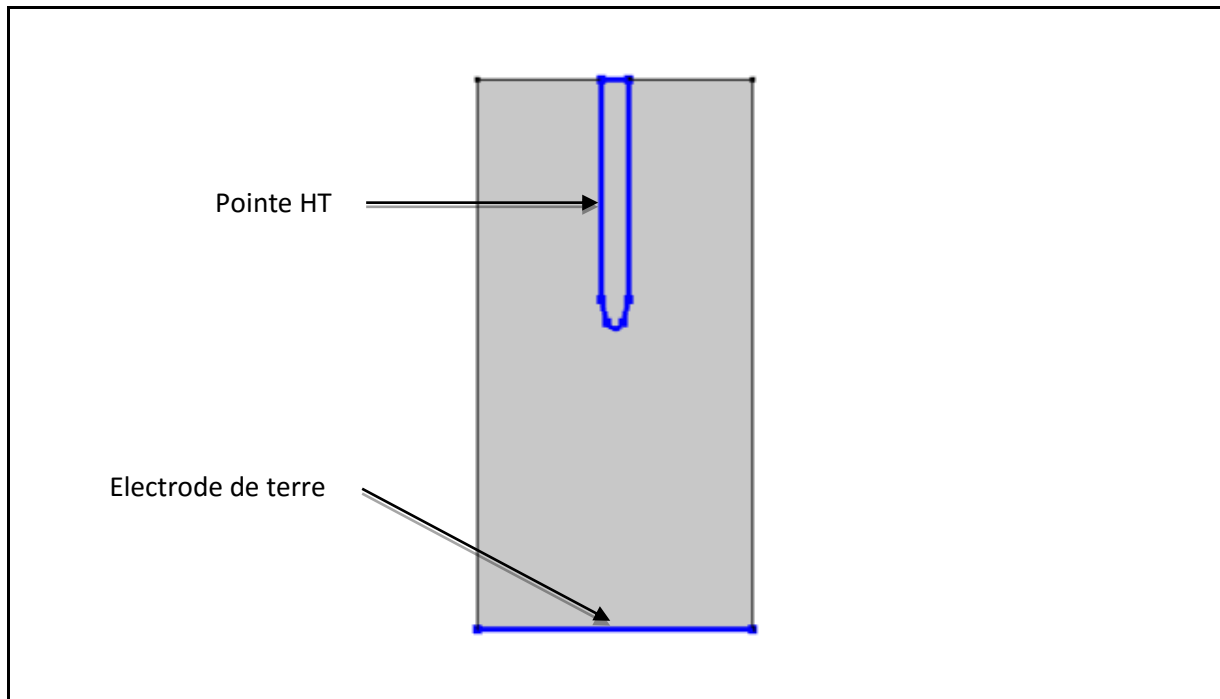


Fig. II.5 : Système d'électrode asymétrique

II.3.4 Maillage

Le maillage effectué par Comsol est automatique, on veille à ce qu'il soit suffisamment fin afin que le résultat soit le plus précis possible.

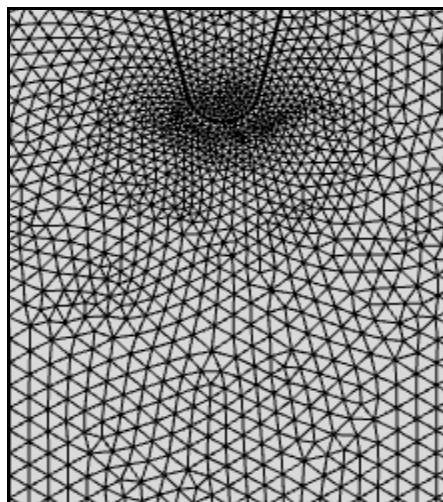


Fig. II.6 : Maillage extrêmement fin pour un potentiel de 20 KV

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.4 Présence d'une cavité d'air dans l'espace inter électrode

Nous simulerons dans l'espace inter électrode défini précédemment, des cavités d'air et des vacuoles d'eau de forme circulaire à différentes positions dans l'espace inter électrode.

Types d'intrusion	Rayon [mm]	Permittivité relative
Bulles d'air	0.1	1
Vacuole d'eau	0.1	80

Tab II.3 : Propriétés physiques des intrusions dans l'isolant

II.4.1 cas d'isolant avec une cavité d'air à proximité de l'électrode pointue

La figure II.7 représente l'isolant avec une cavité d'air à environ 0.5 mm de la pointe

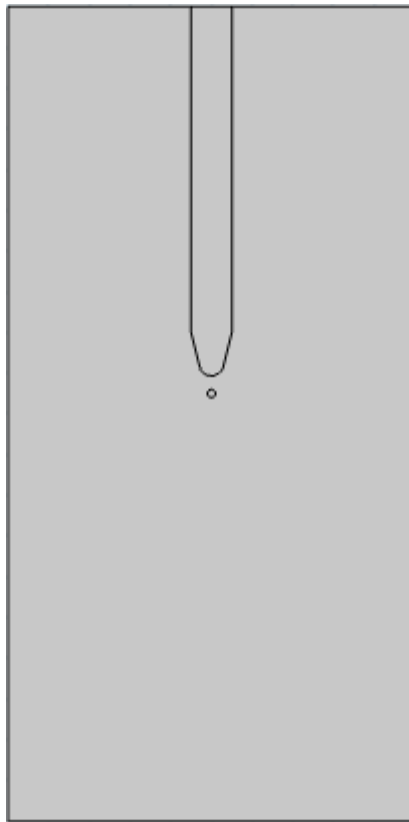


Fig II. 7 : Cavité d'air à proximité de la pointe

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.4.3 cas d'isolant avec une cavité d'air cavité au milieu d'espace inter électrode

La figure II.8 représente l'isolant avec une cavité d'air au milieu de l'espace inter électrode

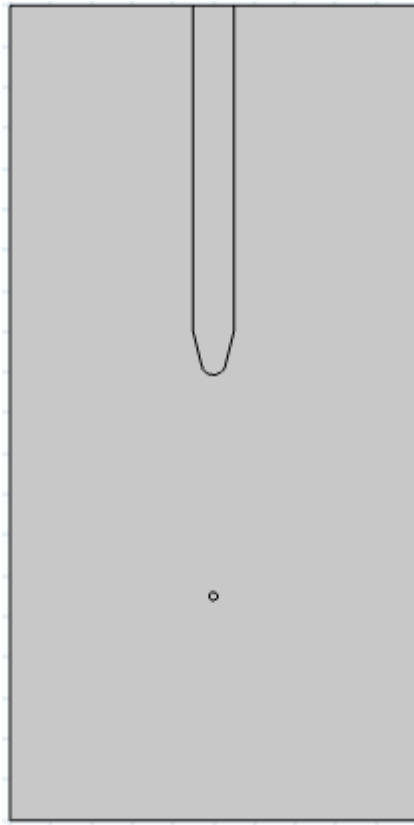


Fig II. 8 : Cavité au milieu de l'espace inter électrode

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.4.2 cas d'isolant avec une cavité d'air à proximité de l'électrode de terre

La figure II.9 représente l'isolant avec une cavité d'air à proximité de l'électrode de terre.

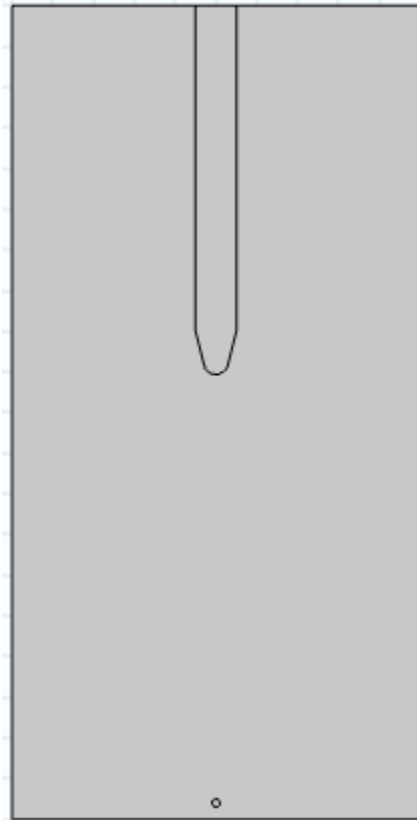


Fig II.9 : Cavité d'air à proximité de l'électrode de terre

II.5 Maillage

Maillage choisi est toujours extrêmement fin pour les trois configurations proposées

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

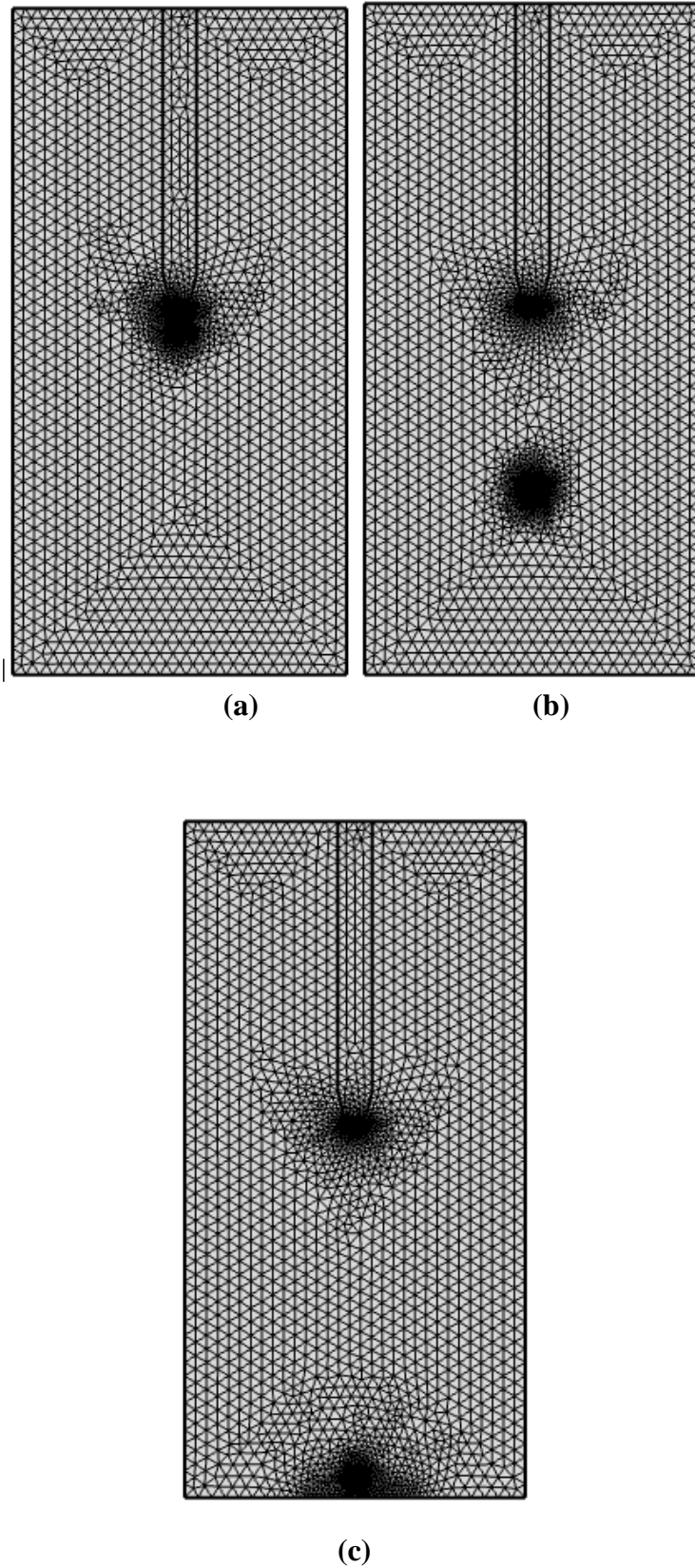


Fig. II.10 : Maillage système avec cavité d'air (a) : à Proximité de la pointe, (b) au milieu de l'espace inter électrode, (c) au voisinage de l'électrode de terre

