



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

**ETUDE DU COURANT DE FUITE D'UN
ISOLATEUR POLLUE SOUS HAUTE
TENSION**

Présenté par :
- ATtahir Benyettou
- Madjed Negeuz

Année Universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

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

Mes plus vifs et profonds remerciements au l'encadreur qui fut pour moi un superviseur attentif et disponible malgré ses responsabilités nombreuses. Sa compétence, sa clair voyance, son humanisme, son dynamisme, sa rigueur et sa patience m'a beaucoup appris, je lui témoigne ma respectueuse gratitude.

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

Que toute personne qui, d'une manière ou d'une autre, ma encourage et aide à l'aboutissement de ce modeste travail, trouve ici l'expression de mes sincères reconnaissances.

Dédicaces

*Chaleureusement je dédie ce modeste
Travail:*

*A la lumière de ma vie, mes chers parents
en témoignage de leur amour et de leur
sacrifices sans limites, je leurs souhaite
une bonne santé, que Dieu me les garde.*

*A la mémoire de ceux qui nous ont
quittés.*

A mes frères et mes soeurs.

A toute nos familles

A tous mes amis ...

*A tous mes collègues de la promotion
2023.*

ملخص:

في هذا العمل قمنا بمعالجة تأثير عامل التلوث على نموذج مخبري سطحي يمثل العازل 1512 ل على التوتر العالي يخضع إلى عدة عوامل كهرو هندسية. ولهذا الغرض أجريت عدة تجارب للتلوث المنتظم وغير المنتظم، نهتم من خلالها بكل من توتر الإحاطة، شدة تيار التسرب، فرق الصفحة بين التوتر وتيار التسرب وتطور عدد وطول التفريغات المتوازية. وأخيرا أنهينا هذا العمل بنمذجة تجريبية لسلوك العازل المستوي وذلك بحساب شدة تيار التسرب الأمبيري لتسهيل دراسة ظاهرة تلوث العوازل.

الكلمات المفتاحية: نموذج سطحي عازل، التلوث المنتظم، التلوث غير المنتظم، توتر الإحاطة، شدة تيار التسرب، فرق الصفحة، التفريغات المتوازية، نمذجة تجريبية.

Résumé:

Dans ce travail, nous étudions l'effet de la pollution sur un modèle plan d'isolateur 1512 L de haute tension soumis à divers paramètres électro-géométriques. Pour cela, plusieurs essais en pollution uniforme et non-uniforme sont accomplis. En premier lieu, nous nous intéressons à la tension de contournement, à l'amplitude du courant de fuite, au déphasage courant – tension et à l'évolution du nombre et de la longueur des décharges parallèles. En deuxième lieu, nous déterminons par une modélisation empirique du comportement du modèle plan sous pollution, l'impédance et le courant de fuite empiriques pour faciliter l'étude du phénomène de pollution des isolateurs.

Mots-clés : modèle plan d'isolateur, Pollution uniforme, pollution non-uniforme, tension de contournement, courant de fuite, déphasage, décharges parallèles, modélisation empirique.

Abstract:

In this work, we study the effect of pollution on a plane model of the 1512 L insulator of high voltage subjected to various electro-geometrical constraints. Many tests at High Voltage Laboratory of the ENP are carried out under uniform and non-uniform pollution in order to characterize conditions of insulating surface, by using leakage current and applied voltage waveforms. First, we study flashover voltage, leakage current magnitude, phase angle between leakage current and applied voltage and parallel discharges length and number evolution according to the applied voltage. Secondly, we determine an empirical model by calculates empirical impedance and the empirical leakage current to facilitate the study of the polluted insulators phenomenon.

Key-words: plan model, Uniform pollution, non-uniform pollution, flashover voltage, leakage current, phase angle, parallel discharges, modeling formulae.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERAL	1
CHAPITRE I : ISOLATEUR EN HAUTE TENSION	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition.....	4
I.3 le rôle d'isolateurs	4
I.4 Types d'isolateurs	5
I.5 Caractéristiques d'un isolateur.....	10
I.6 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs	11
I.7 Conclusion	15
CHAPITRE II : POLLUTION DES ISOLANTS	
II.1 Définition.....	17
II.2 Type de pollution	17
II.3 la lutte contre la pollution.....	20
II.4 Conclusion	23
CHAPITRE III : TECHNIQUE EXPERIMENTAL	
III.1 Introduction.....	24
III.2 Dispositif expérimental	25
III.3 Objet d'essai	26
III.4 Préparation des solutions polluantes	27
III.5 Procédé d'application de la couche de pollution	27
III.6 Conclusion	28
CHAPITRE IV : RESULTAT D'ESSAIS ET INTERPRETATION	
IV.1 Introduction.....	29
IV.2 Etude de la configuration uniforme de la couche de pollution.....	30
IV.3 Etude de la configuration non uniforme de la couche de pollution.....	34
IV.4 Conclusion	43
CONCLUSION GENERALE	45



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Dans le monde moderne, l'énergie est cruciale pour le développement et l'évolution de l'industrie et l'économie de la nation. Par conséquent, il y a toujours un bon équilibre entre l'augmentation de la demande et de la production d'énergie. C'est la raison pour laquelle les réseaux électriques, notamment les lignes à haute tension, revêtent une très grande importance [1].

L'électricité est généralement produite à distance des lieux où elle est utilisée. Il est nécessaire de transporter l'énergie électrique des centrales de production aux consommateurs en utilisant des lignes de transmission [2], qui sont généralement installées en aérien ou en souterrain. Outre les conducteurs, les lignes de transport et de distribution de l'énergie électrique comprennent d'autres composants essentiels, tels que les isolateurs. Les isolateurs de ligne jouent un rôle essentiel dans la garantie de la fiabilité des réseaux électriques. Effectivement, les isolateurs de ligne assurent le maintien et le soutien des conducteurs, tout en garantissant en permanence une isolation adéquate entre le conducteur et la mise à la terre, indépendamment des conditions environnementales.

Le claquage des isolateurs dans un réseau électrique peut être un problème sérieux. Lorsqu'un isolateur claque, cela peut entraîner une interruption de l'alimentation électrique, des pannes et des dommages aux équipements. Les causes du claquage des isolateurs peuvent être multiples, voici quelques facteurs courants: Surtensions, Pollution, Vieillesse, défauts de fabrication ou d'installation.

Pour prévenir les claquages d'isolateurs, il est essentiel de mettre en place des mesures de maintenance préventive. Il est recommandé de faire appel à des ingénieurs et techniciens spécialisés dans les réseaux électriques pour effectuer les

inspections, les tests et les travaux d'entretien nécessaires afin de maintenir la fiabilité et la sécurité du réseau électrique.

Le phénomène de contamination des isolateurs des lignes aériennes est un sujet de recherche significatives fondamentales. En effet, la pollution de l'isolant se forme un problème sérieux dans le fonctionnement des réseaux à haute tension. oui et restez à l'écoute Interaction entre les particules de poussière en suspension dans l'air et l'isolant, couche Des substances étrangères se déposent à la surface Lorsque cette couche est mouillée, La tension de la résistance est fortement réduite et provoque un accident très grave.

Le cause plusieurs facteurs, dont les plus importants sont le profil de l'isolant et le type de réactif polluer.

Nous avons inclus le chapitre II afin de vous aider à mieux comprendre le phénomène de la pollution.

Aperçu bibliographique des différents problèmes de pollution par les isolants. Par conséquent, il convient de le faire. Comprenez comment fonctionnent les isolateurs, comment ils sont fabriqués et les principaux types d'entre eux.

Comme source des différentes formes de pollution. Une fois cette dernière section terminée, nous.

Nous proposons quelques études réalisées par des auteurs spécifiques sous pollution artificielle.

L'organisations des chapitres :

Le premier chapitre commence par une synthèse de la littérature sur les isolateurs de haute tension.

Le chapitre II traite des phénomènes, de la nature et de la répartition de la pollution.

Le dispositif expérimental, y compris les divers outils de manipulation utilisés pour mener à bien les essais en laboratoire, est décrit dans le troisième chapitre.

