

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de

l'enseignement Supérieur

et de la Recherche scientifique



**UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA
Faculté de Technologie**

**Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de**

MASTER

Département de Génie Electrique

Filière: Electrotechnique

Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

**Amélioration de la rigidité diélectrique des
isolateurs de haute tension sous pollution non
uniforme a tension 50 Hz**

Présenté par :

SILINI Kamel

Soutenu devant le jury composé de :

MABRAK Samir

Université Mohamed Boudiaf de M'Sila

Président

RAHALI Hilal

Université Mohamed Boudiaf de M'Sila

Rapporteur

AIB Abdelghani

Université Mohamed Boudiaf de M'Sila

Examineur

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu de m'avoir donné le courage et la foi pour mener à bien ce travail, malgré tous les obstacles.

*Mes plus vifs et profonds remerciements au Dr **REHALI Hilal** qui fut pour moi un superviseur attentif et disponible malgré ses responsabilités nombreuses. Sa compétence, sa clairvoyance, son humanisme, son dynamisme, sa rigueur et sa patience m'ont beaucoup appris, je lui témoigne ma respectueuse gratitude.*

Mes plus sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Que toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, m'a encouragé et aidé à l'aboutissement de ce modeste travail, trouve ici l'expression de mes sincères reconnaissances.

Dédicace

Je dédie cet humble travail :

à ma chère mère,

A mon père, que Dieu lui fasse miséricorde,

à ma famille,

A mes frères et ma sœur et leurs enfants,

Et toute ma famille et mes amis.

ملخص

في هذا العمل ، نقترح دراسة ظاهرة تلوث عوازل خط الجهد العالي (50 هرتز) لهذا قمنا بإجراء سلسلة من الاختبارات على نموذج عازل مخبري سطحي يمثل العازل 1512 ل، على مستوى مخبر الجهد العالي. يتم تسجيل البيانات الحالية والجهد، من أجل تنفيذ معالجة الإشارات، نقترح نموذجاً مخبرياً يحاكي سلوك العازل ، في ما يتعلق عدة تجارب للتلوث المنتظم و غير المنتظم التجاوز وتيار التسرب ، وهذا من أجل توصيلات مختلفة من الطبقات الملوثة ومستويات مختلفة من التوتر، الممانعة ، الطبقة الجافة. **الكلمات المفتاحية :** الجهد العالي، العوازل، الإحاطة، التلوث، التلوث المنتظم و غير المنتظم، التجاوز وتيار التسرب، الممانعة ، الطبقة الجافة .

résumé

Dans ce travail, nous proposons d'étudier le phénomène de contamination des isolateurs de ligne à haute tension (50 Hz), pour cela nous avons mené une série de tests sur Modèle d'isolateur de laboratoire de surface représentant l'isolateur 1512L, au niveau du laboratoire haute tension.

Les données de courant et de tension sont enregistrées, afin d'effectuer le traitement du signal, nous suggérons Un modèle de laboratoire qui simule le comportement de l'isolant, vis-à-vis de plusieurs expériences de dérivation de pollution régulière et irrégulière et de courant de fuite, pour différentes conductivités des couches polluantes et différents niveaux de tension, d'impédance, de couche sèche

Mots clés : haute tension, isolants, enveloppe, pollution, pollution uniforme et irrégulière, courant de dérivation et de fuite, impédance, couche sèche .

Summary

In this work, we propose to study the phenomenon of pollution of the insulators of high voltage line (50 Hz), for this we conducted a series of tests on Surface laboratory insulator model representing the 1512L insulator, at the high voltage laboratory level.

The current and voltage data are recorded, in order to carry out signal processing, we suggest A laboratory model that simulates the behavior of the insulator, with respect to several experiments for regular and irregular pollution bypass and leakage current, for different conductivities of the polluting layers and different levels of tension, impedance, dry layer

Key words: high voltage, insulators, enclosure, pollution, uniform and irregular pollution, bypass and leakage current, impedance, dry layer.

Sommaire

Introduction générale -----	01
CHAPITRE I : Isolateurs ET Pollution des Isolateurs de Haute Tension	
I.1 Introduction -----	02
I.2. Définition de l'isolateur -----	02
I.3. Types d'isolants -----	03
I.4. Caractéristiques d'un isolateur -----	03
I.5. Matériaux utilisés dans la constitution des isolateurs -----	03
I.5.1. Isolants -----	04
I.6. Principaux types d'isolateurs -----	05
I.6.1. Isolateur rigide -----	06
I.6.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne -----	06
I.6.2.a. Isolateur capot et tige -----	06
I.6.2.b. Isolateurs à long fût -----	08
I.7. Choix des isolateurs-----	09
I.8. PROPRIETES DIELECTRIQUES DES ISOLANTS SOLIDES -----	09
I.8.1. Rigidité diélectrique -----	09
I.8.1.1. Mécanisme de claquage des isolants solides -----	10
I.8.1.1.1. claquage thermique -----	10
I.8.1.1.2. Claquage électrique -----	10
I.8.1.1.3. Claquage électromécanique -----	11
I. 9. Pollution des isolateurs HT-----	11
I. 9.1. Formation des couches polluantes sur les isolateurs-----	11
I.9.2. Sources de pollution -----	12
I.9.2.1. Pollution naturelle -----	12
I.9.2.1.a. Pollution marine -----	12

I.9.2.1.b. Pollution désertique -----	12
I.9.2.2. Pollution industrielle -----	12
I.9.2.3. Pollution mixte-----	13
I.10. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués-----	13
I.11. Conséquences de la pollution -----	13
I.12. Techniques de lutte contre la pollution -----	14
I.12.1. Allongement de la ligne de fuite-----	14
I.12.2. Isolateurs plats -----	14
I.12.3. Graissage périodique-----	16
I.12.4 Revêtement silicone-----	14
I.12.5. Isolateurs composites-----	15
I.12.6. Nettoyage des isolateurs-----	15
I.13.CONCLUSION-----	16

Chapitre II: Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.1. Introduction-----	17
II.2. Phénomène du contournement-----	17
II.3. Principaux modèles -----	18
II.3.1.Modèle d'Obenaus: -----	19
II.3.2. Modèle de Neumarker -----	20
II.3.3. Modele d'Alston et Zoledziowski-----	21
II.3.4. Modèle de Rizk -----	22
II.3.5. Modèle de Claverie et Porcheron-----	22
II.3.6. Modèle de Wilkins -----	23
II.3.7. Modèle de J. Danis-----	23
II.3.8. Modèle de A. Mekhaldi -----	25
II.4. Modélisation dynamique de l'arc -----	25

II.4.1. Mécanisme de propagation -----	25
II.4.2. Propagation par ionisation -----	25
II.4.3. Propagation par force électrostatique -----	26
II.5. Conclusion-----	27
 Chapitre III : Etude des résultats expérimentaux	
III.1. Introduction -----	28
III.2. Technique expérimentale -----	28
III.3. Présentation du model 1512L -----	28
III.4. Etude de la configuration uniforme de la couche de pollution -----	29
III.4.1. Etude de la tension de contournement -----	29
III.4.2. Etude du Courant de fuite -----	30
III.4.2.1. Relation courant de fuite- conductivité -----	30
III.4.2.2. Relation courant de fuite- tension appliquée-----	31
III.5. Etude de la configuration non uniforme de la couche de pollution -----	31
III.5.1. Etude de la tension de contournement-----	31
III.5.1.1 Relation tension de contournement - largeur de la couche pollué-----	31
III.5.2. Etude du courant de fuite -----66-----	34
III.5.2.1. Relation courant de fuite – tension appliquée-----	34
III.5.2.2. Relation courant de fuite – largeur de la couche polluant-----	39
III.5.2.3. Relation courant de fuite – position de la couche polluante-----	44
III.6. CONCLUSION-----	50
Conclusion générale -----	51

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. L'isolateur	2
Figure I.2.: Les caractéristiques d'un isolateur	3
Figure I.3. Représentation schématique simplifiée des structures du verre (gauche) et du SiO ₂ cristallin	4
Figure (I.4) isolateur composites	5
Figure (I.4.a) a. neuf	5
Figure (I.4.b) b. vieilli	5
Figure I.5. Isolateur rigide	6
Figure I.6 Isolateur capot tige	6
Figure I.7. Différents profils des isolateurs capot tige	7
Figure I.8.: Isolateurs à long fût	9
Figure I.9. Différentes géométries d'électrodes pour les essais de claquage	10
Figure I.10. Différents types de claquage des isolants solides	11

Chapitre II

Figure II.1: Paramètres géométriques et électriques d'un isolateur réel	18
Figure II.2 Circuit Décharge en série avec un électrolyte d'après Obenaus	19
Figure II.3 Modèle mono-arc d'Obenaus	19
Figure II.4 Modèle cylindrique	21
Figure II.5 Montage expérimental pour le modèle de Claverie et Porcheron	22
Figure II.6. Modèle de Wilkins	23
Figure II.7. Modèle de J. Danis	24
Figure II.8: Ionisation et déplacement du pied de la décharge	26
Figure II.9: Courbure de la décharge dans la direction de l'écoulement du courant mettant en évidence l'existence d'une force u pied de la décharge	26

Chapitre III

Figure III.1 : Modèle réel de l'isolateur 512L Plein pollution	29
Figure III.2 : La tension de contournement en fonction de la conductivité	30
Figure III.3: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en de la largeur de la couche polluante pour cinq conductivités	30
Figure III.4: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour différentes valeurs de la conductivité	31
Figure III.5 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour le coté HT	32
Figure III.6 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour le coté terre	33
Figure III.7 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour la couche centrale	33
Figure III.8 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour les trois configurations de pollution	34

Figure III.9: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée coté haute tension -----	35
Figure III.10 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée centrale -----	35
Figure III.11: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée coté terre -----	36
Figure III.12 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 5cm) -	36
Figure III.13 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tensio	
Figure III.14 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 15cm)-	37
Figure III.15 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 20cm)	38
Figure III.16 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 25cm)-	38
Figure III.17: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée coté haute tension) -----	40
Figure III.18: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée coté terre) -----	40
Figure III.19: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée centrale) -----	41
Figure III.20: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche coté haute tension) -----	41
Figure III.21: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche coté terre -----	42
Figure III.22: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée centrale) -----	42
Figure III.23: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 3kV) -----	43
Figure III.24: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 9kV) -----	43
Figure III.25: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 15kV) -----	44
Figure III.26: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 21kV) -----	44
Figure III.27 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée-----	45
Figure III.28 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée10cm)--	45
Figure III.29 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche -----	46

Figure III.30 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 20cm)- 46

Figure III.31 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 25cm)- 47

Figure III.32: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 3kV) ----- 47

Figure III.33: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 9kV) ----- 48

Figure III.34: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 15kV) ----- 48

Figure III.35: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 21kV) ----- 49

Liste des tableaux

Tableau II.1.Valeurs des constantes N et n sur différents électrolytes ----- 20

Liste des nomenclatures :

RS :	Résistance surfacique.
Rv :	Résistance Volumique.
Lc :	Ligne de contournement.
X :	Longueur d'arc.
V :	Tension applique.
L :	Longueur de fuit total.
rp :	Résistance uniforme de par unité de longueur de fuite
Uc :	Tension de contournement minimal.
r :	Résistance de pollution linéique.
Lf :	Ligne de fuite.
bw :	Largeur de l'isolateur.
δs :	Conductivité de la couche de pollution.
rd :	Le rayon du pied de la charge.
σ :	Conductivité exprimée $\mu s/cm$.
ϵ_r :	Constant diélectrique
σ_p :	est la conductivité volumique de la pollution
ρ_p :	la résistivité volumique de la pollution
s_p :	la section de passage du courant dans la pollution
Z :	la Impédance

Introduction Générale

Introduction générale

De nos jours, l'énergie électrique joue un rôle très important dans le développement et l'évolution de l'industrie et l'économie du pays. De ce fait, il faut assurer, à tout instant, un bon équilibre entre la demande croissante et la production de l'énergie.

C'est pour cela, qu'une très grande part d'importance est attachée aux réseaux électriques, principalement aux lignes de haute tension].

Les isolateurs des lignes et de poste de transport d'énergie électrique sont le siège de plusieurs contraintes. Entre autres, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie

Dans les régions polluées, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension.

Afin de surveiller la qualité d'isolement d'un ouvrage, il est impératif de connaître réellement les mécanismes conduisant au contournement sous pollution.

De nombreux travaux ont été faits, aussi bien théoriques qu'expérimentaux, mais ces mécanismes restent insuffisamment compris, à cause de grand nombre de facteurs difficiles à cerner qui interviennent simultanément dans la génération et la propagation des décharges électriques.

Le présent travail porte sur l'élaboration d'un modèle analytique de propagation de l'arc sur une surface isolante polluée soumis à une tension alternative.

Etant donné que sa nature est idéalisée, principalement à cause des hypothèses simplificatrices rendues nécessaires dans le calcul analytique, il ne peut en aucun cas se substituer au travail expérimental.

Néanmoins, ce type de modèle est un outil permettant de faire des estimations préliminaires, de rationaliser les expériences conçues pour explorer le mécanisme de contournement, d'interpréter et de généraliser les résultats obtenus en un temps réduit.

Ce modèle se base sur un circuit électrique équivalent et utilise des lois physiques. Notre modèle dynamique permet la prédiction des différents paramètres de l'arc et leurs évolutions dans le temps.

trois chapitres seront présentés Nous entamons le premier chapitre par une présentation d'une synthèse bibliographique sur les isolateurs de haute tension, ainsi que les espèces de pollution et leurs conséquences sur le transport de l'énergie électrique. Ainsi que des techniques de lutte contre ces phénomènes sont présentés Dans le deuxième chapitre, nous citerons les principaux modèles de contournement rencontrés dans la littérature.

Leur aspect empirique, semi empirique ou analytique, ainsi que les critères de propagation des décharges électriques seront aussi présentés.

Le troisième chapitre est consacré aux essais et résultats expérimentaux ainsi qu'à leur interprétation.

Le comportement des isolateurs pollués est un sujet d'intérêt croissant dans de nombreux pays. Cet intérêt est lié au désir de choisir au mieux le matériau constituant l'isolateur, étant donné les nombreuses perturbations causées par la pollution.

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

Chapitre I

Isolateurs Et Pollution Des Isolateurs De Haute Tension

I.1. Introduction

La contrainte électrique dans les circuits électriques est résistée principalement par les isolateurs, ces derniers sont constitués d'un matériau isolant solide, caractérisé par une grande impédance au passage du courant électrique.

Son rôle est de séparer deux corps conducteurs, soumis à deux potentiels différents[1]. Les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes.

Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie.

Les isolateurs hautes tensions se couvrent d'une couche de pollution qui provient de l'atmosphère.

Associée à la rosée de matin, à la pluie, ou au brouillard, cette couche de pollution devient conductrice et sera le siège de passage d'un courant de fuite vers la masse des pylônes.

Dans certaines conditions favorables il y aura l'apparition des décharges partielles sur la surface de l'isolateur. Nous avons présenté dans ce chapitre les isolateurs de haute tension et leurs types. ...[2].

I.2. Définition de l'isolateur

Un isolant est une substance qui a une conductivité électrique suffisamment faible pour être utilisée afin de séparer des pièces conductrices portées à des potentiels différents .

Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée. ...[3].

L'isolateur est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2.
Isolant : Verre, céramique, matériaux synthétiques.

M1 se fixe au pylône ; M2 porte le conducteur.

Rôle : l'isolateur possède un double rôle

- Rôle mécanique : porte le conducteur.
- Rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône. ...[4].

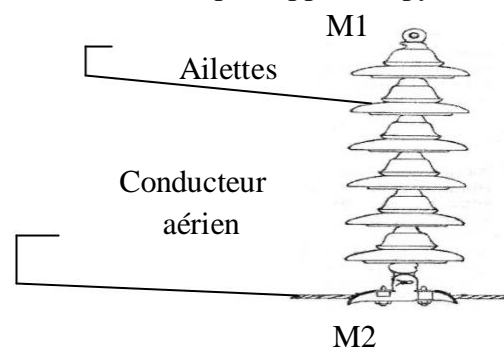


Figure I.1. L'isolateur

I.3. Types d'isolants

On peut grouper les isolants dans deux grandes classes : Les isolants organiques et les isolants inorganiques .

En général, **les isolants organiques** tels que le caoutchouc, le papier l'huile, le coton, les matériaux thermoplastiques, etc... sont composés de longues chaînes moléculaires de carbone et d'hydrogène. Ils ne peuvent pas supporter des températures élevées sans se décomposer.

Par ailleurs, **les isolants inorganiques** tels que le mica, la porcelaine, l'air, peuvent tolérer des températures dépassant parfois 1000 °C.

Le nombre d'isolants disponibles est impressionnant, de sorte qu'il est difficile aujourd'hui d'en dresser une liste complète.

Cette diversité est due à l'arrivée sur le marché des isolants, synthétique (parfois appelés Plastiques) inventés et développés par les chimistes . Possédant des propriétés thermiques, électriques et mécaniques bien supérieures à celles des isolants naturels, ces isolants synthétiques ont grandement modifié la fabrication des fils, des câbles et des appareils électriques de tout sortes.

D'après leurs états, on trouve les isolants liquides, solides et gazeux. [5]

1.4. Caractéristiques d'un isolateur [6]

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

Le pas P : C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne.

La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.

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

La ligne de contournement L_c : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices.

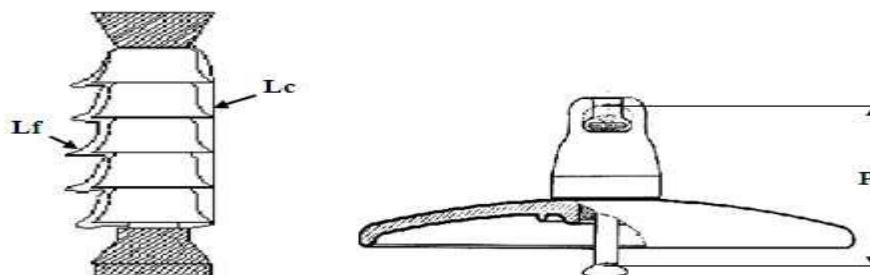


Figure I.2.: Les caractéristiques d'un isolateur

I.5. Matériaux utilisés dans la constitution des isolateurs

Un isolateur est constitué en général de deux parties : une partie isolante et des pièces métalliques de liaison, scellées sur cette partie isolante.

I.5.1. Isolants

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique, la porcelaine et les matériaux synthétiques.

Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages [7].

➤ Céramiques

Le développement et la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances.

Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins ,

Souvent on trouve les céramiques dans les postes: isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance. [8].

➤ Verres

Le verre est un matériau inorganique qui n'est pas un solide mais plutôt un liquide solidifié constitué de dioxyde de silicium thermoplastique (SiO_2), et il est disponible dans la nature sous forme de quartz.

Chaque atome de silicium est placé au centre d'un tétraèdre et lié à quatre atomes d'oxygène (Figure I.3.) [9].

Le verre est utilisé dans les isolateurs de lignes à haute et moyenne tension et ses avantages sont que ses défauts peuvent être facilement détectés, en raison de sa transparence à la lumière visible.

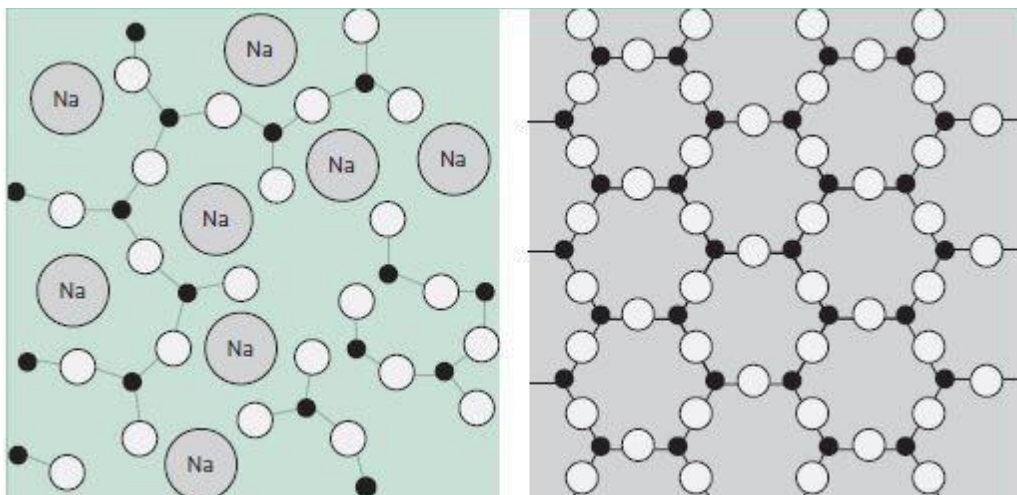


Figure I.3. Représentation schématique simplifiée des structures du verre (gauche) et du SiO_2 cristallin ,On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

➤ verre recuit

a surtout été utilisé pour les isolateurs rigides. Malheureusement, on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température.

De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension. [10].

➤ verre trempé

Le verre trempé présente une contrainte mécanique en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100°C [7].

Ces dernières années, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux synthétique.

Il faut signaler les développements faits dans le monde en vue de réaliser des isolateurs fiables avec ces matériaux.

➤ Matériaux synthétiques

Ces isolateurs (Figure I.4), dits composites, sont constitués d'une âme réalisée en fibre de verre imprégnée de résine, donnant à l'isolateur sa tenue mécanique, et d'une enveloppe en matériaux synthétiques isolants. [7].

A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre-résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques

Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté alliée à une haute résistance mécanique que leur confère le noyau (Figure I.4.a). Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. [7].

Cependant, ces isolateurs vieillissent sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...) ce qui constitue un désavantage dans leur utilisation [7] (Figure I.4.b)

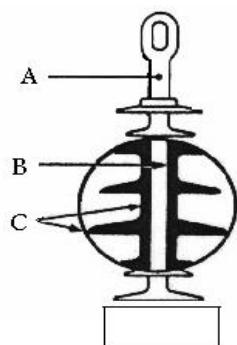
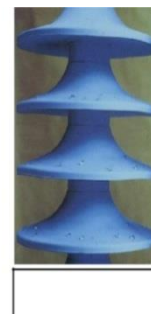


Figure (I.4)



b. vieilli

Figure (I.4.b)



a. neuf

Figure (I.4.a)

I.6. Principaux types d'isolateurs

Nous pouvons distinguer deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs rigides et les éléments de chaîne.

I.6.1. Isolateur rigide

Un isolateur rigide (Figure I.5.) est relié au support par une ferrure fixe ,Cet isolateur est principalement soumis `a des efforts de flexion et de compression, lorsqu'il est placé en position verticale.