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.6 Présence de plusieurs cavités dans l'isolant

Nous simulerons dans l'espace inter électrode défini précédemment, trois cavités d'air de forme circulaire de rayon chacune $r=0.01\text{cm}$ à différentes dispositions dans l'espace inter électrode.

II.6.1 trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition horizontale

La figure Fig.II.11 Représente la géométrie pointe-plan avec la présence de trois cavités d'air placées horizontalement à proximité de l'électrode haute tension alimenté par 20 KV.

La distance d'espacement des cavités est de 0.01cm.

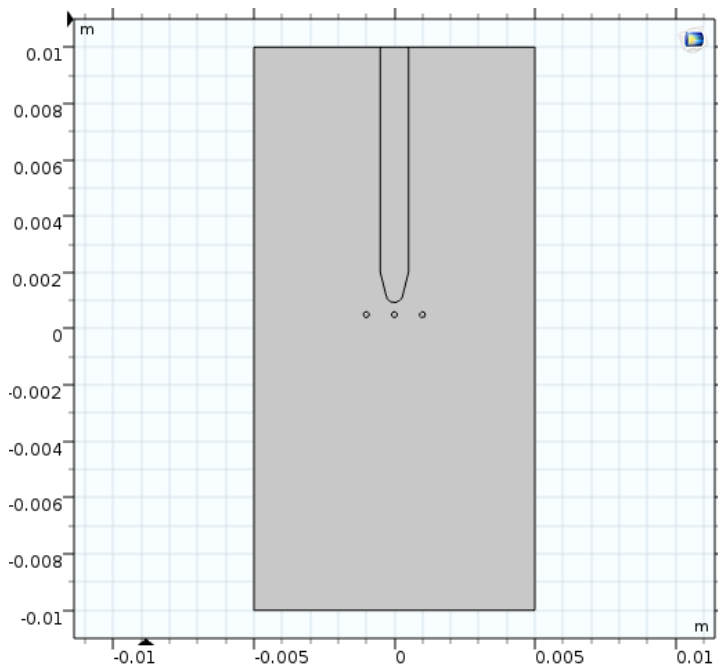


Fig. II.11 : Disposition horizontale des cavités d'air

II.6.2 trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition verticale

La figure II.12 Représente la géométrie de trois cavités d'air placées à proximité de la pointe, en disposition verticale. La tension d'alimentation de l'électrode haute tension est de 20 KV.

La distance d'espacement des cavités est de 0.01cm.

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

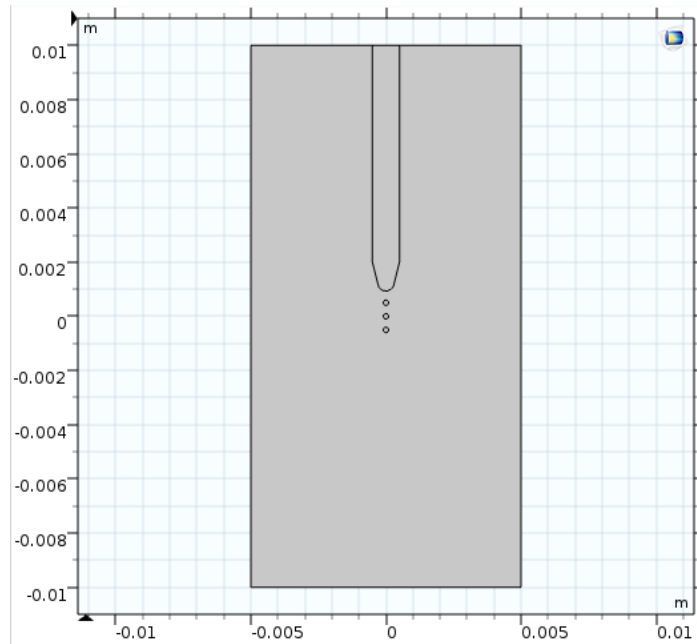


Fig. II.12 : Disposition horizontale des cavités d'air

II.6.3 trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition triangulaire

La figure II.13 Représente la géométrie de trois cavités d'air placées à proximité de la pointe, en disposition triangulaire. La tension d'alimentation de l'électrode haute tension est de 20 KV. La distance d'espacement des cavités est de 0.01cm.

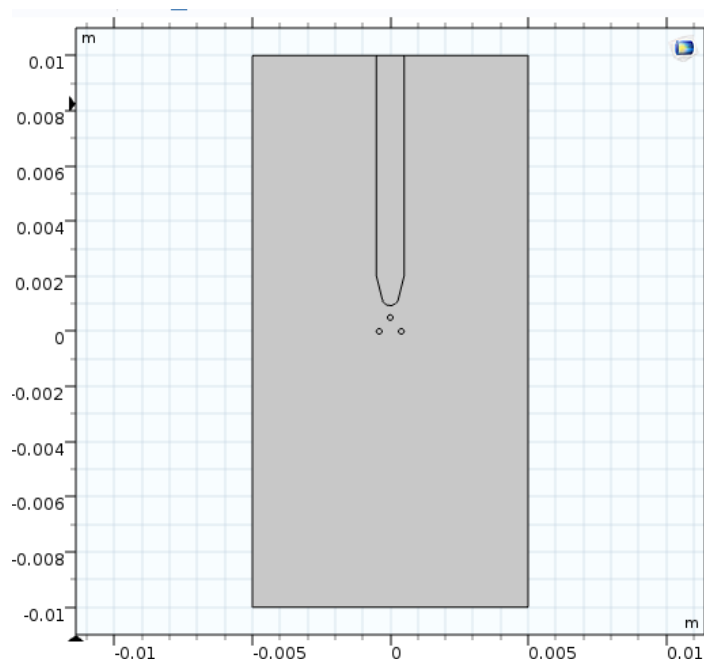
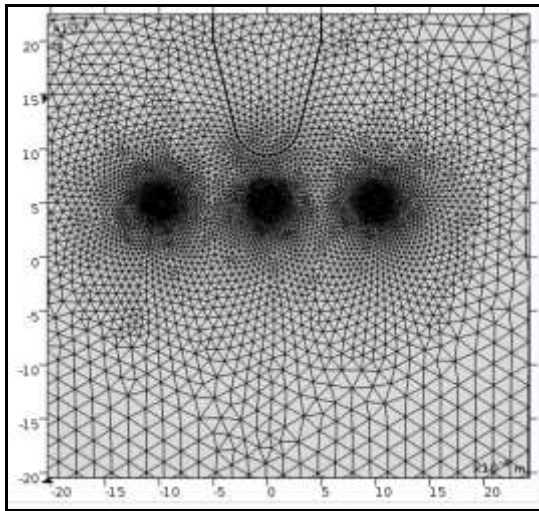


Fig. II.13 : Disposition triangulaire des cavités d'air

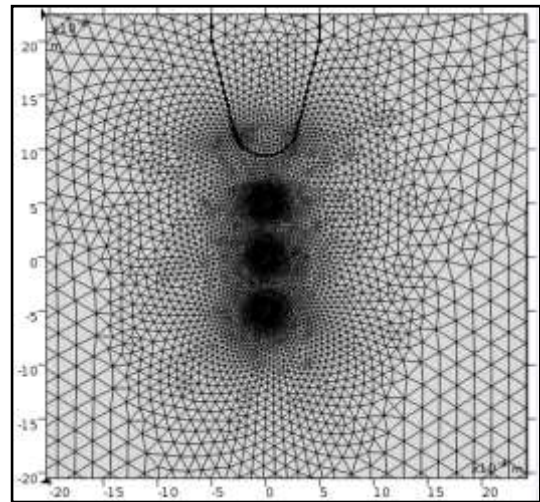
Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.6.4 Maillage

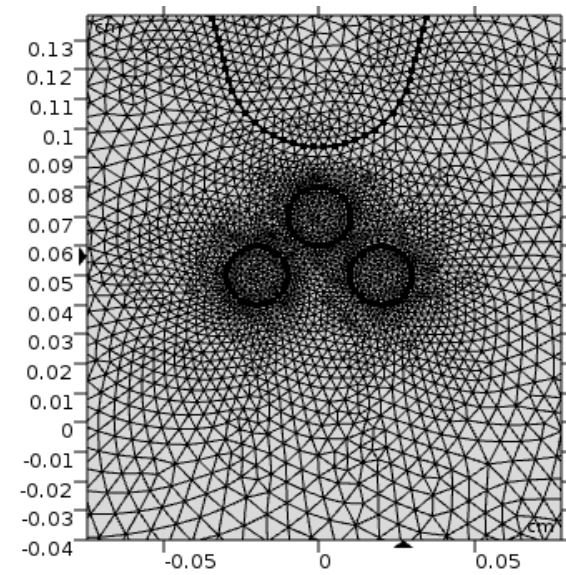
Les figures Fig. II.14 : a, b, c, représentent le maillage extrêmement fin des configurations géométrique présentés précédemment



(a)



(b)



(c)

Fig II. 14 : Maillage des trois configuration (a) : trois cavités d'air à côté de la pointe, (b) trois cavités d'air au milieu de l'espace inter électrode, (c) : trois cavités d'air à côté de l'électrode de terre

Chapitre I I : Simulation sur Comsol

II.5 Résolution

La dernière étape après le maillage pour les différents essais lancés précédemment est le lancement du calcul automatique du problème. Qui sera présenté et discuté dans le dernier chapitre.