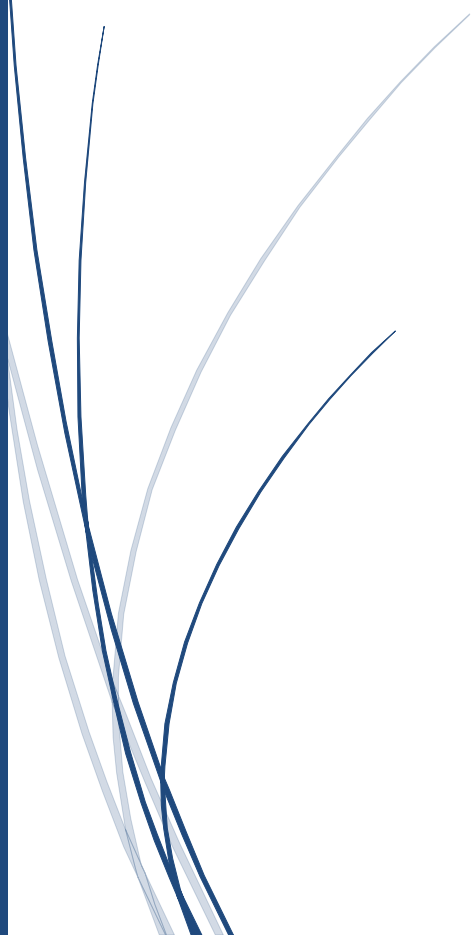
Dans le quatrième chapitre, est entièrement consacré à l'étude du comportement du modèle plan dans les cas où la pollution est uniforme avec plusieurs conductivités et non uniforme dans trois cas de figures. Nous présentons les résultats pour la tension de contournement, le courant de fuite, l'évolution de la longueur et du nombre de décharges parallèles à la surface du modèle plan et le déphasage courant de fuite-tension appliquée.

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



Chapitre I

ISOLATEUR EN
HAUTE TENSION



I.1.Introduction :

Les isolateurs haute tension sont des composants électriques essentiels dans les systèmes de transmission d'énergie électrique à haute tension. Leur fonction principale est d'isoler les conducteurs de transmission électrique de la structure de support pour éviter les pertes d'énergie et les accidents électriques.

Ces isolateurs sont utilisés dans diverses applications telles que les lignes de transmission électrique, les transformateurs, les postes électriques, les parafoudres et les disjoncteurs. Ils sont essentiels pour assurer la sécurité et la fiabilité du réseau électrique à haute tension.

En fin de compte, les isolateurs haute tension sont une composante critique du système électrique qui permet de fournir de l'électricité à travers de longues distances en toute sécurité et efficacité.

I.2. Définition :

Les isolateurs électriques sont des matériaux qui ont la propriété de ne pas conduire l'électricité. Ils sont utilisés pour isoler des éléments conducteurs les uns des autres afin d'éviter des court-circuit ou des décharges électriques potentiellement dangereuses.

Les isolateurs électriques peuvent être fabriqués à partir de divers matériaux tels que la porcelaine, le verre, le caoutchouc, le plastique, la céramique, etc. Ils sont utilisés dans une variété de domaines, tels que l'électronique, l'industrie électrique, la construction, les télécommunications et les transports, pour n'en citer que quelques-uns. Les isolateurs électriques sont essentiels pour garantir la sécurité et la fiabilité des installations électriques.

Une façon plus simple de définir un matériau isolant est de dire qu'il est caractérisé par une résistivité électrique très élevée [10].

I.3. Le rôle d'isolateurs :

Les isolateurs ont deux fonctions principales :

- Les isolateurs jouent un rôle essentiel en empêchant le courant électrique qui circule à travers les câbles électriques haute tension (HT) et très haute tension (THT) de se propager vers les pylônes. Cela permet d'isoler les pylônes du courant électrique et de prévenir tout court-circuit ou dommage potentiel aux structures des pylônes.

- Ils servent à attacher les câbles aux pylônes en résistant aux mouvements provoqués par les effets du vent, de la neige ou du givre, assurant ainsi la stabilité des câbles.

I.4. Types d'isolateurs :

I.4.1. Isolateurs de type rigide :

Dans le cas d'un isolateur rigide, il est attaché au support à l'aide d'une ferrure fixe. Les isolateurs rigides normalisés sont généralement livrés avec une douille scellée, ce qui leur permet d'être directement vissés sur les ferrures correspondantes [2]. Cela assure une connexion sécurisée et stable entre l'isolateur rigide et le support.



Figure I.1 : Isolateurs de type rigide

I.4.2. Isolateurs supports :

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, les éléments conducteurs autres que les lignes [2]



Figure I.2 : Isolateurs supports

I.4.3. Isolateurs de traversées :

Les isolateurs de traversées sont des composants isolants conçus pour faciliter le passage d'un câble ou d'un conducteur sous tension à travers un obstacle qui peut être plus ou moins conducteur, tel qu'un mur, une paroi ou le couvercle d'un bac (comme dans le cas d'un transformateur). Leur rôle est d'assurer une isolation adéquate afin d'éviter tout court-circuit ou contact indésirable avec l'obstacle conducteur [2]



Figure I.3: Isolateurs de traversées

I.4.4. Isolateurs de lignes aériennes :

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes [2].



Figure I.4: Isolateurs de lignes aériennes

I.4.5. Isolateurs à capot et tige :

Chaque élément de l'isolateur se compose d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. La conception de la tête de l'isolateur est spécialement conçue de manière à ce que les forces de traction exercées sur celui-ci soient converties autant que possible en compression des diélectriques présents. Cependant, il est inévitable que certaines contraintes de cisaillement se produisent sur les diélectriques [2].



Figure I.5 : Isolateurs à capot et tige

I.4.6. Isolateur à long fût :

Ce type peut être soit:

1. L'isolateur est constitué d'un cylindre plein en céramique ou en porcelaine, qui comporte des ailettes. À chaque extrémité de l'isolateur, il y a une pièce métallique de liaison. Ces pièces métalliques assurent la connexion entre l'isolateur et les autres composants du système électrique. La pièce métallique de liaison peut prendre la forme d'un capot scellé qui entoure les extrémités tronconiques prévues sur le cylindre de l'isolateur. Alternativement, elle peut également prendre la forme d'une tige scellée dans une cavité spécialement conçue à cet effet. Ces configurations permettent d'assurer une connexion sûre et fiable entre l'isolateur et les autres éléments du système électrique. Ces types d'isolateurs peuvent être utilisés individuellement ou en série, en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis. En fonction des besoins spécifiques en matière d'isolement et de la longueur requise, plusieurs éléments d'isolateurs peuvent être combinés pour former une série, assurant ainsi un niveau d'isolement adéquat pour le système électrique. [2]

2. Ces isolateurs sont fabriqués à partir d'un matériau synthétique qui présente plusieurs caractéristiques clés. Il se distingue par sa bonne résistance à la pollution, sa compacité, sa résistance au vandalisme et sa légèreté, notamment par rapport aux chaînes d'isolateurs utilisées pour les lignes de tension électrique élevée. Ces propriétés font des isolateurs en matériau synthétique un choix efficace et pratique pour assurer l'isolement dans diverses applications électriques. Ce type d'isolateur est couramment appelé isolateur composite, car il est composé de trois parties distinctes qui remplissent des rôles spécifiques [2] :

- Le noyau central de l'isolateur composite est constitué de fibres de verre imprégnées de résine. Ce noyau en fibre de verre joue un rôle crucial en assurant l'isolation électrique nécessaire et en supportant les charges mécaniques générées par les conducteurs. Il offre une résistance élevée tout en maintenant sa stabilité structurelle face aux contraintes mécaniques.

- L'isolateur composite comprend également un revêtement en élastomère, généralement en EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), qui est vulcanisé à chaud. Ce revêtement en élastomère donne au profil de l'isolateur sa forme spécifique et définit la ligne de fuite nécessaire pour assurer l'isolation électrique adéquate. En plus de cela, il protège le noyau contre les agressions extérieures et assure l'étanchéité lors de la connexion avec les pièces métalliques d'extrémités. Cela garantit la durabilité et la performance de l'isolateur composite dans différentes conditions environnementales. Le profil à ailettes alternées de l'isolateur composite contribue à améliorer sa résistance à la pollution. Ces ailettes alternées sont conçues pour minimiser l'accumulation de saletés, de poussières ou d'autres contaminants sur la surface de l'isolateur. Cela permet de maintenir une isolation efficace même dans des environnements pollués, en réduisant les risques de décharge électrique ou de défaillance due à une accumulation excessive de pollution. Ainsi, le profil à ailettes alternées joue

un rôle essentiel dans l'amélioration de la performance de l'isolateur composite en conditions de pollution. Pour le montage de l'isolateur et la transmission des efforts mécaniques, des pièces métalliques sont utilisées. Ces pièces métalliques sont généralement fabriquées en fonte malléable ou en acier forgé galvanisé à chaud. Elles assurent la solidité et la stabilité de l'ensemble de l'isolateur, en supportant les charges mécaniques générées par les conducteurs et en assurant une connexion sécurisée avec les autres composants du système électrique. Les pièces métalliques sont donc essentielles pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité de l'isolateur.