Il peut, dans certains cas, être placé horizontalement, voire oblique, ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV[11].

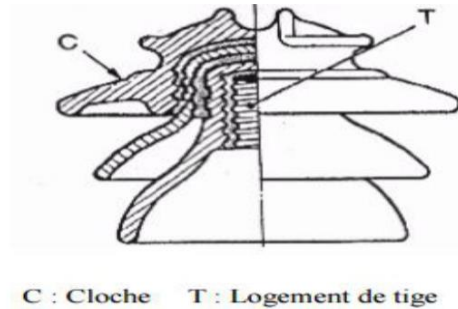


Figure I.5. Isolateur rigide... [12].

I.6.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs.

La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) ... [12].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- les isolateurs à capot et tige.
- les isolateurs à long fût.

I.6.2.a) Isolateur capot et tige

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine.

L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment [13].

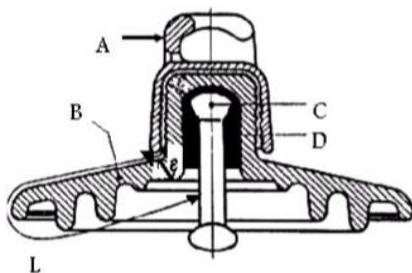


Figure I.6 Isolateur capot tige[12].

A : le capot

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique)

D : le ciment de fixation

C : la tige

L : plus court distance dans l'air entre le capot et la tige

ϵ : Longueur du canal perforation $\epsilon \leq L/2$

✓ **Différents profils des isolateurs capot tige**



a) Profil standard



b) Profil antibrouillard (forme A)



c) Profil antibrouillard (forme B)



d) Profil plat (ouvert)



e) Profil sphérique

Figure I.7. Différents profils des isolateurs capot tige... [13].

A) Profil standard

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

La forme et les dimensions sont en accord avec la normalisation internationale (CEI 305 1978), à cause de leur planéité, les rainures internes bien espacées et la longueur de la ligne de fuite supérieure à la demande standard, ce type est très utilisé dans les endroits à pollution moyenne (Figure I.7.a) [8].

b) Profil antibrouillard (forme A)

Son diamètre est plus grand que celui du profil standard. Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Le profil et les grands espacements des rainures permettent un auto lavage par l'action de vent et de la pluie, cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire (Figure I.7.b) [8].

c) Profil antibrouillard (forme B)

Dans cette conception, l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et le dépôt des sels minéraux sur la surface de l'isolateur, empêchant alors la formation d'un électrolyte conducteur sur la surface, ce type d'isolateur est efficace dans les zones côtières. [2].

d. Profil plat (ouvert)

L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air. Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto-lavage est peu fréquent par la pluie [14].

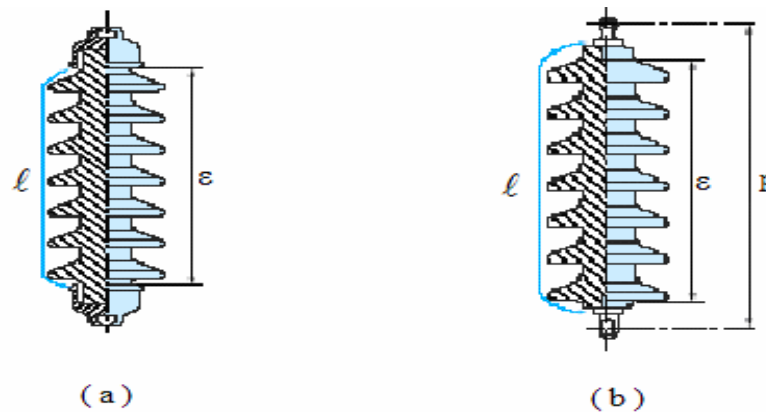
e. Profil sphérique

La forme sphérique d'une longueur $\approx 1^2$ de fuite importante avec absence des rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace (Figure I.7.e) [14].

I.6.2.b) Isolateurs à long fût

L'isolateur à long fût est constitué d'un bâton cylindrique en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques muni d'ailettes, à chaque extrémité duquel est fixée une pièce métallique de liaison.

Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe les extrémités tronconiques sur le cylindre (Figure I.8 a), soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. [10]. (Figure. I.8)



l : Plus courte distance dans l'air , extérieure à l'isolateur.

P : Pas nominal.

ε : longueur du canal de perforation , $l/2 \ll \varepsilon$

Figure I.8.: Isolateurs à long fût

1.7. Choix des isolateurs

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension.

Cependant, ils forment une partie essentielle de laquelle dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [1].

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

I.8. PROPRIETES DIELECTRIQUES DES ISOLANTS SOLIDES

I. 8. 1. Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un matériau est la valeur maximale du champ électrique que l'on peut appliquer sans que se produise une dégradation irréversible nommé claquage, perforation ou rupture, rendant impossible une nouvelle application de la tension.

Selon la norme CEI 60243-1 [Mohammed], la rigidité diélectrique d'un matériau se définit comme étant le quotient de la tension de claquage par la distance séparant les électrodes entre lesquelles est appliquée la tension dans les conditions d'essai prescrites.

La Figure I.9. montre les différents types d'électrodes utilisées pour les essais de claquage diélectrique. [15].

Le claquage diélectrique [15].est défini par la perte importante des propriétés isolante des éprouvettes lorsqu'elles sont exposées à des contraintes électriques, provoquant dans le circuit d'essai, un courant suffisant (limite) pour faire déclencher un disjoncteur approprié.

Deux grandes théories s'opposent dans le domaine du claquage électronique : les théories collectives et la théorie de l'avalanche

I. 8. 1. 1. Mécanisme de claquage des isolants solides

L'étude du claquage des isolants solides n'est pas moins importante dans les études de l'isolation. Parce que les solides peuvent être endommagés directement après la survenue du claquage, par conséquent, il y aura possibilité de fusion, brûlure ou perforation du diélectrique.

Ces problèmes peut rester et donner une forme irrégulière à l'isolant, ce qui ne pas le cas dans les autres isolants gazeux et liquides qui ont la capacité de régénération et de restauration partielle de leur résistance après avoir supprimé le champ électrique appliqué, puisque la grande mobilité des particules permet à la trace du canal de décharge à disparaître.

Par conséquent, nous pouvons dire que le mécanisme du claquage dans le matériau solide est un peu plus complexe et peut varier avec la nature de la tension appliquée. [9].

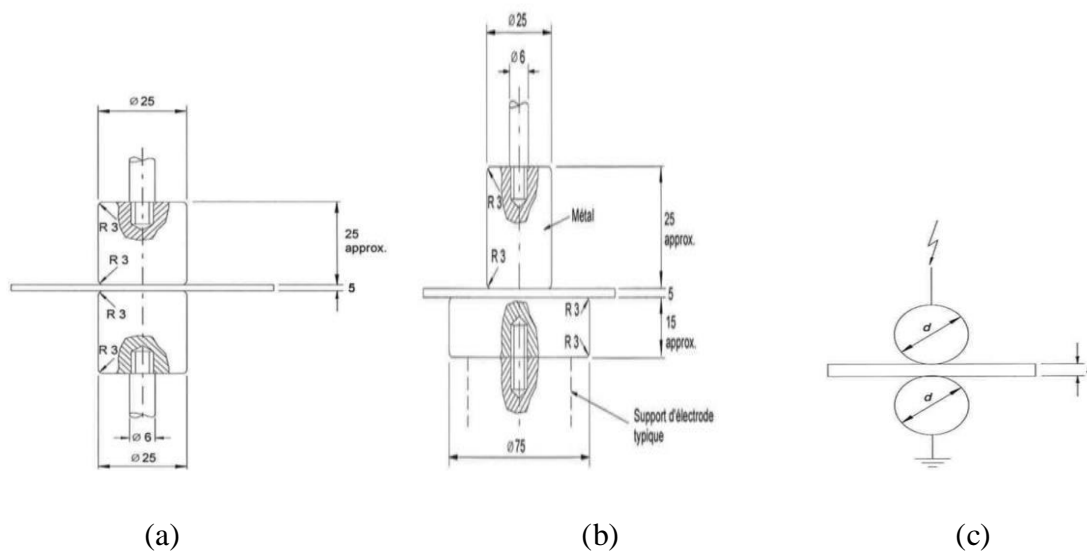


Figure I.9. Différentes géométries d'électrodes pour les essais de claquage, (a) électrodes à dimensions inégales, (b) électrodes à dimensions égales, (c) électrodes sphériques [15].

Parmi les types de claquages on cite :

I. 8. 1.1.1. Claquage thermique

la circulation des courants dans le matériau isolant a pour conséquence un transfert d'énergie qui chauffe le matériau. Cet échauffement doit être compensé par les pertes thermiques par conduction dans le matériau pour que l'équilibre soit conservé. [16]

I. 8. 1.1.2. Claquage électrique

Grace aux études de certains chercheurs sur le claquage électrique, il peut être divisé en deux groupes:

- **Claquage électrique intrinsèque** : cela se produit en raison de la collision d'électrons par le champ électrique avec les particules de l'isolant, ce qui conduit à l'instabilité du champ, provoquant le claquage intrinsèque ou (le claquage de l'électricité pur). [9].
- **Claquage électrique par avalanche** : dans ce claquage, le matériau diélectrique peut être conducteur afin de doubler l'électron du diélectrique à des valeur inacceptables, ce qui augmente l'intensité du courant électrique.

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

Les mécanismes de claquage sont principalement liés à la rigidité diélectrique en fonction de duré d'application de la tension (Figure I.10.).

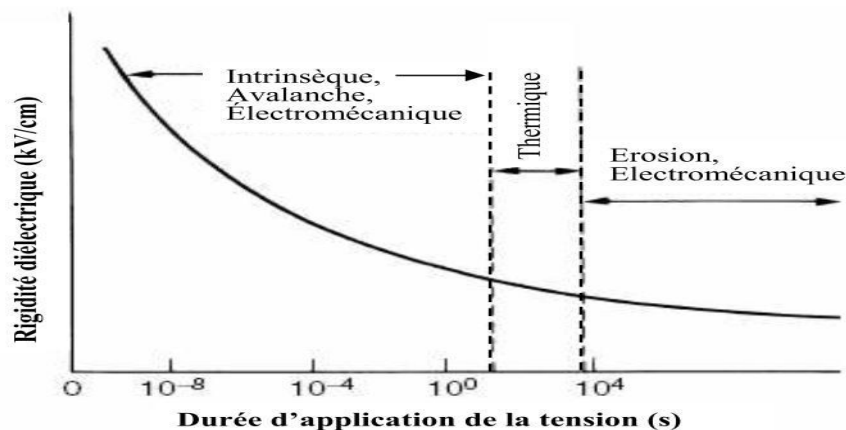


Figure I.10. Différents types de claquage des isolants solides [15].

I. 8. 1.1.3. Claquage électromécanique

le mécanisme de claquage électromécanique qui est dû à l'effort électrostatique qui tend à rapprocher deux électrodes entre lesquelles est appliquée une différence de potentiel.

Cet effort comprime l'isolant solide placé entre les deux électrodes et provoque une diminution de son épaisseur.

Le claquage survient lorsque cet effort de compression dépasse la résistance mécanique du matériau qui dépend de son module d'Young.

On rencontre ce type de claquage principalement dans les polymères thermoplastiques, notamment lorsque l'on se rapproche de la température où leur module d'Young baisse significativement. Stark et Garton [Sta 1955] ont introduit l'hypothèse d'un claquage électromécanique dans le polyéthylène, au dessus de 50°C.

Ils ont montré que pour des films minces de 50 μ m, le claquage se prod 26 kg/cm². [17].

I. 9. Pollution des isolateurs HT

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes) de haute tension [18].

Portés par le vent et déposés sur la surface isolante des chaînes des isolateurs, et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus ou moins conducteurs.

Ce qui engendre une diminution conséquente de la tension de tenue des isolateurs, des arcs électriques prennent naissance à la surface isolante et peuvent éventuellement, se développer en provoquant le contournement total des isolateurs.

I. 9. 1. Formation des couches polluantes sur les isolateurs

Les couches de pollution se déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs des lignes de haute tension, du fait qu'ils forment des obstacles à l'écoulement d'air, transportant de diverses substances organiques ou minérales (poussières, sel marin, fumée, engrais,...).

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

La couche de pollution se concentre en général, dans les parties protégées contre les facteurs de nettoyage naturel (vent violent, pluie abondante,...). La répartition de la pollution est loin d'être uniforme et homogène et dépend essentiellement :

- * Du profil de l'isolateur (forme géométrique de la surface).
- * De l'orientation (verticale ou inclinée) de la chaîne par rapport au sol.
- * De la distance à la source de la pollution.
- * De la nature des dépôts, poids et taille des particules.
- * Des caractéristiques climatiques du site (vent, pluie, givre,...).
- * Des caractéristiques géographiques du site zone urbaine, industrielle, littoral, Sahara, ...etc.[19].

I. 9. 2.Sources de pollution

On peut classer les différentes sources de pollution en trois catégories [20]:

- Pollution naturelle (marine, désertique,...)
- Pollution industrielle
- Pollution mixte.

I.9.2.1. Pollution naturelle

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents. [20] .

I.9.2.1. a. Pollution marine

Cette pollution est causée par les embruns portés par le vent qui dépose progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui recouvre toute sa surface.

L'humidification de cette dernière peut être effectuée soit par les embruns eux-mêmes, soit par un brouillard ou par condensation, qui devient conductrice.

Des courants de fuite s'écoulent à la surface, accompagnés d'arcs électriques, court-circuitant ainsi une partie de plus en plus grande de sa surface. [21]

I.9.2.1. b. Pollution désertique

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels.

Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice, un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un court-circuitage total de l'isolateur. [22]

I.9.2.2. Pollution industrielle

Ce genre de pollution se trouve surtout dans des zones à fortes industries, elle provient des fumées évacuées des usines industrielles, des fumées de gaz brûlés sortant des torchères pétrolières, ou qui se produisent au cours des incendies accidentels au voisinage des débouchés de gaz.

Chapitre I : Isolateurs et pollution des isolateurs de haute tension

Elle peut être aussi d'origine domestique (appareil de chauffage polluant des habitations et des véhicules), ou d'origine agricole (engrais). [22]

I.9.2.3. Pollution mixte

La pollution mixte est la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Car elle résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées.

La couche électrolytique formée par le processus d'humidification des dépôts solides accumulés progressivement sur la surface des isolateurs, engendre une diminution considérable de la rigidité diélectrique [23].

I.10. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue:

a. le Vent

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto nettoyage lorsque sa vitesse est élevée [18].

b. la Pluie

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des isolateurs, ce pendant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement [18].

c. l'Humidité

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue [18].

d. la Température

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolateurs contaminés devient plus important.

Cependant, la différence de température entre le jour et la Nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

I.11. Conséquences de la pollution

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs engendrent une conductivité électrique superficielle, celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. Suivant les conditions atmosphériques (pluie fine, brouillard,...), la tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite. [24]

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes aux quelles est soumis l'isolateur :

➤ **Arc non localise**

On dit qu'un arc est non localise, lorsque la surface d'un isolateur est amorcée par un arc et qui s'éteint rapidement pour se réamorcer a un autre endroit.

Ce phénomène ne cause pas de dommages pour l'installation, malgré l'apparition de courant de fuite a la surface de l'isolateur. [21]

➤ **Arc fixe**

L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant de l'élément défaillant [25].

➤ **Court-circuit**

Dans ce cas, l'arc électrique atteint l'électrode opposée. Ainsi, la formation d'un pont conducteur sur la surface isolante polluée favorise le passage d'un fort courant, ce cas engendre la rupture totale de l'isolation. [21]

I.12. Techniques de lutte contre la pollution

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques.

Pour cela, plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées. [19]

I.12.1. Allongement de la ligne de fuite

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

- Le changement de type d'isolateurs par un autre de longueur de la ligne de fuite supérieur, opération délicate et coûteuse [23].
- L'utilisation de prolongateurs de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [26].

I.12.2. Isolateurs plats

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'autonettoyant très bien sous l'effet du vent [22].

Grâce à ses propriétés hydrophobes, le graissage protège temporairement les isolateurs, La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit. Elle est généralement comprise entre 1 et 4 ans.

Le graissage est largement utilisé dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de graissage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite, par ailleurs, une interruption de service [25].

I.12.4 Revêtement silicone

Il consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Il protège et améliore leur tenue sous pollution, Par contre, sa longévité est nettement supérieure à celle du graissage [27].

I.12.5. Isolateurs composites

Les isolateurs siliconés représentent une excellente solution, pour garantir un fonctionnement optimal des lignes haute tension dans les environnements de forte pollution.

Ils permettent de minimiser les courants de fuite et réduisent donc les coûts d'exploitation et de maintenance. Ils permettent en effet d'éviter le nettoyage périodique habituellement réalisé sur les isolateurs en verre, tout en conservant la fiabilité mécanique que l'isolateur en verre a démontré au cours de son existence.

Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère, voient leurs caractéristiques changer au cours du temps. Ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service. [28].

I.12.6. Nettoyage des isolateurs

□ Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension, peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes.

Comme ces méthodes sont utilisées hors tension, elles entraînent nécessairement des interruptions de service parfois assez longues [25]. Aussi, il faut limiter, autant que possible, leur utilisation.

□ Le lavage sous tension permet d'éviter ces coupures. Dans son principe, ce type de lavage permet de garder propre l'isolateur.

Ce dernier est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles.

Dans ces cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

□ Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du Nord en particulier).

Cette technique permet le nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment, par exemple) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs [25].

I.13.CONCLUSION

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

Chapitre II

Modèles théorique et expérimentale du
phénomène de contournement

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.1. Introduction

En raison de la complexité des phénomènes de décharges électriques sur les surfaces isolantes, plusieurs travaux aussi bien théoriques qu'expérimentaux, ont été entrepris depuis plusieurs décennies, en vue d'étudier leur comportement sous pollution.

Ces travaux de recherche ont permis de développer des modèles mathématiques, établissant ainsi, les caractéristiques des décharges évoluant sur les surfaces polluées des isolateurs, et ce, jusqu'au contournement.

Néanmoins, ces mécanismes restent insuffisamment compris, à cause d'un grand nombre de facteurs difficiles à cerner, qui interviennent simultanément dans la génération et la propagation des décharges électriques. [29].

I.2. Phénomène du contournement

La Figure II.1 montre un isolateur réel de ligne de fuite L (distance sur la surface de la matière isolante entre le capot et la tige), d'une bande sèche développée de largeur X et d'une décharge électrique de longueur égale à la largeur de la bande sèche.

La différence de tension appliquée entre le capot et la tige, crée le courant de fuite qui traverse la décharge électrique et pénètre la pollution par la surface de contact entre la décharge et la pollution.

Nous appelons cette surface de contact « pied de la décharge », en considérant que la « tête de la décharge » se trouve du côté opposé, sur le capot de l'isolateur de la Figure II.1. Le courant de fuite qui pénètre l'électrolyte par le pied de la décharge, se répartit non uniformément dans tous les sens autour de ce pied, selon des lignes de courant de différentes longueurs (La Figure II.1).

La ligne de courant la plus courte MN , est la ligne qui prolonge la décharge dans le sens de sa propagation, sa longueur est égale à $(L-X)$ et c'est la ligne avec les densités de courant les plus élevées et avec les valeurs les plus élevées du gradient de tension parmi toutes les lignes de courant. La différence de potentiel appliquée entre le capot et la tige, qui crée le courant de fuite, crée également une distribution de tension et de gradient dans la décharge et dans la pollution.

La distribution de gradient sur la surface de la pollution, détermine le champ dans l'air près de cette surface ; il y a une analogie entre la distribution de gradient dans la pollution et le champ dans l'air, juste au-dessus de sa surface[30].

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

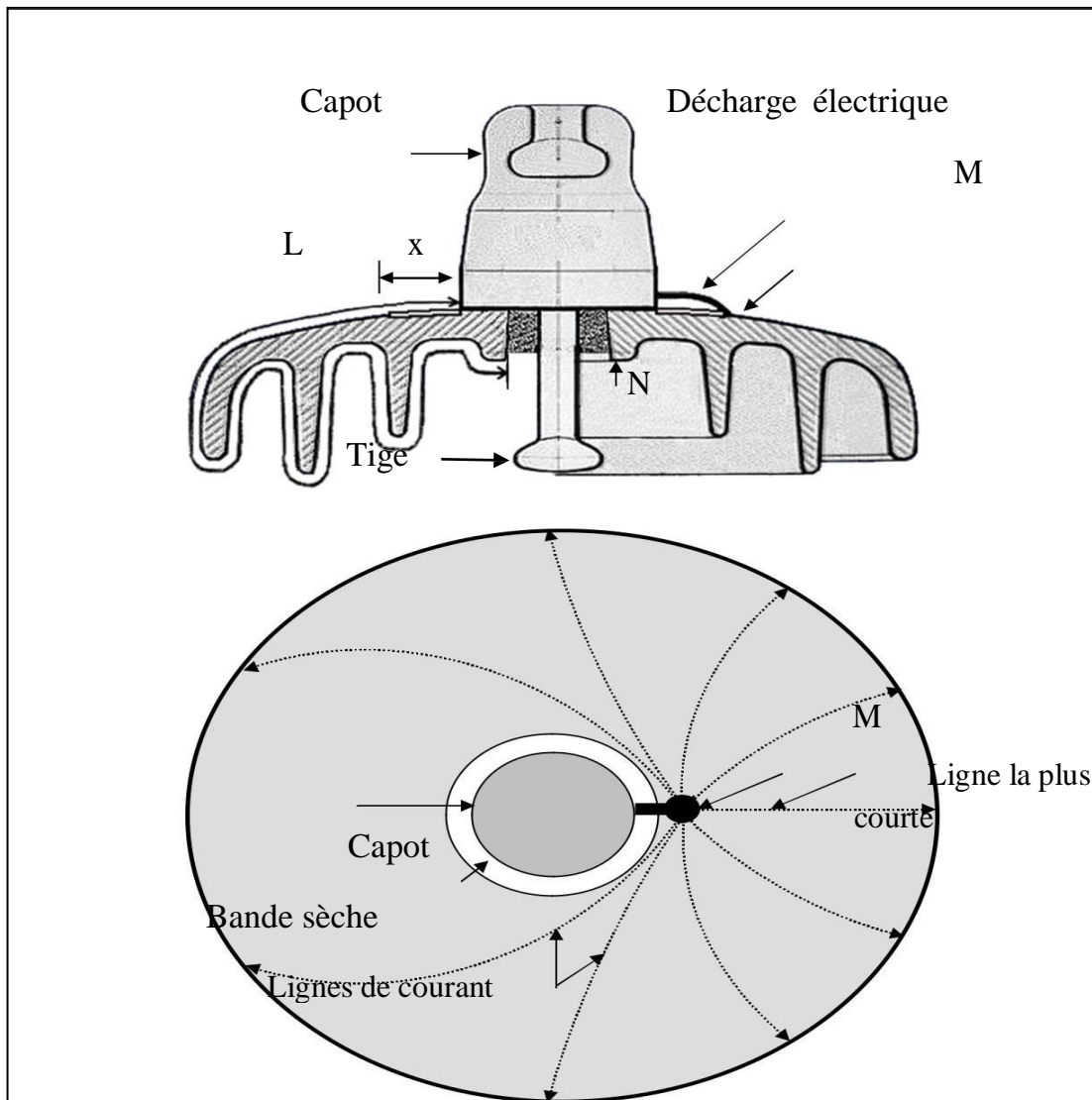


Figure II.1: Paramètres géométriques et électriques d'un isolateur réel [30].

x : Largeur de la bande sèche. L : Ligne (distance) de fuite.

