

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 Technologie
Département de 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

**Analyse du champ électrique dans la jonction d'un
câble électrique HT par logiciel Comsol**

Présenté Par :

- 1) Melle. Madani Benyahia Nassima
- 2) M. Hamadi Mohamed

Devant les jurys composés de :

Mr. Aissou Massinissa	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mr. Zelmat Samir	PROF	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Melle. Touhami Aicha	M A A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2022/2023



Remerciements

Tout d'abord, nos remerciements infinis sont adressés à Dieu le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné foi et sagesse, ayant éclairé notre chemin de volonté et de courage pour avoir rendu possible ce modeste travail.

En second lieu

Nous remercions également toutes les personnes proches ou lointaines qui ont contribué à nos, même si avec un mot de motivation.

Nous tenons à remercier notre chère encadrant Mlle. Touhami aïcha enseignante à l'Université BELHADJ Bouchaïb, d'Aïn-Temouchent qui a accepté avec toute modestie de nous encadrer. Nous la remercions de tout cœur pour son aide, sa patience, ses compétences scientifiques, sa confiance qu'elle nous accordée et surtout pour ses conseils précieux et ces encouragements qui ont conduit à l'achèvement de ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce mémoire et de l'enrichir par leurs suggestions :

Le président du jury Mr AISSOU nous a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury

L'examinatrice Mr Zelmat pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire.

Dédicace

En ce moment particulier de ma vie, je dédie ce Modest travail

A mon cher papa et mes yeux maman

Pour leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements et pour tous les sacrifices, pour lesquels que vous avez consentis dans ma vie et toute au long de mon parcours, si je suis arrivée là, c'est bien grâce à vous. Que dieu vous donne longue vie et vous protège pour moi.

A mes tendres gentilles et adorables sœurs Karima et Fatima et Houria et Amaria

Avec tous mes vœux de bonheur et de santé

A toute ma famille

Je vous remercie pour le courage et la confiance que vous ma vie donnée

A ma meilleure copine BOUCHRA, merci pour tout ma belle

A toutes mes amies

Je les remercie de m'avoir accompagnée tout au long de mon parcours et surtout pour leur patience et aide lors de la réalisation de ce travail

Nassima 

Dédicace

*Je dédie ce travail à **mes parents** qui m'ont toujours soutenu et m'ont permis*

D'arriver là où je suis aujourd'hui.

*À mes **sœurs**, mes **frère** et pour tout **ma famille***

À Mes amis.

Mohamed 

Sommaire

Résumé	
Abstract	
المخلص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles	
Introduction générale	1

Chapitre I : Généralités sur les câbles hautes tension.

I.1.Introduction	3
I.2.Constitution Générale d'un câble d'énergie haute tension	3
I.2.1.Ameconductrice	4
I.2.2.Enveloppe Isolante	5
I.2.3.Ecran Semi-conducteur	6
I.2.4.Blindagemétallique	7
I.2.5.Gaine de protection	7
I.3.Principales classification des câbles haute tension	8
I.3.1.Selon la distribution du champ électrique	8
I.3.1.1.Câble à champ radial	8
I.3.1.2.Câble à champ non radial	8
I.3.2.Selon le type d'isolation	9
I.3.2.1.Les câbles isolés au papier et imprégnés	9
I.3.2.2.Les câbles à isolations synthétiques	10
I.3.2.3.Les câbles à isolation gazeuse	12
I.4.Défauts des isolations hautes tension	13
I.4.1.Cavités gazeuses	13
I.4.1.1.Microcavités préexistant au sein du matériau	13

I.4.1.2.Cavités créées au cours de la mise en œuvre ou du fonctionnement du	
Système	14
I.4.2.Hétérogénéités	14
I.4.3.Impuretés	14
I.5.Accessoires de raccords des câbles.....	15
I.5.1.Jonctions	15
1.5.2. Extrémités des câbles	16
1.6. Mode de confection d'une jonction	16
1.7.Conclusion.....	19

Chapitre II : simulation.

II.1.Introduction	21
II.2.Logical Comsol Multiphysics	21
II.2.1.Choix du modèle d'étude	22
II.2.2.Les étapes de simulation	22
II.3.Géométrie	24
II.4.Matériaux physiques de la jonction	25
II.5.Jonction sans déflecteur	25
II.5.1.Physique	26
II.5.2.Maillage	26
II.6.Jonction avec déflecteur	27
II.6.1.Déflecteur avec un angle d'inclinaison nul	27
II.6.1 Déflecteur avec un angle d'inclinaison variable	28
II.7.Conclusion	29

Chapitre III : Résultats et interprétations.

III.1.Introduction	31
III.2.cas de jonction sans déflecteur	31
III.2.1.Résultats de simulation obtenus	31
III.2.2.Commentaires	38
III.3.cas de jonction avec déflecteur	38
III.3.1.avec déflecteur dont l'angle d'inclinaison est nul	38
III.3.2.avec déflecteur dont l'angle d'inclinaison non nul	39
III.4.Conclusion	43
Conclusion générale	45
Références Bibliographique.....	47

Résumé

Les accessoires de câbles sont les composants indispensables et déterminants qui garantissent la sécurité du réseau électrique. Ils répondent aux mêmes caractéristiques d'exploitation que le câble lui-même. Lors du montage de la jonction du câble, la régularité du champ radial est interrompue par le retrait de la couche semi-conductrice externe, ce qui entraîne une non-homogénéité du champ électrique à certains endroits. Cela entraîne une augmentation du champ électrique et l'on se retrouve donc en présence d'un risque de décharges partielles ainsi que de claquages. Les chercheurs s'efforcent à développer des techniques pour obtenir un champ électrique le plus uniforme possible.

Dans notre étude nous avons examiné l'effet d'un dispositif appelé réducteur de champ ou déflecteur de forme conique conçu de matériaux de permittivité élevée sur l'intensité du champ électrique.

Mots clés :

Champ électrique-Jonction – Déflecteur-Câble électrique

Abstract

Cable accessories are the essential and decisive components that guarantee the safety of the electrical network. They meet the same operating characteristics as the cable itself. During assembly of the cable joint, the regularity of the radial field interrupted by the shrinkage of the outer semi-conducting layer, which leads to non-homogeneity of the electric field in certain places. This leads to an increase in the electric field and there is therefore a risk of partial discharges as well as breakdowns. Researchers are striving to develop techniques to obtain the uniform electric field possible.

In our study, we investigated the effect of a device called field reducer or conical shaped deflector made of high permittivity materials on the electric field strength.

Key words

Electric field -Junction – Deflector - Electric cable

المخلص

ملحقات الكابلات هي المكونات الأساسية والحاسمة التي تضمن سلامة الشبكة الكهربائية. إنها تتوافق مع نفس خصائص التشغيل مثل الكابل نفسه. أثناء تجميع مفصل الكبل، ينقطع انتظام المجال الشعاعي عن طريق انكماش الطبقة شبه الموصلة الخارجية، مما يؤدي إلى عدم تجانس المجال الكهربائي في أماكن معينة. هذا يؤدي إلى زيادة في المجال الكهربائي وبالتالي هناك خطر حدوث تصريفات جزئية وكذلك أعطال. يسعى الباحثون جاهدتين لتطوير تقنيات للحصول على المجال الكهربائي الأكثر اتساقاً قدر الإمكان.

درسنا في دراستنا تأثير جهاز يسمى مخفض المجال أو منحرف مخروطي الشكل مصنوع من مواد عالية السماحية على شدة المجال الكهربائي.

الكلمات المفتاحية

المجال الكهربائي -مفروق – مخروط الاجهاد -كابل كهربائي.

LISTE DES FIGURES :

Chapitre I : Généralité sur les câbles haute tension.

Fig.I.1 : Câble d'énergie HT	3
Fig.I.2 : Différentes formes d'âmes conductrices	5
Fig.I.3 : câble à champ radial	8
Fig.I.4 : câble à champ non radial	9
Fig.I.5 : câble isolé au papier imprégné avec blindage en plomb et acier sans écran de L'âme	9
Fig.I.6 : câble isolé au papier imprégné avec gaine de plomb et écran de l'âme	10
Fig.I.7 (a) : Câble XLPE monophasé moyenne tension	11
Fig.I.7(b) : Constitution d'un câble en EPR	11
Fig.I.8 : câble triphasé à isolation synthétique	12
Fig.I.9(a) : câble monophasé, isolé au gaz, en version flexible	12
Fig.I.9(b) : câble triphasé isolé au gaz	13
Fig.I.10 : jonction de type monophasé et ses principaux composants	15
Fig.I.11 : dénudation des différentes couches du câble	22
Fig.I.12 : mise en place des connecteurs métallique sur les conducteurs	22
Fig.I.13 : serrage des connecteurs métallique avec un outil approprié	18
Fig.I.14 : Jonction terminée.....	18

Chapitre II : simulation.

Fig.II.1 : Interface utilisateur de Comsol 5.3	22
Fig.II.2 : Organigramme du calcul des paramètres électrique par Comsol.....	23
Fig.II.3 : schéma de la jonction HT en 2D Axisymétrique	24
Fig.II.4 : Traçage 2D-Axisymétrique de la jonction dans Comsol	25

Fig.II.5 : Conditions aux limites imposées à la jonction : (a) les écrans des Semi-conducteurs interne et externe aux potentiel zéro ; (b) conducteur haute tension relié au Potentiel 10KV.....	26
Fig.II.6 : Maillage extrêmement fin de la géométrie	27
Fig.II.7 : Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison nul	28
Fig.II.8 : Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison non nul	28
Fig.II.9 : Maillage extrêmement fin de la Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison non nul.	29

Chapitre III : Résultats et interprétations.

Fig.III.1 : surfaces équipotentiellles au niveau de la jonction.	31
Fig.III.2 : zoom des surfaces équipotentiellles près de l'écran du semi-conducteur.	32
Fig.III.3 : Isovaleurs du potentiel électrique.....	32
Fig.III.4 : Surface du champ électrique	33
Fig.III.5 : Zoom dans la région du Champ électrique maximal.....	33
Fig.III.6 : les lignes du Champ électrique	34
Fig.III.7 : les lignes de coupe : (a) ligne de coupe horizontale, (b) ligne de coupe Verticale	34
Fig.III.8 : courbe du potentiel électrique selon ligne de coupe (a)	35
Fig.III.9 : courbe du champ électrique selon ligne de coupe (a)	36
Fig.III.10 : courbe du potentiel électrique selon ligne de coupe (b).....	37
Fig.III.11 : courbe du champ électrique selon ligne de coupe (b)	37
Fig.III.12 : Surfaces du champ électrique en présence du déflecteur d'inclinaison nul	39
Fig.III.13 : Surfaces du champ électrique en présence du déflecteur d'inclinaison non nul	40
Fig.III.14 : Variation du champ électrique en fonction de l'angle d'inclinaison du déflecteur pour différentes valeurs de la constante diélectrique du déflecteur	41
Fig.III.15 : Variation du champ électrique en fonction de l'angle d'inclinaison du déflecteur pour épaisseur du cône 3mm et 5mm	43

Liste des Tableaux :

Chapitre I : Généralité sur les câbles haute tension.

Table I.1 : matériaux conducteurs utilisés pour les câbles de transmission	
De puissance	4
Table I.2 : propriété des isolants	6

Chapitre II : simulation.

Table II.1 : propriétés dimensionnelles de la configuration géométrique du modèle	24
Table II.2 : Paramètres physiques de la jonction du câble 10 Kv	25

Chapitre III : Résultats et interprétations.

Table III.1 : Variation du champ électrique en fonction de l'inclinaison du déflecteur (différentes valeurs permittivité relatives du déflecteur)	41
Table III.2 : Variation du champ électrique en fonction de l'inclinaison du déflecteur	42

Liste des symboles :

XLPE : Cross linked polyethylene.

PE : Polyéthylène.

PVC : Polychlorure de vinyle.

HDPE : Polyéthylène haute densité.

DCP : Décumule peroxyde.

E : le champ électrique.

V : le potentiel électrique.

θ : L'angle d'inclinaison du déflecteur.

ϵ_r : La permittivité.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'énergie nécessaire aux services électriques est acheminée par lignes aériennes aux longues distances rurales. Mais à proximité d'une agglomération, ou d'une ville, le système de transport d'énergie est enfouit sous terre par moyen de câbles souterrains. Les câbles souterrains sont de plus en plus utilisés en moyenne tension, même en rurale ou semi-rurale. L'histoire des câbles isolés de transport d'énergie est aujourd'hui plus que centenaire.

La longueur maximale d'un tronçon de câble à très haute tension livrée sur tour est de 500 à 1000 m. Quand la longueur de la ligne dépasse celle des tronçons maximums transportables, il faut réaliser des jonctions entre les tronçons pour pouvoir obtenir la longueur désirée. A l'endroit où le câble doit être raccordé ou terminé, les couches extérieures du câble, y compris l'écran conducteur sur isolant, doivent être coupées selon les dimensions indiquées dans les instructions d'installation. Dans cet endroit le champ est fort. Ce fort champ au bord de l'écran causerait des dommages à l'isolation et une panne éventuelle si rien n'était fait pour réduire la contrainte électrique à cette position. C'est pourquoi toutes les jonctions et terminaisons HT ont des composants de contrôle des contraintes dont la fonction est de réduire le champ électrique au bord de l'écran (et d'autres positions de forte contrainte) à des niveaux acceptables.

La méthode de contrôle des contraintes utilisée dès le développement des accessoires de câble, il s'agit d'un cône de contrainte qui contrôle la contrainte en le positionnant au bord de l'écran. Les cônes de contraintes pour les câbles polymères sont fabriqués en caoutchouc souple.

C'est dans ce contexte que se situe notre contribution d'évaluation paramétrique de la contrainte électrique dans la jonction d'un câble haute tension 10 KV avec un déflecteur (cône de contrainte) par utilisation du logiciel Comsol. Ce travail comporte trois chapitres :

Le premier chapitre nous présentons des généralités sur les câbles hautes tension : les composants des câbles ainsi que les principaux matériaux employés dans leur fabrication. De plus, il traite également des accessoires utilisés pour les raccordements des câbles.

Le deuxième chapitre nous aborderons l'outil d'analyse du champ électrique dans la jonction du câble HT qui est logiciel Comsol Multi Physiques 5.3

Le troisième chapitre est consacré aux résultats de simulation des différents essais réalisés.

Enfin nous terminons ce mémoire par une conclusion générale.

**Chapitre I :
Généralités sur les
câbles hautes tension**

I.1.Introduction :

Les câbles électriques à haute tension sont utilisés pour le transport d'électricité, que ce soit en courant alternatif ou en courant continu. Il est composé de différentes parties assemblées de manière concentrique. Ce chapitre tente de rapporter l'essentiel concernant les câbles haute tension. Il présente en détails les éléments constituant les câbles et les principaux matériaux utilisés. Il aborde aussi les Accessoires de raccordements des câbles.

I.2.Constitution Générale d'un câble d'énergie haute tension :

La structure d'un câble d'énergie haute tension influe grandement sur son rendement. Les techniques de structure et de fabrication des câbles XLPE se sont grandement améliorées depuis les premiers câbles de production qui avaient de vastes Problèmes avec les arborescences d'eau. La figure Fig.1.1 présente la structure d'un câble haute tension (HT) monopolaire à isolation XLPE et écran en fils en cuivre méplats avec étanchéité radiale et longitudinale [1].

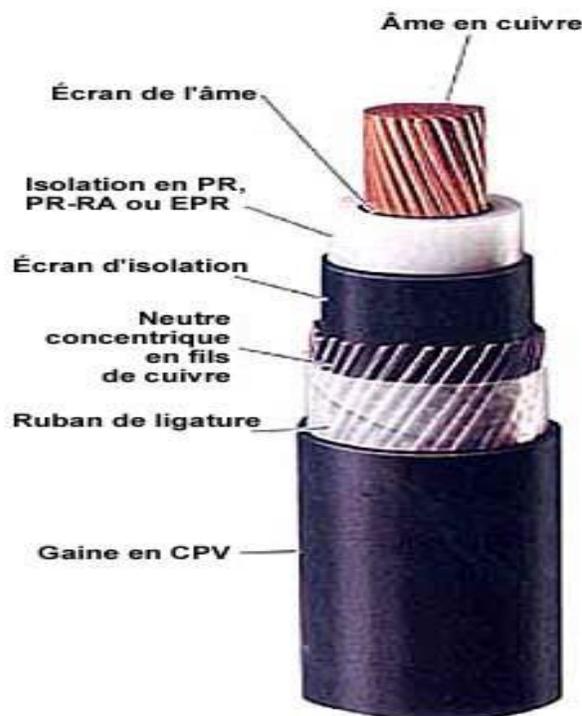


Fig.I.1 : Câble d'énergie HT [2].