Figure I.6 : Isolateur à long fût

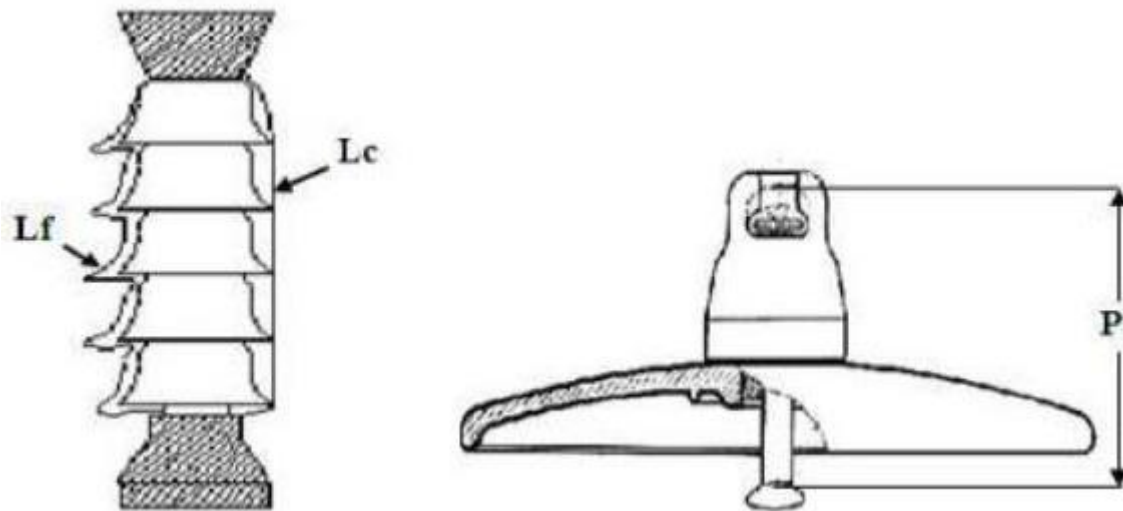
I.5. Caractéristiques d'un isolateur :

Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essais d'isolateurs, on peut citer:

Le pas P : Effectivement, la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne est appelée "distance de chaînage". Cette distance est essentielle pour déterminer la longueur totale d'une chaîne d'isolateurs lorsque le nombre d'isolateurs est donné.

La ligne de fuite L_f : Il s'agit de la distance la plus courte, en fonction des contours de la surface externe des pièces isolantes, mesurée entre les pièces métalliques.

La ligne de contournement L_c : C'est la plus petite distance dans l'air entre deux. Pièces. Conductrices [3].



I.7Caractéristiques d'un isolateur

I.6. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs :

Il existe plusieurs isolateurs solides qui peuvent être utilisés pour fabriquer des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais au cours des dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux principaux désavantages qui sont. : la lourdeur des isolateurs et la difficulté de détecter l'amorce [10]. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [3].

I.6.1. Céramiques :

La mise au point et la fabrication de la céramique ont une longue histoire en raison de leurs performances.

Effectivement, dans les endroits où des pressions mécaniques importantes sont présentes, il est préférable d'utiliser des céramiques de haute précision pour les isolateurs. Les céramiques de haute précision sont caractérisées par une fabrication et une finition minutieuses, ce qui leur confère des propriétés mécaniques et électriques supérieures.

Dans le cas des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel et des transformateurs de puissance qui traversent les stations, les céramiques de haute précision sont utilisées pour assurer une isolation fiable et une protection efficace des équipements. Voici quelques raisons pour lesquelles les céramiques de haute précision sont préférées dans ces applications :

1. Résistance mécanique élevée : Les céramiques de haute précision sont généralement fabriquées à partir de matériaux spéciaux tels que l'alumine (oxyde d'aluminium) ou le nitrure de silicium, qui offrent une résistance mécanique élevée. Elles sont capables de supporter des pressions mécaniques importantes sans se déformer ni se briser, assurant ainsi la stabilité structurelle des isolateurs.
2. Isolation électrique supérieure : Les céramiques de haute précision présentent une excellente isolation électrique. Elles sont conçues pour fournir une barrière efficace contre les courants électriques, prévenant ainsi les fuites de courant et les risques d'arc électrique. Cette isolation électrique supérieure garantit la sécurité des équipements et des personnes à proximité.
3. Stabilité thermique : Les céramiques de haute précision sont capables de résister à des variations de température importantes. Elles conservent leurs propriétés mécaniques et électriques même dans des conditions de

fonctionnement extrêmes, ce qui les rend adaptées aux environnements où des températures élevées peuvent être présentes.

4. Résistance à l'usure et à la corrosion : Les céramiques de haute précision sont généralement résistantes à l'usure et à la corrosion. Elles sont capables de maintenir leurs performances à long terme, même en présence de conditions environnementales agressives telles que l'humidité, la poussière, les produits chimiques, etc.

En utilisant des céramiques de haute précision dans les isolateurs des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel et des transformateurs de puissance qui traversent les stations, on assure une performance fiable et une durabilité accrue. Ces céramiques offrent une combinaison optimale de résistance mécanique, d'isolation électrique et de stabilité thermique, répondant ainsi aux exigences spécifiques de ces applications critiques dans lesquelles des pressions mécaniques importantes sont présentes.

I.6.2. Verres :

Le verre est un matériau inorganique qui se présente sous forme solide, bien qu'il ne soit pas un solide cristallin mais plutôt un liquide amorphe. Il est composé principalement de dioxyde de silicium (SiO_2), un polymère thermoplastique. Le quartz, une forme naturelle de SiO_2 , est une source courante de verre.

Dans la structure du verre, chaque atome de silicium est situé au centre d'un tétraèdre et est lié à quatre atomes d'oxygène.

Le verre est couramment utilisé comme matériau isolant dans les lignes à haute et moyenne tension. L'un de ses principaux avantages réside dans sa capacité à permettre une détection aisée de ses défauts, grâce à sa transparence à la lumière visible.

Il existe deux types de verre couramment utilisés pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

I.6.2.1. Verre recuit :

Le verre recuit a principalement été utilisé pour les isolateurs rigides. Malheureusement, il a été constaté que les isolateurs d'épaisseur importante ne résistaient pas aux variations soudaines de température.

De plus, le verre recuit présente une capacité limitée à supporter des tensions mécaniques élevées, ce qui rend son utilisation inappropriée pour les isolateurs de suspension.

I.6.2.2. Verre trempé :

Le verre trempé présente une résistance mécanique à la traction environ 5 à 6 fois supérieure à celle du verre recuit, ce qui lui permet de supporter des variations brusques de température allant jusqu'à 100°C..

Ces dernières années, l'utilisation des isolateurs en matériaux synthétiques a suscité un intérêt croissant.

Il convient de mentionner les développements réalisés dans le monde pour créer des isolateurs fiables à partir de ces matériaux synthétiques.

I.6.3. Matériaux synthétiques :

Les isolateurs composites, également connus sous le nom d'isolateurs hybrides, sont composés d'un noyau en fibre de verre imprégnée de résine, ce qui confère à l'isolateur sa résistance mécanique, ainsi que d'une enveloppe en matériaux synthétiques isolants.