Dans cette section, nous analysons des principaux modèles mathématiques pour décrire le phénomène de contournement des isolateurs sous pollution. Nous passons en revue les modèles statiques et dynamiques d'isolateurs contaminés soumis à des contraintes électriques continues et alternatives.

II.3. Principaux modèles :

Nous exposons dans cette partie les principaux modèles rencontrés dans la littérature, et qui décrit le comportement des isolateurs sous contrainte électrique.

Pour adapter plus rationnellement les isolateurs d'un ouvrage à la civilité de pollution d'un site ou pour surveiller la qualité de l'isolement et donc d'éviter des éventuelles défaillances, il est impératif de disposer de modèle permettant de prévoir le contournement des isolateurs.

C'est dans cette optique que plusieurs modèles furent développés afin d'établir le critère d'établissement de l'arc en continu, pour ensuite être étendu au cas d'une tension alternative.

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

A cet effet, il existe des modèles statiques tels que le Modèle d'Obenaus, Modèle de Neumarker, Modèle d'Alston, Zoedziowski et Modèle de Rizk. Des modèles expérimentaux tels que le Modèle de Claverie et Porcheron, Modèle de Rao et Gopal, Modèle de J. Danis, Modèle de la couche mixte, et Modèle du disque circulaire ; comme il existe des modèles dynamiques tels que ceux de Rizk, Modèle de Anjana et Lakshminarasimha, Modèle de Sundararajan et Gorur [31].

II.3.1. Modèle d'Obenaus:

C'est Obenaus qui propose un modèle électrique de base à l'origine des premières analyses quantitatives des phénomènes d'arcs se produisant sur des surfaces isolantes planes, [7] recouvertes d'une couche polluante, sous tension continue. Son modèle basé sur un circuit électrique équivalent constitué d'un arc de longueur X en série avec une résistance $R_p(X)$ représentant la couche polluante non court-circuitée par cet arc (Figure. II.1). Ce modèle est à la base de la grande majorité des modèles actuels de prédiction de la tension de contournement des isolateurs pollués.

$$U_{arc} = \frac{XN}{I^n} \quad (II-1)$$

Où I est le courant de fuite, n et N sont les constantes de la caractéristique statique de l'arc.

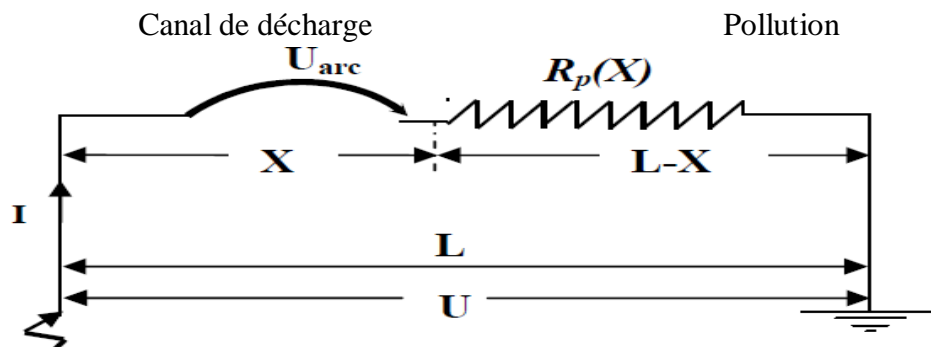


Figure II.2 Circuit Décharge en série avec un électrolyte d'après Obenaus

I est le courant de fuite, n et N sont les constantes de la caractéristique statique de l'arc, les valeurs des deux paramètres dépendent du milieu dans lequel s'amorce la décharge. Selon certains auteurs:

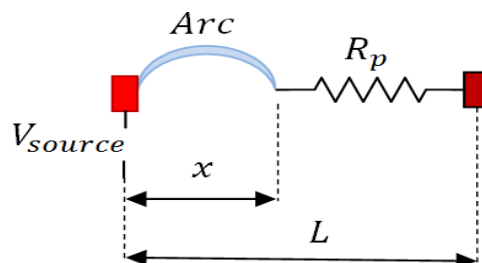


Figure II.3 Modèle mono-arc d'Obenaus[32] .

$$0.4 \leq n \leq 1$$

$$3 \leq N \leq 500$$

L : représente la longueur de fuite totale.

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

En effet, en appliquant la loi d'ohm à circuit, on peut écrire:

$$U = U_e + U_{arc} + R_p(x) I \quad (II.2)$$

Où U est la tension appliquée et U_e , la chute de tension total aux bornes des électrodes ; cette dernière dépend des conditions expérimentales.

$R_p(x)$ Est la résistances de la couche polluée et U_{arc} , la tension d'arc telle que :

$$U_{arc} = R_{arc}(x) \cdot I \quad (II.3)$$

R_{arc} Est la résistance d'arc par unité de longueur, X la longueur d'arc et I le courant qui traverse la couche polluée. La décharge est caractérisée par la présence d'un champ électrique longitudinal E_a . [33].

$$E_a = \frac{U_{arc}}{X} = N \cdot I^n \quad (II.4)$$

Ainsi, on obtient l'équation de la tension totale au système :

$$U = U_e + X \cdot N \cdot I^n + R_p(x) I \quad (II.5)$$

la résistance de la couche polluée s'exprime par :

$$R_p X = \frac{(L-X)}{\sigma_p s_p} = \frac{\rho_p}{s_p} (L-X) = r_p (L-X) \quad (II.6)$$

Où :

σ_p est la conductivité volumique de la pollution ρ_p la résistivité volumique de la pollution s_p la section de passage du courant dans la pollution

Electrolyte	N	n
Na Cl	360	0,59
CaCl ₂	461	0,42
FeCl ₃	270	0,66
CuSO ₄	450	0,49

Tableau III.1. Valeurs des constantes N et n sur différents électrolytes. [33]

r_p la résistance linéique de la pollution et L la longueur totale de la ligne de fuite de l'isolateur.

A partir de mesures expérimentales sur un canal d'électrolyte, Ghosh et al.

ont proposé des valeurs différentes pour les constantes N et n caractérisant l'équation de la décharge selon la nature de l'électrolyte utilisé.

Ils sont donnés dans le tableau II.1.

II.3.2. Modèle de Neumarker

En reprenant les travaux d'Obtenaus, et en y ajoutant l'hypothèse d'une couche de pollution de résistance r_p uniforme par unité de longueur de fuite, Neumarker [7] a proposé l'expression suivante pour la résistance de pollution R_p :

$$R_p(x) = r_p(L-X) \quad (II.7)$$

Où L et r_p représentent respectivement la longueur de fuite totale et la résistance moyenne par unité de longueur.

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

En introduisant cette expression dans le modèle d'Obenaus et en négligeant les chutes de tension cumulée aux électrodes, la tension aux bornes de l'isolateur sera :

$$U = U_{\text{arc}} + r_p(L-X)I \quad (\text{II.8})$$

ou encore :

$$U = \frac{XA}{I^n} + r_p(L-X)I \quad (\text{II.9})$$

Ainsi, Neumarker déduit le courant et la longueur d'arc critiques :

$$I_c = \left(\frac{XA}{r_p} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{II.10})$$

Et

$$X_c = \frac{L}{n+1} \quad (\text{II.11})$$

D'où l'expression de la tension critique de contournement :

$$V_c = N^{\frac{1}{n+1}} r_p^{\frac{n}{n+1}} L \quad (\text{II.12})$$

Les modèles établis en courant continu ci-dessus, ont été étendus au cas d'une tension alternative en y apportant certaines modifications.

II.3.3. Modèle d'Alston et Zoledziowski

En se basant sur le fait que la résistance de la couche de pollution est uniforme par unité de longueur les auteurs [19, 20] ont pu déterminer, en appliquant une tension de quelques kV, la condition de maintien de l'arc électrique, dans le cas d'un isolateur cylindrique de longueur L [21]

$$U_{cx} = (n+1) (NX)^{\frac{1}{n+1}} \left(\frac{r(l-x)}{n} \right)^{\frac{n}{n+1}} \quad (\text{II.13})$$

X : est longueur d'arc.

A et n : les constantes empiriques qui caractérisent l'état statique de l'arc.

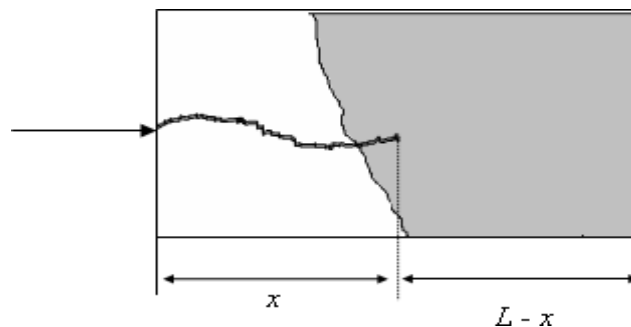


Figure II.4 Modèle cylindrique [21] .

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.3.4. Modèle de Rizk

A partir d'une analyse théorique, Rizk a décrit le phénomène d'entretien de l'arc par le mécanisme de la rupture diélectrique.

Il a mis en évidence l'expression de la rigidité diélectrique de l'espace résiduel et établi une relation entre la tension minimale U_c (tension de contournement minimale) nécessaire à l'entretien de l'arc, la résistance de pollution linéique r_p et la longueur de fuite L de la forme: [34]

$$\frac{U_c}{L} = 23r_p^{0.4} \quad (\text{II.14})$$

En tension alternative, l'arc s'éteint deux fois par période, soit à chaque passage à zéro de la tension. Le ré-allumage de l'arc se fait par rupture diélectrique de l'intervalle d'air lorsque la croissance de la tension de rétablissement devient relativement lente et dépasse la rigidité diélectrique de l'intervalle d'air.

Ce phénomène a ainsi été proposé par Rizk en négligeant la conductance électrique de l'arc résiduel au moment de l'annulation du courant [35]

II.3.5. Modèle de Claverie et Porcheron

Plusieurs modèles expérimentaux ont été proposés pour le cas d'une tension alternative. Le plus connu est celui de Claverie et Porcheron [36]. Ces auteurs ont montré que pour un modèle d'isolateur plan (figure 1.2), la tension d'arc est de la forme :

$$U_{\text{arc}} = \frac{100x}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.15})$$

et la tension minimale d'entretien de l'arc U_{cx} est:

$$U_{\text{cx}} = \frac{800x}{\sqrt{I}} \quad (\text{II.16})$$

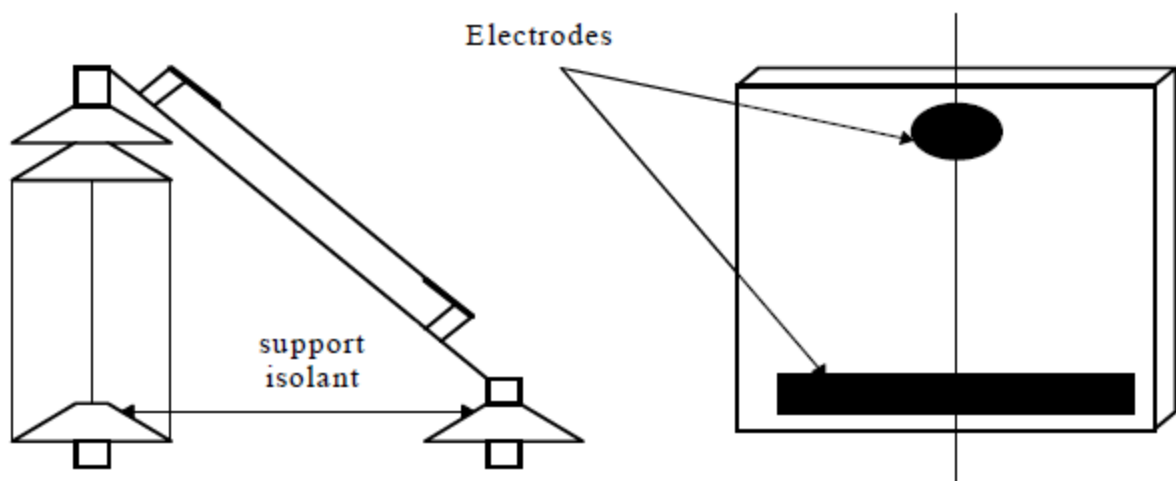


Figure II.5 Montage expérimental pour le modèle de Claverie et Porcheron [24]

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.3.6. Modèle de Wilkins

La contribution de Wilkins est basée principalement sur l'étude de l'effet de la concentration des lignes de courant au pied de l'arc électrique sur la résistance résiduelle $R_p(X)$ de la couche de pollution.

Pour ce faire, Wilkins a utilisé la méthode des images équipotentielles appliquée à la géométrie présentée à la Figure 6, ce qui lui a permis d'aboutir à un modèle analytique général décrivant la résistance résiduelle $R_p(X)$ qui se traduit comme suit [32] :

$$R_p = \frac{1}{2\pi\sigma_s} [(L_f - X)] + \frac{b_w}{2\pi} \text{Ln} \left(\frac{b_w^2}{4\pi r^2} \right) \quad (\text{II.17})$$

Pour le cas d'une bande large, la résistance de la couche de pollution sera :

$$R_p = \frac{1}{2\pi\sigma_s} \left[\text{Ln} \left(\frac{2L_f}{\pi r} \right) - \text{Ln} \left(\tan \left(\frac{\pi x}{L_f} \right) \right) \right] \quad (\text{II.18})$$

où σ_s , b_w sont respectivement la conductivité de la couche de pollution et la largeur de l'isolateur et r_d le rayon du pied de la décharge qui peut être estimé par la relation [29] :

$$r_d = \sqrt{\frac{I}{1.45 \pi}} \quad (\text{II.19})$$

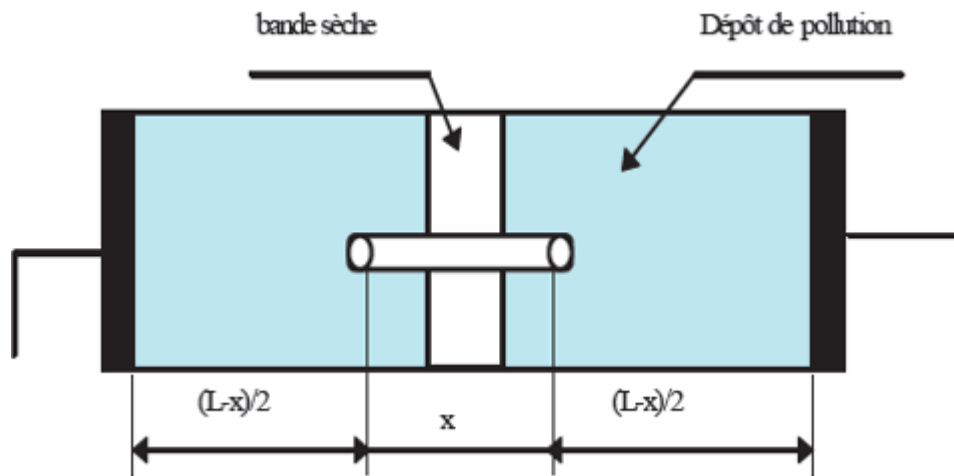


Figure II.6. Modèle de Wilkins.

II.3.7. Modèle de J. Danis

Afin de reproduire des couches similaires à celles observées sur les isolateurs pollués dans les conditions naturelles, J.Danis [37] utilise un modèle de forme géométrique simple (plaque ou cylindre) (Figure II.7) possédant plus d'une zone sèche (Figure II.7.a). La rupture des zones sèches survient alors d'une manière aléatoire (Figure II.7.b).

Le lieu d'apparition des arcs partiels, la forme et le mouvement des racines des arcs sur une surface polluée (Figure II.7. c) dépendent ainsi de plusieurs facteurs dont on ne peut déterminer les

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

effets instantanés. Par conséquent, le comportement macroscopique de ces arcs a une nature stochastique.

La tension de contournement est donc une variable aléatoire et a une fonction de distribution. Une simulation numérique des observations expérimentales, utilisant des photographies à grande vitesse, est utilisée pour déterminer cette tension.

En considérant la résistance de la couche polluante linéaire, l'équation qui régit ce modèle est:

$$V = kI^{-n} + r_p(L - X)I \quad (\text{II.20})$$

avec $n \leq 0,5$

et $200 \leq N \leq 400$

r_p est la résistance linéique de la pollution.

Les grandeurs critiques déduites par l'auteur sont données par les expressions:

$$IC = \left(\frac{k}{r_p}\right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{II.21})$$

Et

$$V_c = L(kr_p)^{\frac{1}{n+1}} = KIC^{-n} \quad (\text{II.22})$$

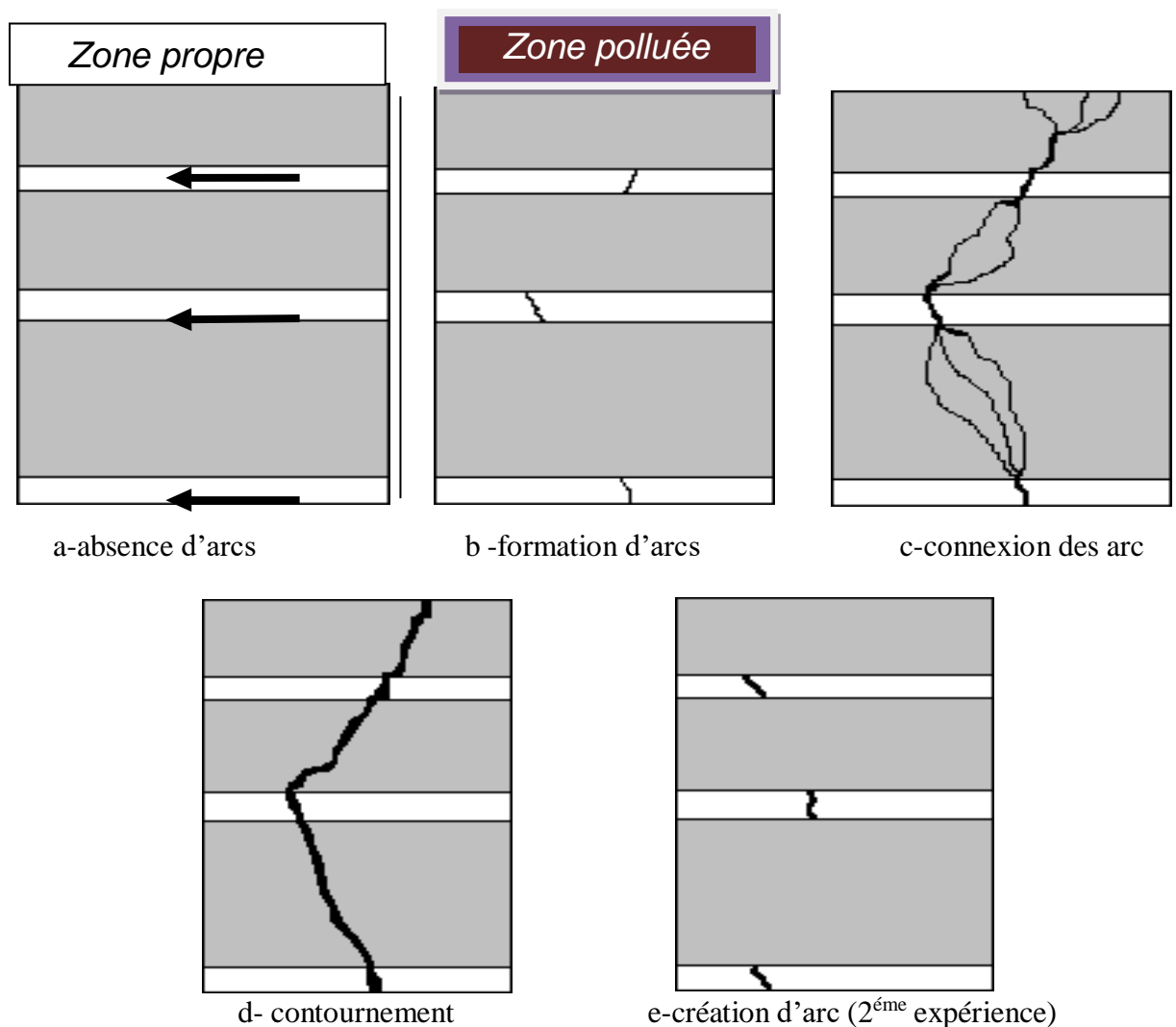


Figure II.7. Modèle de J. Danis

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.3.8. Modèle de A. Mekhaldi

A. Mekhaldi a utilisé un modèle plan et rectangulaire similaire à celui considéré par P. Claverie et Y. Porcheron

.Il s'intéresse surtout à l'évolution du courant de fuite ainsi que la longueur de l'arc électrique en fonction de la conductivité de la couche de pollution, du rayon de l'électrode de haute tension, de la distance inter-électrodes, de l'épaisseur de la couche de pollution et de la répartition discontinue de la couche de pollution.

A partir de ces études, les résultats tirés sont les suivants :

Le courant de fuite et la largeur de l'arc diminuent avec la distance inter-électrodes, augmentent avec le rayon de du contournement L'étude du phénomène de contournement a été souvent effectuée en utilisant des modèles statiques, l'électrode circulaire, augmentent avec la conductivité et augmentent aussi avec l'épaisseur de la couche de pollution [38].

II.4 .Modélisation dynamique de l'arc

alors que plusieurs paramètres électriques, thermiques et géométriques impliqués dans ce phénomène évoluent dans le temps. Afin de se rapprocher le plus possible de la réalité et parer à cet handicap, de nouveaux modèles, tenant compte de la variation dans le temps de certains paramètres, ont été proposés. Ainsi, des lois physiques sont utilisées pour établir des critères de propagation de la décharge et pour étudier la dynamique de cette décharge.