I.2.1.Ame conductrice :

L'âme conductrice ou tout simplement le conducteur est la partie principale d'un câble. Son objectif est de transmettre le courant nécessaire avec une faible perte d'énergie. Les deux matériaux largement utilisés sont le cuivre et l'aluminium.

La table.1.1 montre les propriétés électriques des métaux couramment utilisés dans les câbles. Prenant en considération le prix, le cuivre et l'aluminium sont clairement le meilleur choix pour les conducteurs, mais il y a eu une certaine expérience pratique avec le sodium [3].

Table.I.1 : matériaux conducteurs utilisés pour les câbles de transmission de puissance [2].

Matériaux	Avantages	Inconvénients
Aluminium	Peu Coûteux	Conductivité électrique et thermique est d'environ 60 % que celle du cuivre.
Cuivre	Haute conductivité électrique et thermique	Coûteux
Argent	Légèrement supérieur à celui du cuivre	extrêmement Coûteux
Sodium	extrêmement bon marché	Les questions de sécurité sur la manipulation et l'entretien. Conductivité électrique et thermique médiocres.

Différentes formes d'âmes conductrices sont illustrés dans la figure Fig.I.2. Des conducteurs creux sont généralement utilisés afin de permettre la circulation de l'huile pour refroidir le conducteur ; Tressé et Segmenté offrent plus de flexibilité [4].

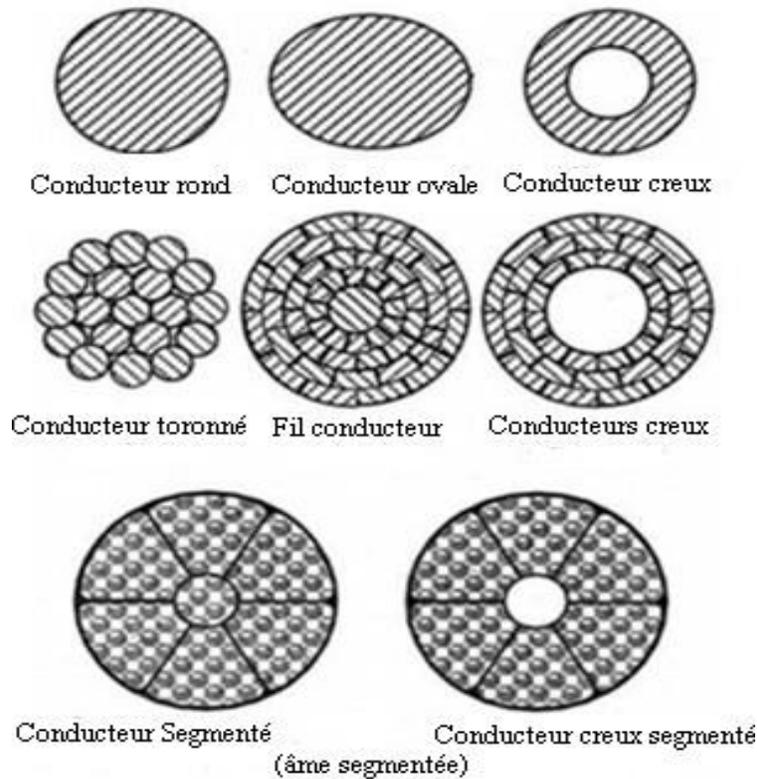


Fig. I.2 : Différentes formes d'âmes conductrices [5].

I.2.2. Enveloppe Isolante :

L'isolation (diélectrique) est la partie la plus cruciale d'un câble puisqu'elle permet une séparation suffisante entre le conducteur et la masse électrique la plus proche afin d'empêcher la rupture diélectrique. Les matériaux d'isolation les plus couramment utilisés dans les câbles extrudés sont le polyéthylène réticulé (XLPE), le caoutchouc éthylène-propylène (EPR) et polyéthylène réticulé avec retardateur d'arborescence (TR-XLPE) [6].

Les câbles à isolation synthétique (PE ou XLPE) sont utilisés dans la gamme moyenne tension, tandis que les isolants en PVC ne sont utilisés que pour des tensions allant jusqu'à 5kV à cause du facteur de dissipation élevé. L'isolation XLPE est utilisée pour des tensions plus élevées (110 kV et plus). Les principaux paramètres électriques des matériaux d'isolations sont présentés dans la table I.2 [5].

Table.I.2 : Propriétés des isolants [5].

	huile	PVC	XLPE	papier Imprégné
Facteur de dissipation tan δ%	3	100	0.55	10
Température maximal (°C)	85	70	90	65-85
Résistance spécifique (MΩ)	5x10 ¹²	7x10 ¹¹	10 ¹⁴	5x10 ¹⁴
Champ Électrique Maximal (KV/mm)	15-25	40	95	15-40
Permittivité ϵ_r a 20°C	2.2-2.8	3-4	2.4	3.3-4.2

I.2.3.Ecran Semi-conducteur :

Des couches semi-conductrices sont utilisées des deux côtés de l'isolation. La couche interne est appelée l'écran du conducteur et son but est de créer une surface en forme de cylindre lisse sur le dessus du conducteur. Ceci permet de fluidifier le champ électrique radial et d'éviter la formation de cavités entre le conducteur et l'isolant, ce qui conduirait à des décharges partielles qui pourraient endommager l'isolation. Le matériau semi-conducteur est habituellement basé sur le même matériau que l'isolant.

La couche externe est appelée écran d'isolation. Sa fonction est d'homogénéiser le champ électrique radial et de fournir un chemin sûr aux courants de fuite. L'écran d'isolation empêche également les décharges partielles au-dessus de l'isolant. Il est généralement fabriqué à partir du même matériau que l'écran conducteur [7].

Les écrans semi-conducteurs sont l'un des aspects les plus complexes dans la technologie du câble. L'atténuation des impulsions de décharges partielles hautes fréquences dans des câbles est due à la couche semi-conductrice. Ceci impose une limitation majeure de la longueur du câble qui peut être surveillée par un système de mesure de décharges partielles [5].

I.2.4. Blindage métallique :

Le blindage métallique est un facteur de sécurité important dans les câbles haute tension. En cas de dommage mécanique causé au câble, un commutateur rapide offre un accès à faible impédance au courant de défaut. Le courant de charge est produit par le condensateur formé entre le conducteur et le blindage métallique [7].

Le cuivre et l'aluminium sont des matériaux typiques pour le blindage métallique du fait de leur bonne conductibilité électrique et de la résistance contre la corrosion, ils résistent ainsi mieux aux décharges partielles qui se propagent à travers le blindage métallique ce qui rend cette partie de câble particulièrement intéressante.

Cet écran métallique relié à la terre à une fonction comme un blindage électrique afin de produire un champ électrique libre autour du câble. De plus, cette composante a d'autres fonctions telles que [8] :

- Fournir un trajet de retour pour le courant de charge capacitive dans des conditions d'exploitation.
- Réalisation de mise à la terre qui permet d'écouler les courants de défaut jusqu'à ce que le système soit hors tension.
- Protection contre les contacts accidentels.
- Protection mécanique de l'isolant, ils servent comme armure.
- Rôle d'étanchéité : grâce à leur technologie (écran massif, écran rubané, contrecollé ou soudé...), les écrans métalliques peuvent assurer l'étanchéité radiale du câble [5].

I.2.5. Gaine de protection :

Ce composant a pour fonction de protéger le câble d'éventuelles possibilités de dommages mécaniques et de la corrosion provoquée par l'eau. Le polyéthylène haute densité (HDPE) est couramment utilisé comme matériau pour cette gaine de protection car il offre une bonne protection mécanique et une excellente résistance à l'abrasion avec une faible pénétration de l'humidité [8].

I.3.Principales classification des câbles haute tension :

I.3.1.Selon la distribution du champ électrique :

I.3.1.1.Câble à champ radial :

Sont utilisées pour les tensions supérieures à 15KV, Les câbles à champs radial est obtenue en disposant l'écran métallique, relié à la terre, autour de chaque conducteur isolé. Cet arrangement soumet l'isolant à un champ radial puisque l'âme et écran sont concentriques.

Il n'y a plus de composante du champ électrique parallèle aux surface de l'isolant, c'est-à-dire dans une direction où la rigidité diélectrique est la plus faible, il est donc possible d'augmenter la contrainte diélectrique que l'on exprime par le gradient de potentiel [9].

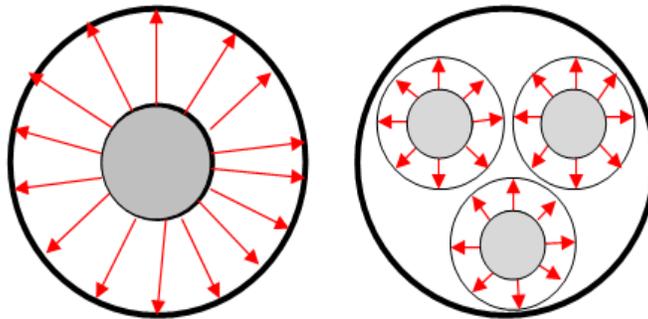


Fig. I.3 : câble à champ radial [9].

I.3.1.2.Câble à champ non radial :

Les câbles haute tension peuvent être à un champ non radial (câble à ceinture), c'est à dire que l'écran entoure l'ensemble des conducteurs. Généralement, les conducteurs isolés sont assemblés sous ceinture, qui sert de support à l'écran. Ce type de câble est utilisé pour les tensions sont limités à 15 KV.

Ces câbles sont généralement isolés par un mélange PVC. Les conducteurs isolés sont assemblés. Puis recouverts successivement par une gaine de ceinture en PVC formant bourrage, d'un écran en cuivre et d'une gaine de protection extérieure (également en PVC) [9].

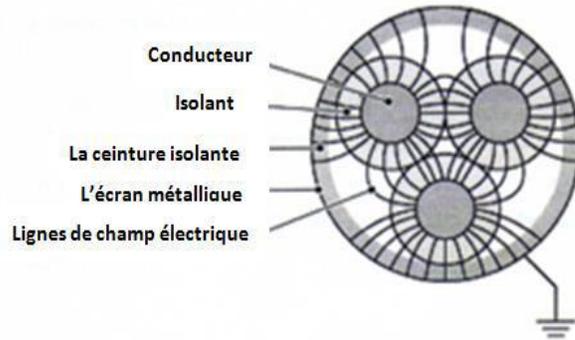


Fig. I.4 : câble à champ non radial [9].

I.3.2.Selon le type d'isolation :

On rencontre actuellement trois catégories principales de câble à haute tension :

I.3.2.1.Les câbles isolés au papier et imprégnés :

Ce type de câble est constitué d'un conducteur central en cuivre ou en aluminium, formé par une corde, ou d'un conducteur tubulaire qui peut, dans ce cas, être parcouru par un flux d'huile de refroidissement. L'isolation est formée par un guipage de papier imprégné de masse isolante (huile + résine) pour des tensions jusqu'à 60KV ou d'huile fluide pour des tensions plus élevée. Le manteau est constitué par une gaine de plomb protégée par une gaine de PVC [10].

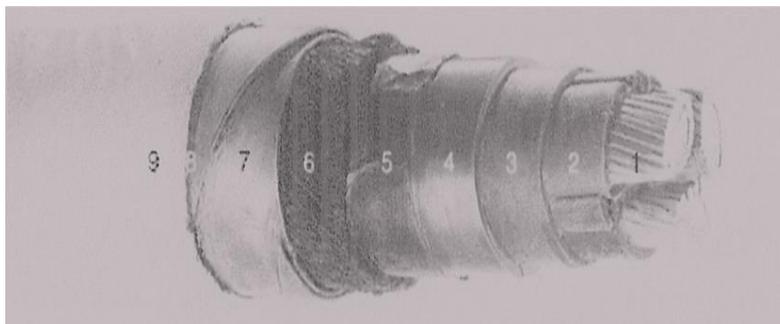


Fig. I.5 : câble isolé papier imprégné avec blindage en plomb-acier sans écran de l'âme [2].

1 : conducteurs de phase torsadés 2 : enroulement de ruban en Papier
 3 : couche isolante composée de huile de cire et de résine 4 : le blindage en plomb 5 : le papier bitumé
 6 : le jute asphalté 7 : la bande de blindage en acier 8 : le jute bitumée 9 : la craie

Le bitume est appliqué pour la conservation et la craie pour éviter le collage du câble à l'enroulement. La figure Fig.I.6 montre un câble isolé au papier imprégné avec écran de l'âme ou chacun des conducteurs a son propre écran semi-conducteur qui l'entoure, ce qui assure une distribution radiale du champ électrique dans l'isolation du conducteur. Une gaine de polymère remplace le jute pour donner une meilleure protection contre la corrosion due aux courants de fuite [2].

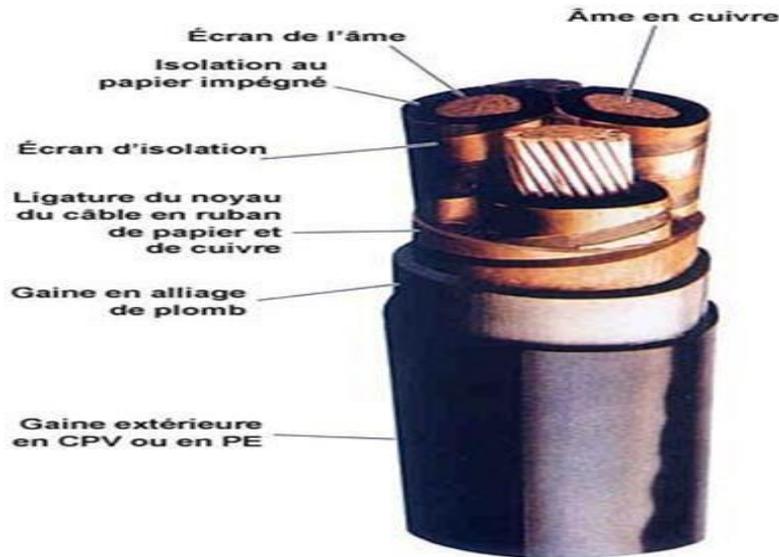


Fig. I.6 : câble isolé au papier imprégné avec gaine de plomb et écran de l'âme [2].

I.3.2.2. Les câbles à isolations synthétiques :

Le câble haut tension à isolation synthétique est constitué de plusieurs couches en matériau métallique ou polymère autour d'une âme conductrice figure Fig.I.7(a). Les composants polymères jouent un rôle dans l'isolation et la stabilité électrique du câble. En périphérie, on retrouve des enveloppes métalliques pour le maintien mécanique et le retour de courant [2].



Fig. I.7 (a) : Câble XLPE monophasé moyenne tension [2].

En fonction du domaine pour lequel il est destiné et la qualité du matériau isolant utilisé, les revêtements du câble à isolation synthétique peuvent être allégés, comme le montre la photo illustrée en figure Fig.I.7 (b).

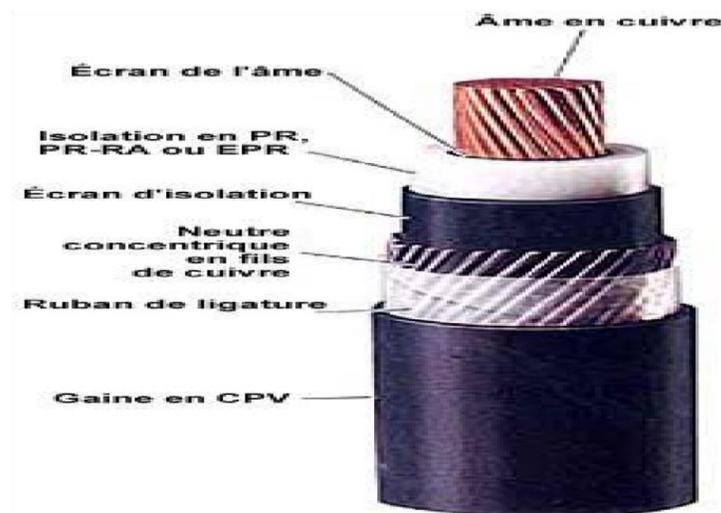


Fig.I.7(b) : Constitution d'un câble en EPR [2].