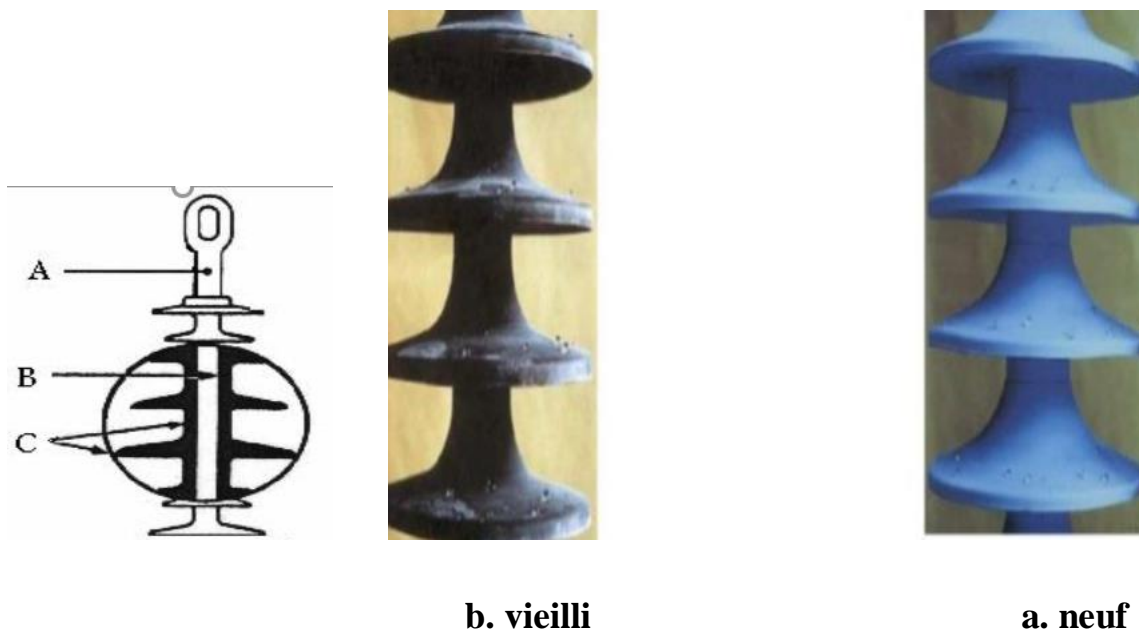
A: Les pièces d'accrochage métalliques.

B: Le noyau en fibre de verre imprégnée de résine.

C: Le revêtement à ailettes en matériaux synthétiques

Ces isolateurs offrent l'avantage d'être à la fois légers et dotés d'une résistance mécanique élevée grâce à leur noyau. Ils présentent de bonnes propriétés hydrophobes, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans des conditions de pollution très sévères.

Toutefois, l'utilisation des isolateurs est entravée par le vieillissement qu'ils subissent en raison des diverses contraintes auxquelles ils sont exposés, telles que les contraintes électriques, mécaniques et atmosphériques. Ce vieillissement représente un inconvénient dans leur utilisation [2].



I.7. Conclusion :

Effectivement, les isolateurs représentent un pourcentage relativement faible du coût total d'une ligne aérienne de moyenne tension. Cependant, leur performance est essentielle pour assurer une bonne isolation et éviter les pertes d'énergie.

Les isolateurs dotés des meilleures propriétés d'auto-nettoyage sont les plus adaptés à un environnement donné. Ces isolateurs sont capables de réduire

le dépôt de contaminants, ce qui limite les risques de dégradation de leur surface et de diminution de leurs performances.

Il est important de noter que le comportement des isolateurs sous haute tension diffère de celui à basse ou moyenne tension. Dans le cas des dispositifs de haute tension, la pollution des isolateurs revêt une importance particulière en raison des risques accrus de pertes d'énergie.

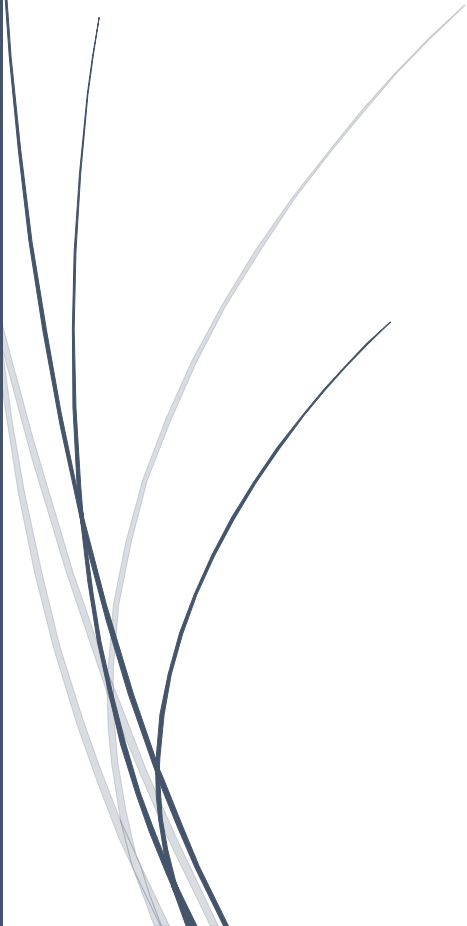
Pour dimensionner correctement les chaînes d'isolateurs, il est nécessaire de prendre en compte la sévérité de la pollution sur les sites concernés et les différents paramètres contribuant à la dégradation de l'état de surface des isolateurs. Cela comprend l'évaluation de la composition et de la concentration des contaminants atmosphériques, les conditions climatiques locales, les caractéristiques géographiques du site, etc. Ces informations permettent de sélectionner les isolateurs les mieux adaptés et de déterminer le nombre et la configuration optimale des isolateurs dans une chaîne.

En prenant en compte ces facteurs, il est possible de minimiser les effets de la pollution sur les isolateurs et d'assurer un fonctionnement fiable et efficace des dispositifs de haute tension.



Chapitre II

POLLUTION DES ISOLANTS



II.1. Définition :

La pollution a un impact négatif sur le comportement des isolateurs de haute tension. La pollution est un facteur essentiel à prendre en compte lors de la sélection et du dimensionnement des chaînes d'isolateurs.

La pollution entraîne la formation d'un dépôt sur la surface des isolateurs. Lorsque ces couches de pollution sont humidifiées, elles réduisent significativement la résistivité des isolateurs, ce qui entraîne une diminution de leur tension de tenue.

Il convient de noter que cette couche de pollution n'est pas homogène et sa répartition n'est pas uniforme. La non-homogénéité de la couche de pollution est causée par la présence de différents agents polluants

dans une même région. La non-uniformité de sa répartition sur les surfaces des isolateurs est influencée par plusieurs facteurs tels que les profils des isolateurs, la direction et la force des vents dans la région, les précipitations, la position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), la position spécifique de chaque isolateur dans la chaîne, le degré de pollution du site où se trouvent les isolateurs, ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur [4].

II.2. Type de pollution :

Les isolateurs peuvent être exposés à différents types de pollution en fonction de leur situation géographique. Cela inclut la pollution naturelle telle que la pollution marine et désertique, la pollution industrielle, la pollution mixte ou encore la présence de glace dans les régions froides.

II.2.1. Pollution naturelle :

La pollution des isolateurs dépend du climat et des facteurs météorologiques propres à chaque région. Elle se compose principalement de dépôts de poussières transportées par les vents, notamment : sable, embruns marins,.... Ces dépôts, et selon leur nature [5], se présentent comme suit :

II .2.1.1. Pollution marine :

Les lignes de haute tension situées à proximité de la mer dans les zones côtières sont exposées aux vents marins, qui transportent des embruns. Cela entraîne la formation d'une couche de pollution saline sur les surfaces des isolateurs. Lorsque cette couche de pollution saline est humidifiée ou mouillée, elle peut devenir conductrice, ce qui provoque la circulation d'un courant de fuite. Cela peut entraîner la formation d'arcs électriques ou même un contournement de l'isolation [6]

II .2.1.2. Pollution désertique :

Dans certaines zones, les isolateurs des lignes électriques sont souvent exposés au dépôt de substances contaminantes provenant des déserts. Cela peut entraîner une diminution significative de l'efficacité de l'isolateur, avec des conséquences néfastes

Les dépôts de contaminants provenant des déserts peuvent causer des étincelles d'arc et des interruptions de l'alimentation électrique. Il est également important de prendre en compte les tempêtes de sable lors de la gestion des isolateurs.

Les conditions environnementales ont un impact considérable sur les isolateurs.

Les principaux éléments de pollution dans ce type de situation sont :

- Dans une atmosphère sèche, le sable et la poussière répandue, souvent salée, sont des éléments de pollution qui affectent les isolateurs. Ces particules se propagent dans l'air et se déposent sur les surfaces des isolateurs, entraînant des problèmes tels que l'abrasion, l'accumulation de contaminants et une diminution de l'efficacité des isolateurs.