II .4.1. Mécanisme de propagation

Dans le phénomène de propagation de l'arc électrique, il existe deux modes principaux :

II.4.2. Propagation par ionisation

D'après Wilkins et Al - Baghdadi [37], le mécanisme d'élongation se ferait par ionisation et déplacement discontinu du pied de la décharge. Selon Wilkins, la probabilité d'ionisation dans la région précédant l'avant pied de la décharge est grande, étant donné que la température ainsi que le potentiel, sont élevés dans cette région (Figure II.8..a).

Si l'ionisation est suffisante, alors il y a circulation d'un courant électrique.

La conductivité du nouveau trajet du courant va augmenter avec celui-ci, tandis que celle du trajet précédent dans l'électrolyte reste constante (Figure II.8. b). Par conséquent le courant total change progressivement de trajet, entraînant ainsi une élongation δ de la décharge.

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

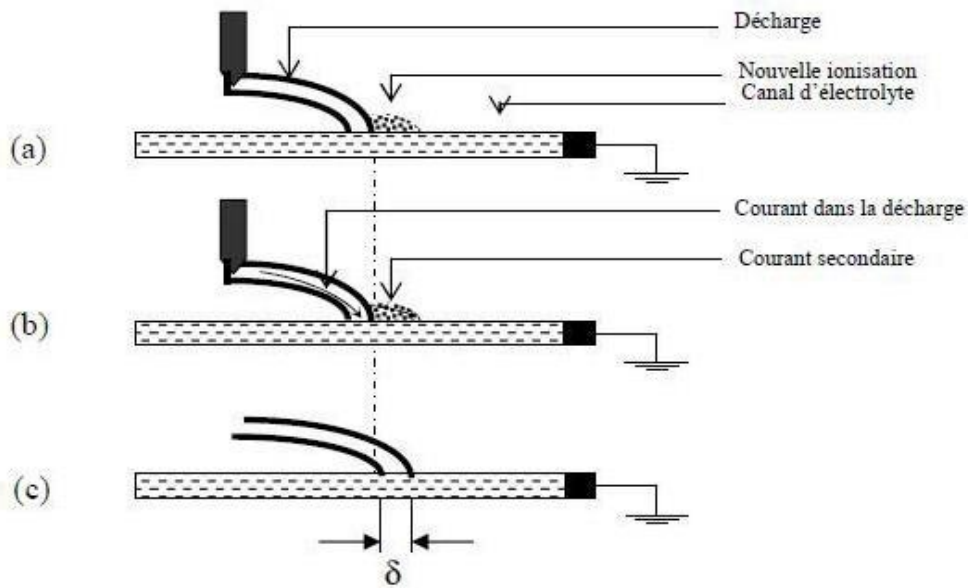


Figure II.8: Ionisation et déplacement du pied de la décharge.

II.4.3. Propagation par force électrostatique

A partir des observations faites sur un canal d'électrolyte, Rahal a essayé de mettre en évidence l'existence d'une force électrostatique s'exerçant sur la décharge, responsable du déplacement de l'arc. [19]

Il a démontré que du point de vue électrique macroscopique, cette force était due à la dissymétrie de la distribution du potentiel, elle-même causée par le passage du courant dans le liquide couvrant la surface isolante.

Cette force va provoquer la courbure de la décharge vers l'électrode de masse (Figure II.8. c) D'après l'auteur, l'existence de cette force implique en effet, que l'on considère la décharge comme un élément de circuit doué d'une certaine auto-consistance macroscopique et susceptible de s'étirer de façon plus ou moins élastique.

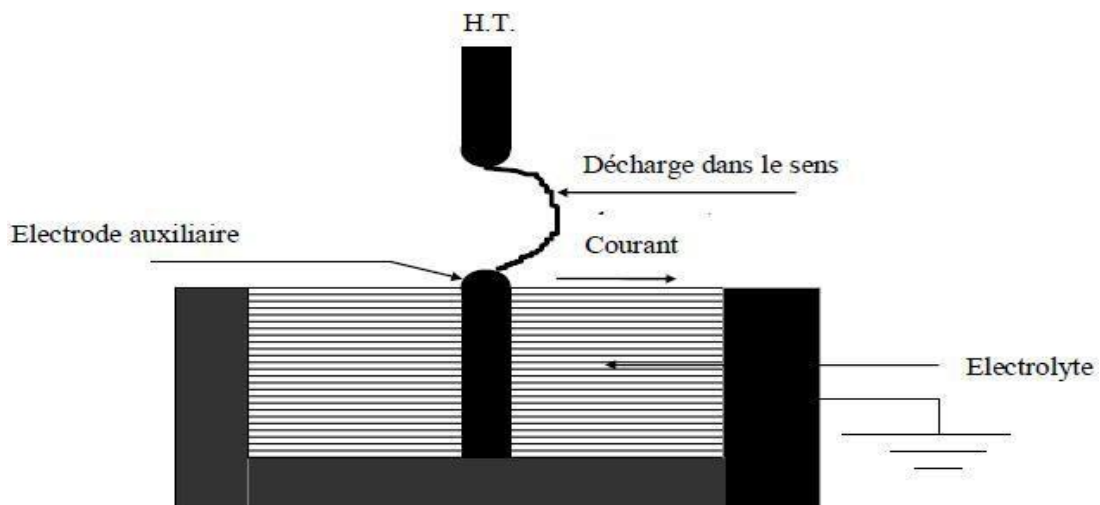


Figure II.9: Courbure de la décharge dans la direction de l'écoulement du courant mettant en évidence l'existence d'une force. [19]

Chapitre II : Modèles théorique et expérimentale du phénomène de contournement

II.5 Conclusion

L'amélioration des connaissances sur la performance des isolateurs est nécessaire si l'on veut augmenter la fiabilité du transport et de la distribution de l'énergie électrique.

Dans ce chapitre, nous avons cité brièvement quelques études effectuées sur site, aux laboratoires et par simulation, sur la pollution des isolateurs et les différents agents qui influent sur la tenue électrique de ces derniers .

Chapitre III

Etude des résultats expérimentaux

III.1. Introduction

En service, les isolateurs sont exposés à diverses conditions climatiques, en présence d'humidité, de brouillard ou de pluie légère, la couche polluée permet la création et la circulation de courants d'infiltration, aboutissant à terme à un flash superficiel total.

L'évolution de la forme d'onde du courant de fuite dépend principalement des changements qui se produisent dans la couche de pollution sous l'influence de l'humidité et de la température.

De plus, la pollution peut modifier la forme de ces courants de signal.

Des travaux antérieurs effectués au niveau du laboratoire de Haute Tension de l'école Nationale Polytechnique, ont porté essentiellement sur l'étude du comportement d'un modèle d'isolateur plan de géométrie simple.

Ainsi Différents paramètres électro géométriques ont été variés à savoir : la distance inter électrodes, la nature du diélectrique (verre ou plexiglas), son épaisseur, la largeur et la longueur des électrodes.

Une étude par simulation a montré qu'il existe une influence non négligeable de la présence du sol (ou tout autre conducteur situé à proximité du dispositif), mis à la terre, sur les différentes mesures ; nous nous sommes inspirées de cette idée et l'avons développée dans le travail que nous présentons dans ce chapitre.

Notre travail porte donc sur l'étude du degré d'influence du sol sur le comportement d'un modèle plan-plan en variant la distance inter électrodes et la hauteur du dispositif par rapport à la terre.

Les résultats expérimentaux concernent la tension de contournement, le courant de fuite, l'impédance électrique du système.

Pour la pollution uniforme : l'évolution de la tension de contournement et le courant de fuite a partir de différents paramètres (tension appliquée, conductivité de la couche polluante), ainsi que l'évolution des décharges parallèles à la surface du modèle plan.

Pour la pollution non-uniforme : Pour une conductivité donnée, l'étude de l'influence de la largeur et de l'emplacement de la couche de pollution sur la tension de contournement et le courant de fuite pour plusieurs niveaux de tension appliqués.

III.2. Technique expérimentale

Ce chapitre décrit les techniques expérimentales utilisées pour étudier le comportement du modèle plan de l'isolateur 1512L utilisé par SONELGAZ dans le cas de la pollution uniforme et de la pollution non-uniforme.

L'équipement de la station d'essai en tension alternative comprend essentiellement :

Un transformateur d'essai : 500V/300 kV, 50 kVA; un diviseur capacitif de tension ; un pupitre de commande ; un oscilloscope numérique et des appareils annexes de mesure et de protection.

III.3. Présentation du model 1512L

L'isolateur réel 1512L est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre.

L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant et y être maintenue par une goupille [28].

Afin d'identifier le système d'électrodes utilisé par notre modèle plan de l'isolateur 1512 L, nous avons procédé à des essais de contournement pour distance de contournement à sec et $d_2 = 29,2$ cm qui correspond à la distance de fuite sous des conditions de pollution par humidification.

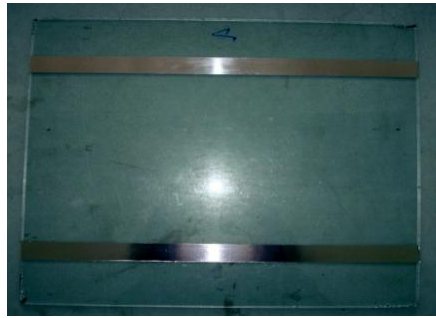


Figure III.1. Modèle plan de l'isolateur 1512L.

La solution polluante est obtenue à partir d'un mélange d'eau distillée et de chlorure de sodium (NaCl). La variation du degré de pollution est obtenue en variant la concentration de sel dans l'eau distillée.

Le dépôt de pollution est obtenu tout d'abord par pulvérisation uniforme de la solution sur tout le modèle. Pour assurer une bonne uniformité, et une bonne reproductibilité de la couche polluante, nous avons gardé, durant tous les essais, la même méthode de pulvérisation (même nombre de pulvérisations de chaque côté de la plaque et à la même distance).

III.4. Etude de la configuration uniforme de la couche de pollution

III.4.1. Etude de la tension de contournement

De l'examen de ces résultats, il apparaît clairement que la tension de contournement de l'isolateur diminue avec l'augmentation de la conductivité. En d'autres termes, la conductivité influe sur la tension de contournement des isolateurs (Les valeurs de tensions indiquées sur le tableau la moyenne de 5 valeurs). (Figure III.2) : La tension de contournement en fonction de la conductivité.

Nous remarquons que la tension de contournement reste pratiquement inchangée pour la pollution de niveau 4 (conductivité très élevée), c'est-à-dire pour 1,2 mS/cm et 10,1 mS/cm. Cela peut s'expliquer par le fait qu'à partir de 0,71 mS/cm, la proportion de conductivité n'influe pas beaucoup sur la tension de contournement. Cela peut être expliqué par le fait que l'augmentation de la conductivité mène circuler plus de courant de fuite sur la surface de l'isolateur.

L'effet Joule provoque plus d'évaporation de l'eau qui conduit à créer des bandes sèches sur la surface où la densité du courant est la plus élevée et le champ électrique sur la surface augmente et il devient supporter par ces bandes sèches.

Le champ électrique dans l'air immédiatement au-dessus de ces points a approximativement la même valeur.

Une fois que le niveau d'ionisation dans l'air est atteint, la décharge se produit et son allongement génère probablement un contournement total pour des faibles tensions.

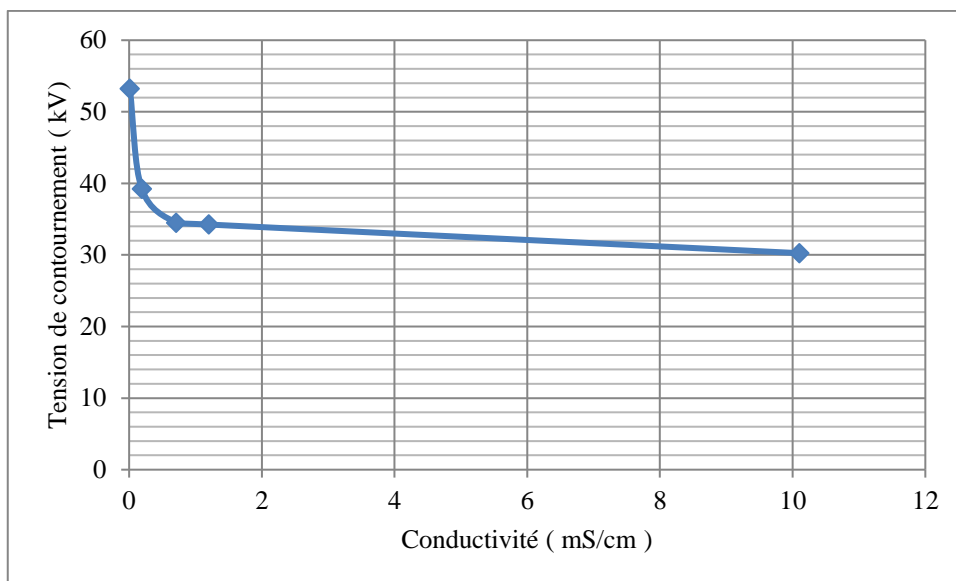


Figure III.2 : La tension de contournement en fonction de la conductivité.

III .4.2. Etude du Courant de fuite

III.4.2.1. Relation courant de fuite- conductivité

Nous présentons sur le graphe (Figure III.3) les variations du courant de fuite en fonction de la conductivité la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes conductivités de la couche polluante.

Pour cela, nous utilisons cinq conductivités différentes de la couche polluante 0.01, 0.19 , 0.71 , 1.2 et 10.1 mS/cm, en appliquant cinq niveaux de tension 3 , 6 , 9 , 12 et 15 kV. On remarque que pour 0.01, 0.19, 0.71 mS/cm le courant de fuite est faible, augmentant à une valeur de conductivité 1.2 mS/cm, On remarque aussi que la tension est presque inversement proportionnelle .

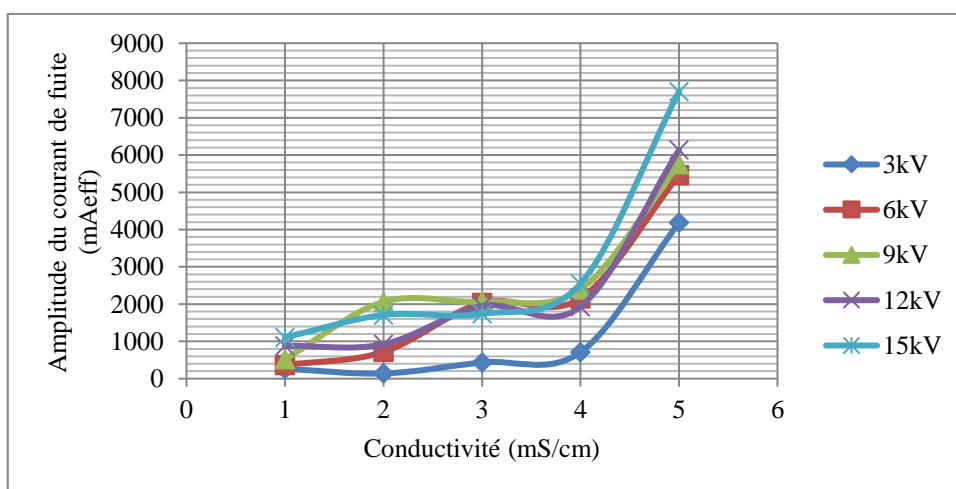


Figure III.3: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en de la largeur de la couche polluante pour cinq conductivités.

III.4.2.2. Relation courant de fuite- tension appliquée

D'après la figure (III. 4), nous remarquons que le courant de fuite augmente en fonction de la tension appliquée de manière non-linéaire pour toutes les conductivités.

Pour la conductivité 0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$, le courant de fuite augmente de manière progressive car il n'y a pas eu d'assèchement important. Pour les conductivités 0.19, 0.71 nous remarquons une baisse de l'amplitude maximale du courant de fuite à partir de la tension 6 kVeff.

Cette baisse est très remarquable pour la conductivité 0.71 mS/cm à cause d'un assèchement de la surface isolante (signe d'activité de décharges très développées).

Cette baisse peut être expliquée par le temps d'application de la tension pendant lequel l'eau présente à la surface se vaporise petit à petit. Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur.

Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une « bande sèche ».

Pour la conductivité 1.2 mS/cm On peut voir que le courant de fuite augmente avec la tension appliquée presque linéairement jusqu'au point (6kVeff , 2155 m A), puis augmente lentement et cela indique le changement de la zone . Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une « bande sèche ».

Pour la conductivité 10.1 mS/cm, le comportement des décharges électriques diffère des conductivités précédentes. En réalité, l'amplitude maximale du courant de fuite est la plus élevée.

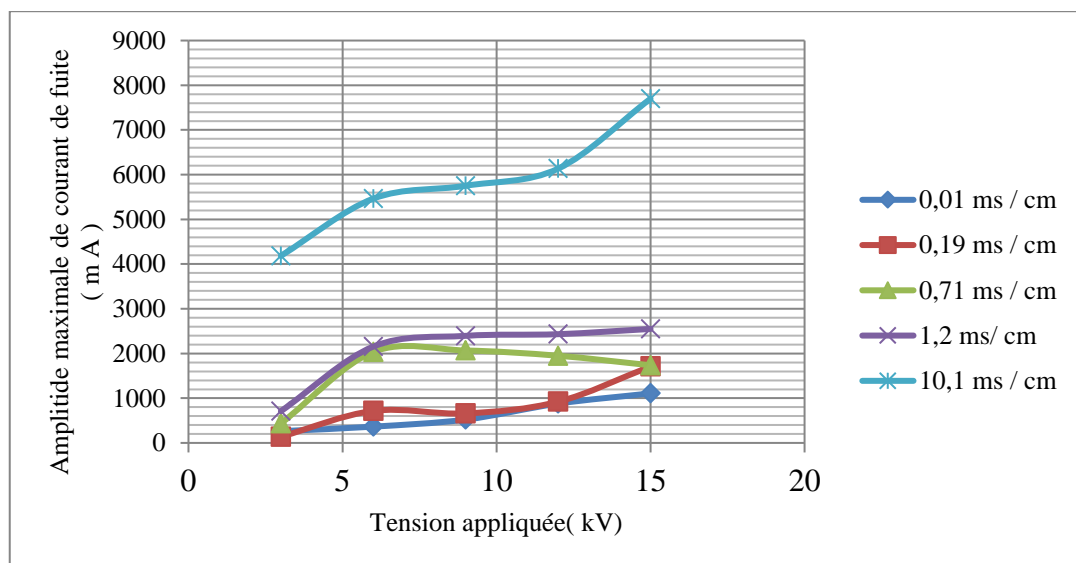


Figure III.4 Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la conductivité.

III.5. Etude de la configuration non uniforme de la couche de pollution

III.5.1. Etude de la tension de contournement

III.5.1.1 Relation tension de contournement - largeur de la couche polluée :

Chapiter III: Etude des résultats expérimentaux

Six largeurs de la couche polluante ont été utilisées pour les essais de contournement 5, 10, 15, 20, 25, 29.2 cm (17.12, 34.24, 51.36, 68.49, 85.61) et 100% de la longueur totale de fuite) avec une seule conductivité 1.2 ms/cm.

Nous étudions l'influence de la largeur ainsi que l'emplacement de la couche polluée sur la tension de contournement de la plaque en verre.

Les résultats obtenus pour les essais concernant la pollution côté HT, terre et centrale sont donnés au tableau :

D'après les courbes (figure III.5 à III.8), Nous notons que la tension de contournement ,Il change presque linéairement et diminue avec l'augmentation du rapport de la couche polluée à la longueur totale de fuite , Pour les trois courbes (coté HT, Coté terre , centrale), presque la même forme avec un léger changement , Parce que la surface polluée augmente la conductivité de la surface de l'isolant, puis diminue sa rigidité diélectrique .

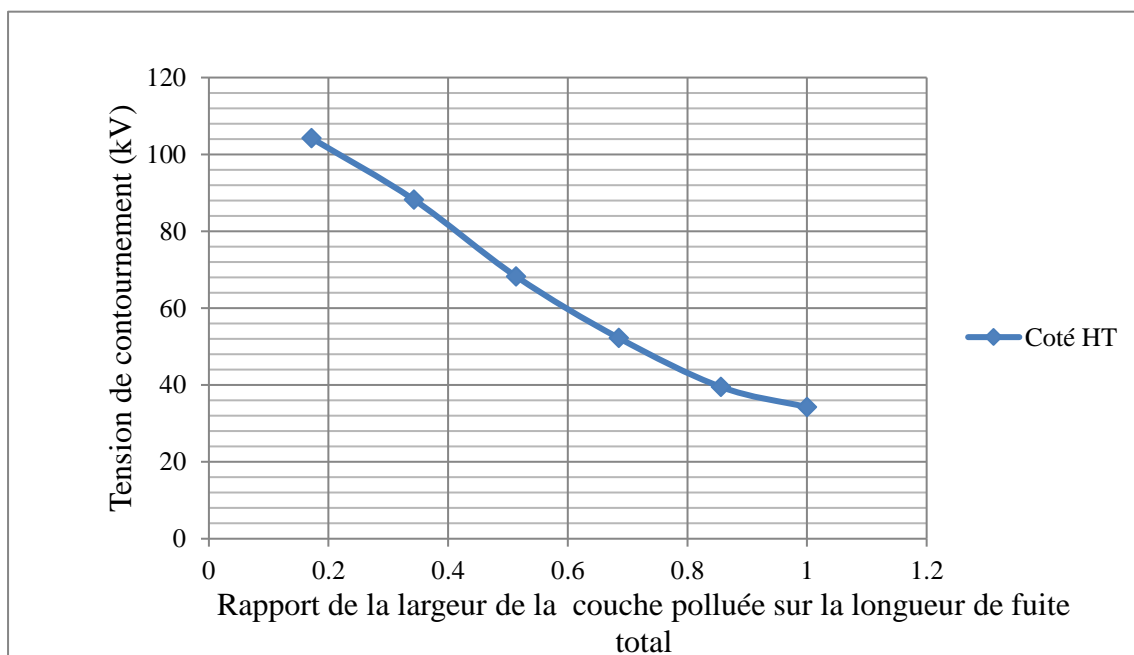
Nous avons remarqué dans la courbe que la tension de contournement est légèrement plus élevée pour le Coté terre par rapport à la Coté HT et cela pour les rapports 0.51 , 0.85 et 1 % qui correspondent aux couches 15 , 25 et 1 cm.

Ceci indique que la pollution Coté terre est plus solide que pollution Coté HT pour les Largeurs 15 , 25 et 1cm.

Pour la couche centrale, on remarque que la courbe est non linéaire descendante, rencontrant les deux autres Coté de la pollution (HT et sol) au point $X = 29,2$ cm c'est longueur totale de fuite. Et nous avons obtenu un écart relativement plus important par rapport aux autres pour la largeur de la couche polluée ($X = 5, 10, 15$ et 20) .