CHAPITRE III

Résultats et Interprétations

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats de simulation des différents essais réalisés dans le chapitre précédent ou nous visualiserons les surfaces équipotentiellles, les distributions du champ électrique ainsi que les courbes donnant les valeurs maximales du champ.

III.2 cas d'isolant sans cavité

III.2.1 Résultats de simulation obtenus

Pour un potentiel électrique appliquée à la pointe égal à 20KV et un milieu isolant avec $\epsilon_r=2.3$, nous obtenons les figures Fig.III 1, Fig.III.3, Fig.III.4 ; Représentant les surfaces équipotentiellles, les lignes champ électrique ainsi que la courbe donnant la valeur maximale du champ selon la droite passant par la pointe illustré dans Fig. III. 2.

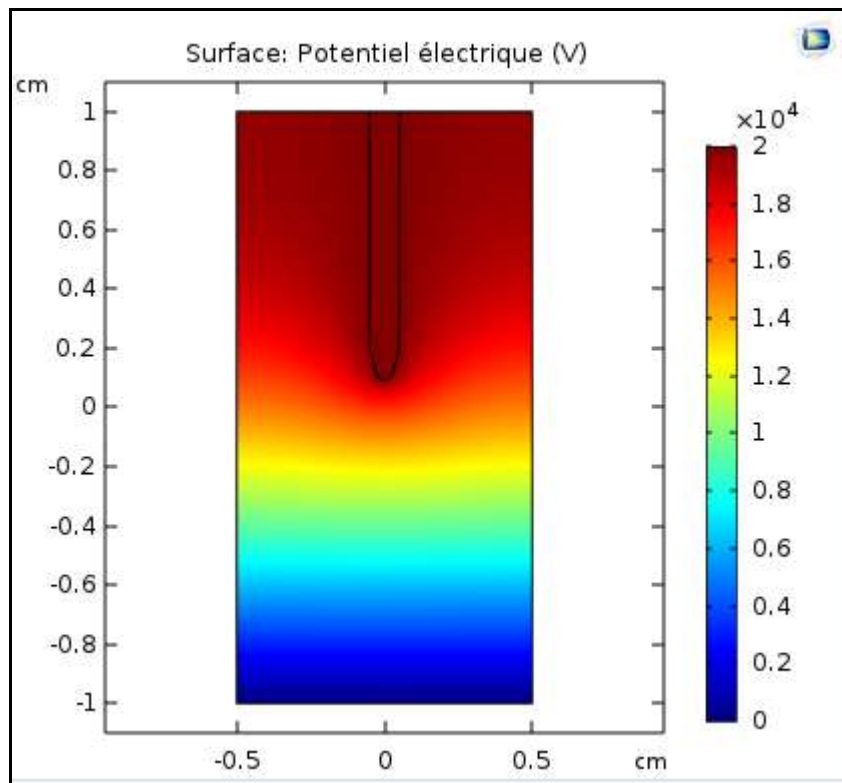


Fig . III.1 : Surface équipotentielle pour une tension de 20 KV

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

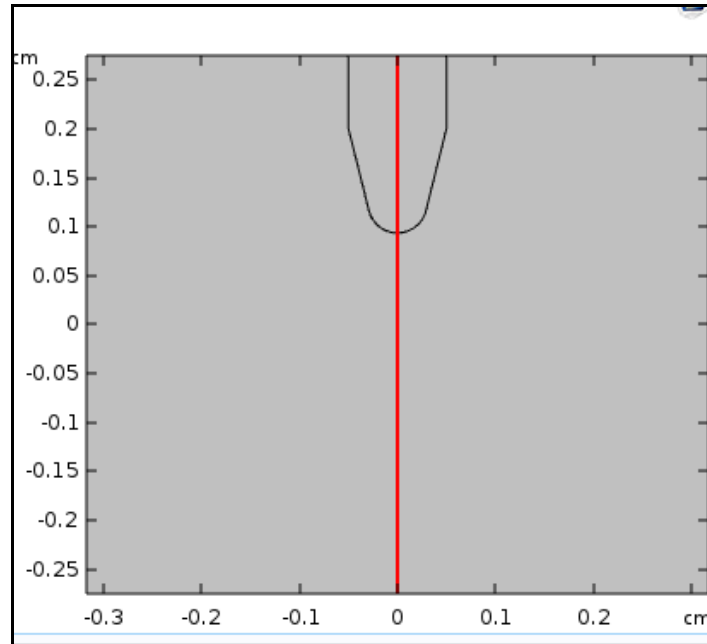


Fig . III.2 : Ligne verticale passant par la pointe pour tracer le champ électrique.

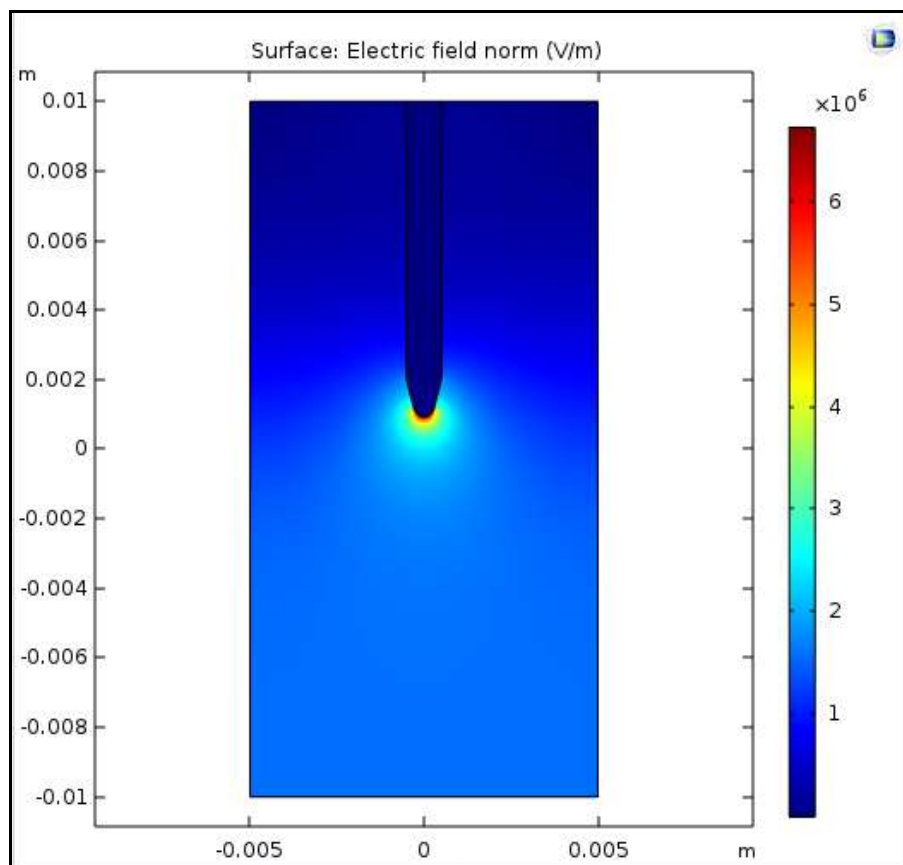


Fig . III.3 : Surfaces du champ électrique pour 20KV

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

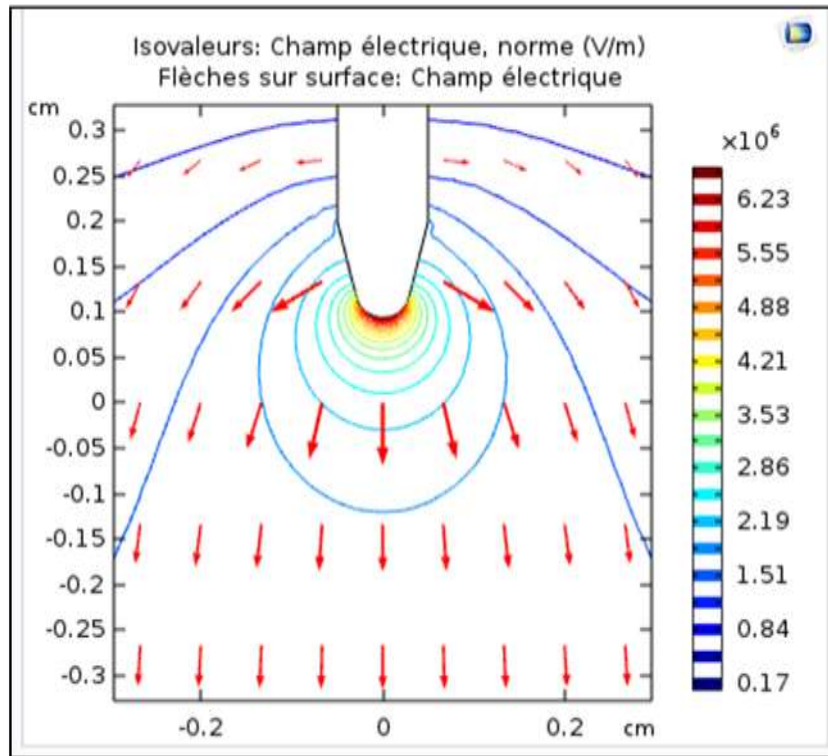


Fig . III.4: Lignes et direction du champ électrique pour 20KV

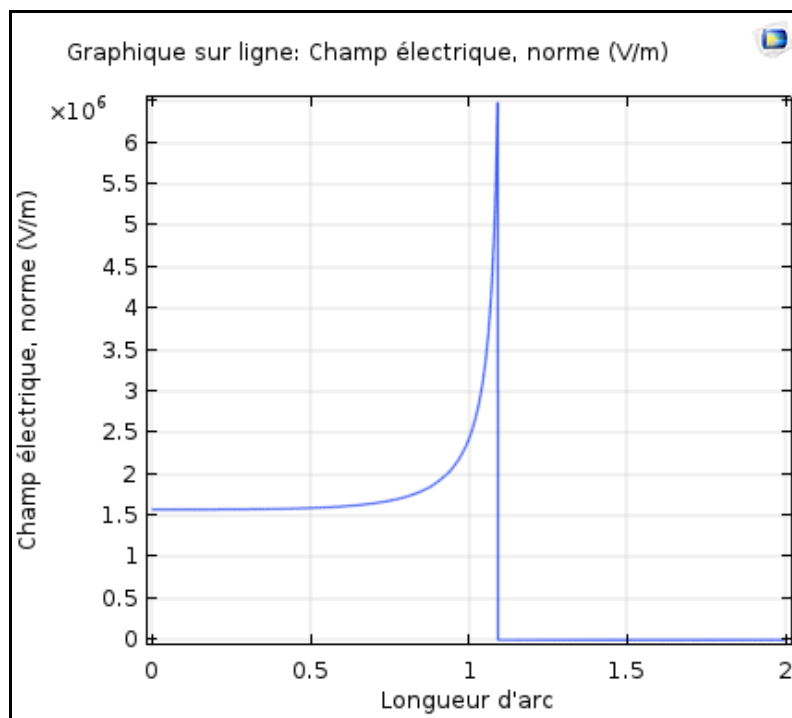


Fig . III.5 : Courbe du champ électrique selon la ligne verticale passant par la pointe