- Les climats désertiques se caractérisent par des tempêtes de sable et des ouragans, au cours desquels des particules se déplacent à grande vitesse. Ces particules peuvent être transportées par le vent sur de longues distances et entraînent souvent des conditions de forte turbulence. Cette agitation provoque le dépôt de sable et de poussière sur les isolateurs, ce qui peut entraîner des

problèmes d'érosion et de détérioration de leur surface Effectivement, lorsque les particules de sable et de poussière heurtent la surface de l'isolateur, elles peuvent provoquer une érosion matérielle. Les impacts répétés des particules en mouvement peuvent endommager progressivement la surface de l'isolateur, entraînant ainsi une détérioration de sa qualité et de ses performances. Cela peut compromettre l'isolation électrique et augmenter les risques de défaillance de l'isolateur- En effet, les tempêtes de sable constituent un facteur important qui peut entraîner une diminution de la fiabilité des lignes électriques. Lorsque des tempêtes de sable se produisent, les particules de sable en suspension dans l'air peuvent pénétrer dans les équipements électriques et les isolateurs, ce qui peut provoquer des courts-circuits, des perturbations du courant électrique et même des pannes dans le système électrique. Ces conditions environnementales difficiles augmentent le risque de défaillance des lignes électriques, ce qui nécessite une surveillance et un entretien appropriés pour maintenir la fiabilité du réseau électrique.

II.2.1.3. Autre type de Pollution naturelle :

Lors de conditions de pluie violente, il est possible qu'un film continu d'eau se forme d'une extrémité à l'autre de la chaîne d'isolateurs. En raison du fait que l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène de formation d'un film continu d'eau sous pluie peut entraîner un contournement de l'isolation. On parle alors de contournement sous pluie [5]

À proximité de certaines zones industrielles, la pollution est causée par l'émission de fumées provenant d'usines telles que des raffineries, des cimenteries, des exploitations minières, etc. Cette pollution atmosphérique peut affecter les isolateurs des lignes électriques dans la région. La présence d'éléments conducteurs dans les couches de pollution et/ou la dissolution des sels qu'elles contiennent entraînent la circulation d'un courant de fuite, dont l'intensité varie en

fonction des concentrations des agents polluants présents. En effet, les usines ne sont pas les seules responsables de ce type de pollution. Les gaz d'échappement des véhicules ainsi que les engrais utilisés en agriculture contribuent également aux dépôts observés à la surface des isolateurs

II.2.2. Pollution industrielle :

La présence de pollution est fréquemment observée à proximité des usines métallurgiques, chimiques ou des centrales thermiques, où les isolateurs se trouvent recouverts de poussière peu conductrice mais très hygroscopique. Cette pollution peut résulter de l'accumulation de particules solides, notamment des dépôts ferromagnétiques provenant des usines métallurgiques, ainsi que de l'absorption de gaz présents dans les fumées. En conditions d'humidité élevée, les sels contenus dans la poussière se dissolvent, entraînant la formation d'une couche conductrice.

II.2.3. Pollution mixte :

Ce type de pollution est en réalité le plus courant et le plus sévère en ce qui concerne l'exploitation des infrastructures électriques. La pollution mixte se produit lorsque différents types de pollution se combinent, par exemple lorsque des installations industrielles situées en bord de mer contribuent à la pollution marine et industrielle [2]

II.3. la lutte contre la pollution :

L'augmentation du degré de pollution présente un risque considérable pour les installations électriques. Effectivement, plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées [8]

II.3.1. Allongement de la ligne de fuite :

Cette méthode permet d'ajuster le dimensionnement en fonction des nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont couramment utilisées :

- Le changement du type d'isolateur, afin d'allonger la ligne de fuite, est une technique qui peut s'avérer très coûteuse et souvent impossible à réaliser dans les postes existants.

Une autre technique consiste à prolonger la ligne de fuite en utilisant des matériaux polymères qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [8]. Cela permet d'augmenter la distance de fuite et d'améliorer la performance des isolateurs face à la pollution.

II.3.2. Isolateurs plats :

Les isolateurs sans nervures présentent la caractéristique d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels. De plus, ils ont la capacité de s'auto-nettoyer grâce à l'effet du vent. Cette propriété contribue à réduire l'accumulation de contaminants sur la surface des isolateurs.

II.3.3. Graissage périodique:

Pour des raisons économiques, seuls les isolateurs de postes sont concernés par cette mesure. Dans ce cas, des graisses silicones sont utilisées. Grâce à leurs propriétés hydrophobes, les graisses silicones protègent temporairement les isolateurs en les rendant moins sensibles à l'humidité et à la pénétration de l'eau

II.3.4. Revêtement silicone :

Cette méthode implique l'application d'un revêtement en caoutchouc de silicone sur la surface des isolateurs, par pulvérisation ou au pinceau. Ce revêtement se vulcanise à température ambiante, formant une couche protectrice sur les isolateurs. Ce revêtement offre une protection aux isolateurs et améliore leur capacité à résister à la pollution environnante [8]

II.3.5. Les isolateurs composites :

Ces revêtements en caoutchouc de silicone présentent de bonnes propriétés hydrophobes, ce qui les rend adaptés à une utilisation dans des conditions de

pollution très sévères. Ils sont capables de résister efficacement à des niveaux élevés de pollution et de maintenir leur performance sur le long terme. Néanmoins, ces isolateurs revêtus d'un polymère subissent des modifications de leurs caractéristiques au fil du temps, car ils peuvent vieillir sous l'influence des diverses contraintes électriques et climatiques auxquelles ils sont exposés en service [3].

II.3.6. Nettoyage des isolateurs :

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont des méthodes couramment utilisées dans le monde entier pour maintenir la propreté des isolateurs. Ces techniques impliquent le nettoyage manuel des isolateurs à l'aide d'outils appropriés et le lavage périodique des isolateurs lorsqu'ils sont hors tension. Ces mesures permettent d'éliminer les dépôts de pollution accumulés sur les surfaces des isolateurs, contribuant ainsi à préserver leur performance et leur durabilité. Cependant, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs en raison des interruptions de service, parfois prolongées, qu'elles entraînent. Afin d'éviter ces coupures, une alternative consiste à effectuer le lavage des isolateurs sous tension à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Cette technique permet de nettoyer les isolateurs sans avoir à les mettre hors tension, minimisant ainsi les interruptions de service. Elle est réalisée à l'aide d'équipements spécifiques conçus à cet effet. Selon des règles strictes relatives à la qualité de l'eau utilisée lors du lavage, au processus de lavage lui-même et aux distances de sécurité, des mesures sont prises afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage des isolateurs. Ces précautions visent à assurer la sécurité et l'efficacité du processus de lavage.

Isolateurs spéciaux : Dans les zones à forte pollution, l'allongement de la ligne de fuite des isolateurs est souvent réalisé en utilisant des isolateurs spécifiques, communément appelés isolateurs antipollution. Ces isolateurs sont conçus pour

offrir une meilleure résistance à la pollution et réduire les effets néfastes de celle-ci sur les performances des lignes électriques. Ils sont utilisés pour améliorer la fiabilité et la durabilité des installations dans des environnements pollués [3].

II.4. Conclusion :

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel qui doit être pris en compte lors de la conception des lignes électriques à haute tension.

L'amorçage à la surface d'un isolateur pollué dépend de plusieurs paramètres. Afin de reproduire les conditions naturelles qui provoquent l'amorçage en présence de pollution, plusieurs techniques d'essais en laboratoire ont été développées et mises en œuvre

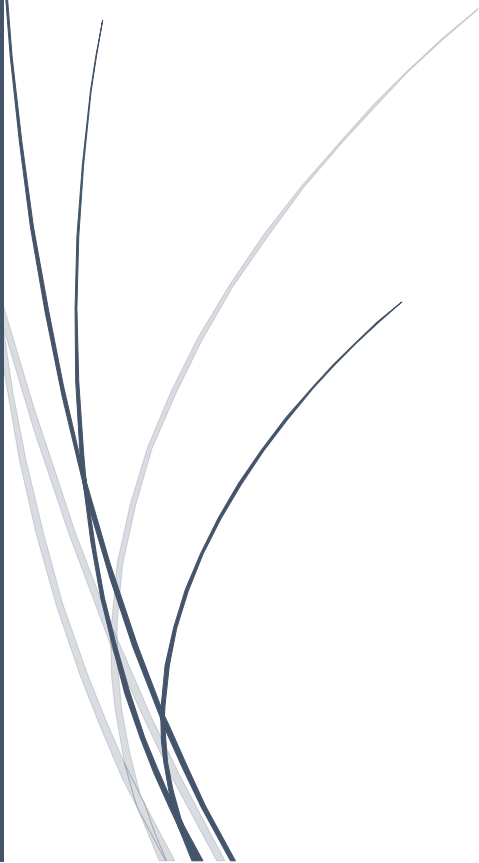
La méthode d'essai sous pollution artificielle est largement utilisée. Elle vise à recréer en laboratoire les conditions de pollution naturelle. Cette méthode présente l'avantage d'être rapide et permet d'obtenir des résultats plus rapidement

La plupart des méthodes proposées sont basées sur la détermination expérimentale de la conductivité superficielle de la couche polluante. Ces différentes méthodes permettent d'évaluer la conductivité électrique de la pollution présente à la surface de l'isolateur.