Il faut noter que pour les faibles largeurs de pollution, la création des arcs autour des deux extrémités sèches de la couche centrale est plus difficile par rapport à un seul coté sec, donc le modèle correspondant à cette configuration est presque identique au cas sec (pas de pollution) quand la largeur de la couche polluante n'est pas importante.

Nous concluons que le plus rigide est la couche centrale, puis les deux côtés (Coté terre, puis Coté HT) .



Chapiter III: Etude des résultats expérimentaux

Figure III.5 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour le coté HT.

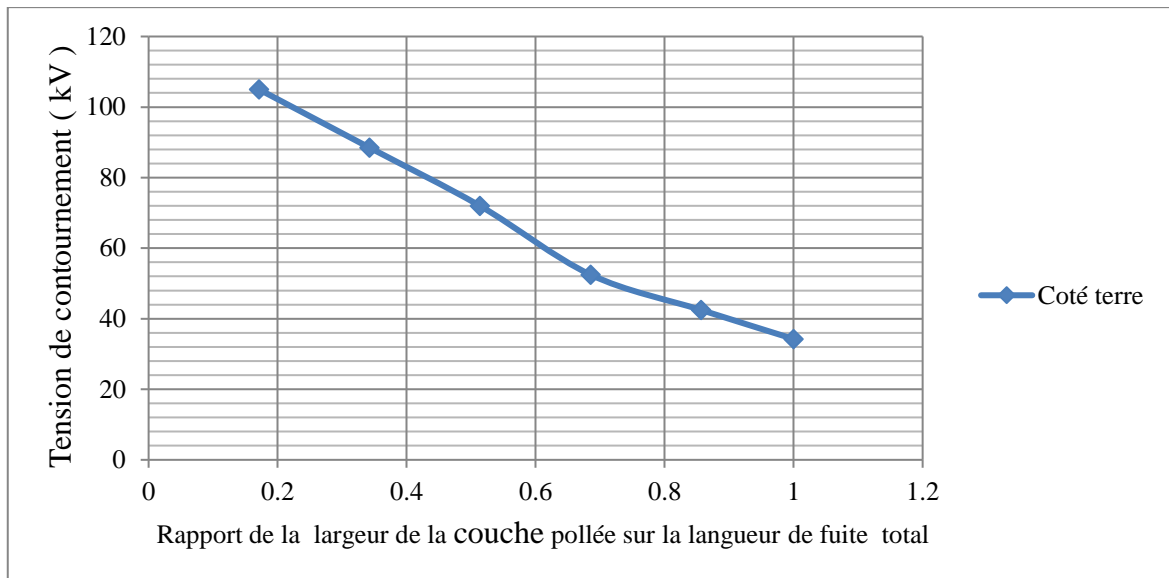


Figure III.6 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour le coté terre.

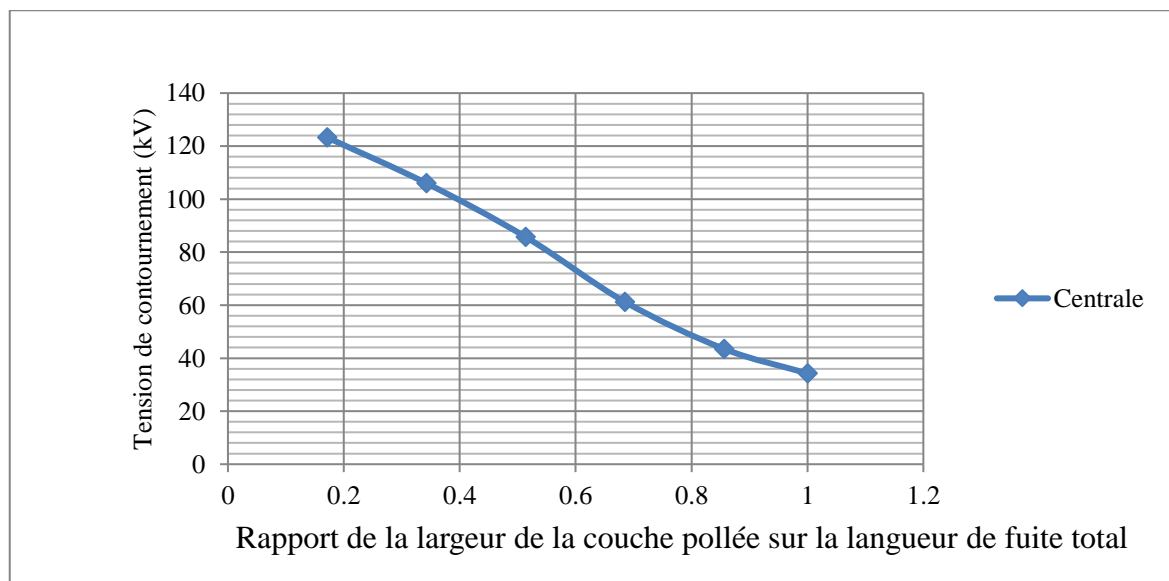


Figure III.7 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour la couche centrale.

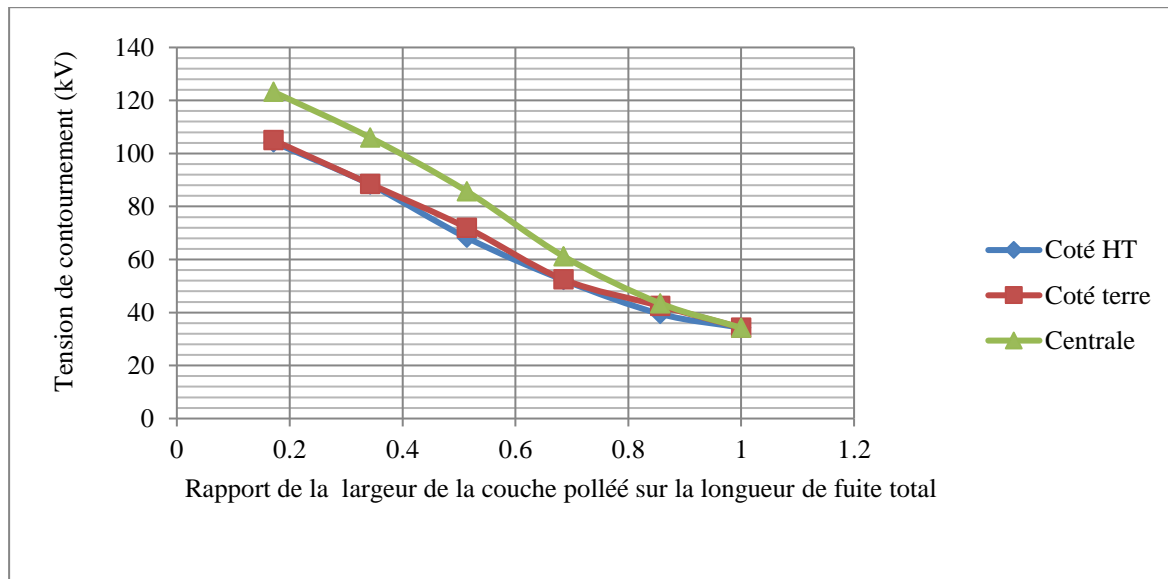


Figure III.8 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour les trois configurations de pollution.

III.5.2. Etude du courant de fuite

III.5.2.1. Relation courant de fuite – tension appliquée

Les figures (III.9 à III.16) donnent l'évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les différentes positions et largeurs de la couche polluée.

Les courbes présentent une partie linéaire de pente donnée et une autre non linéaire.

D'autre part, nous avons également remarqué que lorsque la tension augmente, le courant de fuite augmente, et donc le système perd en grande partie son caractère ohmique.

Comme le montrent les Figures, pour la largeur critique de 25 cm et une contamination côté haute tension, côté terre et centrale. Cette largeur critique est observée pour des tensions supérieures à 21 kV. Ceci est dû au fait que l'application d'une haute tension entraîne une augmentation du nombre d'arcs apparaissant sur la plaque, ou de leur intensité, et donc l'air entre l'électrode et la couche perd son caractère isolant.

La variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée aux trois formations de la couche contaminée (la largeur de la couche polluée (5 cm 10 cm 15 cm 20 cm 25 cm) .

Cela indique que la couche centrale est plus rigide pour la haute tension et la couche de terre et cela est dû au faible courant de fuite car il y a deux zones.

cette configuration est presque identique au cas sec (pas de pollution).

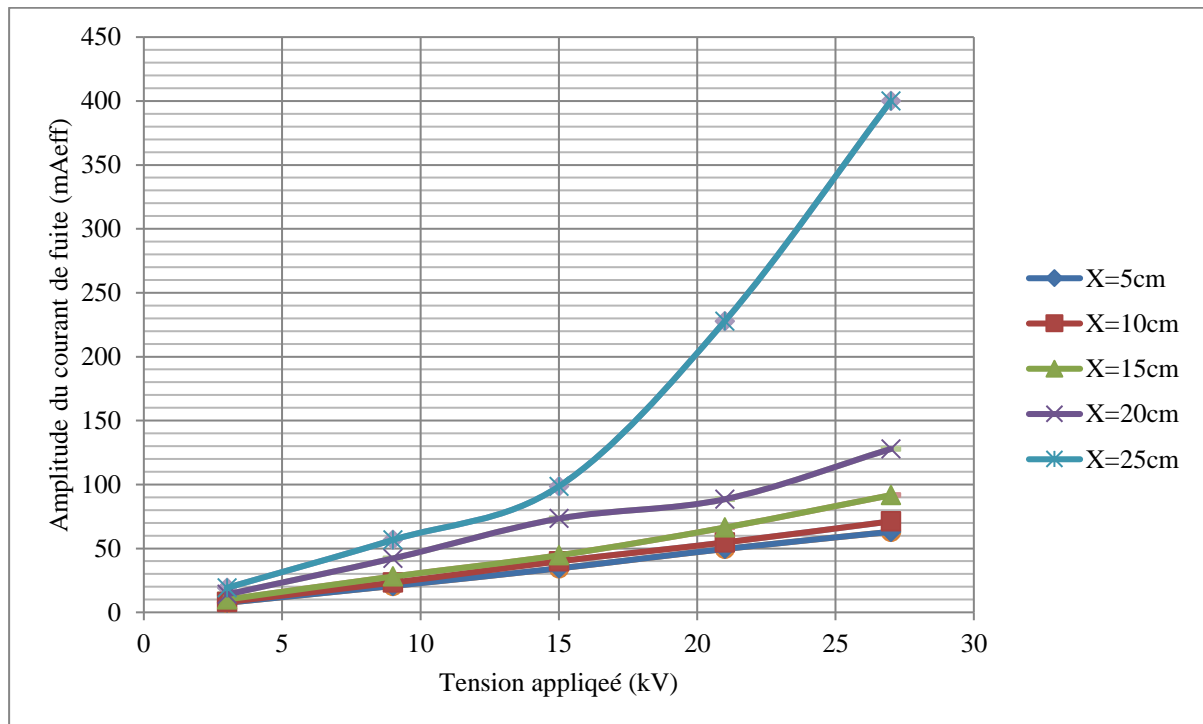


Figure III.9: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée coté haute tension.

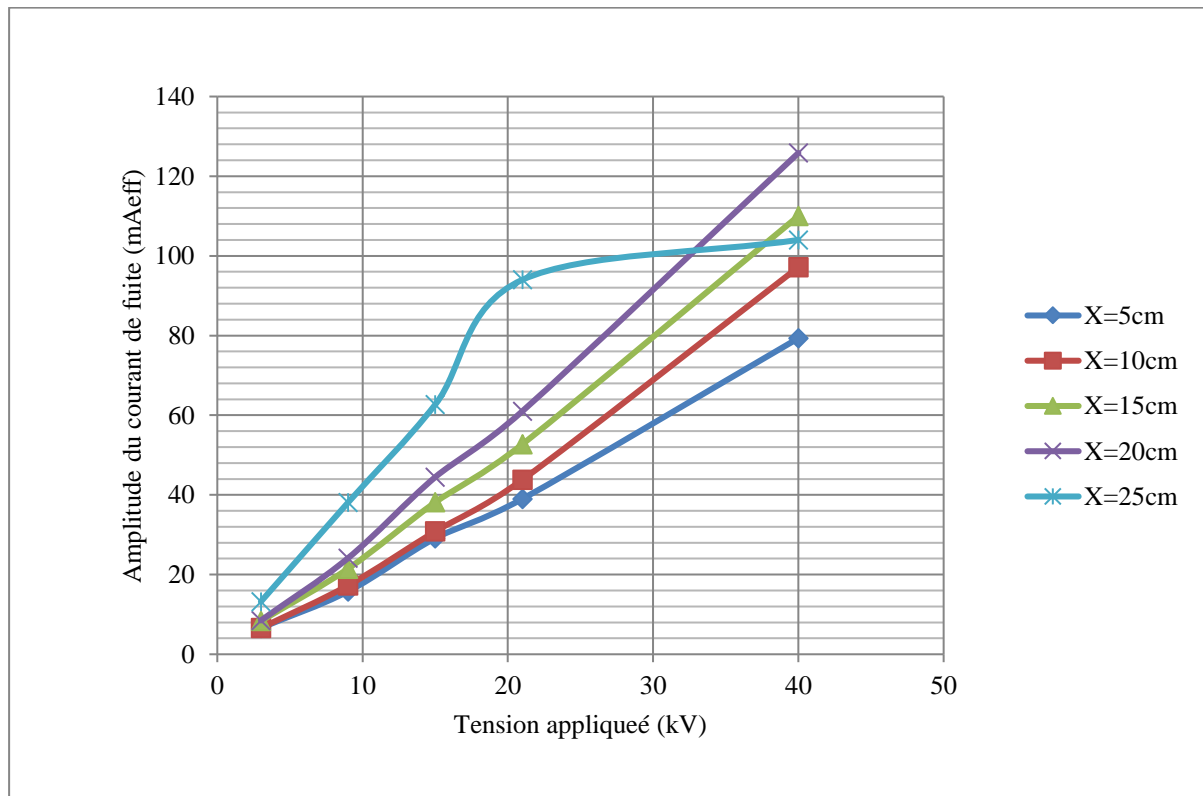


Figure III.10 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée centrale.

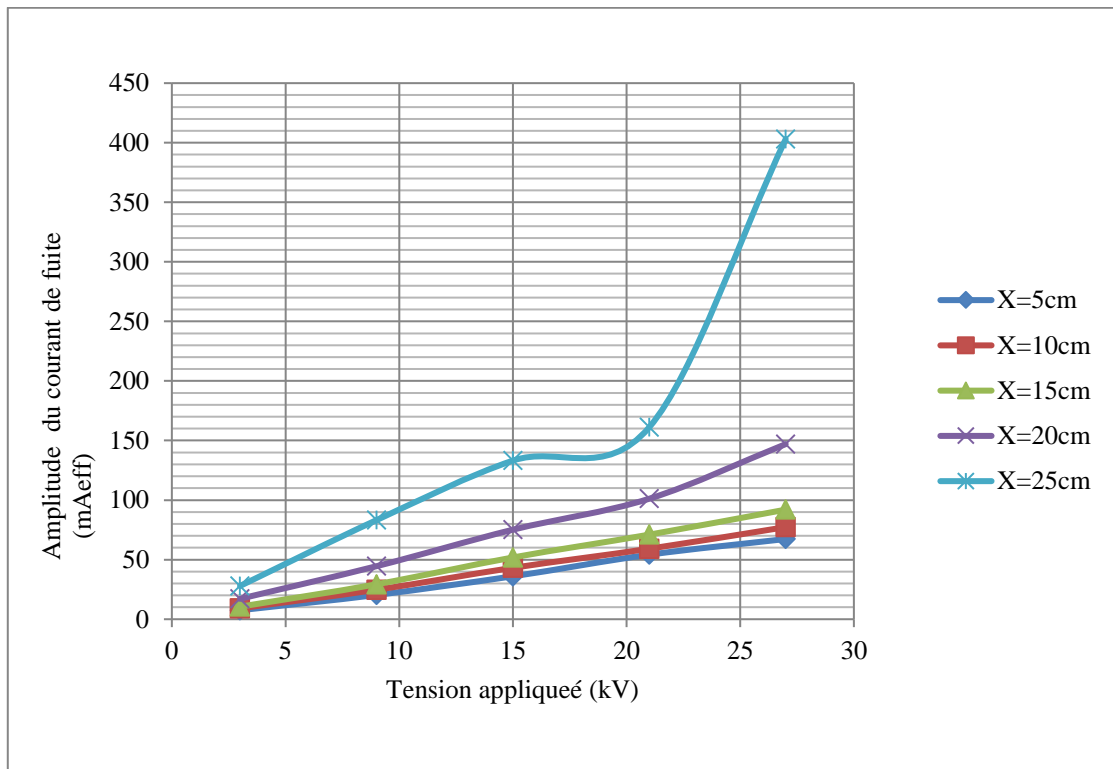


Figure III.11: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeur de la couche polluée coté terre.

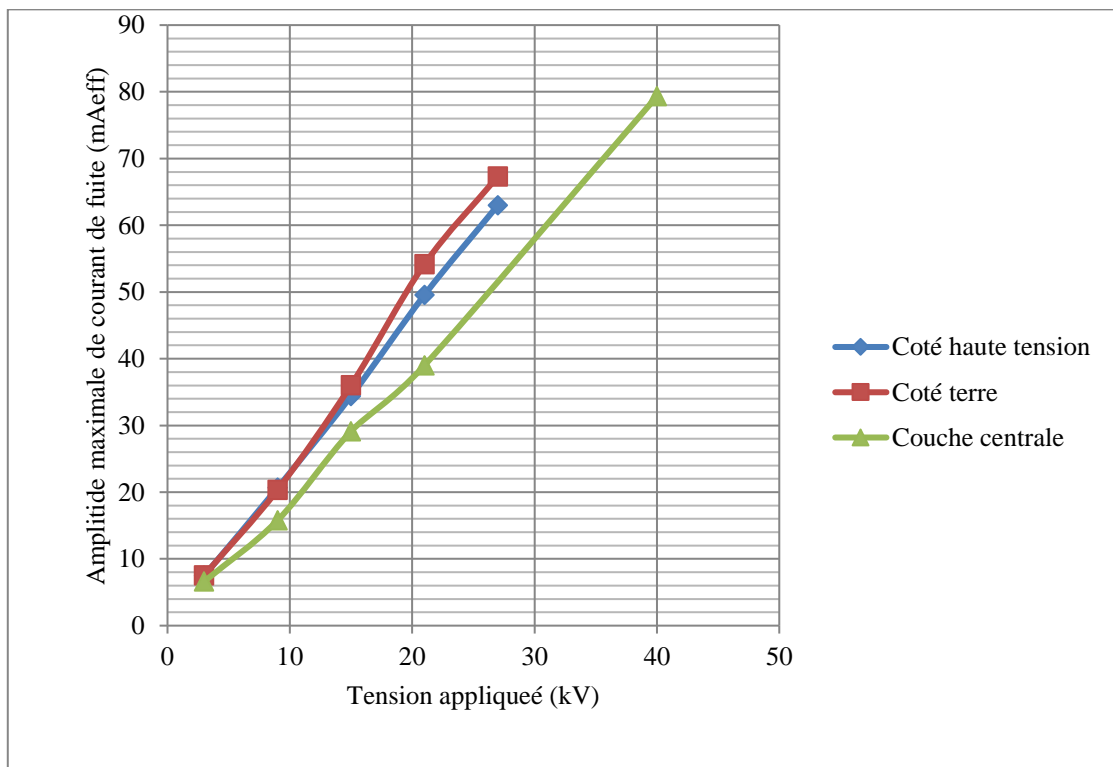


Figure III.12 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 5cm).

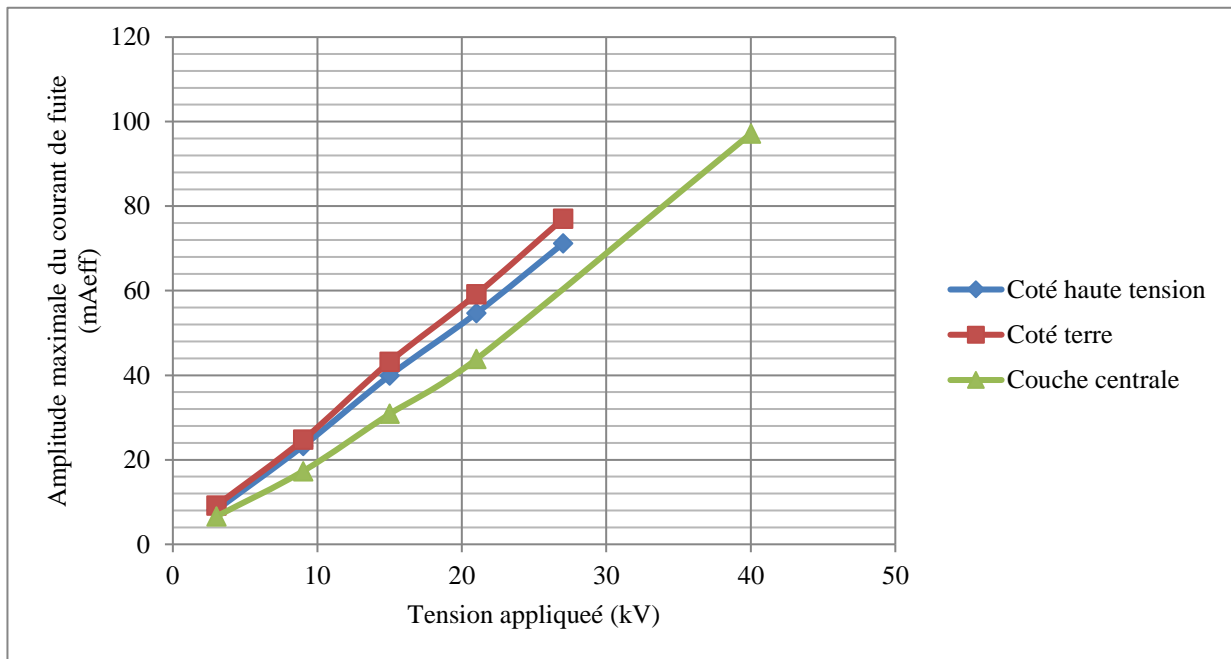


Figure III.13 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 10cm).