Le câble triphasé à isolation synthétique intègre trois conducteurs dans un même câble, comme le montrent les exemples donnés en Fig.I.8. Les différentes couches et les matériaux dans cette structure sont similaires à ceux de la conception du câble à isolation synthétique monophasé. Sauf que, chaque conducteur de phase et leurs couches d'isolations ont leurs propres

écrans semi-conducteurs qui les entourent, ce qui assure une distribution radiale du champ électrique dans l'isolation du conducteur [2].



Fig.I.8 : câble triphasé à isolation synthétique [2].

I.3.2.3. Les câbles à isolation gazeuse :

Les câbles à isolation gazeuse, comprennent deux tubes coaxiaux, le tube intérieur étant centré au moyen de viroles en résine époxy.

L'isolation est obtenue par un gaz possédant de bonnes caractéristiques diélectriques comme l'hexafluorure de soufre. La rigidité diélectrique du SF₆ est de l'ordre de 10kV/mm, c'est-à-dire environ 3fois la rigidité diélectrique de l'air aux conditions normales [10].

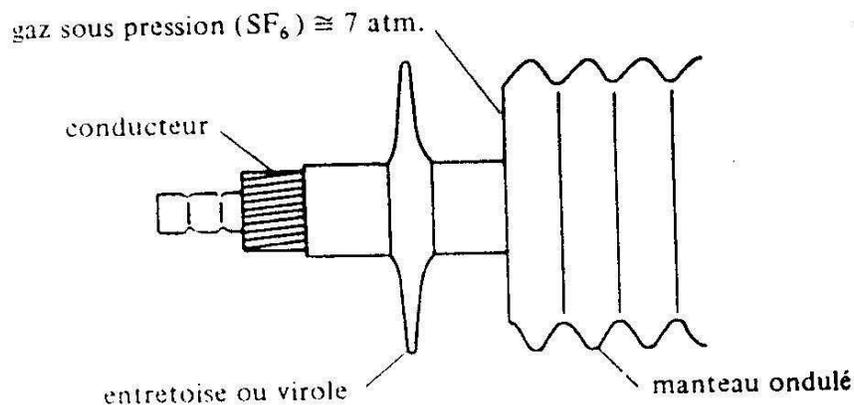


Fig. I.9(a) : câble monophasé, isolé au gaz, en version flexible [2].

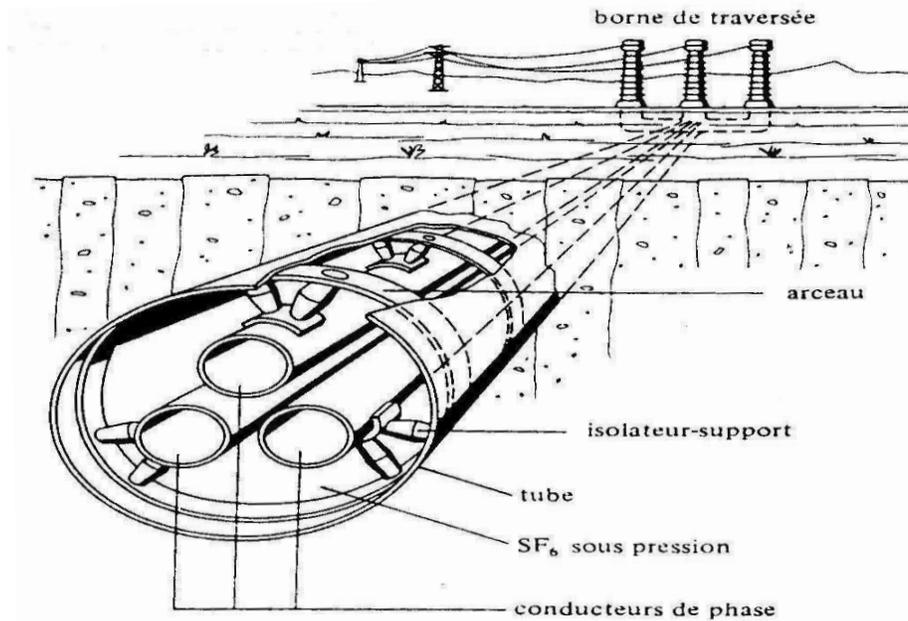


Fig.I.9(b) : câble triphasé isolé au gaz [2].

I.4. Défauts des isolations haute tension :

Les isolations haute tension contiennent souvent des défauts qui sont généralement l'origine de toutes altérations et dégradations des propriétés de l'isolant sous les contraintes de service (champ électrique, température, rayonnement...). Ces défauts peuvent être classés en trois catégories :

- Les cavités gazeuses qui peuvent donner lieu à des phénomènes de décharges.
- Les hétérogénéités aux interfaces ou dans la masse de l'isolant autour desquelles le champ électrique peut prendre des valeurs importantes.
- Les impuretés [11].

I.4.1. Cavités gazeuses :

Elles peuvent avoir deux origines :

- Microcavités préexistantes au sein du matériau.
- Cavités créées au cours de la mise en œuvre ou du fonctionnement du système [12].

I.4.1.1. Microcavités préexistant au sein du matériau :

Deux cas sont à envisager en fonction de la nature réticulée ou non réticulée de la structure du matériau. La réticulation s'accompagne d'un dégagement de gaz qui a tendance à former des bulles si la technologie de fabrication n'est pas bien adaptée : pression ou longueur de

refroidissement insuffisante. Dans le cas d'un matériau réticulé, c'est le procédé de réticulation qui est responsable de la formation de cavités. Dans le cas d'un matériau semi cristallin non réticulé c'est la cristallisation qui pourrait donner naissance à des cavités de dimensions beaucoup plus petites [13].

I.4.1.2.Cavités créées au cours de la mise en œuvre ou du fonctionnement du système :

Des décollements peuvent être créés entre les parties isolante et conductrice, par suite de défauts de fabrication ou à l'existence de contraintes mécaniques consécutives au fonctionnement du système [13].

I.4.2.Hétérogénéités :

Elles peuvent conduire à des concentrations locales du champ électrique. Dans le cas des inhomogénéités de forme sphérique de constante diélectrique ϵ , noyées dans l'isolant sous champ uniforme, le facteur multiplicatif du champ n'excède pas 3. Si l'inhomogénéité est de forme ellipsoïdale, le facteur multiplicatif peut être beaucoup plus important [14].

I.4.3.Impuretés :

Il est connu que les impuretés jouent un rôle majeur dans l'initiation et la propagation des arborescences d'eau et électrique dans les câbles isolés au XLPE alors la présence de ces impuretés au sein de l'isolant avec de grandes quantités intervient dans la diminution de la durée de vie des câbles. La connaissance de l'origine des impuretés, leurs mécanismes de diffusion et leurs relations avec les propriétés électriques de l'isolant a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche. J.P. Carine et S. Péliou et ont étudié la présence des impuretés dans les câbles isolés au XLPE. Ils ont conclu que :

- L'origine des impuretés est généralement la forte contamination des écrans semi-conducteurs.
- Le processus de fabrication des câbles (à la vapeur d'eau ou en gaz inerte) joue un rôle Prépondérant dans la contamination de l'isolant.
- Les propriétés électriques telles que la rigidité diélectrique, le facteur de pertes diélectriques et la résistivité sont fortement influencées par la présence des impuretés au sein de l'isolant.
- Le vieillissement électrique n'a pratiquement aucune influence sur le processus de diffusion des impuretés dans l'isolant [15].

I.5 Accessoires de raccordements des câbles :

Les exigences communes pour tous les accessoires de câble sont le raccordement adéquat Des connexions du conducteur et la réintégration de l'isolation. Tous les accessoires de câble Moyenne tension et plus, opérant à ou plus de 3.8/6.6 kV, nécessitent le control de la contrainte 'électrique à l'extrémité de l'écran diélectrique et aux points de jonction [16].

I.5.1 Jonctions :

La longueur maximale d'un tronçon de câble à très haute tension livrée sur tour est de 500 à 1000 m. Quand la longueur de la ligne dépasse celle des tronçons maximums transportables, il faut réaliser des jonctions entre les tronçons pour pouvoir obtenir la longueur désirée. Cette tâche doit être faite avec le plus grand soin afin d'assurer un fonctionnement fiable d'une jonction au cours de sa vie. Les jonctions sont généralement fabriquées à partir de matériaux de même nature que les câbles extrudés [17].

Une jonction est constituée d'un connecteur qui relie les conducteurs ensemble et transporte Le courant, d'une couche d'électrode conductrice sur le dessus du connecteur qui forme une Interface lisse entre l'isolant et le connecteur, d'une couche d'isolant principale, d'un écran D'isolement semi-conducteur connecté au système dans les écrans isolants des câbles et des Couches de blindage. La figure Fig.1.10 présente une disposition d'une jonction de type monophasé et ses principaux composants [5].

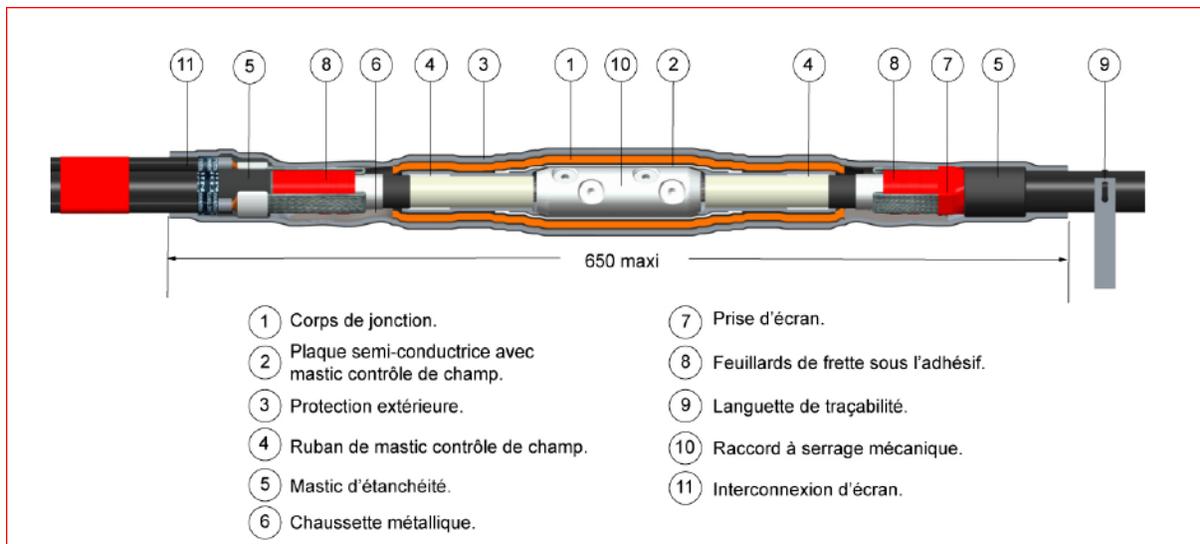


Fig.I.10 : jonction de type monophasé et ses principaux composants [18].

I.5.2 Extrémités des câbles :

Les extrémités servent à terminer le câble isolé et permettent le raccordement à des pièces nues soit du poste, soit des lignes aériennes, aux jeux de barres, aux appareils, aux tableaux.

Elles ont pour rôle d'assurer :

- L'isolement des pièces de contact.
- L'étanchéité aux extrémités du câble.

La structure d'une terminaison de câble dépend du type de câble, de la tension utilisée et de l'environnement d'installation.

Tant que le câble conserve les mêmes dimensions physiques, la contrainte électrique demeure compatible. Mais lorsque le câble est coupé, le bouclier se termine brusquement et l'isolation varie de celle du câble dans l'air. A cet endroit la terminaison de câble est problématique, tant que le champ électrique est fortement concentré. Cependant l'extrémité doit être conçue, de manière à ce que ce champ soit contrôlé [19,20, 21].

Les terminaisons sont classées en deux types à savoir type extérieur et type intérieur, s'ils peuvent ou ne peuvent résister aux effets de précipitation, de pollution et de radiation ultraviolettes [21].

Les terminaisons extérieures doivent être protégées contre le vieillissement et le rayonnement ultraviolet sur toute leur longueur. Une couche protectrice doit être conçue pour résister au phénomène de < traque de surface >. Cela se produit car la surface externe présentant un gradient de tension tout au long d'elle ; l'eau et d'autres polluants réduisent la résistance de la surface, ce qui permet le passage de courants de fuite.

L'isolation à l'intérieur de la terminaison peut être composée d'air ou d'un diélectrique. L'isolation à l'air est réalisée en utilisant une boîte suffisamment grande pour permettre un espacement suffisant entre phases ou entre phases et terre [5].

I.6. Mode de confection d'une jonction d'un câble HT :

Les principales étapes du montage d'une jonction rétractable à froid d'un câble haute tension sont :

✓ La première étape consiste à dénuder les différentes longueurs de chaque couche de câble. Les longueurs varient selon le type de la jonction. Le corps de la jonction est enfilé sur le conducteur La figure Fig.I.11 Montre le raccordement d'une une jonction à froid



Fig. I.11 : dénudation des différentes couches du câble [22].

✓ La deuxième étape consiste à ajouter le connecteur métallique, La figure Fig. I.12 le connecteur glisse sur le dessus des conducteurs et est serré avec des vis. Les vis se cassent pour un certain couple, laissant juste le tube. Les cavités laissées peuvent être remplies d'une substance d'argile pour remplir les trous d'air.



Fig. I.12 : mise en place des connecteurs métallique sur les conducteurs [22].



Fig. I.13 : serrage des connecteurs métallique avec un outil approprié [22].

- ✓ Recouvrement des connecteurs par une feuille d'aluminium puis d'un ruban isolant haute tension. Après cette étape le kit de la jonction est appliqué



Figure I.14 : Jonction terminée [22].

Conclusion :

Un défi majeur dans la fabrication de câbles performants réside dans l'isolation des conducteurs. Ces câbles doivent être en mesure de résister à des contraintes physiques, chimiques et thermiques parfois sévères. Après avoir présenté l'essentiel des câbles d'énergie HT et leur caractéristique. Dans le chapitre suivant, notre intérêt se focalise sur l'évolution du champ électrique dans la jonction du câble électrique 10 KV par logiciel COMSOL Multiphysics.

Chapitre II : Simulation

II.1.Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons à l'étude paramétrique du champ électrique ainsi que la distribution des surfaces équipotentielles dans la jonction d'un câble haute tension 10KV courant alternatif.

Nous examinerons l'effet du déflecteur dans le corps de la jonction sur la valeur du 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 la jonction du câble sans déflecteur
- Visualiser la distribution du champ électrique dans la jonction du câble sans déflecteur
- Examiner l'effet du déflecteur sur l'intensité du champ électrique et déterminer les paramètres diélectriques et géométriques du déflecteur qui assurent un fonctionnement optimal de la jonction.

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 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 la résolution des équations aux dérivés partielles PDE mode [23].

II.2.1.Choix du modèle d’étude :

Le problème est résolu en 2D-Axysymétrique et nous avons choisi le modèle électrostatique avec régime stationnaire pour calculer le champ électrique au sein de la jonction du câble HT.