Chapitre III

TECHNIQUE DE
EXPERIMENTAL



III.1. Introduction:

le but d'évaluer les effets de la pollution sur les propriétés diélectriques des chaînes d'isolateurs haute tension, nous avons utilisé une base de données provenant du laboratoire de haute tension de l'École Nationale Polytechnique d'Alger [9]. Ce chapitre présente les méthodes expérimentales employées pour analyser le comportement du modèle plan de l'isolateur 1512L utilisé par SONELGAZ dans des environnements de pollution uniforme et non uniforme.

Les expériences menées au Laboratoire de Haute Tension de l'École Nationale Polytechnique se focalisent sur les éléments suivants :

Dans le cas de la pollution uniforme, nous examinons la variation de la tension de claquage et du courant de fuite en fonction de divers paramètres tels que la tension appliquée et la conductivité de la couche polluante. Nous analysons également l'évolution des décharges parallèles à la surface du modèle plan.

Quant à la pollution non uniforme, nous étudions l'influence de la largeur et de l'emplacement de la couche de pollution sur la tension de claquage et le courant de fuite, en maintenant une conductivité donnée. Ces analyses sont effectuées pour différents niveaux de tension appliquée.

III.2. Dispositif expérimental:

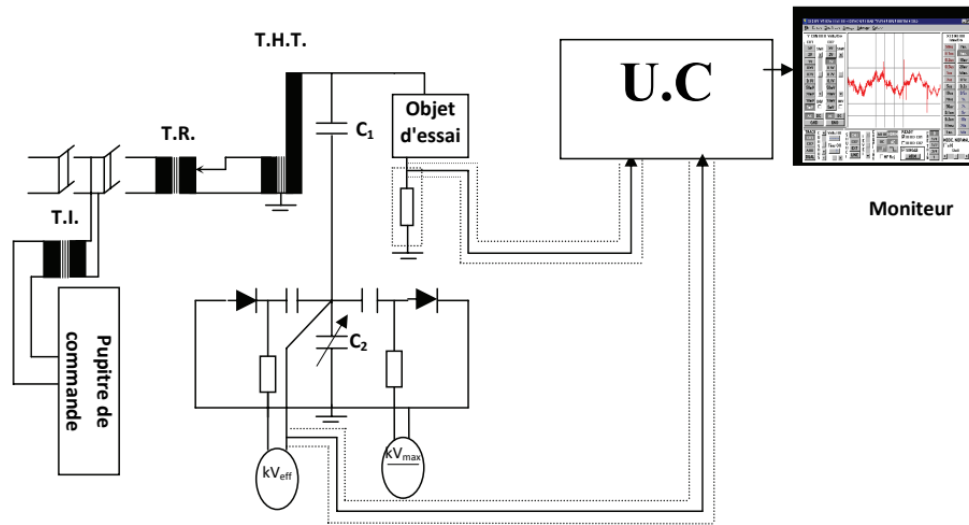


Figure III.1 : Dispositif expérimental.

Le laboratoire de haute tension de l'École Nationale Polytechnique est équipé d'une station d'essai à fréquence industrielle de la marque HEAFELY. Cette station comprend les équipements suivants :

- Un transformateur d'essai : 500V/300 kV, 50 kVA.
- Un transformateur de réglage : 220/ (0 à 500), 50 kVA.
- Un diviseur capacitif de tension est utilisé afin de fournir une tension réduite aux voltmètres présents sur le pupitre de commande. Ce diviseur est alimenté par la tension secondaire provenant du transformateur d'essai. Il est constitué d'une capacité de haute tension, C_1 , de 400 pF, qui est connectée en série avec une capacité de basse tension, C_2 , variable. Cette configuration permet d'obtenir différents calibres de mesure, tels que 75 kV, 150 kV et 300 kV.
- Le pupitre de commande contient les instruments de mesure nécessaires pour lire le courant au niveau du secondaire du transformateur de réglage, ainsi que les tensions de crête et les tensions efficaces au niveau du secondaire du transformateur d'essai.

- Divers appareils de mesure et de protection sont également inclus pour soutenir les opérations.

- Un oscilloscope numérique de la marque "TEKTRONIX" avec une fréquence d'échantillonnage de 500 MHz est utilisé.

III.3. Objet d'essai :

Le modèle plan (figure III.2) simule l'isolateur 1512 L.

Le modèle est constitué par une plaque en verre de 50 cm x 50 cm et de 5 mm d'épaisseur sur laquelle sont posées deux électrodes, l'une de terre et l'autre de haute tension.

Les deux électrodes sont posées sur deux bandes conductrices en aluminium qui sont découpées (500 x 30 mm²), la découpe des électrodes, à partir d'un film d'aluminium, est effectuée à l'aide d'un cutter, de telle sorte à ne pas avoir des pointes sur les faces des électrodes. La surface de la plaque de verre est lavée à l'eau de robinet, puis à l'eau distillée.

Nous passons du gasoil sur les zones où les électrodes vont être placées, les électrodes sont collées une par une de façon à ne pas laisser de bulles d'air entre le verre et l'électrode. Nous passons un coton avec du gasoil sur l'électrode en même temps que nous la plaçons, puis nous nettoyons ces mêmes endroits avec de l'alcool pour supprimer toute trace de gasoil ou de poussière. Après ces différentes étapes, nous pulvérisons la solution polluante suivant le mode décrit ci-dessous.



Figure III.2 : Modèle plan étudié

III.4. Préparation des solutions polluantes:

La solution polluante est préparée en mélangeant de l'eau distillée avec du chlorure de sodium (NaCl). La concentration de sel dans l'eau distillée est ajustée afin de varier le degré de pollution. Pour atteindre les conductivités désirées, nous avons utilisé un conductimètre pour mesurer et fixer la conductivité de la solution. Les valeurs suivantes de conductivité volumique ont été choisies : 0,01 mS/cm, 0,19 mS/cm, 0,71 mS/cm, 1,2 mS/cm et 10,1 mS/cm. Ces différentes valeurs de conductivité ont été sélectionnées pour permettre une visualisation claire de l'extension des décharges parallèles et pour mener une étude approfondie de la tension de claquage et du courant de fuite dans le cas de la pollution uniforme [9].

III.5 Procédé d'application de la couche de pollution :

Le dépôt de pollution est réalisé en appliquant uniformément la solution sur l'ensemble du modèle par pulvérisation. Afin de garantir une uniformité et une reproductibilité optimales de la couche polluante, nous avons maintenu la même méthode de pulvérisation tout au long des essais. Cela inclut l'utilisation du même nombre de pulvérisations de chaque côté de la plaque, à la même distance, afin de maintenir des conditions constantes [9].

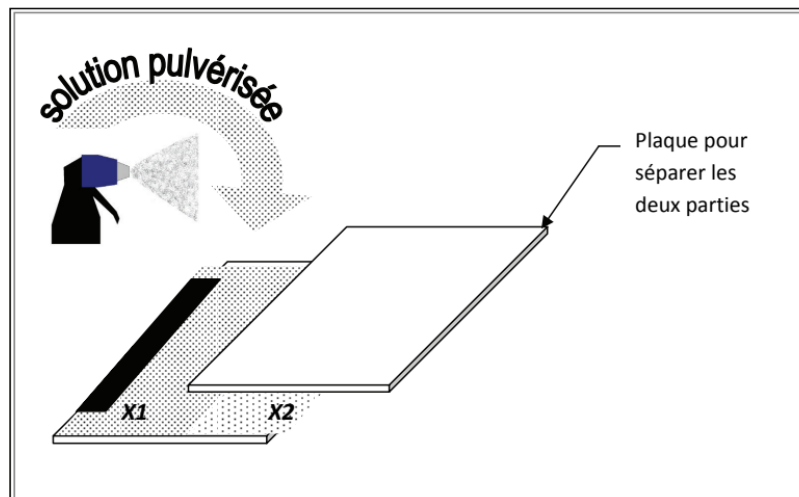


Figure III.3 : Procédé d'application de la pollution

III.6. Conclusion :