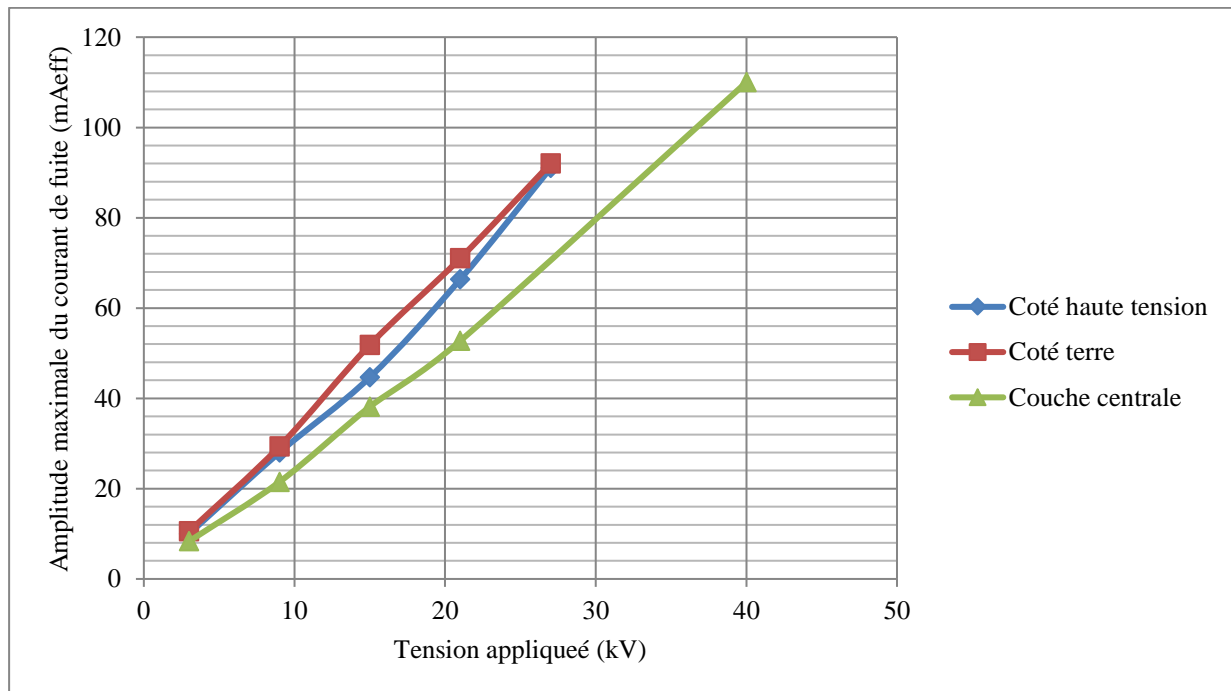


Figure III.14 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche de la polluée 15cm).

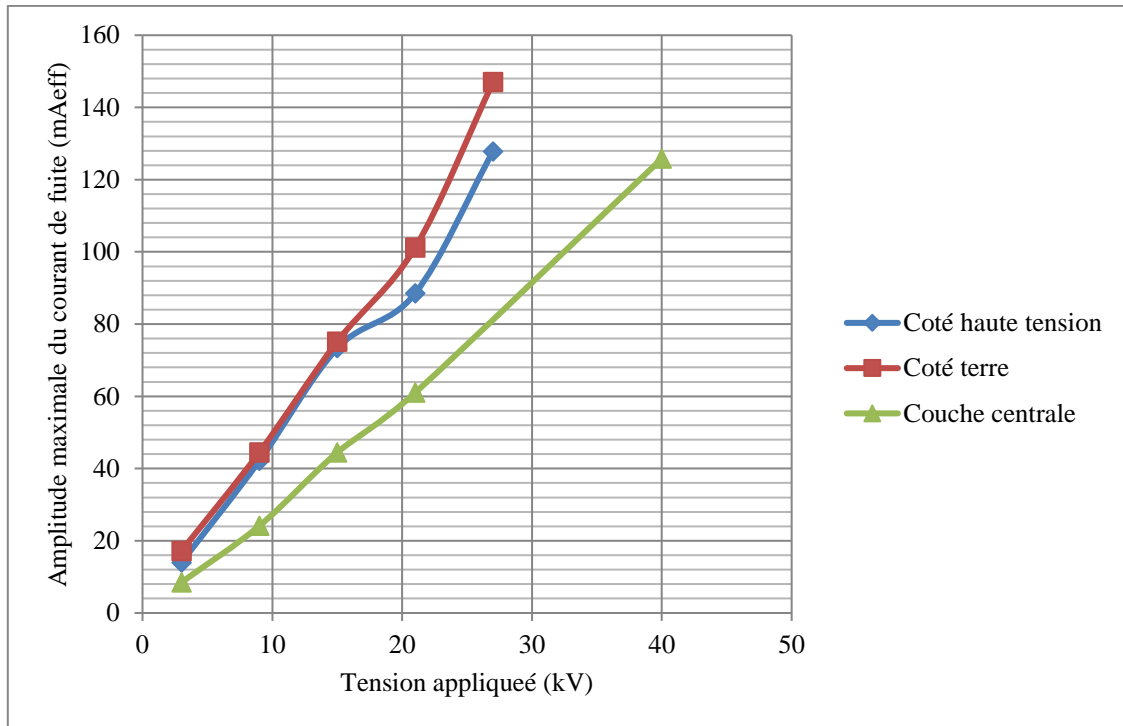


Figure III.15: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 20cm).

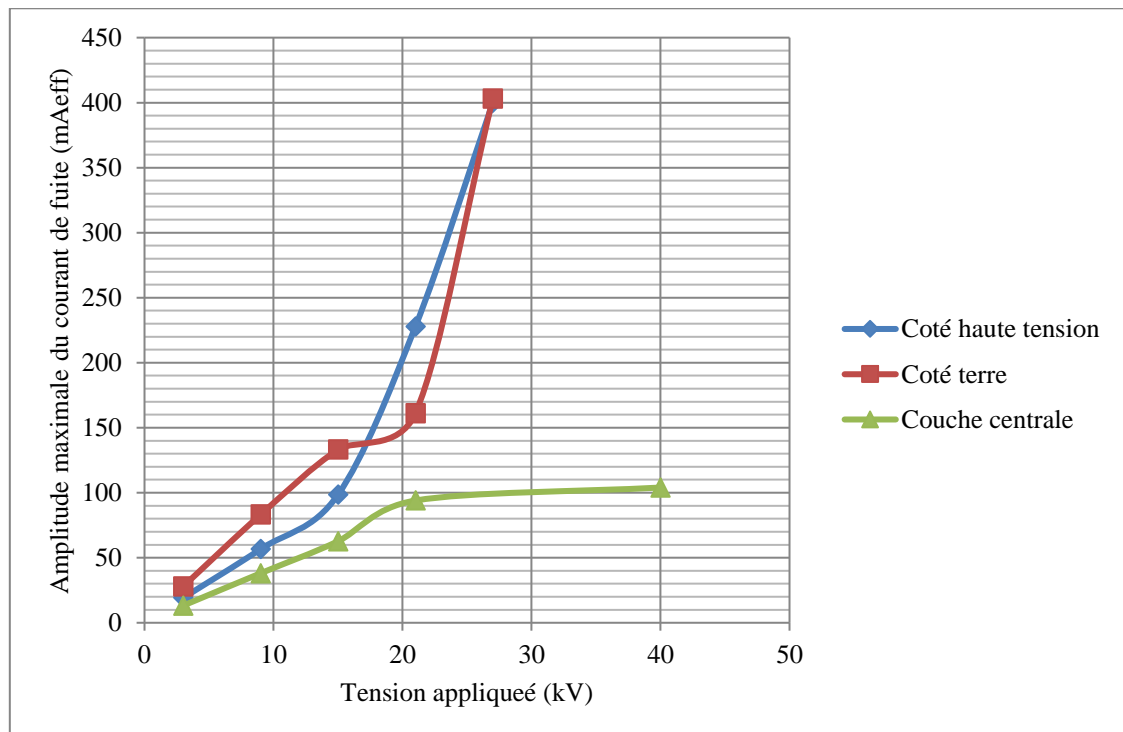


Figure III.16 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 25cm).

III.5.2.2. Relation courant de fuite – largeur de la couche polluante

L'augmentation de l'amplitude du courant de fuite peut être expliquée par la réduction significative de l'impédance totale équivalente du milieu proportionnellement à l'élargissement de la couche polluée, et ce pour chaque niveau de tension et pour les trois configurations.

Afin de montrer l'influence de la position de la couche polluée et sa largeur sur les caractéristiques d'amplitude du courant de fuite, de nombreux tests ont été effectués avec différentes tensions appliquées (3, 9, 15, 21 et 27 kV) lorsque la bande de pollution est près de coté HT et lorsqu'elle est près du Coté terre.

Pour la bande polluée centrale, les niveaux de tension appliqués sont 3, 9, 15, 21 et 40 k. Les figures (III.17 à III.19) montre l'amplitude du courant de fuite variations avec l'augmentation du niveau de tension appliqué et la largeur de la couche polluée pour les trois configurations.

On a observons que l'arc de contournement se produit dans l'air avec la formation de décharges électriques juste avant la fin contournement lorsque la largeur de la couche polluée est inférieure à 20 cm.

Lorsque la largeur de la couche polluée atteint 25 cm, le contournement processus se caractérise par la formation de parallèles décharges pour les trois configurations.

Le nombre de ces décharges augmente l'entrefer propre avec l'augmentation de la niveau de tension, puis des étincelles électriques apparaissent dans le pollué région du modèle plan après la formation de quelques bandes sèches dans lequel l'intensité du champ électrique atteint le claquage force provoquant l'apparition d'autres décharges électriques.

Enfin, des rejets parallèles progressent sur la couche polluée jusqu'à l'amorçage total avec l'augmentation du niveau de tension appliqué.

Lorsque la bande polluée est proche de l'électrode Coté HT (Figure III.17), l'amplitude du courant de fuite augmente avec l'augmentation de la largeur de la couche polluée et du niveau de tension appliqué .

Lorsque la couche polluée est proche de l'électrode de masse, les résultats expérimentaux montrent la même chose que HT pollué configuration (Figure III.18) que l'amplitude du courant augmente avec l'augmentation de la largeur de la couche polluée et appliquée niveau de tension.

le rapport de couche polluée est égal à 0,68 pour les niveaux de tension 21 et 27 kV.

Pour le Coté terre pollué bande, la magnitude du courant est la plus élevée lorsque le pollué le rapport de couche atteint 0,85 et la tension appliquée est égale à 27 kV. le processus de contournement est réalisé avec la formation de décharges électriques pour le rapport 0,85 et la tension 27 kV) dans l'entrefer situé entre la HT l'électrode et la couche polluée Coté terre.

Ceci systématiquement induit une grande élévation de l'amplitude du courant de fuite .

On remarque dans la couche centrale que la (Figure III.19) montre que l'amplitude du courant de fuite augmente avec l'augmentation de la couche polluante et du niveau de tension appliqué, et la résistance de l'isolant polluant est plus élevée si la largeur du polluant atteint 15, 20 et 25 cm et lorsque la tension est égale à 9, 15 et 21 kV .

Nous notons également que, pour les faibles tensions, à partir d'une certaine largeur de pollution, le courant augmente assez brutalement.

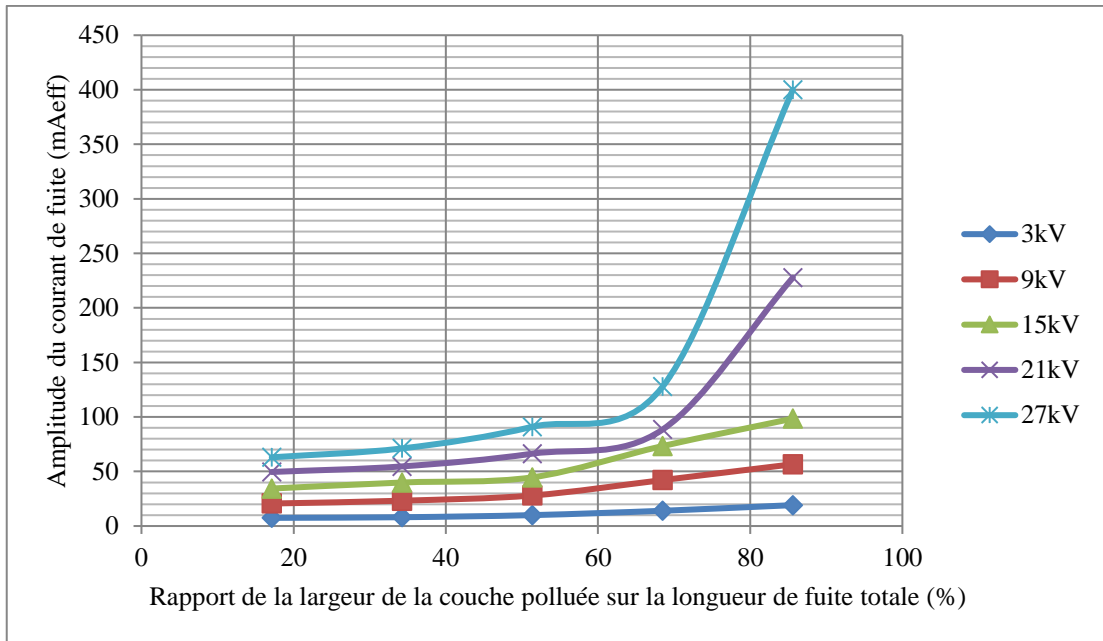


Figure III.17: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée coté haute tension).

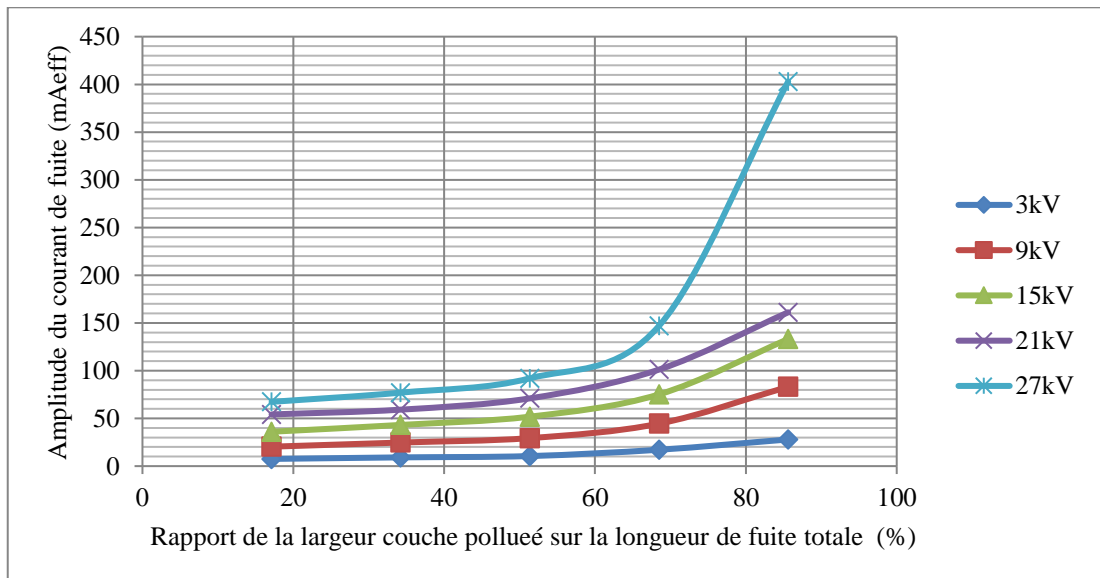


Figure III.18: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée coté terre).

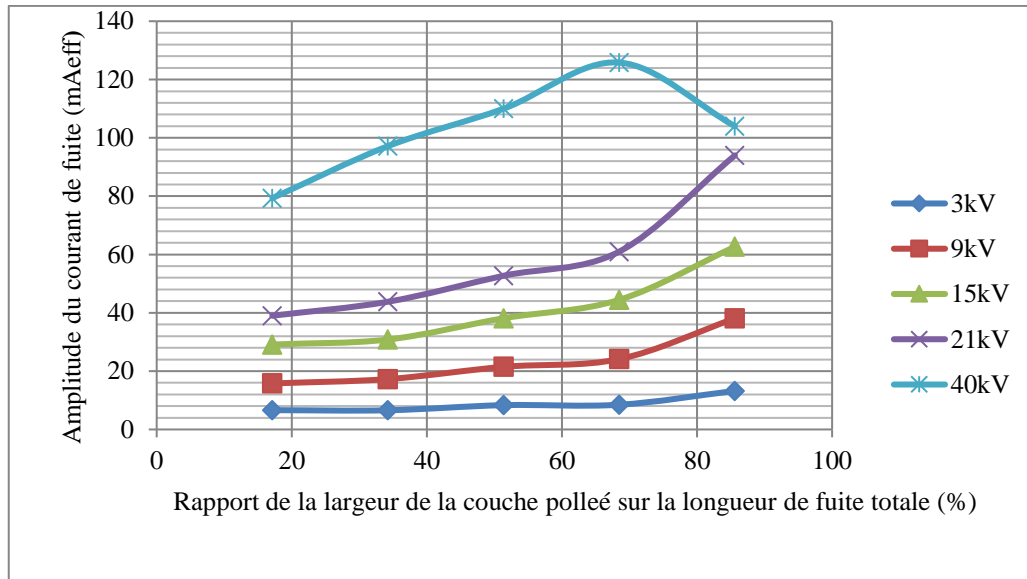


Figure III.19: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée centrale).

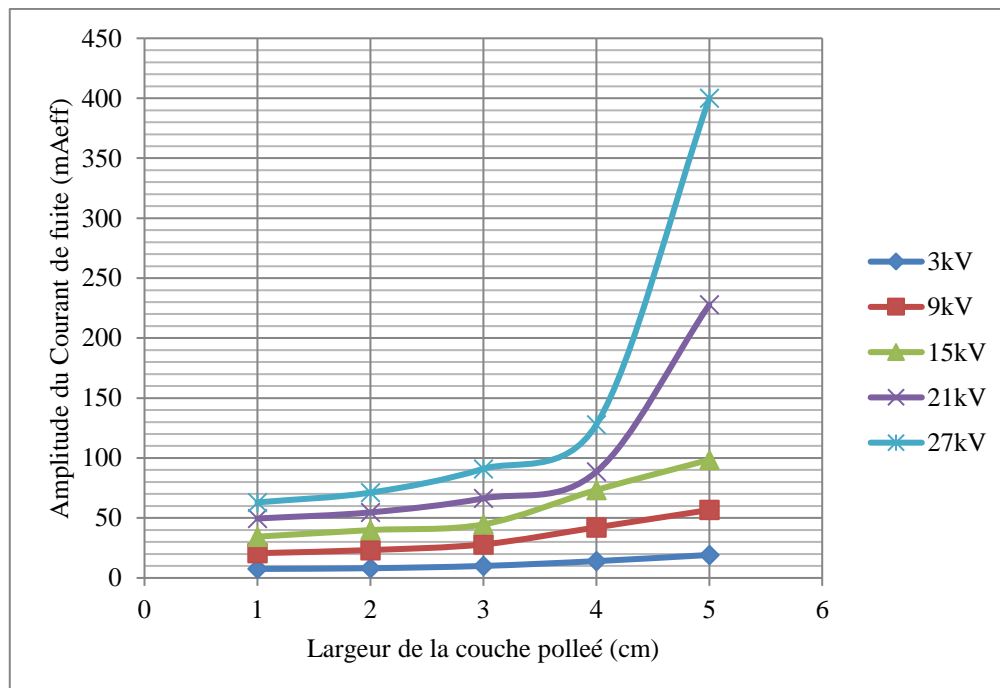


Figure III.20: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche coté haute tension).

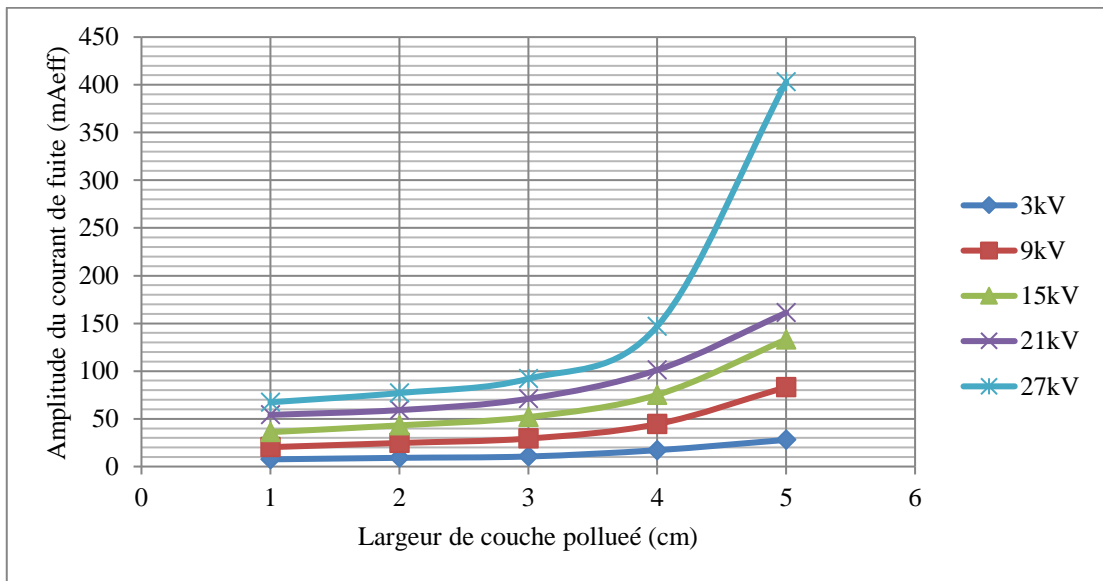


Figure III.21: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche coté terre).

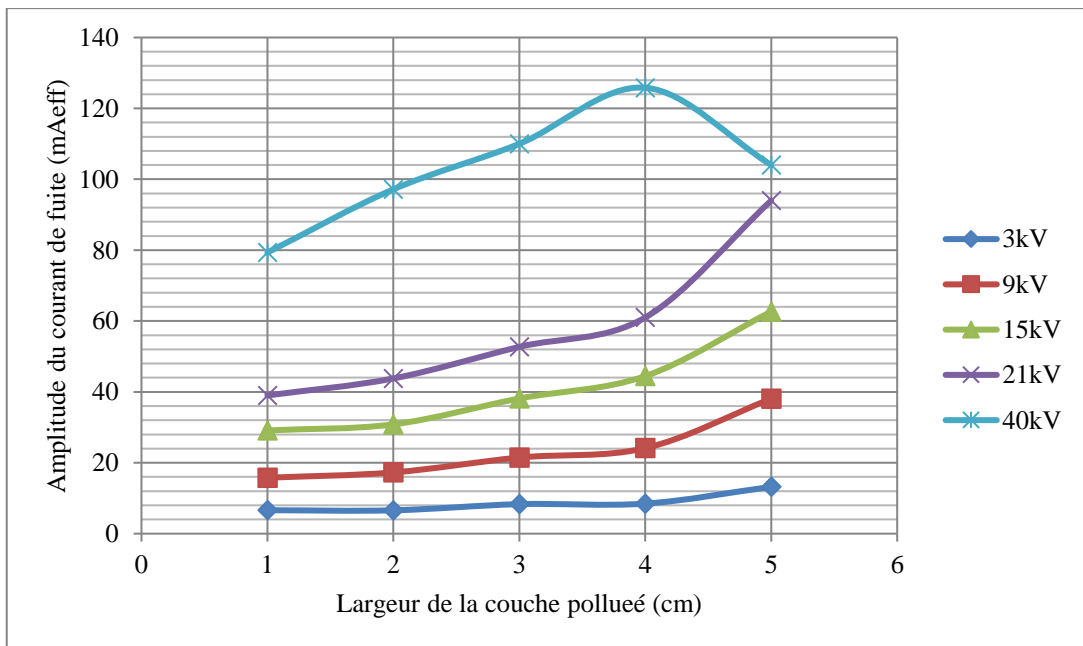


Figure III.22: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche polluée centrale).