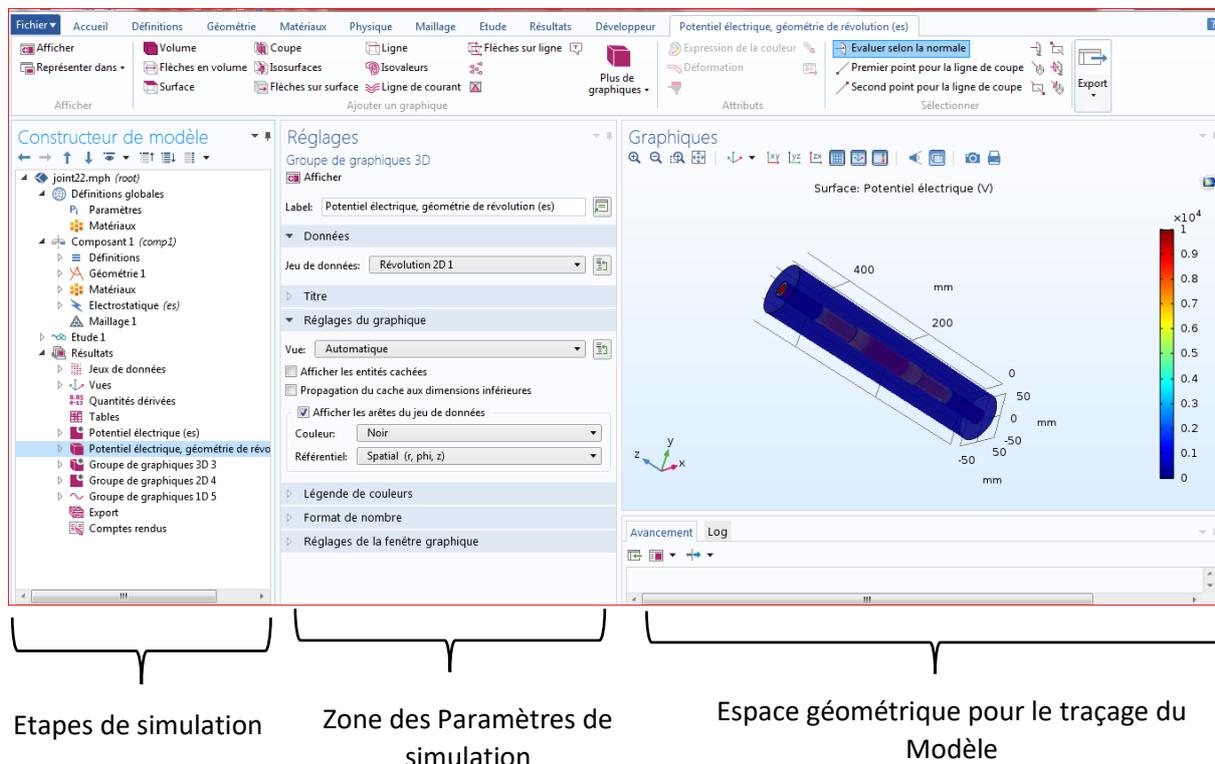


Fig.II.1 : Interface utilisateur de Comsol 5.3.

II.2.2.les étapes de simulation :

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

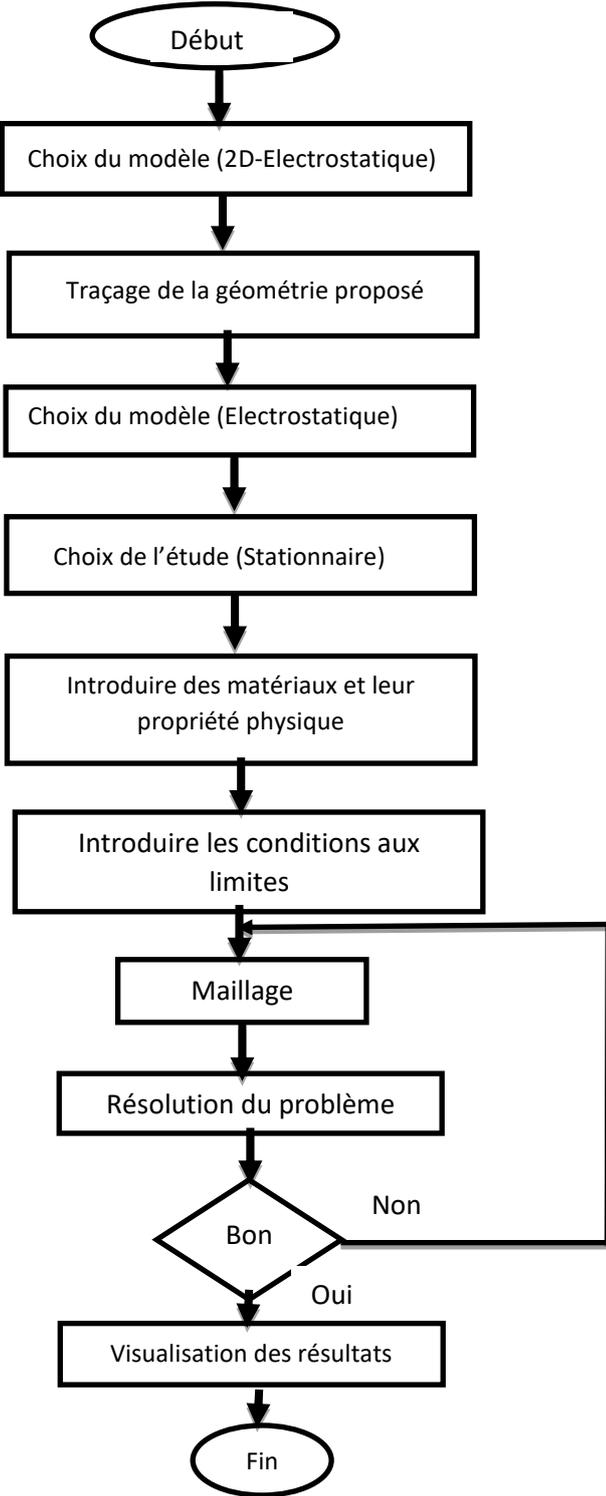


Fig.II.2 : Organigramme du calcul des paramètres électrique par Comsol.

II.3.Géométrie :

La géométrie de la jonction du câble de tension 10 KV est montrée sur la figure Fig.II.3 [24]. Les principaux constituants sont l'âme conductrice en cuivre qui est connectée par un tube à sertir (connecteur). L'âme est couverte par un semi-conducteur puis par un isolant (XLPE).

Les autres parties de la jonction sont : le déflecteur (cône de contrainte), l'écran haut tension, l'écran extérieur, isolant de la jonction, couche extérieure semi conductrice.

- 1 : Ame conductrice
- 2 : Ecran semi-conducteur interne
- 3 : Isolant du câble
- 4 : Ecran semi-conducteur externe
- 5 : l'air
- 6 : Déflecteur
- 7 : Ecran haute tension
- 8 : Isolant de la jonction
- 9 : Gaine de protection

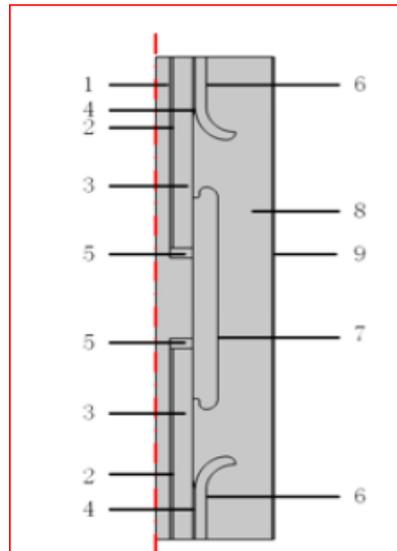


Fig.II.3 : schéma de la jonction HT en 2D Axisymétrique [24].

Table.II.1 : propriétés dimensionnelles de la configuration géométrique du modèle [25].

paramètre	Valeur/mm	paramètre	Valeur/mm
Rayon conducteur	10.2	Epaisseur gaine extérieure	1
Longueur conducteur	500	Epaisseur de l'écran du conducteur	0.5
Longueur jonction	400	Epaisseur de l'isolant câble	4.5
Longueur connecteur	94	Epaisseur de la gaine d'isolant	1
Longueur isolant câble	200	Epaisseur de l'écran HT	3
Longueur gaine HT	166	Epaisseur de l'isolant de la jonction	35

II.4. Matériaux physiques de la jonction :

La table II.2 montre les différents matériaux conducteurs et isolants choisis ainsi que leurs propriétés physiques introduites dans le modèle de simulation.

Table.II.2 : Paramètres physiques de la jonction du câble 10 KV [25].

Structure	Permittivité Relative	Structure	Permittivité Relative
Ame conductrice	1	Déflecteur	10-15-20-25
Connecteur	1	Ecran haute tension	50
Ecran interne- externe	2.26	Isolant câble	2.3
Ecran de l'isolant	10	Isolant jonction	3

II.5. Jonction sans déflecteur :

Nous simulerons dans cette partie la jonction du câble 10KV sans déflecteur. La figure Fig.II.4 illustre Le tracé de la jonction en 2D Axisymétrique.

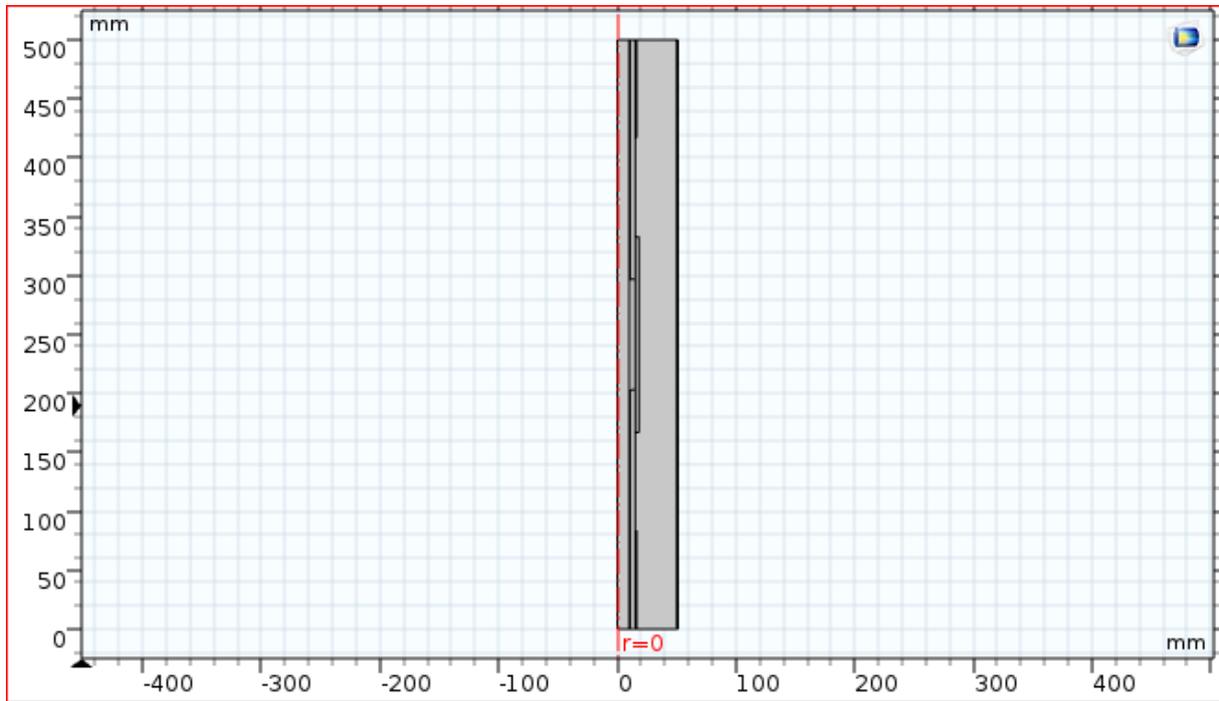


Fig.II.4 : Traçage 2D-Axisymétrique de la jonction dans Comsol.

II.5.1. Physique :

Le modèle physique adopté pour notre simulation est celui d'électrostatique associé avec le régime stationnaire afin de résoudre les équations qui régissent ce modèle par la méthode des éléments finis, les conditions aux limites choisies sont :

1. Ligne de symétrie est l'axe de symétrie $r=0$;
2. L'âme conductrice est portée au potentiel électrique 10 KV ;
3. L'écran semi-conducteur interne et externe est soumis au potentiel nul

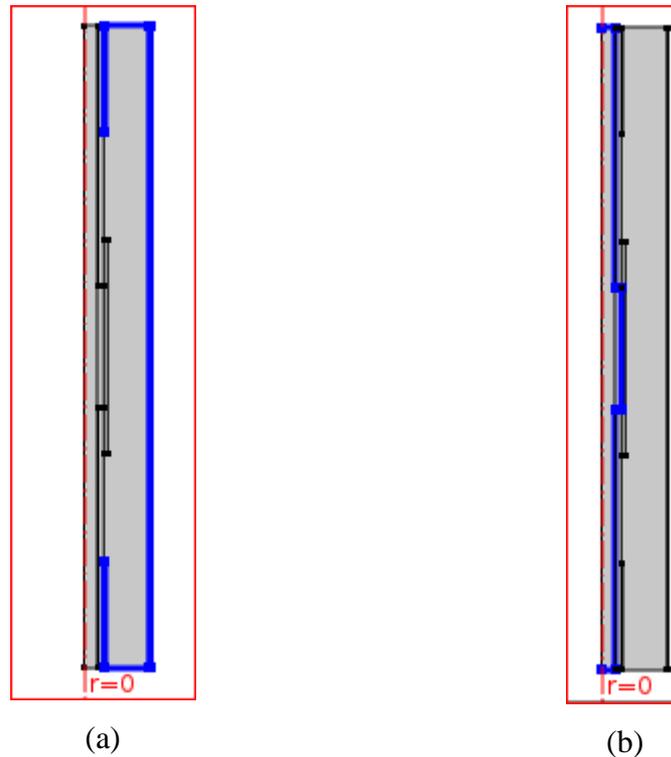


Fig.II.5 : Conditions aux limites imposées à la jonction : (a) les écrans des semi-conducteurs interne et externe aux potentiel zéro ; (b) conducteur haute tension relié au potentiel 10KV.

II.5.2. Maillage :

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

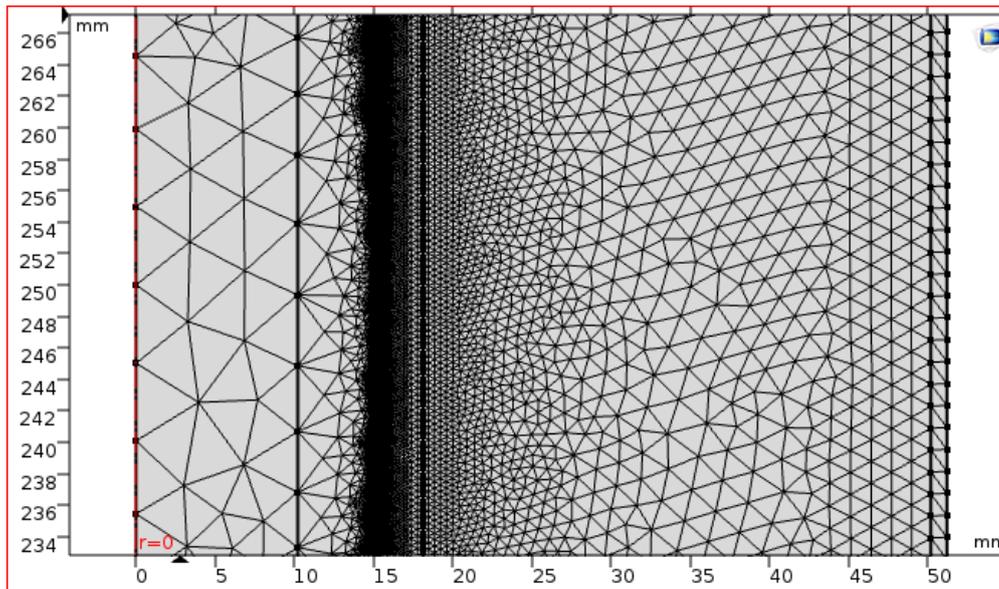


Fig.II.6 : Maillage extrêmement fin de la géométrie.

II.6.Jonction avec déflecteur :

Nous complétons l'étude précédente par l'introduction dans la géométrie de la jonction un élément important qui est le déflecteur (de forme conique) appelé également un répartiteur de champ, de sorte qu'il englobe le semi-conducteur externe de d'isolant.

Le cône de contrainte (déflecteur) Constitué de matériaux de haute permittivité afin d'atténuer l'intensité du champ électrique et de rendre les équipotentielles plus parallèle. La tension d'alimentation du conducteur est toujours 10kv.

Nous varions l'angle d'inclinaison du déflecteur et sa constante diélectrique afin d'avoir une intensité du champ électrique plus optimale (inférieur à la valeur de claquage de l'air qui est égale à 3kv/mm).

II.6.1.Déflecteur avec un angle d'inclinaison nul :

La figure Fig.II.7 montre le modèle de la jonction avec un déflecteur représentant un angle d'inclinaison nul.