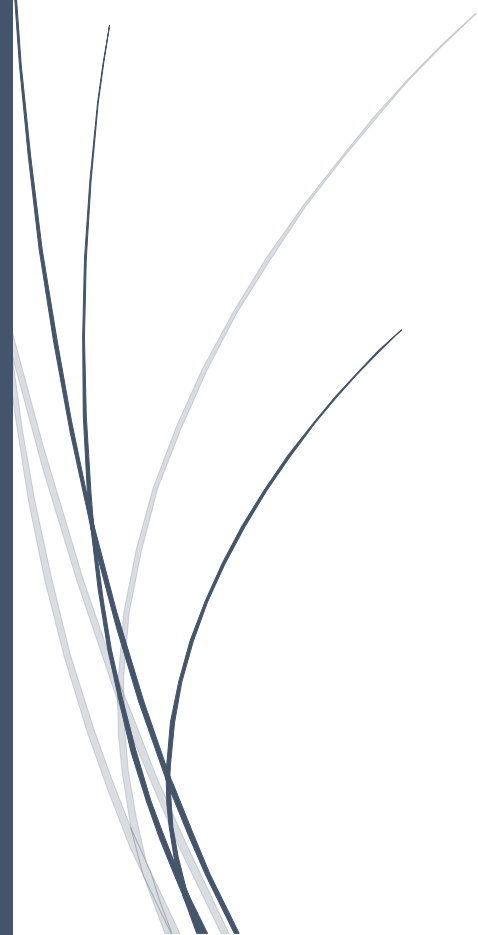
Afin de mener à bien l'étude sur la pollution du modèle et le développement des décharges parallèles sur sa surface isolante pour différentes conductivités, plusieurs choix sont pris en compte :

- L'utilisation d'une plaque isolante permet une visualisation précise de l'activité des décharges parallèles à sa surface.
- L'application de la couche de pollution uniforme et non uniforme est facile, tout comme le nettoyage de la plaque, qui est également simple.
- La méthode de pulvérisation artificielle offre plusieurs avantages, notamment un gain de temps et une maîtrise de la technique de pulvérisation.



Chapitre IV

RESULTAT D'ESSAIS ET INTERPRETATION



IV.1. Introduction :

Ce chapitre étudie l'impact de la pollution sur le modèle plan de l'isolateur 1512 L. De nombreuses expériences ont été menées pour étudier les configurations de pollution uniforme et non uniforme.

Cas de la pollution uniforme:

Nous mesurons la tension de contournement pour les différentes valeurs de la conductivité de la couche polluante (0,01; 0,19 ; 0,71 ; 1,2 et 10,1 mS/cm). Nous intéressons particulièrement à la variation du courant de fuite en fonction du Conductivité et tension appliquée. Le courant de fuite est l'un des paramètres Indispensable pour vérifier l'état de surface des isolateurs.

Cas de la pollution non –uniforme :

Tout d'abord, nous procédons à la mesure de la tension de contournement pour différentes épaisseurs de la couche polluée. Ensuite, notre attention se porte sur l'évolution du courant de fuite, en supposant une conductivité identique pour les trois configurations de position de pollution suivantes :

- Couche polluée du côté de l'électrode haute tension.
- Couche polluée du côté de l'électrode mise à la terre.
- Couche polluée au centre du modèle plan.

En outre, nous nous intéresserons à l'impact de la tension appliquée et de la conductivité de la couche polluante sur le nombre et la longueur maximale des décharges parallèles observées sur le modèle plan. De plus, la longueur critique juste avant la rupture, appelée longueur de contournement, a été mesurée pour différentes valeurs de conductivité.

Nous effectuons également une étude sur le déphasage entre le fondamental du courant de fuite et celui de la tension appliquée, à la fois dans le cas de la pollution uniforme et dans les configurations de la pollution non uniforme.

L'analyse du déphasage entre le courant de fuite et la tension appliquée est d'une grande importance pour comprendre le comportement du circuit équivalent de l'isolateur. Cette étude permet de mieux appréhender les interactions électriques et les caractéristiques diélectriques de l'isolateur.

IV.2. Etude de la configuration uniforme de la couche de pollution :

Plusieurs chercheurs ont constaté que la plus faible rigidité correspond à une répartition uniforme de la pollution, tandis que d'autres ont identifié un cas critique associé à une répartition discontinue spécifique de la pollution. Cette répartition discontinue correspondrait à une largeur critique de la zone non polluée où la rigidité est la plus faible. Dans la suite de cette étude, nous examinerons d'abord le cas de la couche continue où l'isolateur est entièrement pollué.

IV.2.1. Etude de la tension de contournement :

La tension de contournement revêt une importance cruciale pour l'isolateur, car elle permet d'identifier le type de configuration électrode-électrode (pointe-pointe, plan-plan, etc.) et donc de déterminer la rigidité diélectrique du système formé par les électrodes.

Notre étude vise à analyser la variation de la tension de contournement en fonction de la conductivité. Pour ce faire, nous avons utilisé cinq valeurs de conductivité extrêmes pour nos tests de contournement. Plusieurs séries d'essais

ont été effectuées dans ce contexte, et les résultats de ces essais pour les différentes conductivités sont présentés dans le figure IV.2.1 :

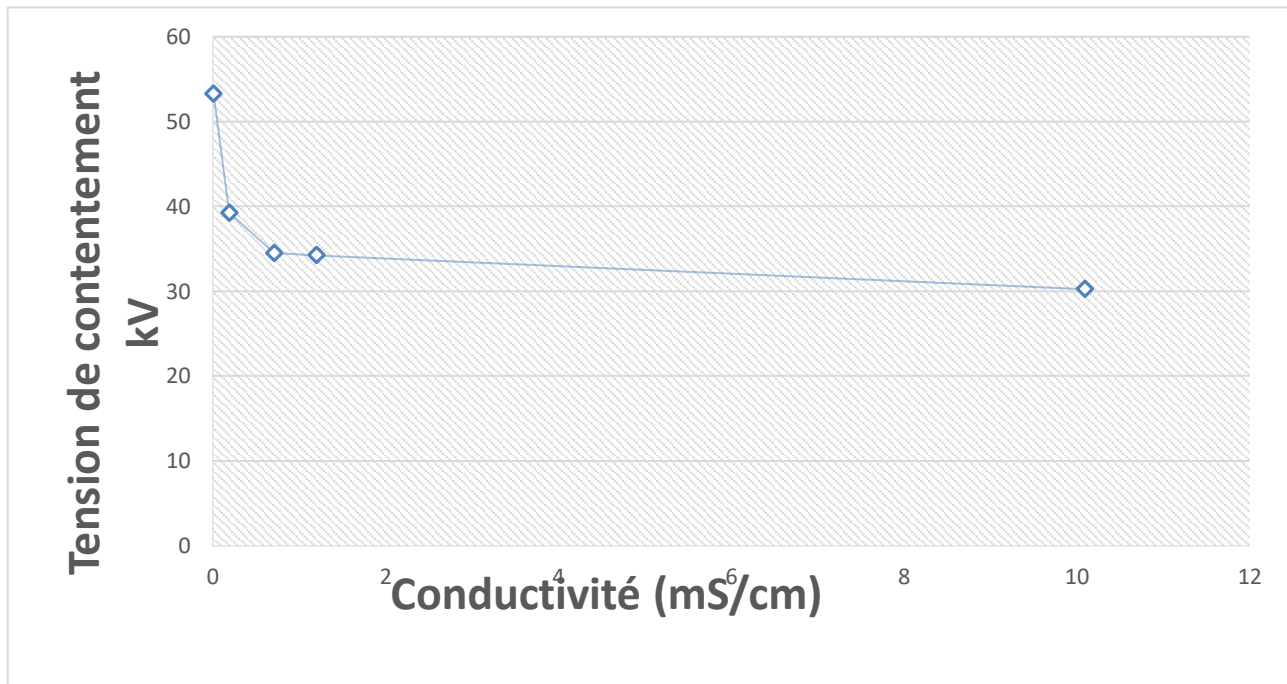


Figure IV.2.1 : La tension de contournement en fonction de la conductivité

La figure IV.2.1 met en évidence une diminution non linéaire de la tension de contournement en fonction de la conductivité.

La tension de contournement en fonction de la conductivité est non linéaire, comme le montre la figure

Nous constatons une baisse nette de la tension de 0.01 mS/cm à 0.71 mS/cm, puis une stabilisation à 1.2 mS/cm. Plusieurs travaux de recherche soutiennent cette affirmation [9]. De plus, nous remarquons qu'à partir d'un certain point nivellement voltage, a emplacement un la couche de pollution s'évapore progressivement à mesure que la conductivité augmente. L'augmentation de la densité de courant à la surface du plan provoque une importante évaporation par effet joule. La diminution de l'impédance équivalente peut expliquer cela. Notion de la conductivité.