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III. 2.2 Interprétation

La figure III.1 montre que les surfaces équipotentielles à proximité de l'électrode haute tension sont déformés et ceci dû à effet de pointe, elles se rapprochent les unes des autres à la pointe et ce rapprochement et cette déformation est associé à une augmentation de l'intensité du champ électrique. Les figures III.3, III.4 illustrent la distribution des lignes du champ électrique ainsi que sa variation selon la verticale passant par la pointe ; nous constatons que pour un potentiel de 20 KV, la contrainte électrique à la pointe atteint la valeur de $6.5 \cdot 10^6$ V/m, ce qui est inférieur au champ électrique d'initiation des arborescences électriques qui est estimé à 4 MV/cm.

L'expression analytique du champ électrique en fonction de la tension, pour un système asymétrique pointe-plan est donnée par [] :

$$E = \frac{2V}{R \cdot \ln\left(\frac{4D}{R}\right)} \quad (\text{III. 1})$$

Avec :

R : rayon de courbure de la pointe

D : distance inter électrode

V : tension appliquée à la pointe

D'après la formule III.1 le champ électrique à la pointe atteint la valeur 4 MV/cm pour une tension de 293.6 KV. Les chercheurs confirment sur le plan expérimental que la tension réelle doit être bien supérieure à la valeur donnée par l'expression III.1 pour avoir le champ seuil d'apparition des arborescences électrique.

Les différentes valeurs du champ électrique estimé par logiciel Comsol pour différentes tension appliquée à la pointe sont regroupées dans le tableau suivant:

V [KV] ($\epsilon_r = 2.3$)	20	40	60	294	1.2e3
E[V/m]	6.7e6	1.5e6	2.2e7	10e7	4e8

Nous constatons qu'au fur et à mesure que la tension augmente, le champ électrique augmente, et que la tension à appliquer pour atteindre le champ électrique d'apparition des arborescences électriques est estimé par le calcul à 1200KV pour la configuration proposée.

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

Egalement nous avons changé le milieu isolant par PVC dont la permittivité est égale à 3.4 ; Les valeurs du champ électrique ont été semblables au cas de l'isolant polyéthylène.

III.3 cas d'isolant avec une cavité d'air

Nous examinerons dans ce paragraphe l'effet de présence d'une cavité d'air de permittivité relative $\epsilon_r=1$ et de rayon $r=0.01\text{cm}$ sur la répartition des lignes du champ électrique et ceci à différentes position dans l'espace inter électrode d'un système inhomogène pointe-plan.

III.3. 1 cavité à proximité de la pointe

Les figures III.5, III.6 représentent les surfaces équipotentiels ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence de la cavité d'air à proximité de la pointe.

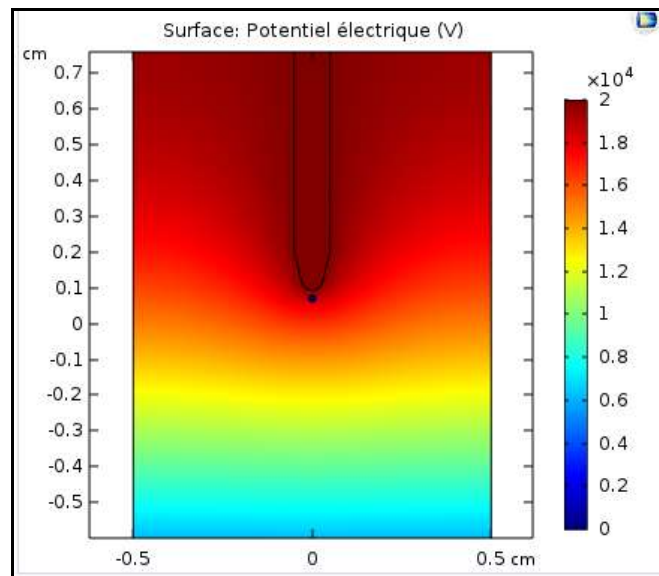


Fig III. 6 : Surface équipotentielle pour cavité à proximité de la pointe

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

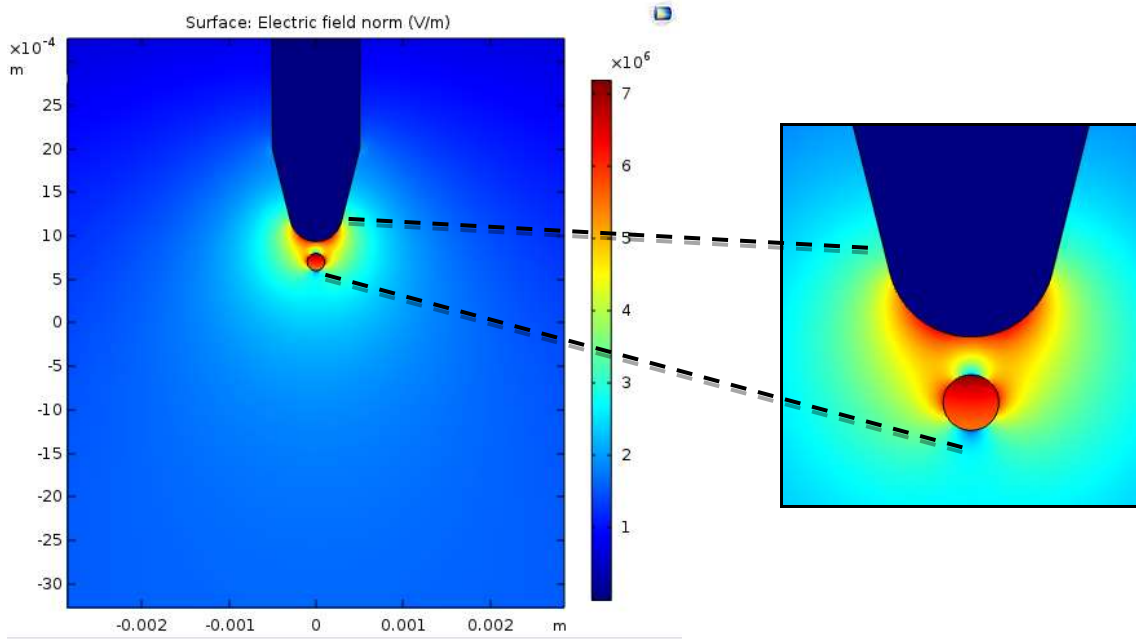


Fig III. 7 : Surface du champ pour cavité à proximité de la pointe

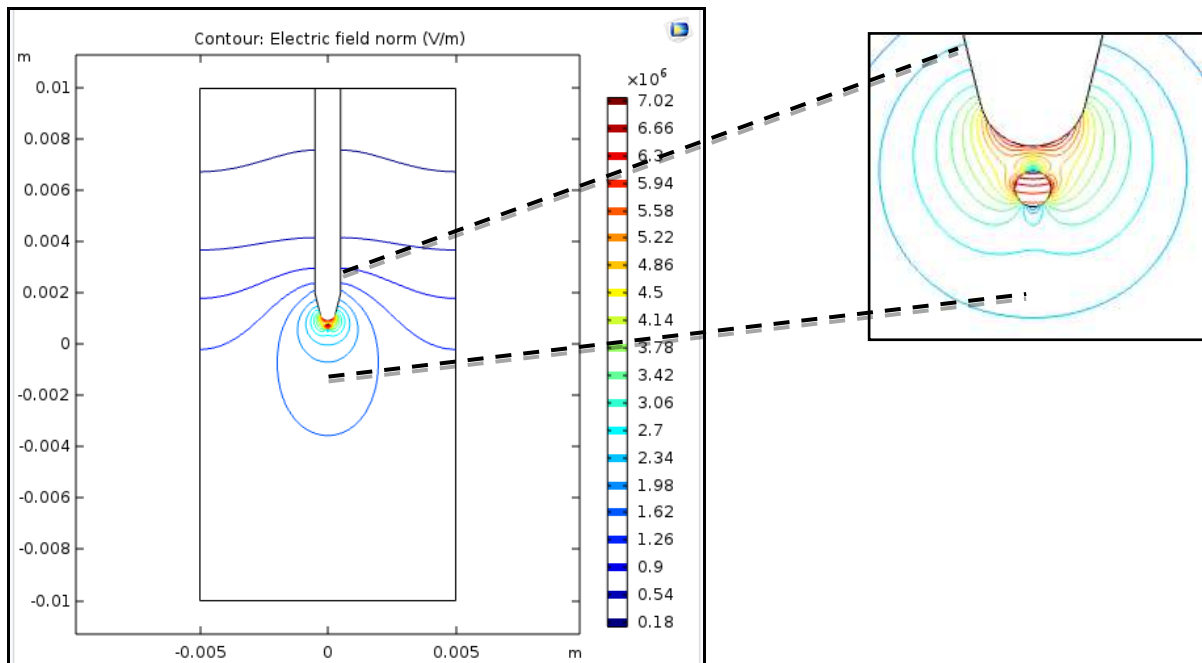


Fig III. 8: Lignes du champ pour cavité à proximité de la pointe

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.3. 2 Cavité au milieu de l'espace inter électrode

Les figures III.7, III.8 représentent les surfaces équipotentiellles ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence de la cavité d'air au milieu de l'espace inter électrode.