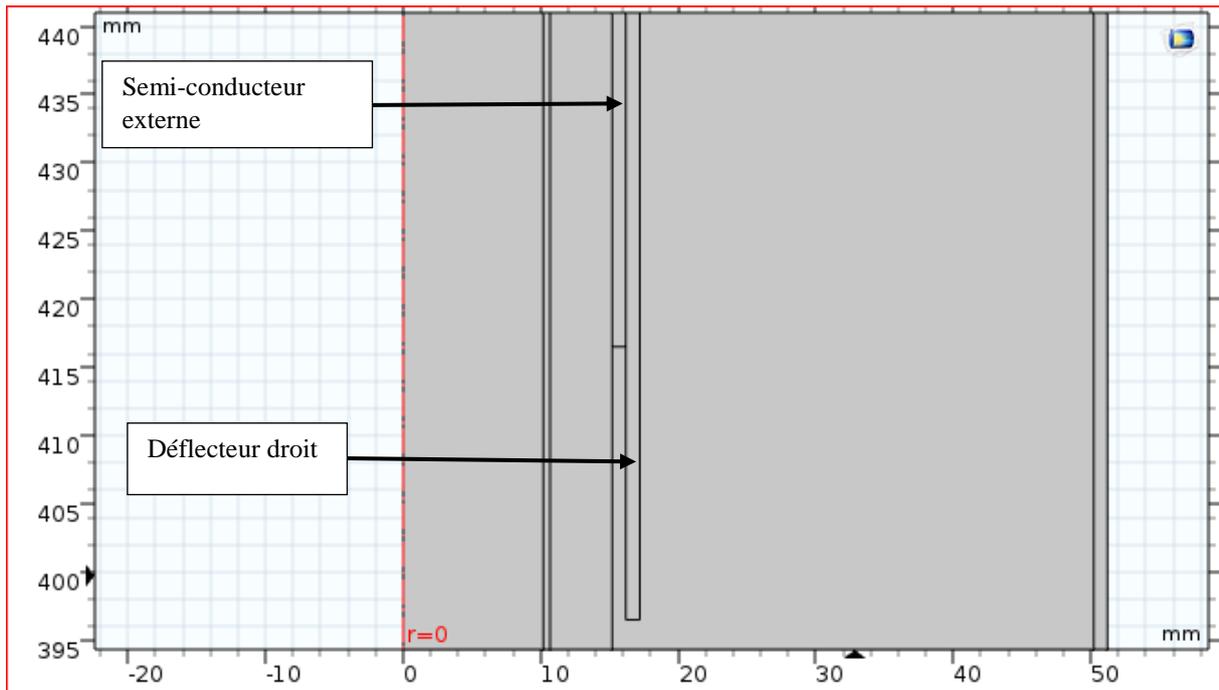


Fig.II.7 : Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison nul.

II.6.2. Déflecteur avec un angle d'inclinaison variable :

La figure Fig.II.8 montre le modèle de la jonction avec un déflecteur représentant un angle d'inclinaison non nul et la figure Fig.II.9 le maillage correspondant.

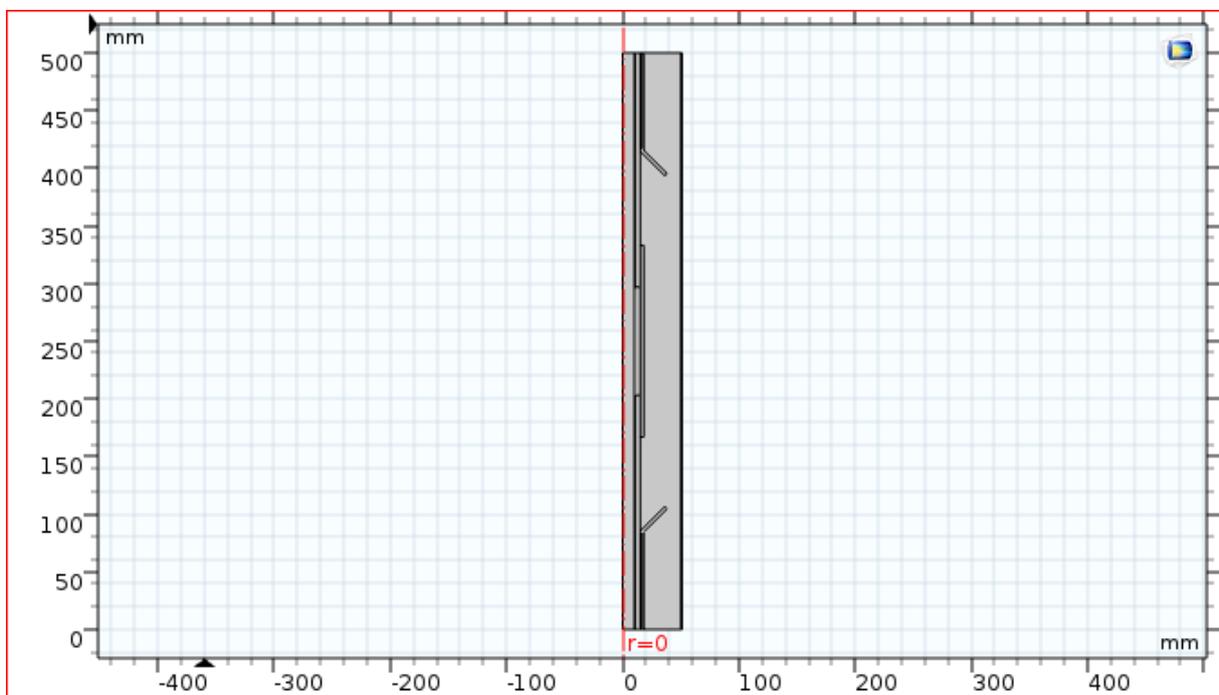


Fig.II.8 : Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison non nul.

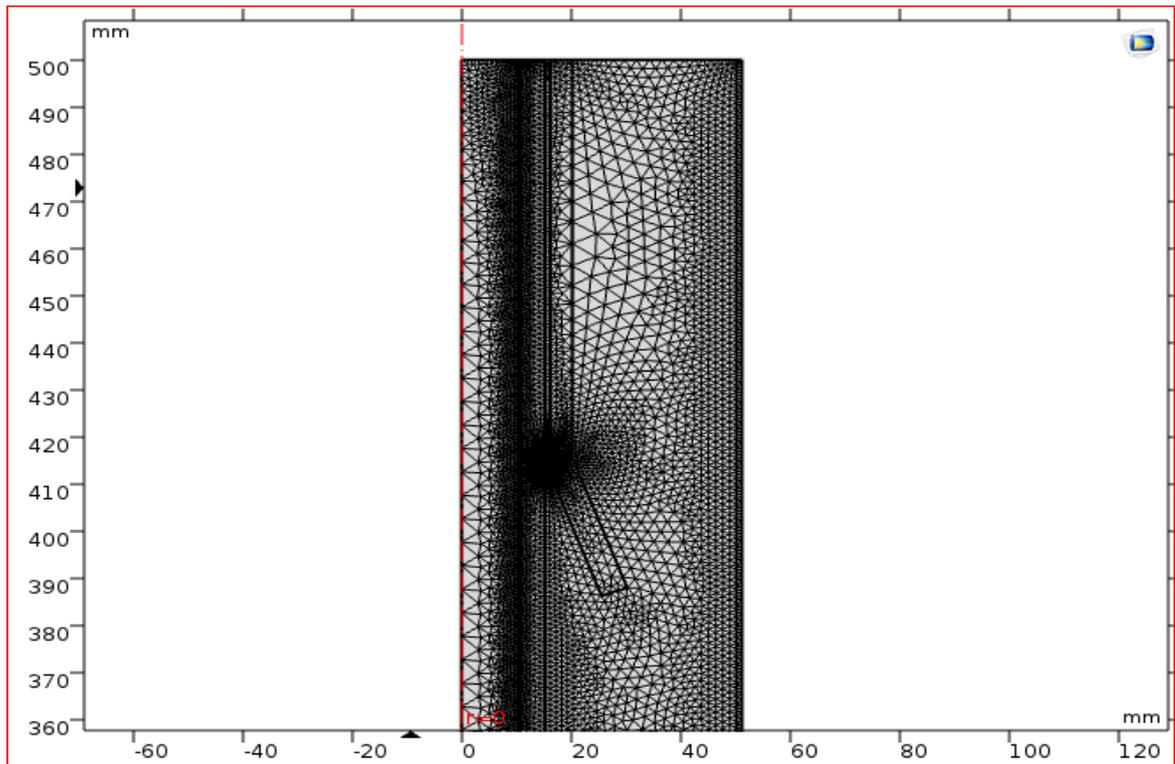


Fig.II.9 : Maillage extrêmement fin de la Jonction avec un déflecteur dont angle d'inclinaison non nul.

II.7.Conclusion :

Différents essais de simulation sous Comsol 5.3 ont été réalisés, en débutant par le choix de la géométrie (2D-Axysymétrique) pour le traçage de la configuration de la jonction du câble HT, puis introduction des valeurs des matériaux constituant la jonction et les conditions aux limites.

Ensuite nous avons effectué une étude paramétrique basée sur l'effet du déflecteur pour l'évaluation du champ électrique acceptable tout en variant les paramètres diélectrique (permittivité diélectrique) et géométriques (l'angle d'inclinaison et l'épaisseur).

Les différents résultats obtenus seront présentés et discuté dans le prochain chapitre.

Chapitre III : Résultats Et interprétation

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats de simulation des différents essais réalisés dans le chapitre précédent sous Comsol avec et sans le déflecteur. Nous visualiserons les surfaces équipotentielles, distributions du champ électrique et les courbes donnant l'intensité du champ électrique.

III.2.cas de jonction sans déflecteur :

III.2.1.Résultats de simulation obtenus :

Les figures Fig. III.1, Fig.III.3, Fig.III.4 ; Représentant les surfaces équipotentielles, les lignes du champ électrique lors de l'application de la haute tension 10 KV à l'âme conductrice du câble.

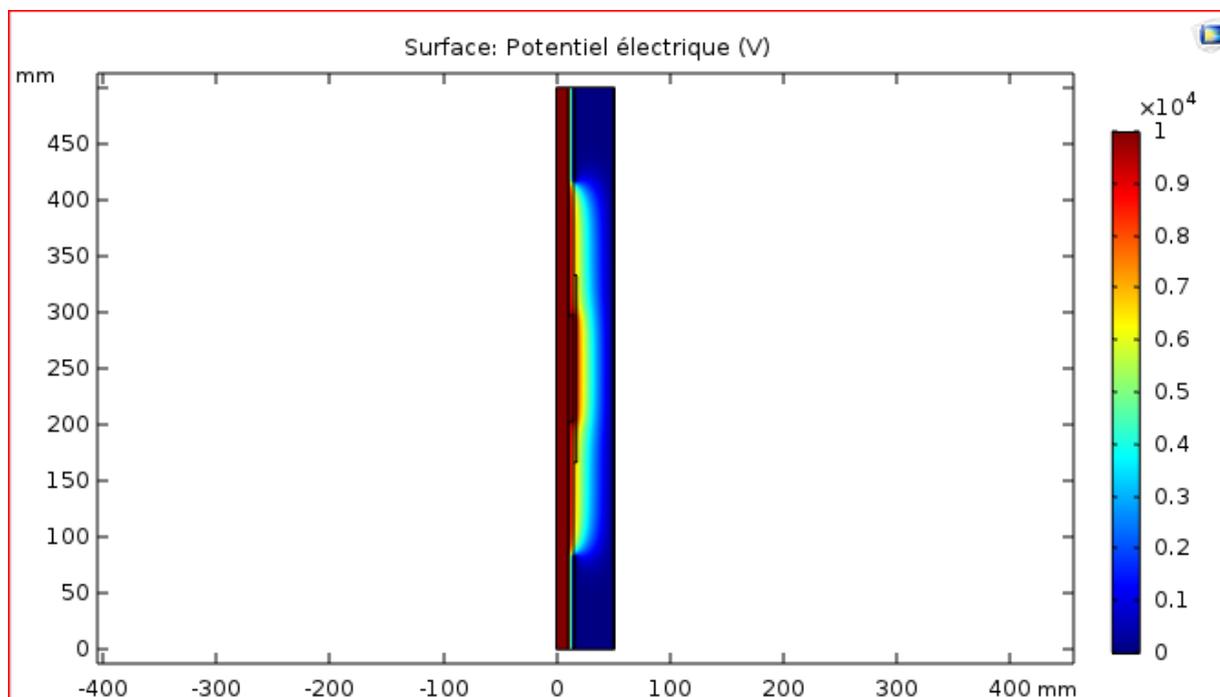


Fig.III.1 : surfaces équipotentielles au niveau de la jonction.

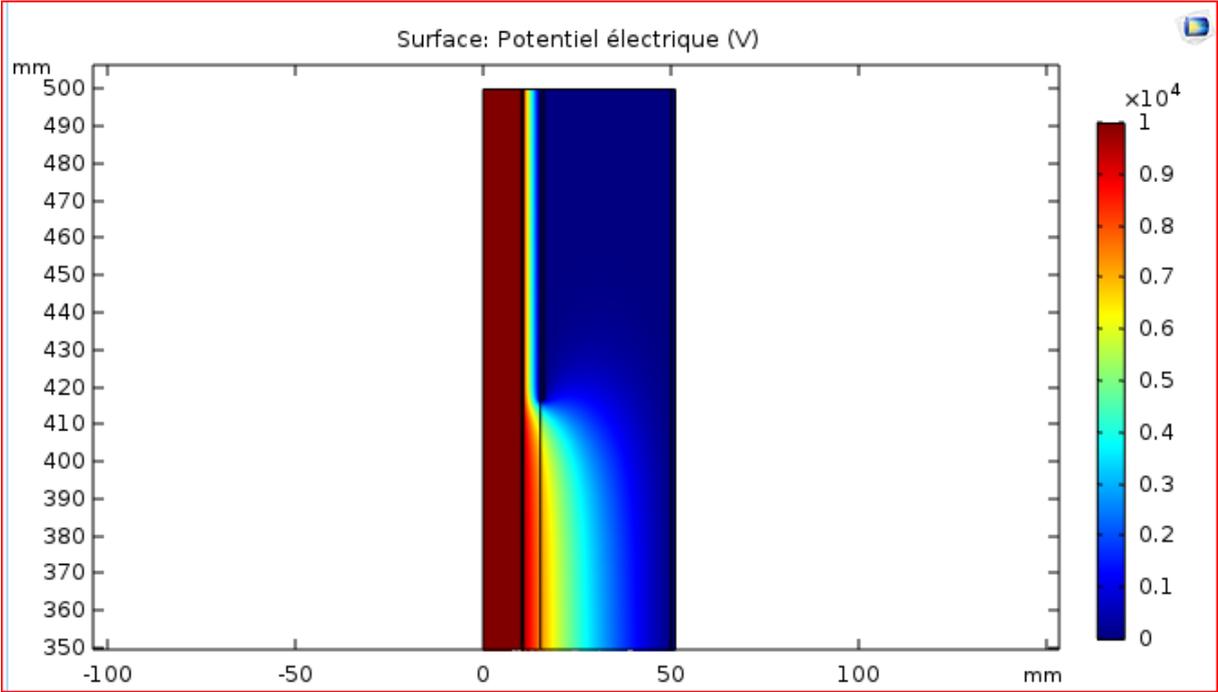


Fig.III.2 : zoom des surfaces équipotentielles près de l'écran du semi-conducteur.

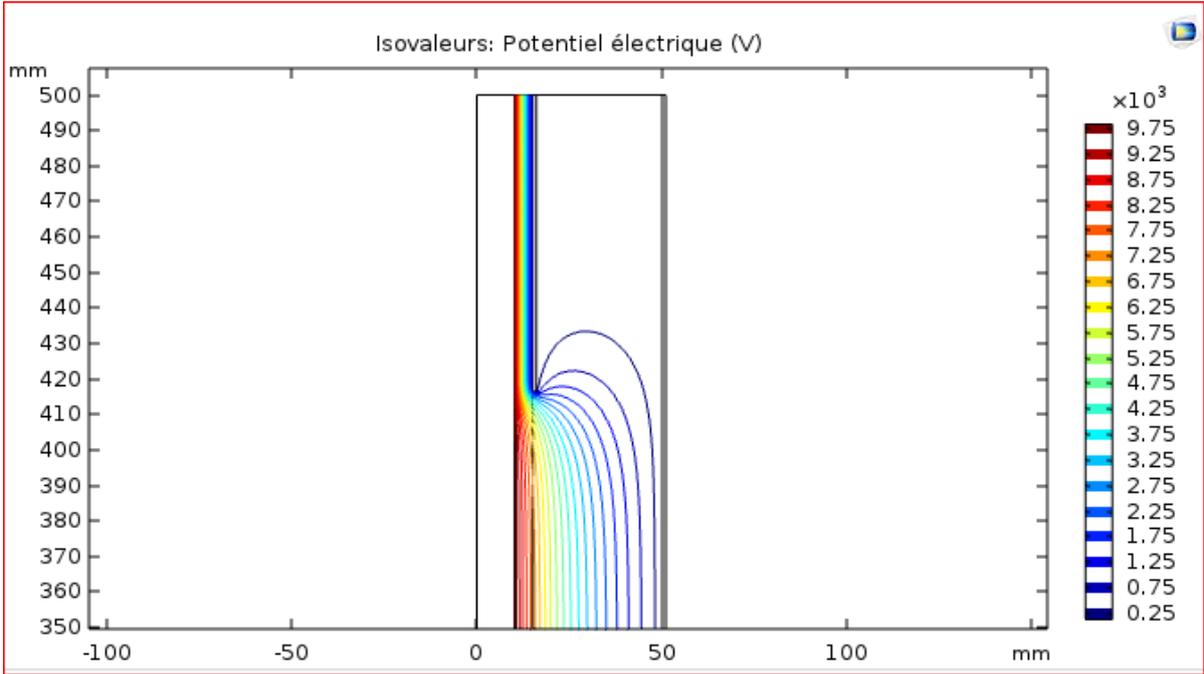


Fig.III.3 : Isovaleurs du potentiel électrique.