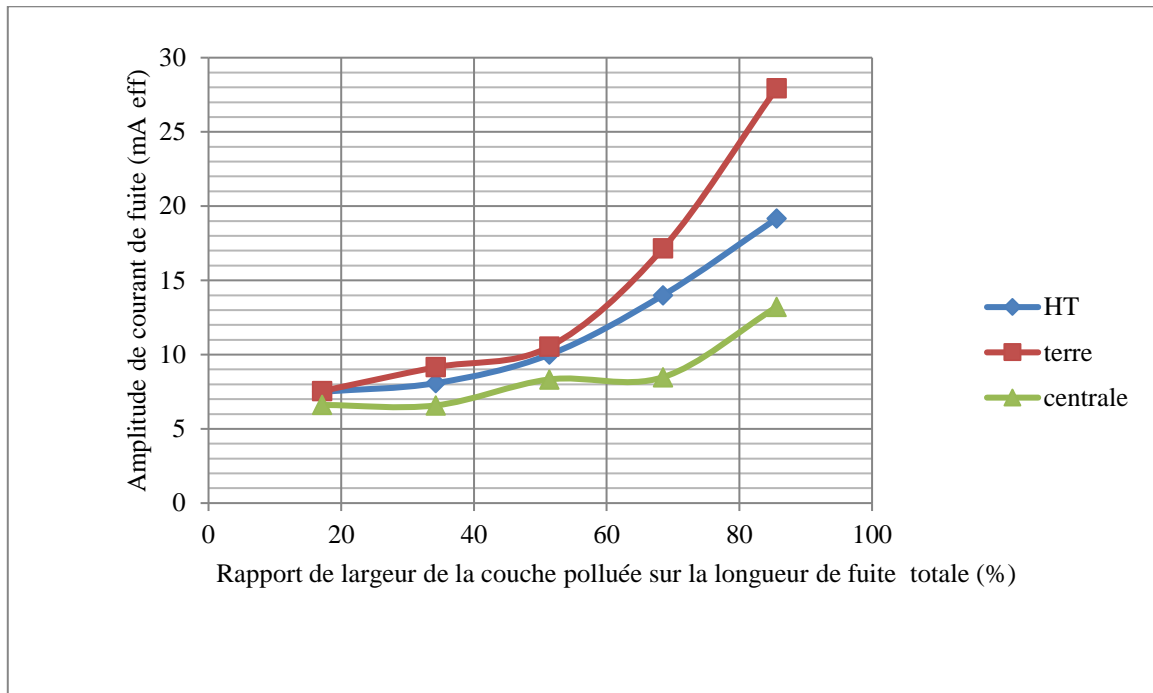


Figure III.23: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliqué 3kV).

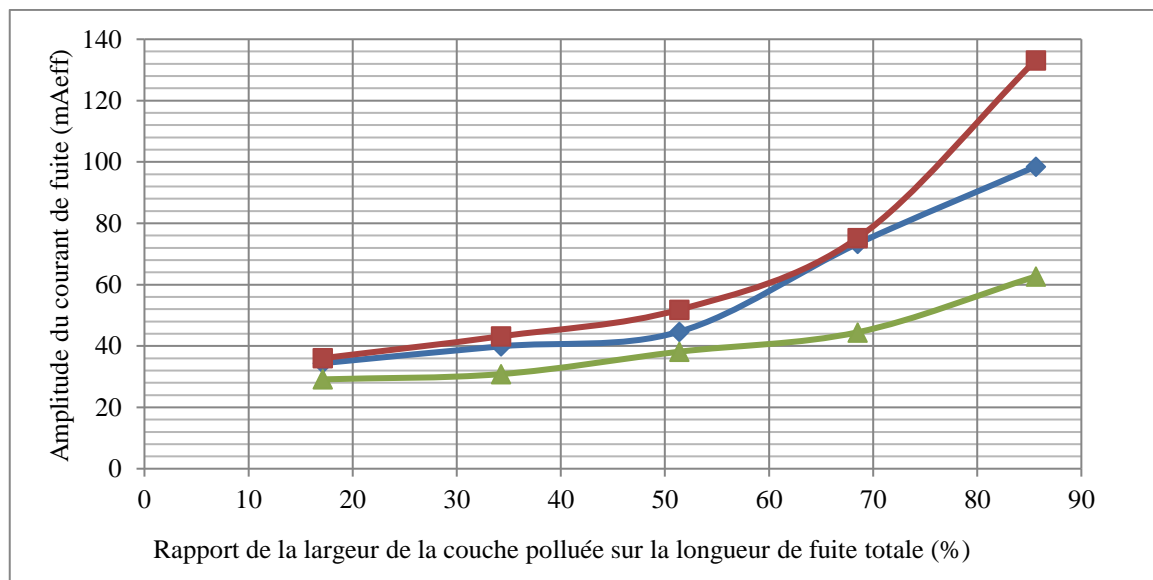


Figure III.24: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 9kV).

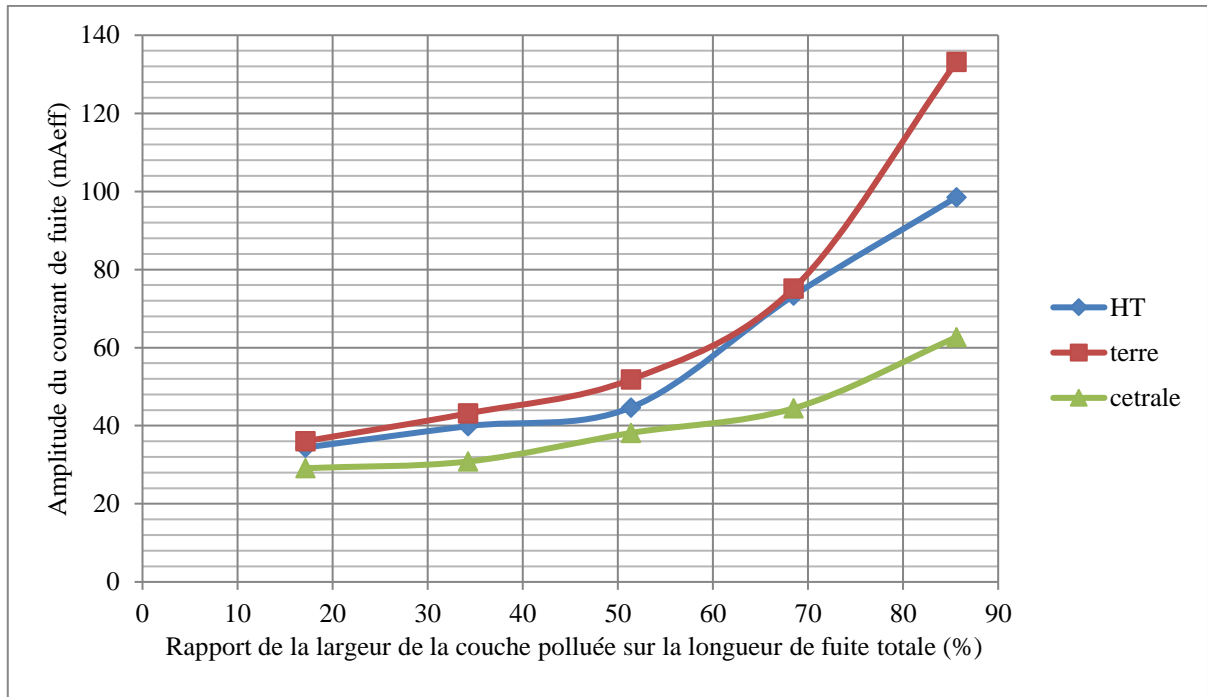


Figure III.25: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 15kV).

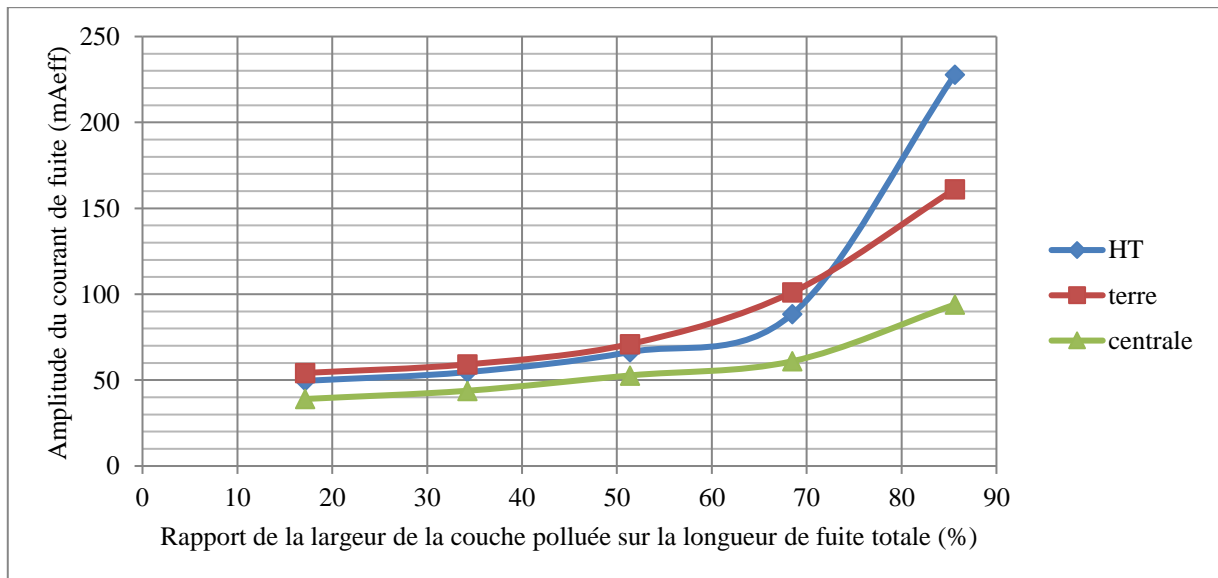


Figure III.26: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 21kV).

III.5.2.3. Relation courant de fuite – position de la couche polluante

Les figures (III.27 à III.35) montrent l'évolution de l'amplitude du courant de fuite en fonction de la largeur de la couche polluante.

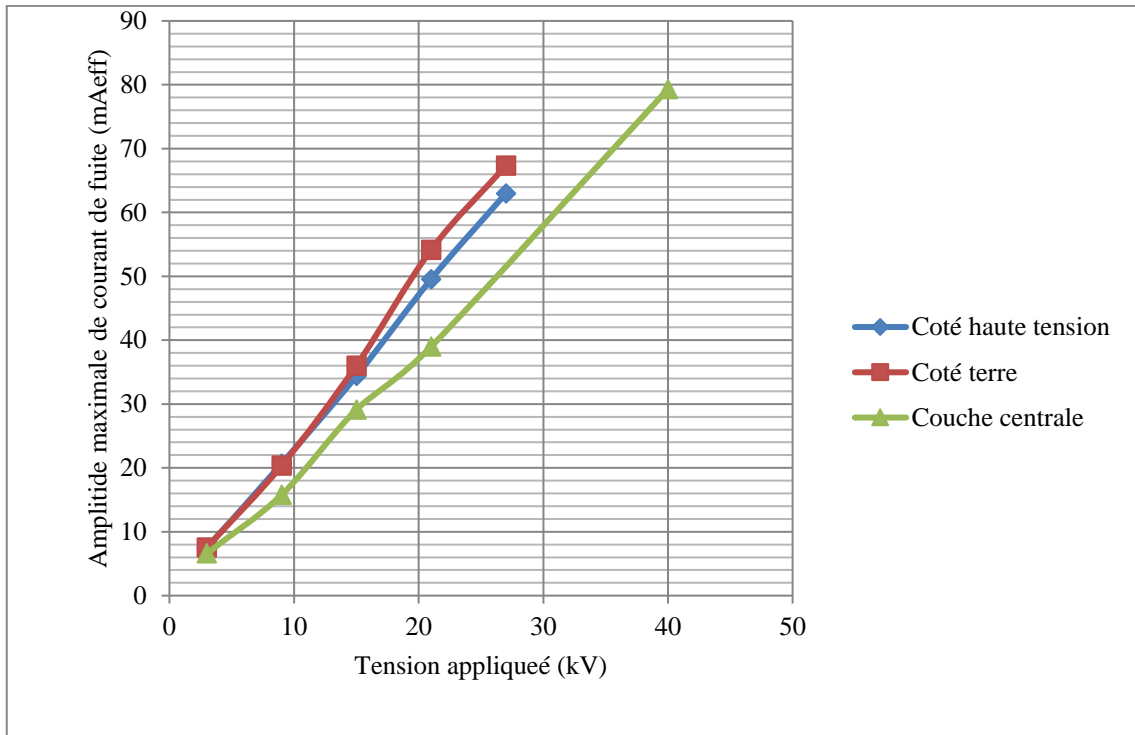


Figure III.27: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 5cm)

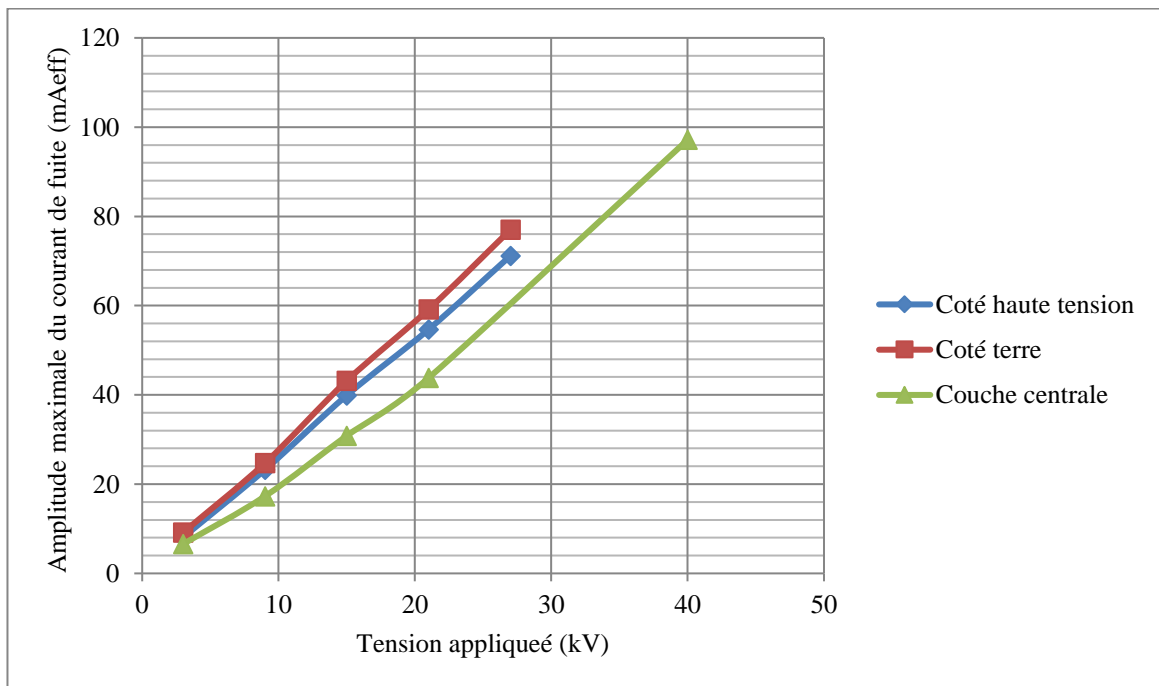


Figure III.28 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 10cm)

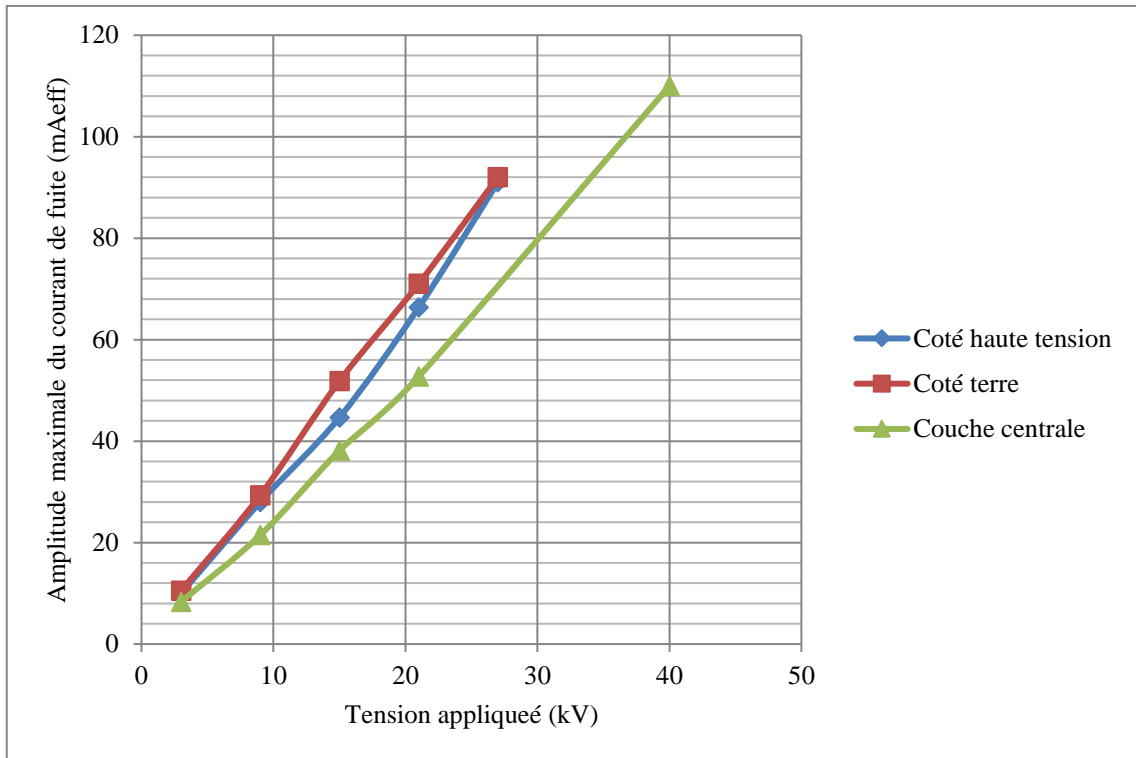


Figure III.29 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 15cm)

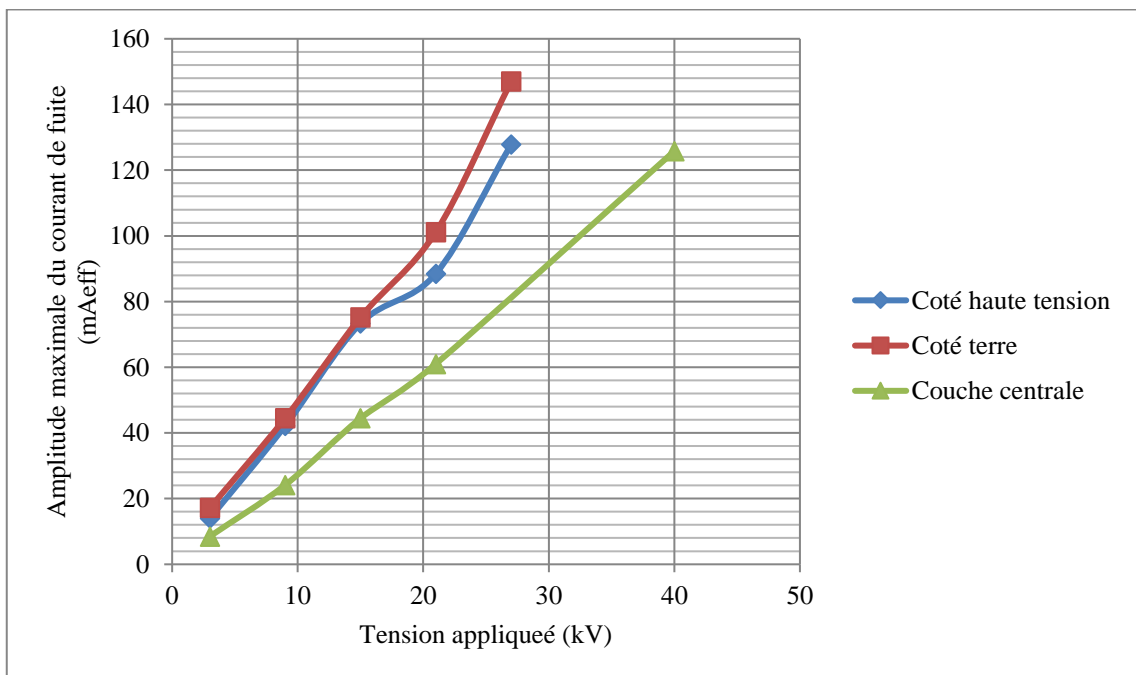


Figure III.30 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 20cm)