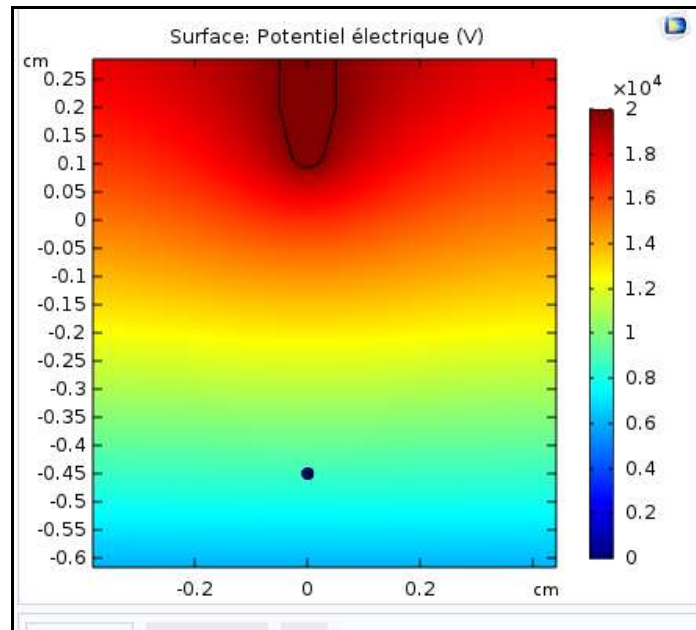


Fig III. 7: Surface équipotentielle pour cavité au milieu d'isolant

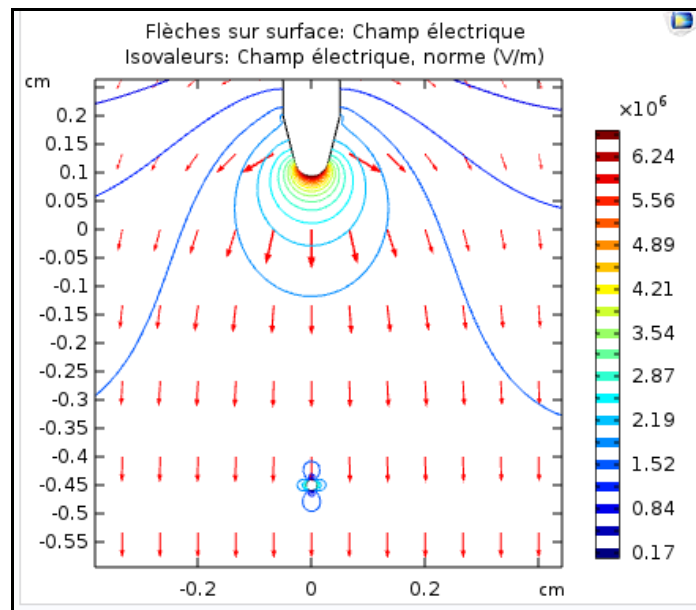


Fig III.8 : Lignes du champ électrique pour cavité à proximité de la pointe

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.3. 3. Cavité à proximité de l'électrode de terre

Les figures III.9, III.10 représentent les surfaces équipotentiellles ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliqué de 20 KV à la pointe en présence de la cavité d'air à proximité de l'électrode de terre.

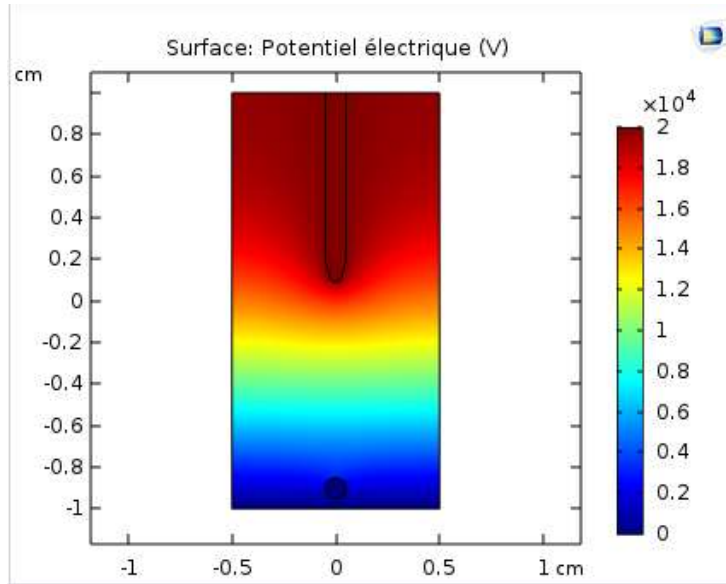


Fig III. 9: Surface équipotentielle pour cavité à proximité de l'électrode de terre

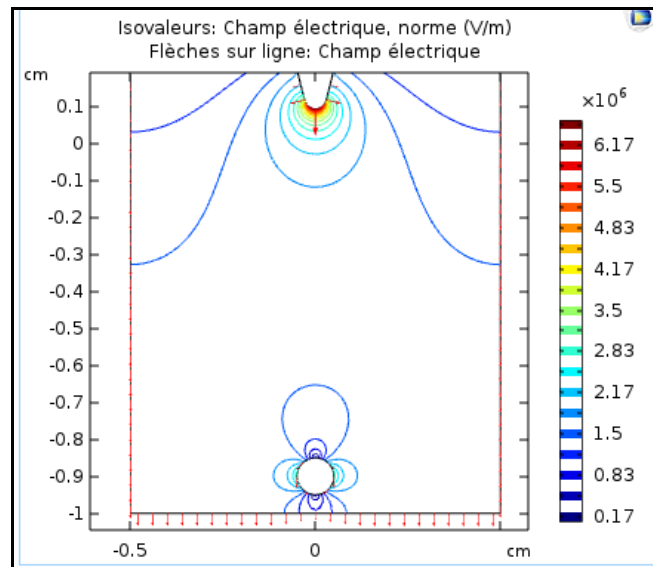


Fig III.10 : Lignes du champ pour cavité à proximité de l'électrode de terre

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.3.4 Interprétation :

Nous avons simulé la présence de la cavité d'air à différentes position dans l'espace asymétrique pointe – plan pour voir son effet sur la contrainte électrique. La distribution du champ électrique ainsi que les lignes équipotentielles dans l'isolant contenant la cavité, sont présentés dans les figures Fig III. 5, Fig III. 6, Fig III. 7, Fig III. 8, Fig III. 9, Fig III. 10.

Il apparait clairement que les lignes équipotentielles sont fortement déformés et la contrainte électrique est importante. Cette dernière atteint la valeur $7.5 \cdot 10^6$ V/m dans le cas ou la cavité est positionné à proximité de l'électrode haute tension. Cette valeur dépasse le champ de claquage dans l'air qui peut être considéré comme le point critique de dégradation de l'isolant. Ce type de défaut crée inévitablement des décharges partielles dans cette cavité.

Nous avons également relevé que la position milieu et à proximité de l'électrode de terre de la cavité d'air a un effet négligeable sur la valeur du champ électrique car la valeur du champ est invariable.

III.4 cas d'isolant avec plusieurs cavités

Nous examinerons dans ce paragraphe l'effet de présence de plusieurs cavités d'air de permittivité relative $\epsilon_r=1$ et de rayon $r=0.01\text{cm}$ sur la répartition des lignes du champ électrique et ceci à différentes position dans l'espace inter électrode d'un système inhomogène pointe-plan.

III.4 1 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition horizontale

Les figures III.11, III.12 représentent les surfaces équipotentielles ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence de trois cavités d'air à proximité de la pointe.

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

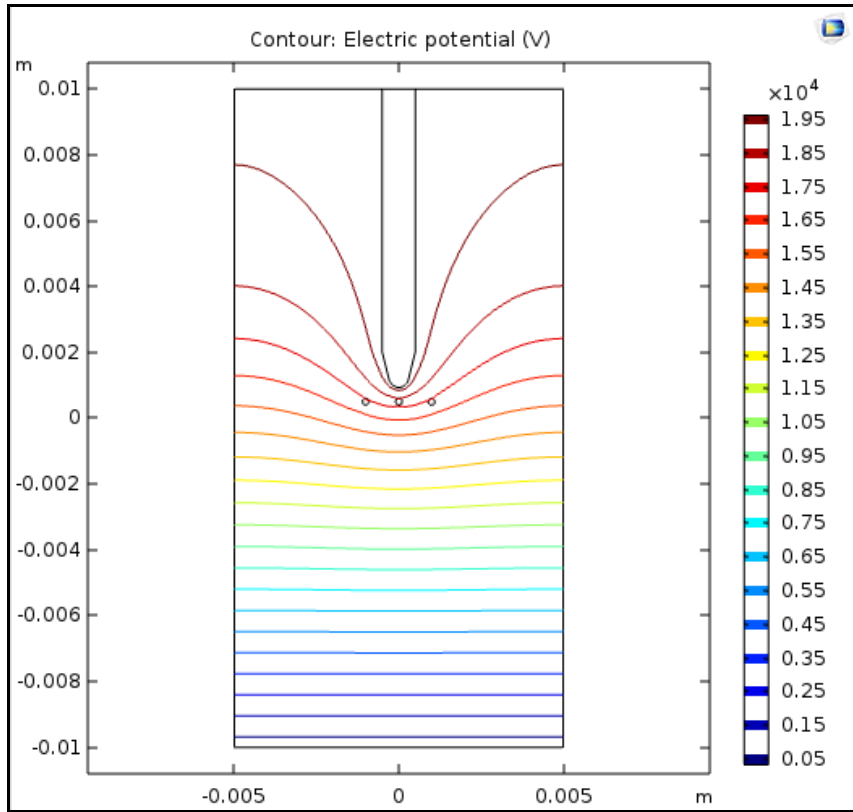


Fig. III.11 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités placées horizontalement