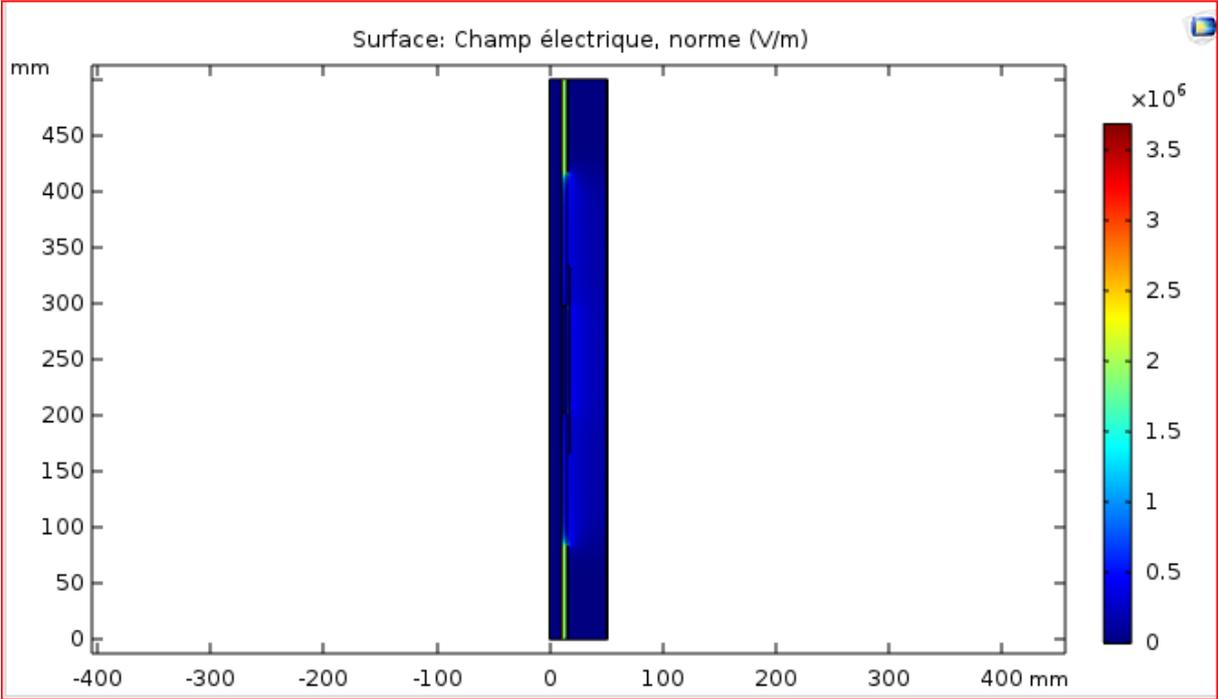


Fig.III.4 : Surface du champ électrique.

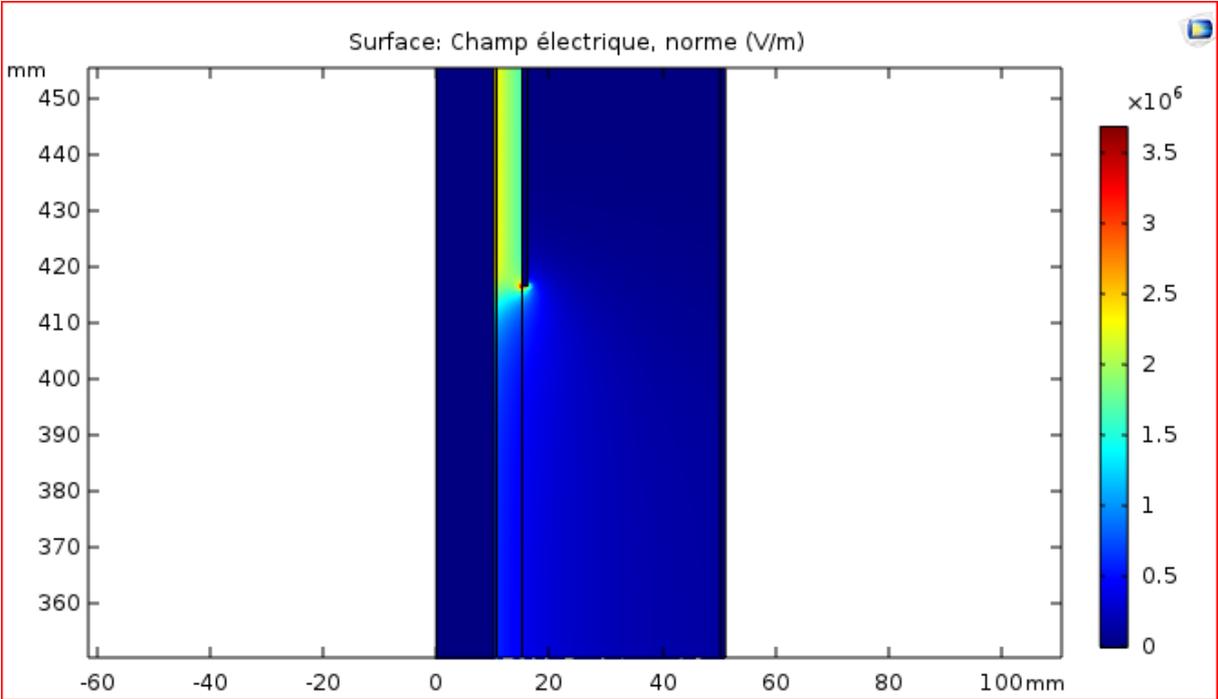


Fig.III.5 : Zoom dans la région du Champ électrique maximal.

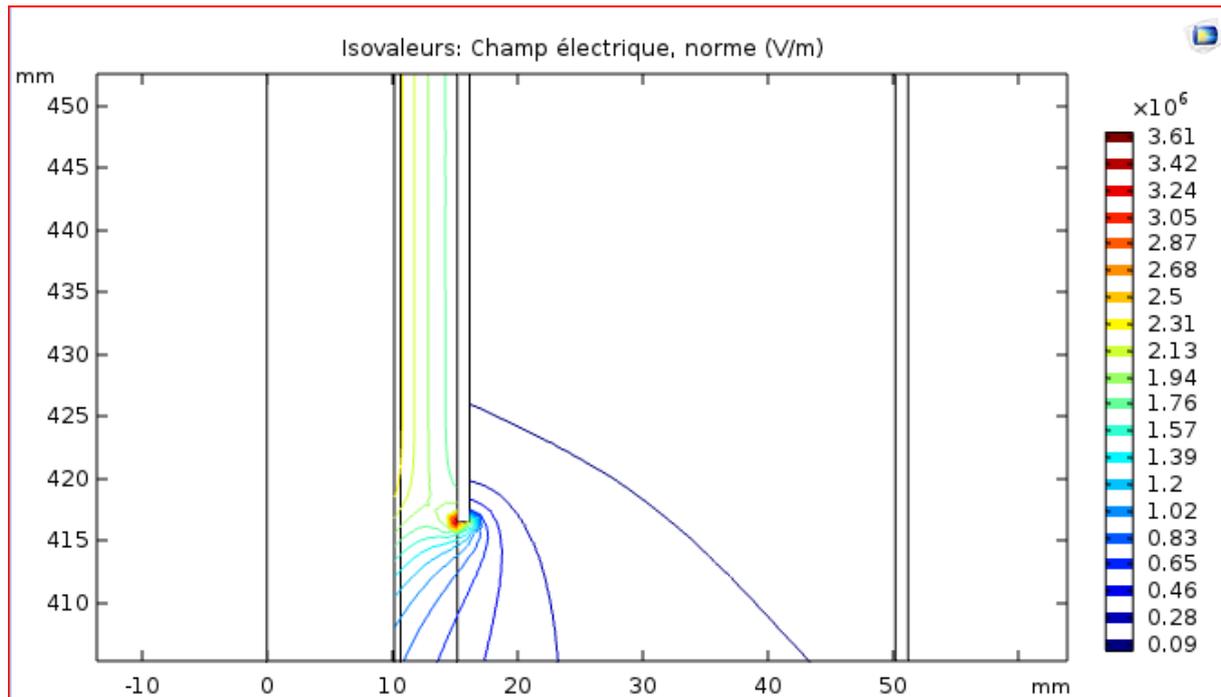


Fig.III.6 : les lignes du Champ électrique.

Pour le traçage des courbes du champ électrique, on définit des lignes de coupe, une ligne horizontale et l'autre verticale (mentionné en rouge) comme indiqué sur figures Fig. III 7

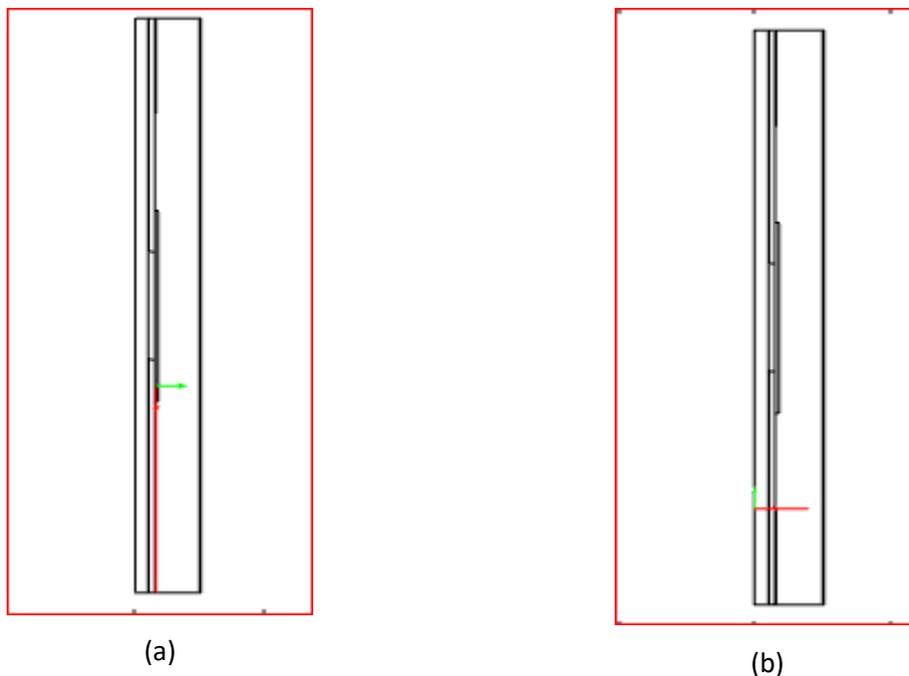


Fig.III.7 : les lignes de coupe : (a) ligne de coupe horizontale, (b) ligne de coupe verticale.

Les figures Fig. III.8, Fig. III.9, représentent courbes du potentiel électrique et le champ électrique selon ligne de coupe (a).

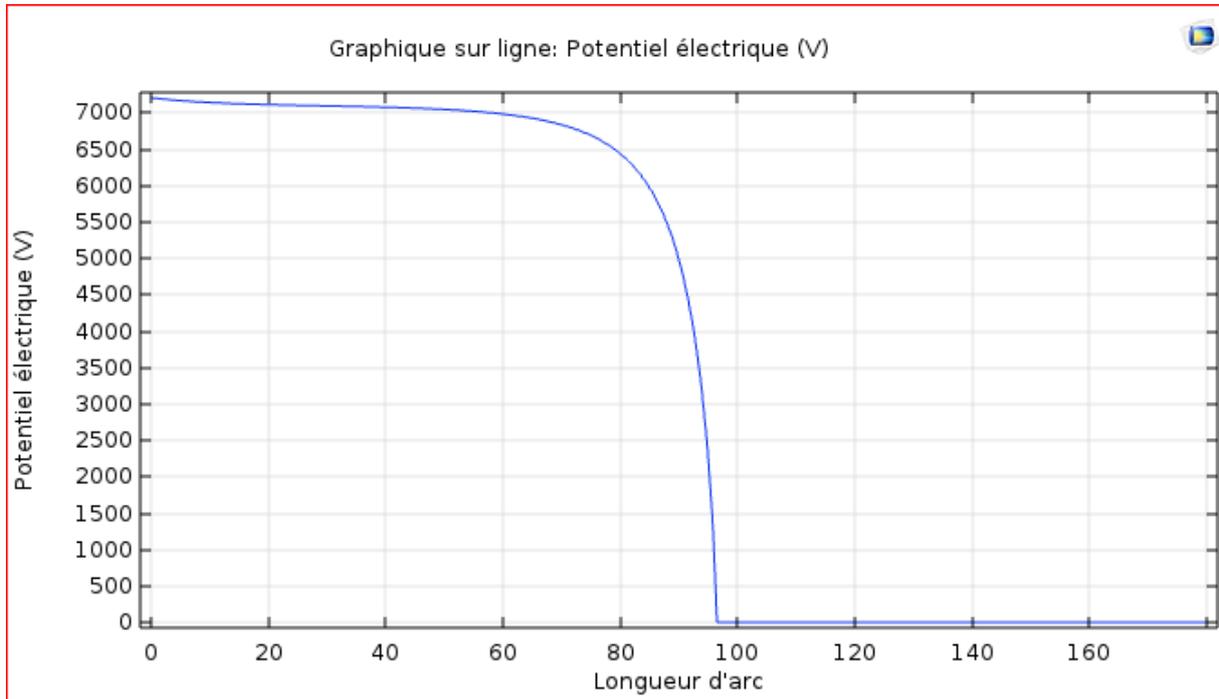


Figure.III.8 : courbe du potentiel électrique selon ligne de coupe (a).