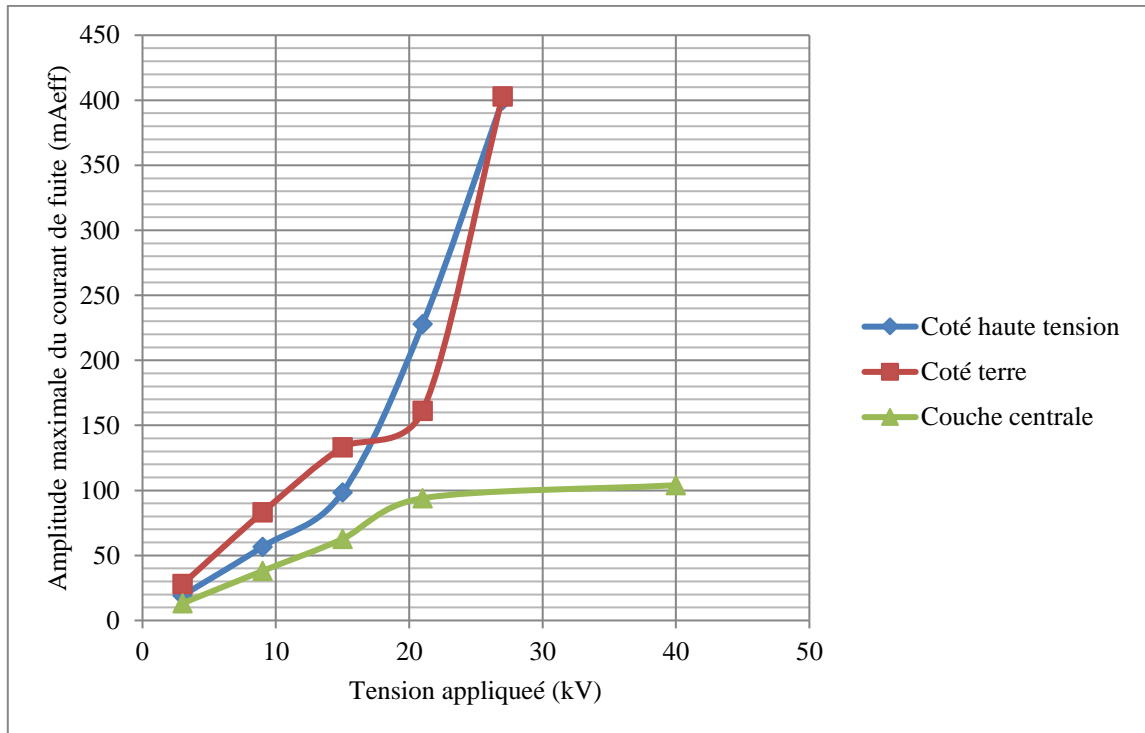


Figure III.31 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les trois configurations de la couche polluée (largeur de la couche polluée 25cm)

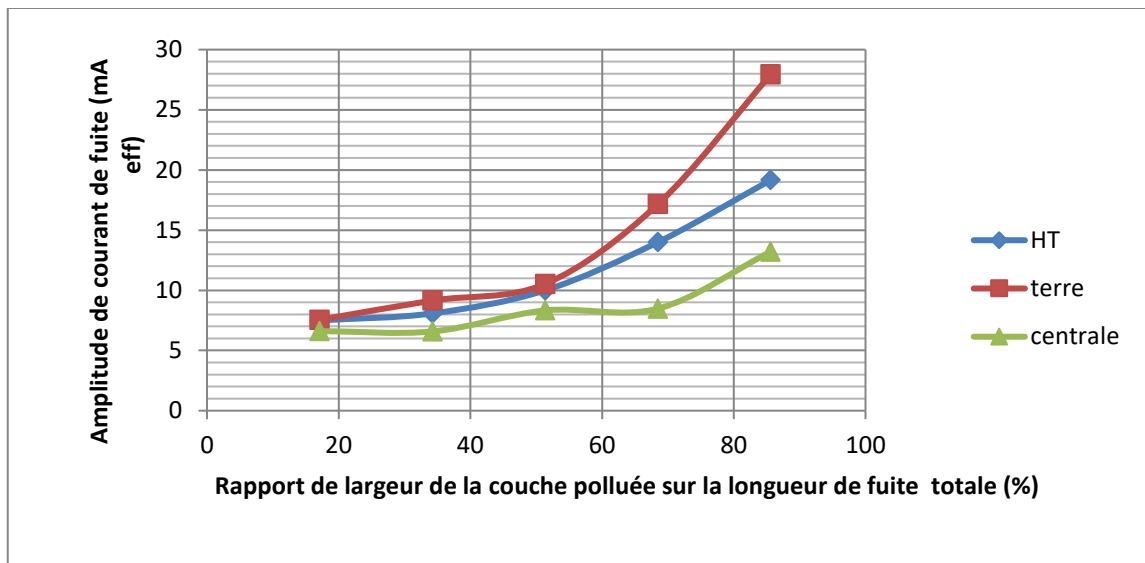


Figure III.32: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 3kV).

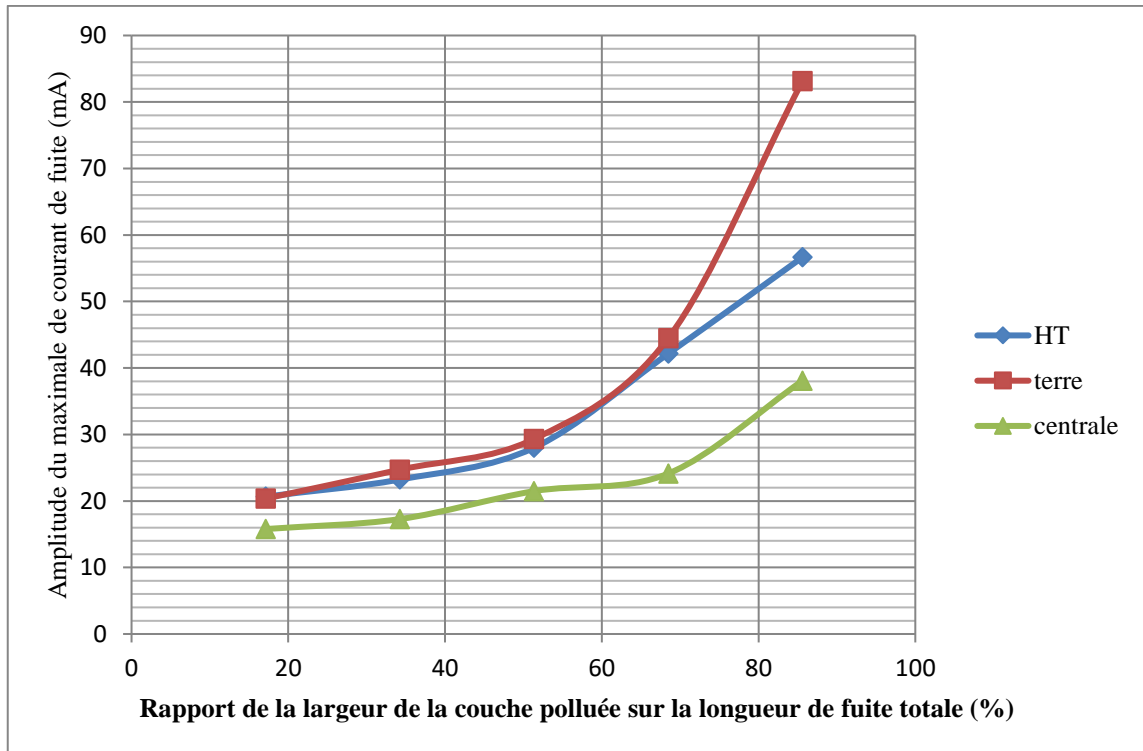


Figure III.33: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 9kV).

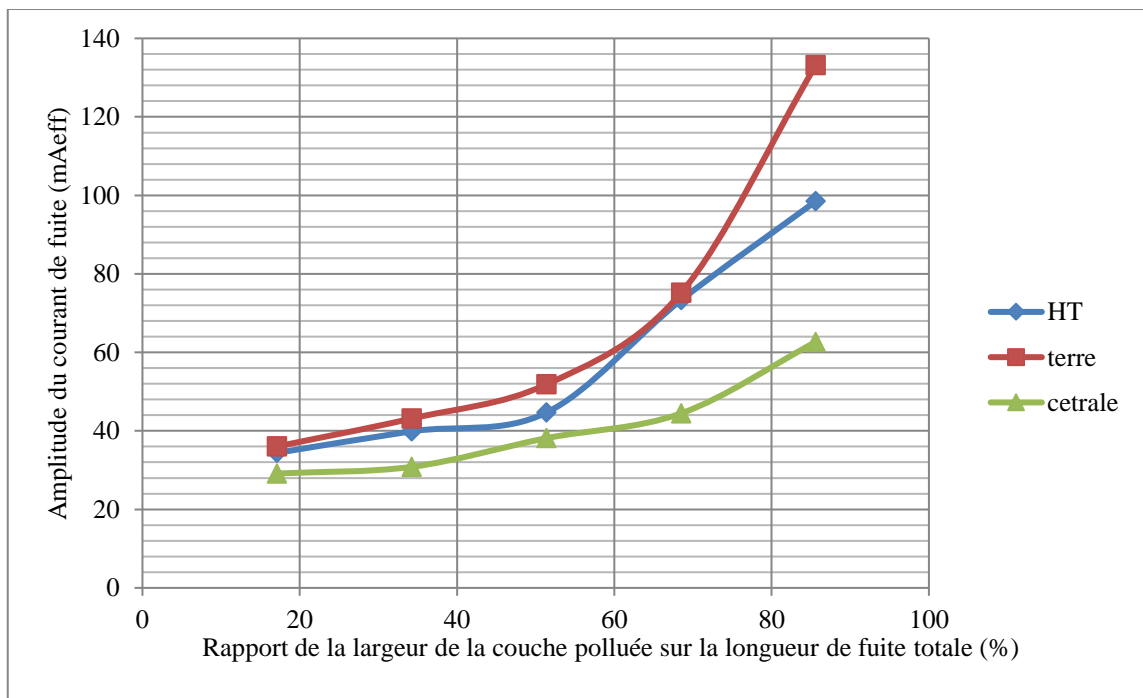


Figure III.34: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliquée 15kV).

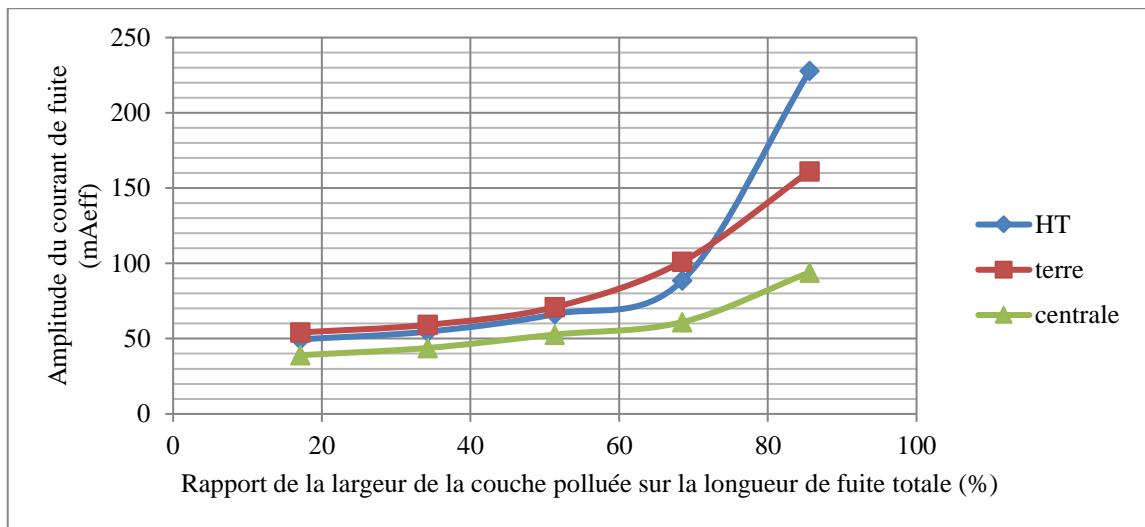


Figure III.35: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction du rapport X/L pour différentes configurations de la couche polluée (tension appliqué 21kV).

III.6 . CONCLUSION

Ce travail est consacré à l'étude des relations transversales Effet de la répartition irrégulière et de l'intensité de la pollution Couche polluée sur le comportement du modèle plat. le modèle plat simule étroitement l'isolation externe de 1512 L utilisé par sonalgaz en algérien. selon expériences menées dans un laboratoire haute tension Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

Les tests effectués sur tension de contournement ont montré que sa valeur décroît linéairement avec l'augmentation visualisez la couche polluée.

La surface isolante a la meilleure rigidité diélectrique et performances des conducteurs une couche est placée au milieu de la surface isolante et elle est la plus faible dans le cas de l'échelle terrestre polluée.

lorsque la couche contaminée est proche de HT et électrodes de terre, un flash électrique se produit à peu près la même chose valeur.

La tension d'allumage atteint une valeur minimale de les trois formations calcaires polluées lorsque 85% des pollution de la distance de fuite totale de l'isolation .

une étude de la taille du courant de fuite révèle ce la taille augmente avec l'augmentation des conducteurs afficher la catégorie et le niveau d'effort appliqué.

Décharges parallèles se produisent dans les entrefers d'air propres prédéterminés formés par couches et électrodes polluées. cela se produit lorsque le fichier

La couche polluée atteint un rapport critique de 0,85 pour les deux 27 kV (côté HT et côté terre pollué) et 40 kV couche centrale polluée).

ce phénomène augmente considérablement la taille du courant de fuite indique la distance du flash depuis l'isolateur .

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail vise à voir et démontrer l'effet de la pollution des isolants Sur flash de tension. Il est dédié à l'étude expérimentale du stress comportement des isolants en verre suspendus qui y sont exposés diverses pollutions réalisées dans le laboratoire haute tension.

Pour la pollution non-uniforme, l'augmentation de la largeur de la couche polluée pour tous les emplacements réduit l'effet capacitif et augmente l'effet résistif de l'isolateur La tension de l'isolant polluant dépend principalement de sédiments pollués et répartition de la couche de pollution en surface isolation.

La connaissance de ce degré de contamination est donc un pré-requis. évaluation préliminaire et de base du niveau d'isolation des structures installées sur celles-ci emplacement, afin de déterminer correctement le volume d'isolation. La pollution en général constitue peu de problèmes.

Cependant, lorsqu'il est humide, il provoque la dissolution des sels et formation d'une couche d'électrolyte à la surface des isolateurs, réduisant ainsi résistance diélectrique.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure sur la base des résultats des tests sur on utilise des isolateurs dont le degré de pollution affecte directement la tension envahi. en effet, l'augmentation du degré de la pollution des isolateurs réduit considérablement la tension.

La plupart des modèles traitent le problème de manière statique et reposent sur modèle proposé par Obenaus.

Bibliographie

Bibliographie:

- [1] KARA Adel, ‘‘ Contribution à l’étude d’un modèle dynamique de contournement d’un isolateur pollué’’, thèse de Magister, Université de Setif1, UFAS (Algérie), 18 décembre 2013.
- [2] BETTAHR Fatma Zohra, ‘‘ Diagnostique d’une chaîne des isolateurs de haute tension par la méthode RNA’’, mémoire de master, Université Echahid Hama Lakhder d’El-Oued, 03/06/2018
- [3] ABDELAHFID Abderrahmane, KHALFA Taïbe Amine, ‘‘ Etude expérimentation de la décharge couronne sous tension alternative 50HZ ’’, Mémoire de master, Université Echahid Hama Lakhder d’El-Oued, 03/06/2018
- [4] GUENFIS Mourad, GADOUM Samir, ‘‘ Mesure du degré de sévérité de pollution en vue du dimensionnements des Isolateurs de la région de tizirt’’, Mémoire de d’ingénieur d’état, Université Mouloud MAMMERIE de TIZI OUZOU, 2008-2009
- [5] TILIKETE Djejega, ISMIGAOUA Souhila, MECHERAK Sadia, ‘‘ Etude de la Dégradation du PMMA sous Décharges Electriques’’, Mémoire de d’ingénieur d’état, Université Mouloud Maammerie de Tizi Ouzou, 2010
- [6] HAMZA Slamet Amina, ‘‘ Contribution à l’étude du modèle développé d’un isolateur pollué’’, thèse de Magister, Université des science et de la Technologie d’Oran - Mohamed Boudiaf, 20/01/2013.
- [7] MARICH Mohamed, ‘‘ Validation de nouvelles méthodes de modélisation du contournement des isolateurs pollués’’, Thèse de Doctorat , Université des science et de la Technologie d’Oran U.S.T.O - Mohamed Boudiaf, 2017/2018
- [8] HAMMOUM Bourim, Ahmed KERBOUCHE ‘‘ Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien’’, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Electrotechnique, E N P d’alger, Juin 2007
- [9] BENHAMDOUNE Abdelmalek, ‘‘Effet de la variation du rayon de courbure des électrodes sur l’évolution des décharges électriques parallèles sur une isolation large et polluée’’, Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 30/09/2019
- [10] Saliha TOUNSI, Farida CHIKH, ‘‘ Influence du Sol sur le Comportement d’un Modèle d’Isolateur sous Tension’’, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Electrotechnique, E N P d’alger, Juin 2008
- [11] SAICHE Aïssa , ‘‘ Etude physico-chimique de la Silicone vieillie électriquement avec ou sans pollution conductrice humide’’, Mémoire de Master, Université A/Mira de Bejaia, 03 juillet 2016
- [12] MEDEKHEL Lamine, DJEDID Yacine, ‘‘ Influence Amélioration de rigidité diélectrique d’un isolateur de haute tension par le dépôt des barrières en verre’’, Mémoire de Master, Université d’El Oued, 2018 / 2019
- [13] Hani BENGUESMIA , ‘‘ Etude du Comportement d’un Isolateur de Haute Tension Soumis à Diverses Conditions de Pollution’’, thèse de Magister, Université Mohamed Khider Biskra, 11/03/2012.
- [14] Sayah MOATEZ BELLAH , ‘‘ Prédiction du contournement d’une Chaîne d’isolateur MT 175 CTV-Sonelgaz Polluée Artificiellement par la Logique Floue’’, Mémoire de Master, Université Mohamed Khider Biskra , 2013 / 2014
- [15] Mohammed Adnane DOUAR, ‘‘ Recherche de matériaux isolants pour la conception d’une nouvelle génération de connecteurs électriques Haute Tension – Influence de la pollution sur les phénomènes de décharges partielles du contournement et de claquage’’, thèse de Doctorat, L’école centrale de Lyon, 2014
- [16] Toufik BARKET , ‘‘ Intelligence en essaim, état de l’art et applications dans les matériaux diélectriques’’, Thèse de Magister, Université de Batna,
- [17] Mireille Bêchera KEYROUZ , ‘‘ Etude des matériaux isolants d’encapsulation pour la montée en température des modules de puissance haute tension’’, thèse de Doctorat, Université Toulouse III Paul Sabatier, 10 Novembre 2011
- [18] BELHOUCHE Khaled, ‘‘ Estimation des paramètres de l’arc de contournement des isolateurs pollués en utilisant l’approche génétique ‘Thèse de Magister , Université Ferhat Abbas — Sétif
- [19] DJANGDE Allawaye Max, MERAD BOUDIA Ilham, ‘‘ Dynamique d’allongement d’une décharge sur la surface faiblement polluée d’un isolateur HT’’, Mémoire de Master, Centre Universitaire d’Ain T’émouchent, 2013/2014
- [20] AOUABED Fatiha, ‘‘ Contribution à l’étude d’un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l’EMTP’’, thèse de Magister , Université Ferhat Abbas — Sétif
- [21] SATTA Samia, ‘‘ Contribution à L’étude de L’Influence de la Pollution Discontinue sur le Comportement des Isolateurs : Expérimentation et Simulation:’’, thèse de Magister , Université Ferhat Abbas — Sétif
- [22] ALLALI Salim, NAKES Yahya, ‘‘ Etude de contournement des isolateurs à haute tension’’, Mémoire de Master, Université Echahid Hama Lakhder d’El-Oued, Juin 2019
- [23] M’HAMDI Ben alia, ‘‘ Modélisation d’un Isolateur naturellement pollué sous tension

Bibliographie

- Impulsionnelle utilisant des circuit électriques équivalents”, thèse de Magister , E N P d’alger, 2007/2008
- [24] Mohammed BOUHAMAMA , “ Modélisation du countournement sur Isolateur reel pollué”, Thèse de Doctorat, Université Djillali liabes de Sidi belabbas, 01/02/2018
- [25] Redouane LADJAL, “ Comportement et Caractérisation Electriques d’un Modèle d’Isolateur sous Tension Alternative”, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Electrotechnique , E N P d’Alger, Juin 2006
- [26] Nadir KHAIRON E, Abderrahmane Djillali ZELLOUTA, “ Essais sur Isolateurs pollues et Modélisation”, Mémoire d’Ingénieur d’Etat en Electrotechnique, E N P d’Alger, 2007/2008
- [27] Ghemam Amara EL_Hadi, BEHIR Zakaria, “ Mesure du Champ électrique autour D’une chaine des Isolateurs De Haute Tension, “ Mémoire de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar d’El-Oued, Mai 2017
- [28] OUCHEN Lyamine, “ Contribution à l’étude et à l’analyse du comportement des isolateurs des lignes de transmission sous contraintes de tension, “ thèse de Doctorat, Université FERHAT ABBAS SETIF-1-, 2020
- [29] Sid Ahmed Bessedik, “ Contournement des isolateurs pollués, “ Thèse de Doctorat, Université des Science et de la Technologie d’Oran Mohamed Boudiaf, 28 juin 2015
- [30] OUIS Amel, “ Influence des Parameter Geometriques et Electriques sur le Countournement des Isolateurs, “ thèse de Doctorat, Université des sciences et de la Technologie d’Oran Mohamed Boudiaf, 2015
- [31] LAKHDAR Madani, “ Etude du comportement diélectrique des isolateurs en composite, “ thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas -SETIF 1, 2016
- [32] Marouane Jabbari, “ Développement d’un Modele Numérique Générique de Prédiction de la Tension de Countournement des Isolateurs recouverts de Glace” Thèse de Doctorat, L’ Université du Québec à Chicoutimi , Aout-2018
- [33] DILMI Abdelmalek, MAAROUF Ameer, “ Influence de la pollution sur le comportement d’un modèle plan d’isolateur sous haute tension, “ Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf – M’sila, 2017
- [34] Nabila DHAHBI ep. MEGRICHE, “ Modélisation Dynamique des Décharges sur les Surfaces d’Isolateurs Pollués sous Différentes Formes de Tension: Elaboration d’un Critère Analytique de Propagation, “ Thèse de Doctorat, L’école Centrale de Lyon, 4 Mars 1998
- [35] Rabah CHAARANI, “ Étude de l’Influence des Caractéristiques des Isolateurs sur leurs Performances électriques dans des Conditions de Givrage, “ thèse de Doctorat, L’UNIVERSITÉ DU L’ Université du Québec à Chicoutimi , 2003
- [36] Sémon diampeni kimbakala , “Modélisation dynamique des décharges se propageant sur des surfaces isolantes polluées avec des dépôt discontinus sous différentes formes des tension” , thèse de Doctorat, l’école centrale de lyon,2007
- [37] AMRANI Mohamed Lamine, “ Etude de l’évolution en bidimensionnel de l’arc électrique sur une surface diélectrique polluée”, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bâb Zouar Alger , 09/12/2019
- [38] A. MEKHALDI, “ Étude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz “, Thèse de Doctorat, ENP, décembre 1999, Alger, Algérie.