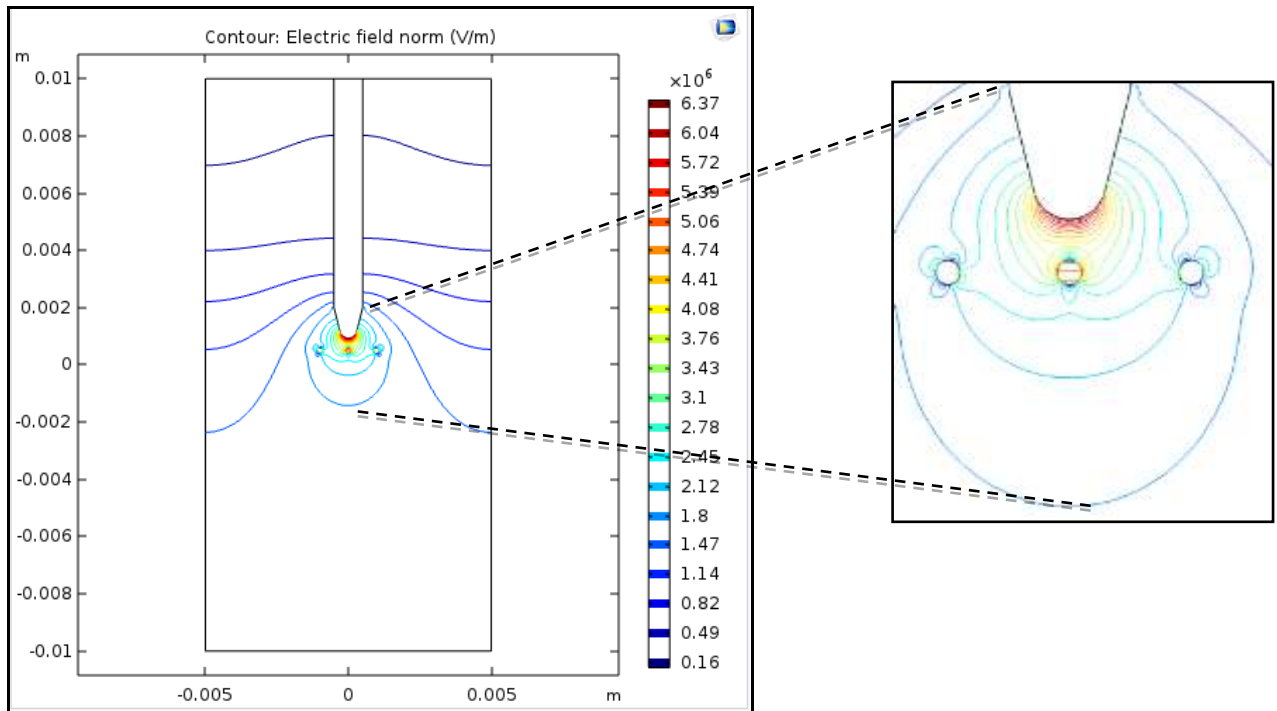


Fig. III.12 : Lignes du champ électrique pour trois cavités placées horizontalement

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

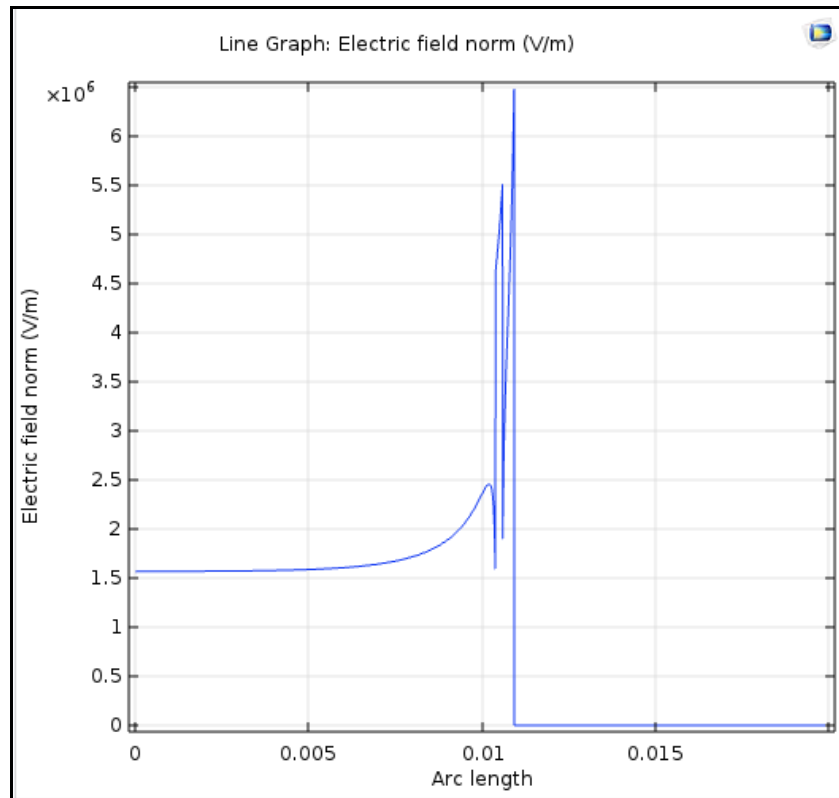


Fig. III.13 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées horizontalement

III.4 2 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition verticale

Les figures III.14, III.15 représentent les surfaces équipotentielles ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition verticale.

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

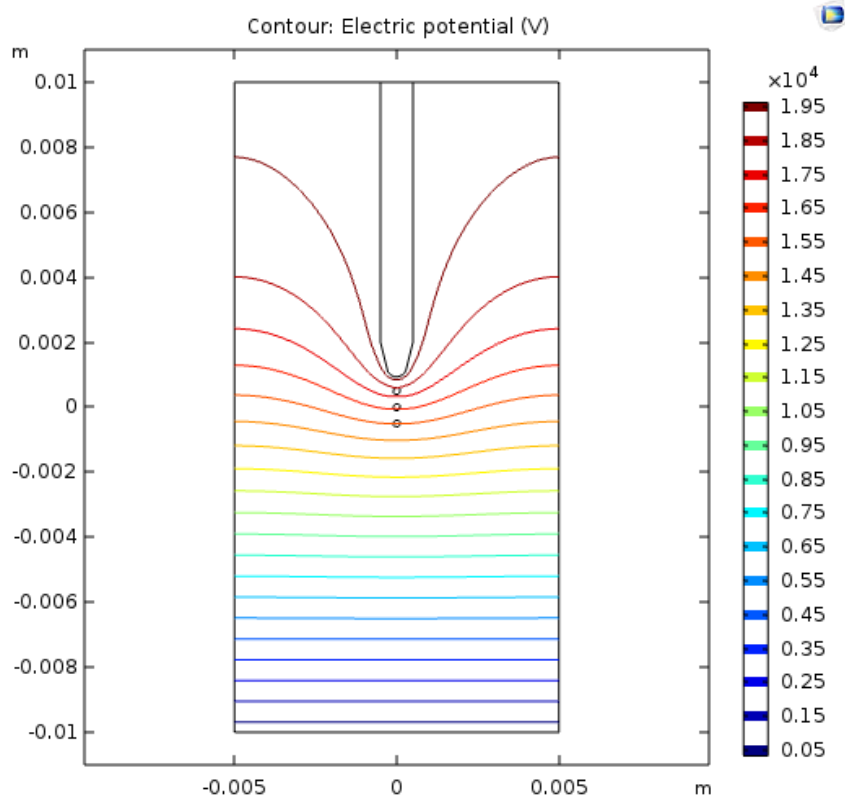


Fig. III.14 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités placées verticalement

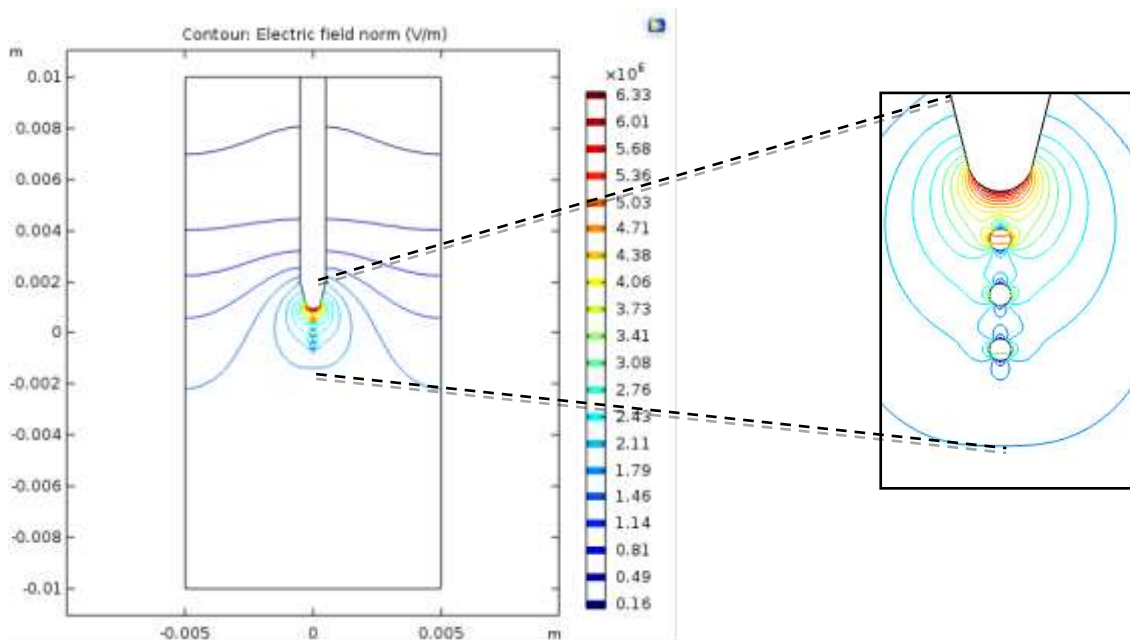


Fig. III.15 : Lignes du champ électrique pour trois cavités placées verticalement

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

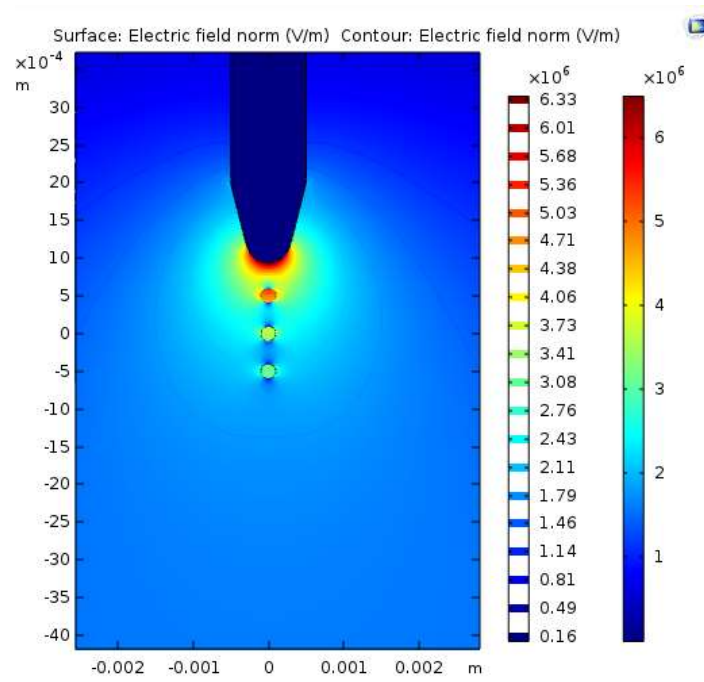


Fig. III.16 : Surfaces du champ électrique pour trois cavités placées verticalement