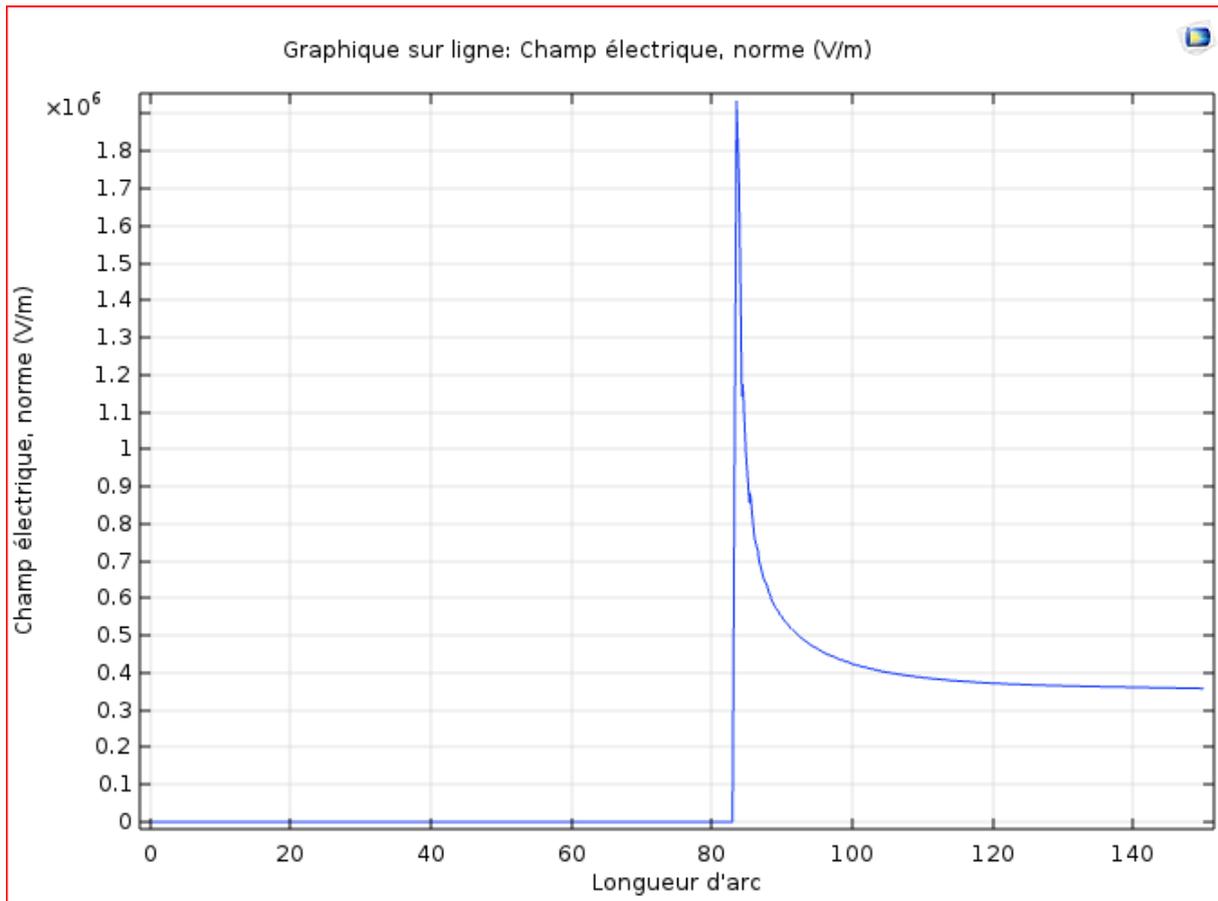


Figure.III.9 : courbe du champ électrique selon ligne de coupe (a).

Les figures Fig. III.10, Fig. III.11, représentent courbes du potentiel électrique et le champ électrique selon ligne de coupe (b).

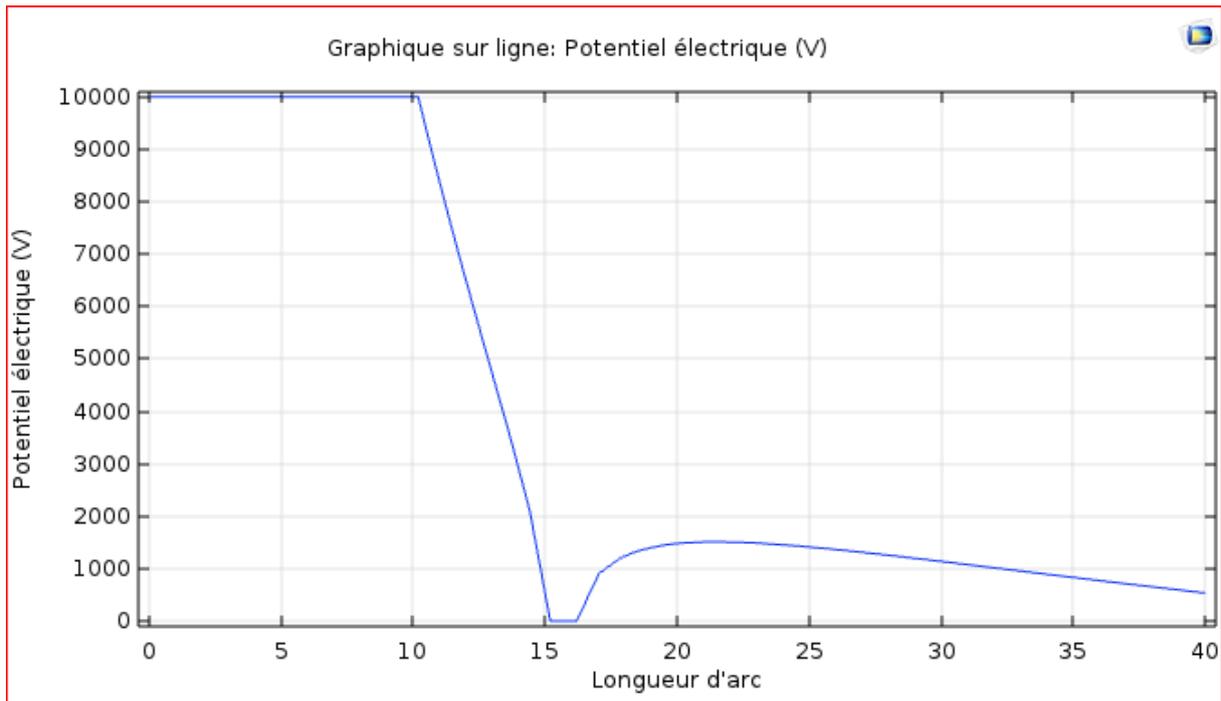


Fig.III.10 : courbe du potentiel électrique selon ligne de coupe (b).

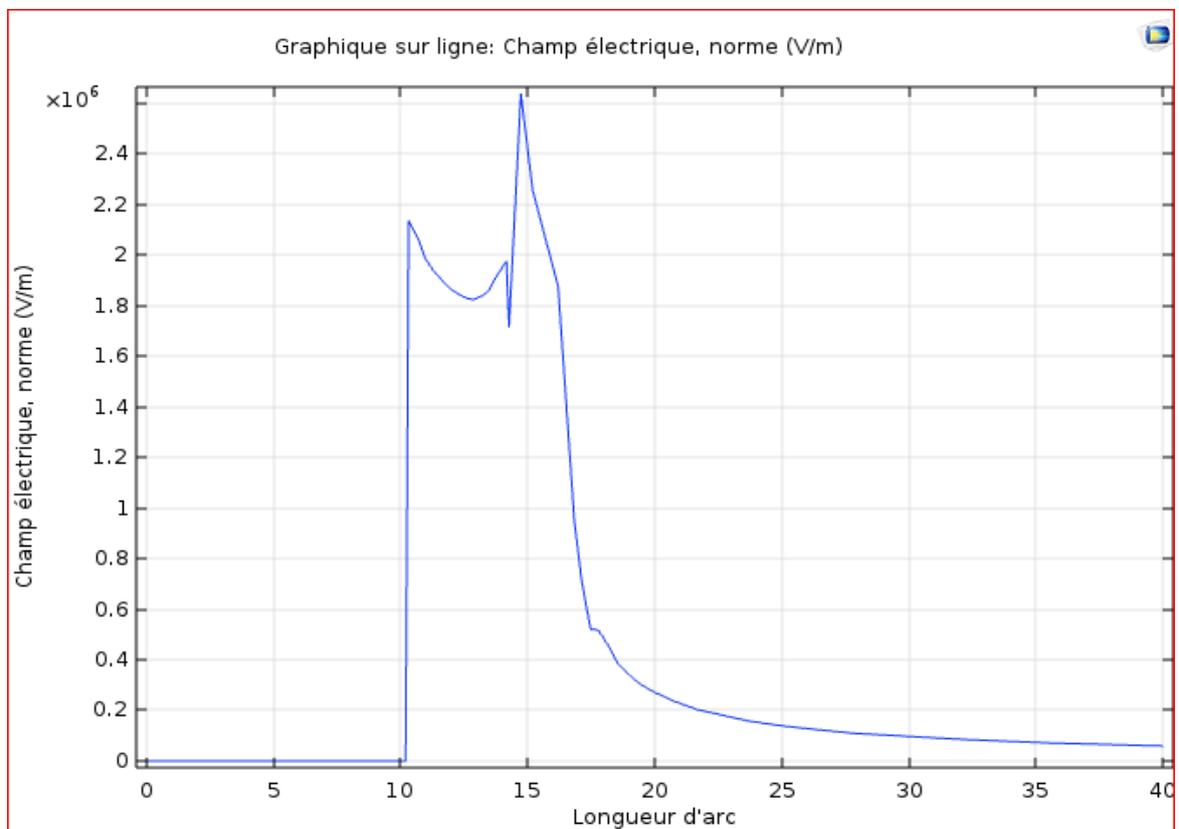


Fig.III.11 : courbe du champ électrique selon ligne de coupe (b).

III.2.2 Commentaires :

Le problème majeur au niveau de la jonction du câble haute tension est de maintenir un niveau acceptable la valeur du champ électrique.

Dans la jonction HT étudié la répartition des lignes du champ électrique devra être douce et avec des surfaces équipotentielles aussi parallèles que possible. Une densité de flux électrique excessive peut conduire à l'initiation des décharges partielles avec comme conséquence une détérioration des matériaux et une défaillance électrique.

Les figures Fig.III.5, Fig.III.6 sont des zooms de la région de l'arrêt du semi-conducteur, où la densité du champ électrique est élevée de valeur 3.61 KV/mm (qui dépasse la valeur du champ de claquage dans l'air 3KV/mm) peut conduire à la défaillance électrique. Pour éviter cette situation on applique un déflecteur de forme conique appelé aussi réducteur du champ électrique, constitué de matériau isolant de permittivité diélectrique élevée.

III.3 cas de jonction avec déflecteur :

III.3.1 avec déflecteur dont l'angle d'inclinaison est nul :

La figure Fig.III.12 illustre la distribution des surfaces du champ électrique avec la présence du répartiteur du champ électrique dont la permittivité diélectrique ϵ_r est égale à 20 et l'angle d'inclinaison nul. D'après la figure relevée, nous constatons l'effet réducteur du déflecteur sur l'intensité du champ électrique qui vaut dans cette situation 2.61 kv/mm.

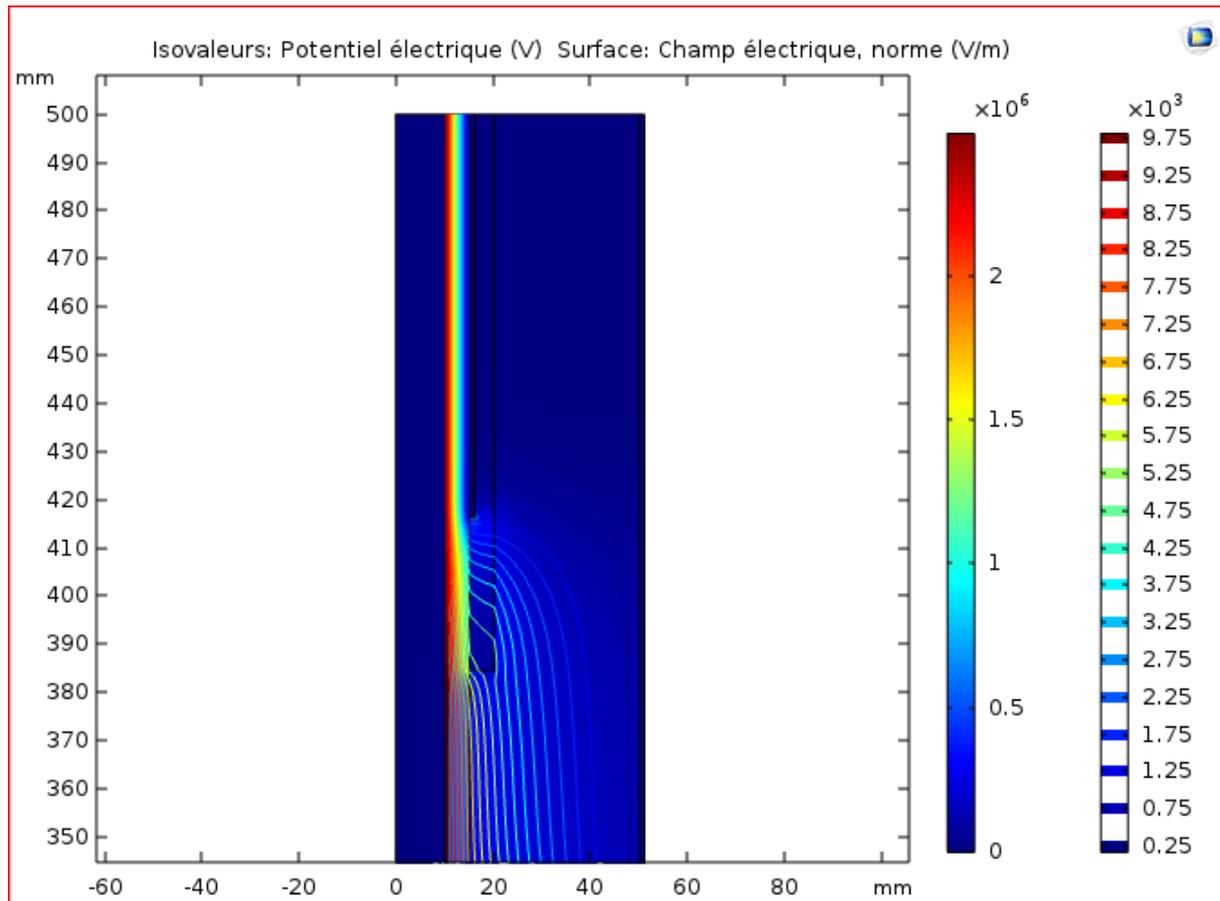


Fig.III.12 : Surfaces du champ électrique en présence du déflecteur d'inclinaison nul.

III.3.2 avec déflecteur dont l'angle d'inclinaison non nul :

La figure Fig.III.13 visualise la distribution des surfaces du champ électrique avec la présence du répartiteur du champ électrique dont la permittivité diélectrique ϵ_r est égale à 20. L'angle d'inclinaison égale à 30° .

Nous constatons dans ce cas une diminution de l'intensité du champ électrique, il atteint donc la valeur 2.8 kv/mm qui est une valeur acceptable par rapport à la valeur 3.61 kv/mm obtenue dans le cas de la jonction sans le déflecteur. L'effet réducteur du déflecteur est significatif.

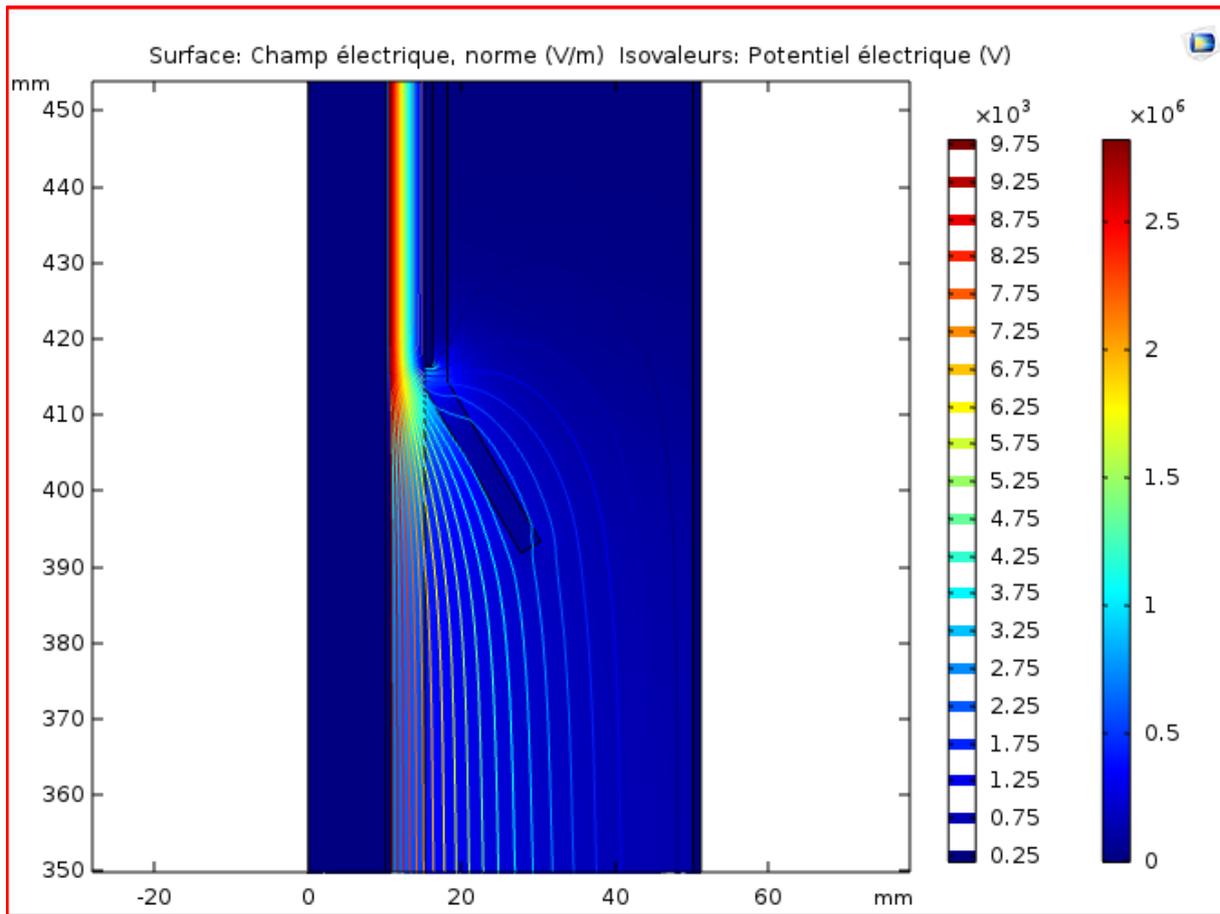


Fig.III.13 : Surfaces du champ électrique en présence du déflecteur d'inclinaison non nul.