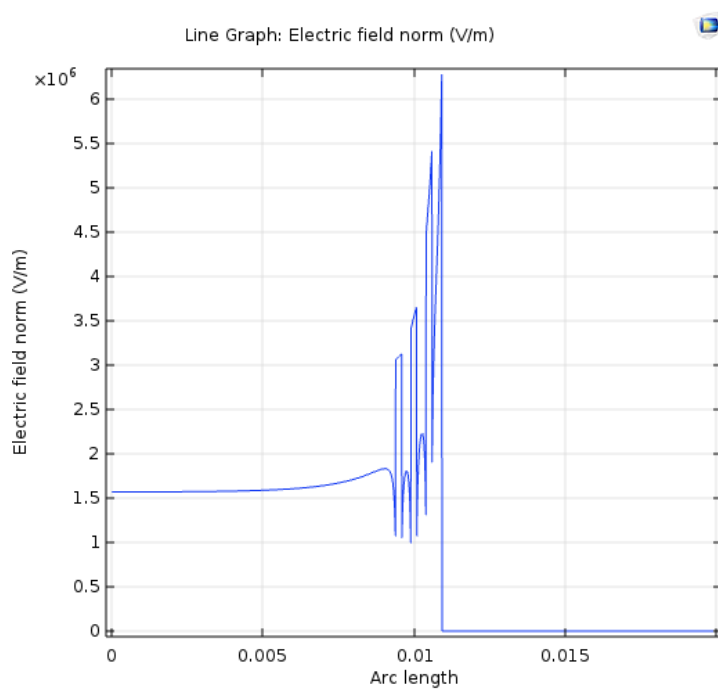


Fig. III.17 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées verticalement

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.4 2 Cas de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition triangulaire

Les figures III.18, III.19 représentent les surfaces équipotentielles ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence de trois cavités d'air à proximité de la pointe en disposition triangulaire.

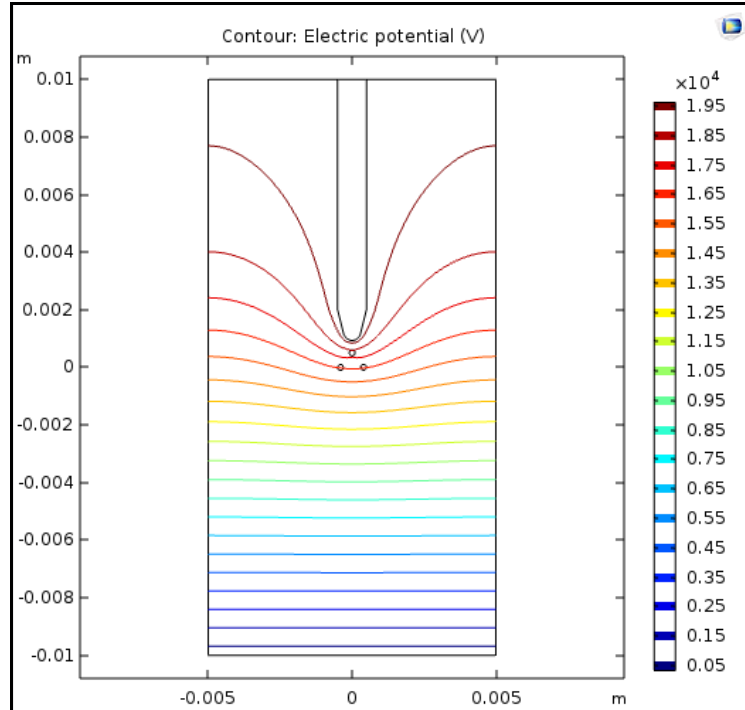


Fig. III.18 : Lignes du potentiel électrique pour trois cavités formant un triangle

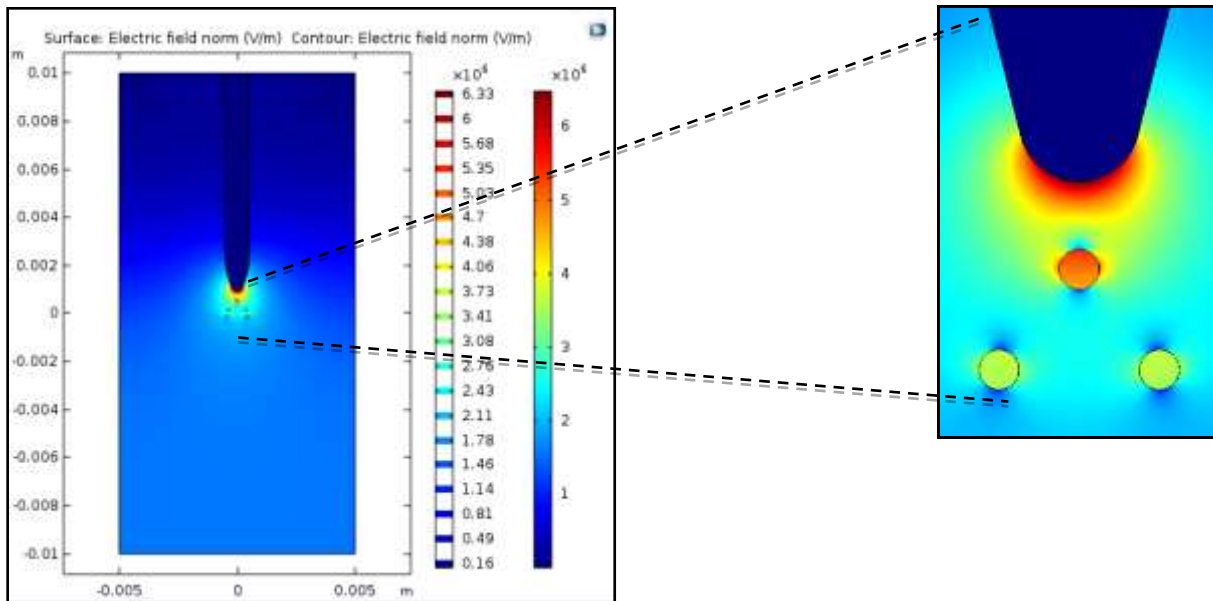


Fig. III.19 : Surfaces du champ électrique pour trois cavités placées triangulairement

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

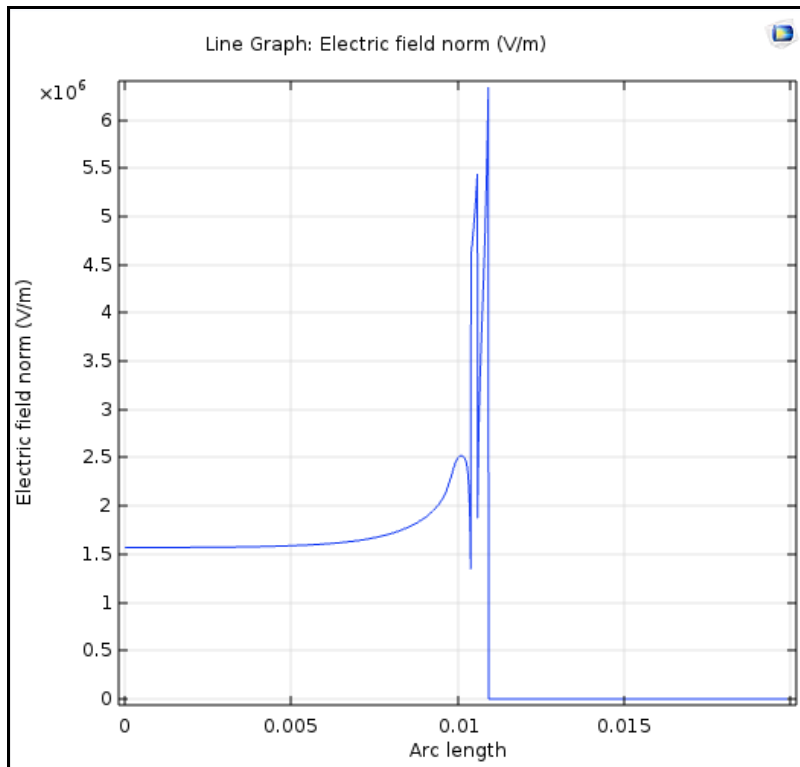


Fig. III.20 : Courbe du champ électrique pour trois cavités placées triangulairement

III.4.3Interprétation

Les résultats de simulation relevés pour les différentes dispositions des cavités d'air au voisinage de l'électrode haute tension à savoir la disposition horizontale, verticale et triangulaire, montrent clairement que la contrainte électrique est presque la même que celle relevée pour le cas sans cavité d'air. Nous pouvons conclure que les cavités d'air, quelle que soit leur disposition géométrique, se neutralisent mutuellement de telle sorte que le champ résultant devient similaire au cas sans cavité.

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.5 Présence d'une Vacuole d'eau dans l'isolant:

III.5.1 Cas d'une vacuole d'eau à proximité de l'électrode pointue :

Les figures III.21, III.22 représentent les surfaces ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliquée de 20 KV à la pointe en présence d'une vacuole d'eau

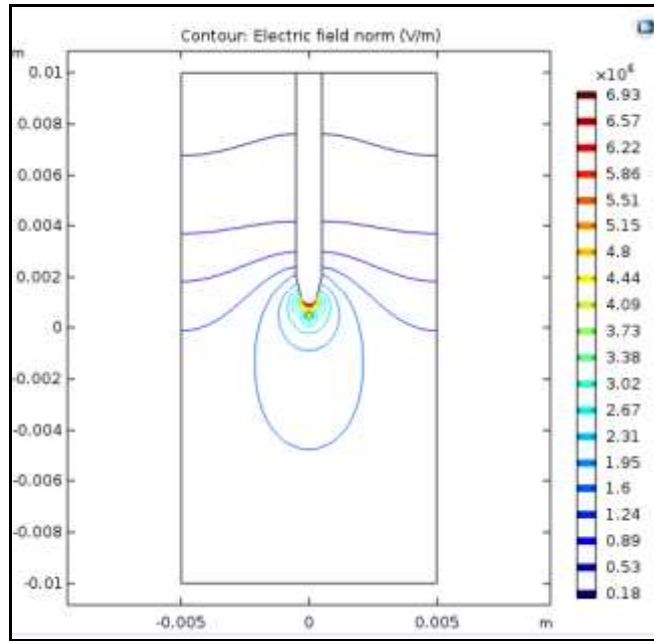


Fig. III.21 : Lignes du champ électrique en présence d'une cavité d'eau

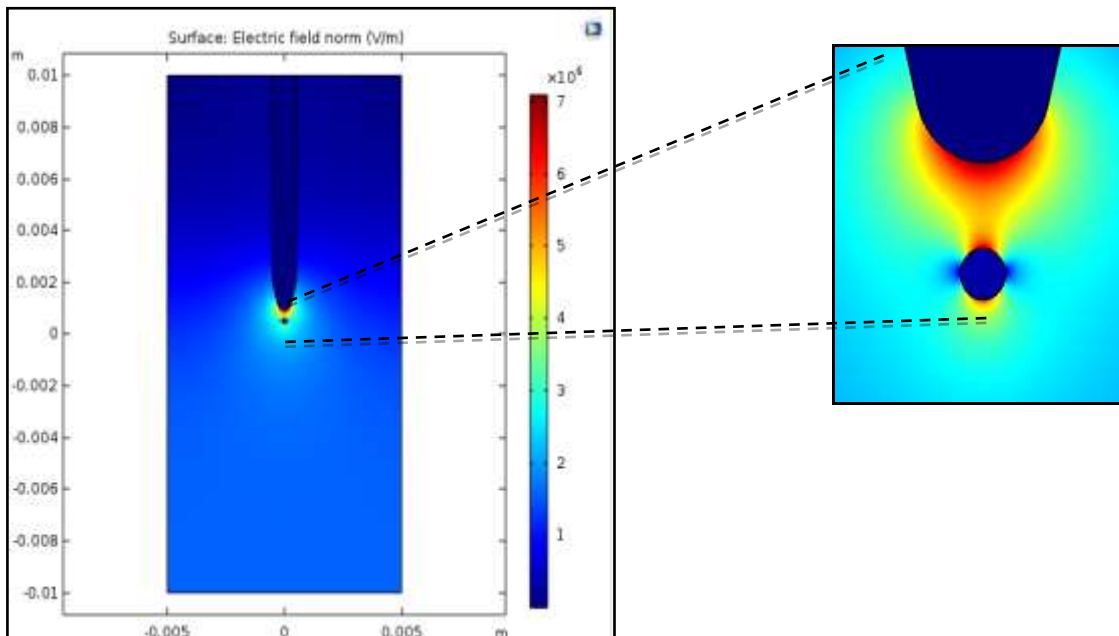


Fig. III.22 : Surface du champ électrique en présence d'une cavité d'eau

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.5.1 Cas de trois vacuoles d'eau à proximité de l'électrode pointue :

Les figures III.23, III.24, représentent les surfaces ainsi que les lignes du champ électrique pour un potentiel appliqué de 20 KV à la pointe en présence de trois cavités d'eau en position triangulaire.

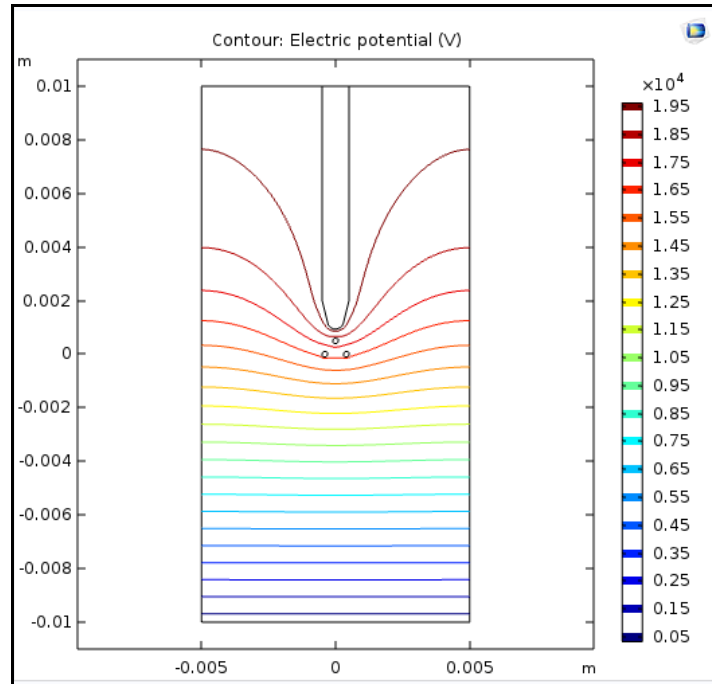


Fig. III.23 : Lignes du potentiel électrique en présence de trois cavités d'eau

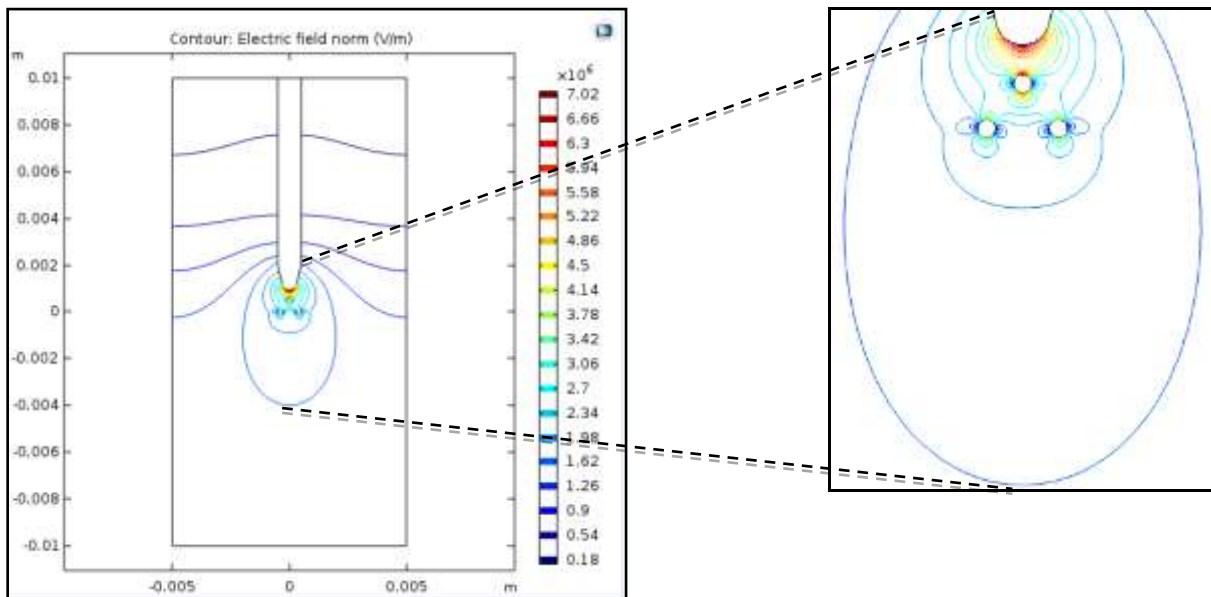


Fig. III.23 : Lignes du champ électrique en présence de trois cavités d'eau

Chapitre III : Résultats et Intréprétations

III.5.2 Interprétations

Nous constatons pour cet essai d'une ou trois vacuoles d'eau placés en forme de triangle que le champ électrique résultant est presque le même de valeur $7e6$ V/m et qui est similaire au cas de la bulle d'air au voisinage de la pointe haute tension.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé tout d'abord un isolant solide sans défaut et ensuite avons montré à l'aide d'une comparaison le danger de présence d'une bulle d'air sur l'apparition des décharges partielles dans l'isolant. Egaleme nt on a pu constater l'effet neutralisant de plusieurs cavités sur la valeur résultante du champ électrique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'impact de présence des cavités d'air ou de l'eau au sein d'un isolant solide des équipements électrique haute tension, car elles contribuent à leur dégradation au cours du temps par le mécanisme de décharge partielle.

Nous avons commencé par simuler un isolant solide sans cavité dans un système inhomogène formé par une électrode pointue haute tension et une électrode plane de terre. Analyse des résultats obtenus de la contrainte électrique ainsi que les lignes du potentiel électrique montrent l'effet de la pointe, le champ d'initiation des arborescences électrique est obtenu pour des tensions beaucoup plus importantes.

Le deuxième cas traité toujours pour le même système d'électrode séparé par un isolant solide est de prendre en considération la présence des cavités de forme circulaire en position et disposition variable. Les résultats reçus après simulation reflètent le point faible du système en présence de la cavité d'air au voisinage de l'électrode pointue parce que la contrainte électrique s'intensifie et dépasse largement le seuil de claquage de l'air et participe à la création des décharges partielles.

La présence de plusieurs cavités loin de la pointe, leur effet est négligeable comparé au positionnement d'une cavité d'air à côté immédiat de l'électrode haute tension.

On peut conclure sur le risque que présentent une cavité d'air introduite à proximité d'une électrode haute tension par rapport à la fiabilité des équipements électriques.

Bibliographie

Bibliographie

.....

[1] Christian LAURENT “Diélectriques solides et charge d’espace” Techniques de l’Ingénieur, Réf : D2305 V2 Date de publication : 10 février 1999

[2] BRETON (J.-C.), RIVIÈRE (D.) et PARRAUD (R.). – Les verres en électrotechnique. Traité Génie Électrique vol. D2II, D 240 (12-1976), fiche D 240 (12-1991), Doc. D 242 (12-1991).

[3] DUMORA (D.). Matériaux isolants céramiques en électrotechnique. Traité Génie Électrique vol. D2II, D 274 et D 275 (12-1982), fiche D 274 (9-1989).

[4] ANTON (A.) et STEINLE (J.-L.). Micas et produits micacés. Traité Génie Électrique vol. D2II, D 2 360, Doc. D 2 360 (5-1997).

[5] FALLOU (B.) et BLANCHARD (J.-J.). Matériaux isolants solides. Caractéristiques élec- triques. Traité Génie Électrique vol. D2II, D 285 (6-1983).

[6] CLAUDE MENGUY « Mesure des caractéristiques des matériaux isolants solides » Techniques de l’Ingénieur Réf. : D2310 V1 Date de publication :10 août 1997

[7] TAHAR Segheir «Etudes des décharges partielles et leur influence sur l’apparition des arborescences dans la couche isolante d’un cable haute tension » Thèse de doctorat 2011, Université de Biskra

[8] M.TALAAT, M.TAYSEER, A. El-ZEIN « Digital image processing for physical basis analysis of electrical failure forecasting in XLPE power cables based on field simulation using finite element method » IET the institute of Engineering and technology, 2020, vol 14 iss 26 pp 6703-6714

[9] LAURENT (C.). Optical prebreakdown warning in insulating polymers. International conference on conduction and breakdown in solid dielectrics, 1998, p. 1.

Bibliographie

.....
[10]MAYOUX (C.). Aging of polymeric insulating material in power cables. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 4, 1997, p. 665.

[11] COMSOL Help