Nous avons examiné l'influence des paramètres diélectrique et géométriques du déflecteur sur l'intensité du champ électrique

La table Tab.III.1 rassemble des différents essais de calcul du champ électrique maximal en fonction de la variation de la permittivité, l'angle d'inclinaison du déflecteur.

Table.III.1 : Variation du champ électrique en fonction de l'inclinaison du déflecteur (différentes valeurs permittivité relatives du déflecteur).

Angle d'inclinaison du déflecteur en degré	Champ Electrique maximal E_{max}			
	$\epsilon_{déflecteur}=10$	$\epsilon_{déflecteur}=15$	$\epsilon_{déflecteur}=20$	$\epsilon_{déflecteur}=25$
0	3,1042	2,8052	2,6284	2,5084
5	2,4955	2,4955	2,8678	2,7152
10	3,5123	2,8318	2,8318	2,8318
15	3,4799	2,6660	2,7469	2,7050
20	3,1019	3,1019	3,6883	2,7754
30	3,4216	3,0623	2,8283	3,7585
45	3,3890	4,2603	3,3329	5,5483
60	3,3382	4,0724	4,0632	5,2283
90	3,2836	4,4272	3,3635	4,4958

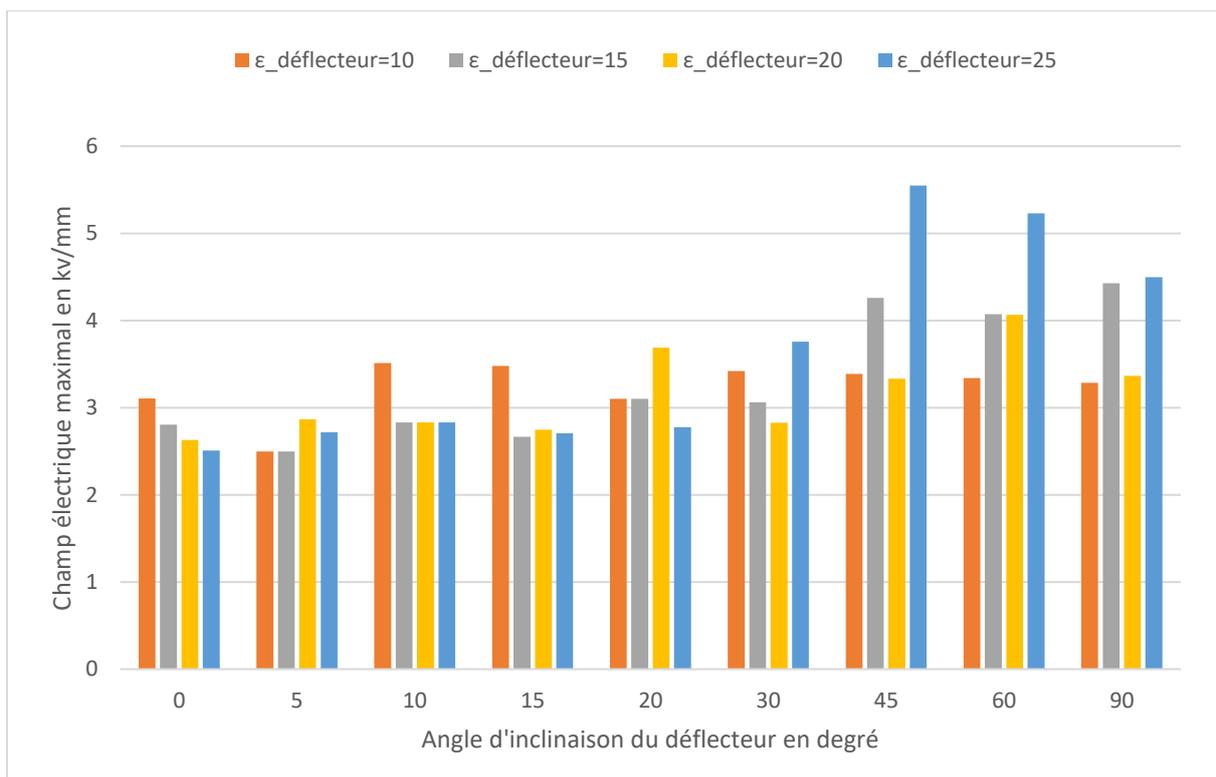


Fig.III.14 : Variation du champ électrique en fonction de l'angle d'inclinaison du déflecteur pour différentes valeurs de la constante diélectrique du déflecteur.

La figure Fig.III.14 montre l'impact de la constante diélectrique (ϵ_r) et l'angle d'inclinaison (θ) sur le champ électrique, on relève les cas où le champ électrique est acceptable (non apparition des décharges partielles en cas de présences d'une ou plusieurs bulles d'air :

-Quand θ est inférieur ou égale à 20° et $\epsilon_r=25$, l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.

-Quand θ est inférieur ou égale à 15° et $\epsilon_r=15,20, 25$, l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.

-Quand θ est égale à 30° et $\epsilon_r=20$, l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.

La table.III.2 rassemble des différents essais de calcul du champ électrique maximal en fonction de la variation de l'épaisseur et l'angle d'inclinaison déflecteur.

Table.III.2 : Variation du champ électrique en fonction de l'inclinaison du déflecteur.

Angle d'inclinaison θ°	Champ Electrique E_{\max} (kv /mm) ($\epsilon_r=20$)	
	Epaisseur déflecteur =3mm	Epaisseur déflecteur =5mm
0	2,49	2,49
5	2,49	2,49
10	2,83	2,83
15	2,66	2,50
20	2,77	3,68
30	3,72	2,59
45	4,91	3
60	4,84	3,58
90	4,06	3,36

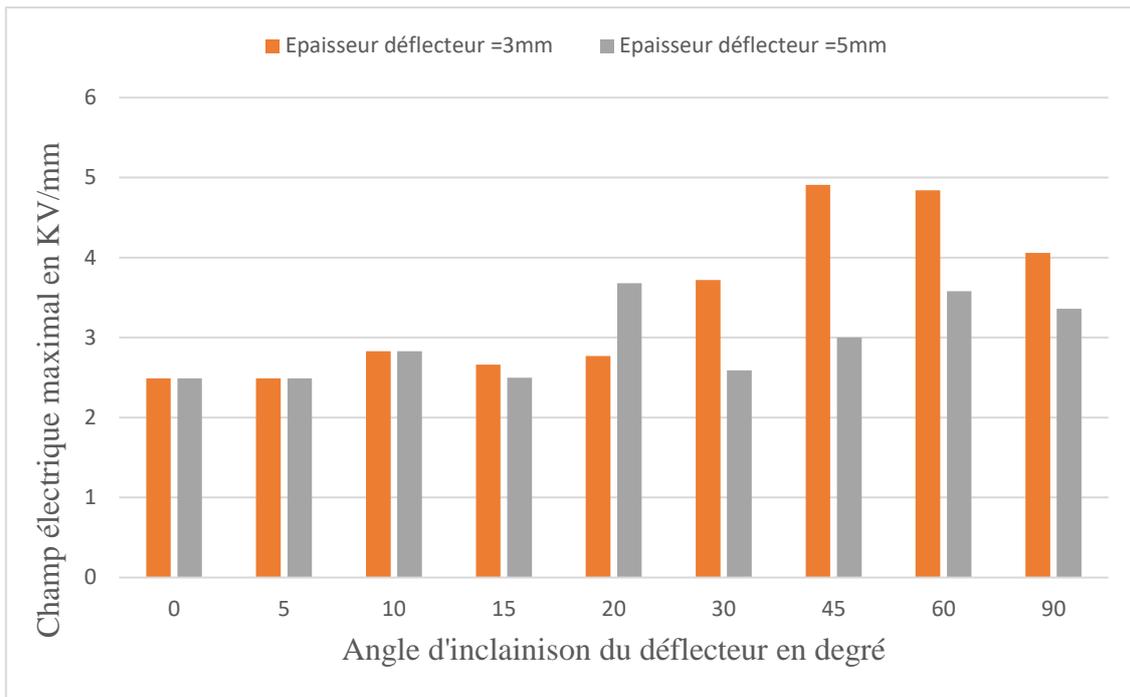


Fig.III.15 : Variation du champ électrique en fonction de l'angle d'inclinaison du déflecteur pour épaisseur du cône 3mm et 5mm.

La figure Fig.III.15 montre l'impact de l'épaisseur (e) et l'angle d'inclinaison (θ) sur le champ électrique, on relève les cas où le champ électrique est acceptable :

- Quand θ est inférieur ou égale à 15° et $e=3\text{mm}$ ou 5mm , l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.
- Quand θ est égale à 20° et $e=3\text{mm}$, l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.
- Quand θ est égale à 30° et $e=5\text{mm}$, l'intensité du champ électrique est inférieur au champ de claquage de l'air.

III.4.Conclusion :

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés par l'évaluation paramétrique du champ électrique dans la jonction d'un câble haute tension. La jonction sans déflecteur, le champ électrique atteint des valeurs excessives ce qui peut conduire à l'apparition des décharges partielles et par la suite à la rupture diélectrique du câble. Nous avons montré également les effets significatifs de la constante diélectrique, l'angle d'inclinaison et l'épaisseur du déflecteur l'intensité du champ électrique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Les jonctions de câbles haute tension sont indispensables pour connecter des morceaux individuels de câble d'alimentations afin de créer un conducteur unique plus long. Malheureusement les jonctions sont des éléments fragiles de la ligne d'alimentation du câble. La mise en valeur de la contrainte électrique au bord de conducteurs ou isolant tronqués peut produire des décharges partielles qui peuvent mener à la rupture diélectriques.

Donc les chercheurs s'efforcent à développer des techniques pour contrôler le champ électrique et obtenir un champ électrique le plus uniforme possible car les décharges partielles dans l'isolation polymère des jonctions et terminaisons sont susceptibles d'entraîner une panne complète de l'accessoire. Donc ces techniques, contrôlent le champ électrique et réduisent la probabilité de décharges partielles qui se produisent pendant le fonctionnement.

C'est dans ce contexte que nous avons mené une étude paramétrique du champ électrique dans la jonction du câble HT en utilisant un réducteur de champ électrique de haute permittivité de forme conique appelé cône de contrainte au niveau de l'arrêt du semi-conducteur externe de l'isolant et ceci afin de réduire le champ électrique à des valeurs acceptables. La jonction sans déflecteur, le champ électrique atteint des valeurs excessives ce qui peut conduire à l'apparition des décharges partielles et par la suite à la rupture diélectrique du câble. Nous avons montré également les effets significatifs de la constante diélectrique, l'angle d'inclinaison et l'épaisseur du déflecteur sur l'intensité du champ électrique.

Nous concluons que le déflecteur est un élément important pour d'atténuer l'intensité du champ électrique et la jonction sans déflecteur, le champ électrique atteint des valeurs excessives ce qui peut conduire à l'apparition des charges partielles et par la suite à la rupture électrique du câble

Références

Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] Ossi Bergius. Implementation of On-line Partial Discharge Measurements in Medium.
- [2] Ammari Aïmed Abdoun Lamine, «Etude du vieillissement d'un câble isolé en PRC sous tension alternative», Mémoire de Fin d'études de Master Académique Université A. MIRA BEJAIA, 2018-2019.
- [3] Chin Tze Choo .Space charge determination in HVDC power cable and its influence on electric field. University of Southampton, 2010.
- [4] Thomas Worzyk. Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects. Springer Science & Business Media, 2009. .
- [5] Sayah Abdelkader, «Analyse des terminaisons d'eau », Mémoire de Fin d'études de Master Académique université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed BoudiaF, 2016-2017.
- [6] Thomas Worzyk. Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects. Springer Science & Business Media, 2009.
- [7] William A Thue. Electrical power cable engineering. CRC Press, 2011.
- [8] E Peschke and R Von Olshausen. Cable systems for high and extra-high voltage. Publicis MCD Werbeagentur GmbH, 1999.
- [9] Goreine Mohamed Amine Abadla Lakhdar, «calcul Informatisé de la section d'un câble Moyen tension (Programmation Matlab) » Mémoire de Fin d'études de Master Académique centre universitaire D'Ain-Temouchent, 2017-2018.
- [10] M. Aguet, M. Ianoz, "Haute tension", édition DUNOD 1987.
- [11] D. Ceresoli, E. Tosatti, S. Scandolo, G. Santoro, S. Serra, " Trapping of excitons at chemical defects in polyethylene ", Journal of Chemical Physics, Volume 121, Number 13, 25 June 2004.
- [12] KESBI Oussama DADDIOUAMEUR Youcef, « Simulation Numérique des Contraintes Electrique et Electromécanique dans les Cavités des Câbles HT » Mémoire de Fin d'études de Master Académique Université de Ghardaïa, 2019-2020.
- [13] M. BOUKEZZI, " Influence du vieillissement thermique sur les propriétés du Polyéthylène Réticulé Chimiquement utilisé dans l'isolation des câbles de haute tension", Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie 2007.
- [14] M. Prat, "Study on conduction mechanisms of medium voltage cable XLPE insulation in the melting range of temperatures", degree of Doctor of Philosophy in Physics, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain December 2011.

Références Bibliographiques

- [15] G. Tardieu, " Apport des mesures de Luminescence à la compréhension du piégeage et du transport dans l'isolant synthétiques ", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France 2003.
- [16] P Verho, O Bergius, P Pakonen, J Hamäläinen, S Antila, and K Järvinen. Cabling of rural networks—from vision to practice. Proceedings of CIRED 2011, Frankfurt, 2011.
- [17] Robert Strobl, Wolfgang Haverkamp, Gerold Malin, and Frank Fitzgerald. Evolution of stress control systems in medium voltage cable accessories. In Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES, volume 2, pages 843–848. IEEE, 2001.
- [18] www.nexans.fr.
- [19] H Illias, QL Ng, AA Bakar, H Mokhlis, and AM Ariffin. Electric field distribution in 132 kV xlpe cable termination model from finite element method. In Condition Monitoring and Diagnosis (CMD), 2012 International Conference on, pages 80–83. IEEE, 2012.
- [20] YO Shaker, AH El-Hag, and SH Jayaram. Thermal model of mv cable termination using finite elements technique. In Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 2012 Annual Report Conference on, pages 459–462. IEEE, 2012.
- [21] SV Nikolajevic, NM Pekaric Nadj, and RM Dimitrijevic. The influence of some construction parameters on electric stress grading in xlpe cable terminations. In Electricity Distribution. Part 1: Contributions. CIRED.14 Th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ. No. 438), volume 3, pages 15–1. IET, 1997.
- [22] Mohamed Zellagui « Câbles Souterraines MT et BT » Groupe Sonelgaz, centre de Formation Ain M'Lila.
- [23] BESSAFI Hicham, BENICHOU Aissa, BENCHIKH Islem « Calcul par Comsol du Champ Electrique dans un Isolant Solide Haute Tension » Mémoire de Master, Université - Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib, 2022.
- [24] Ruxin Zhang « Research on Simulation Methods of Electric Field Intensity on Surface of 10 kV Cable Joint » Energy and Power Engineering, 2020, 12, 37-45.
- [25] Zheng Wu et al, « Simulation of electric field distribution in cable joint with different structural parameter and installation parameter », IEEE third international conference of safe production and informatization, pp 466-469, 2020.