IV.2.2. Etude du Courant de fuite :

Pour déterminer les caractéristiques du modèle plan, nous avons mesuré et visualisé le courant de fuite pour différents paliers de tensions. Nous mettrons en évidence l'influence, la tension appliquée et la conductivité. Nous présentons sur le graphe (IV.2.2) la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée sans faire la pollution (cas sec).

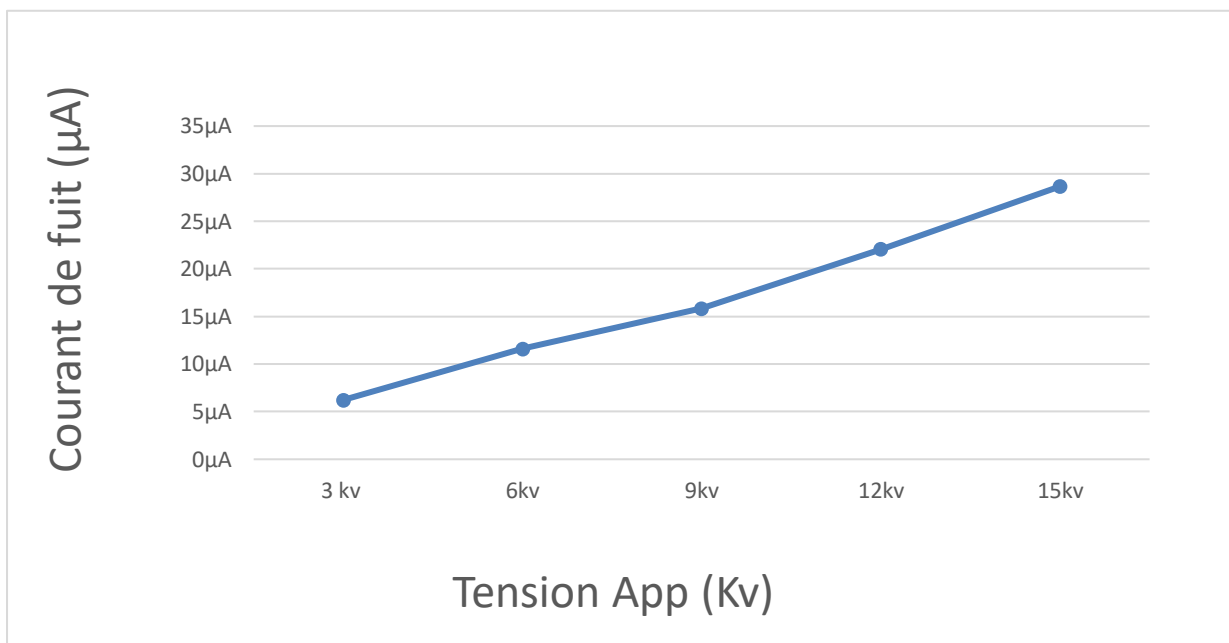


Figure IV.2.2 : Variation de courant de fuite pour différents niveaux de tension pour le cas sec.

Nous remarquons augmentation de façon non linéaire du courant de fuite en fonction de la tension appliquée. Les résultats obtenus pour le cas sec montrent que le courant de fuite augmente de façon presque linéaire proportionnellement à la tension appliquée.

Toutefois ces valeurs restent faibles à cause de l'impédance équivalente du milieu qui est la plus grande pour le cas sec

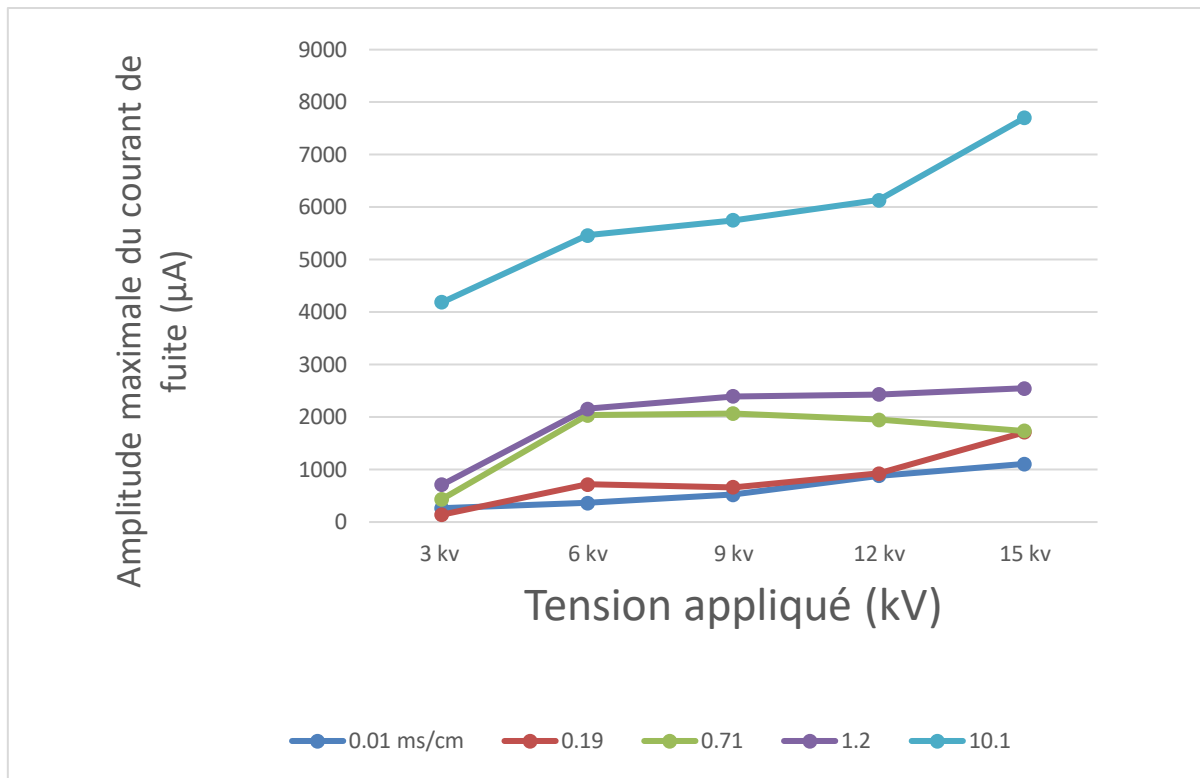


Figure IV.2.3 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes valeurs de la conductivité.

D'après les observations de la Figure IV.2.3, il est clair que le courant de fuite augmente de manière non linéaire en fonction de la tension appliquée, quelle que soit la conductivité.

Pour une conductivité de $0,01 \mu\text{S}/\text{cm}$, Le courant de fuite augmente progressivement, ce qui suggère qu'il n'y a pas eu de séchage significatif malgré la présence de décharges parallèles à la surface de l'isolateur à partir de $20 \text{ kV}_{\text{eff}}$.

Pour les conductivités de $0,19$, $0,71$ et $1,2 \text{ mS}/\text{cm}$, on observe une diminution de l'amplitude maximale du courant de fuite à partir d'une tension de $9 \text{ kV}_{\text{eff}}$. Cette diminution est particulièrement notable pour la conductivité de $1,2 \text{ mS}/\text{cm}$ en raison d'un assèchement plus marqué de la surface isolante, indiquant une activité de décharge plus prononcée. Cette diminution peut être expliquée par

le temps d'application de la tension (30 secondes), pendant lequel l'eau présente à la surface s'évapore progressivement en raison de l'effet Joule. Cela entraîne une augmentation de l'impédance équivalente de l'isolateur, contribuant ainsi à une augmentation de la rigidité diélectrique du modèle. Ainsi, dans ces zones sèches, la valeur du champ électrique ne provoque pas de décharges électriques, ce qui réduit considérablement le courant de fuite (passant de 2000 μA à 1000 μA).

Pour la conductivité de 10,1 mS/cm, le comportement des décharges électriques présente une différence notable par rapport aux conductivités précédentes. En effet, on constate que l'amplitude maximale du courant de fuite est plus élevée dans ce cas.

IV.3. Etude de la configuration non uniforme de la couche de pollution :

IV.3.1. Etude de la tension de contournement :

Nous avons réalisé des essais de contournement en utilisant cinq largeurs différentes pour la couche polluante : 5, 10, 15, 20 et 25 cm, avec une conductivité fixe de 1,2 mS/cm. L'objectif de notre étude est d'analyser l'influence à la fois de la largeur et de 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 aux graphes IV.3.1. Jusqu'à IV.3.4.

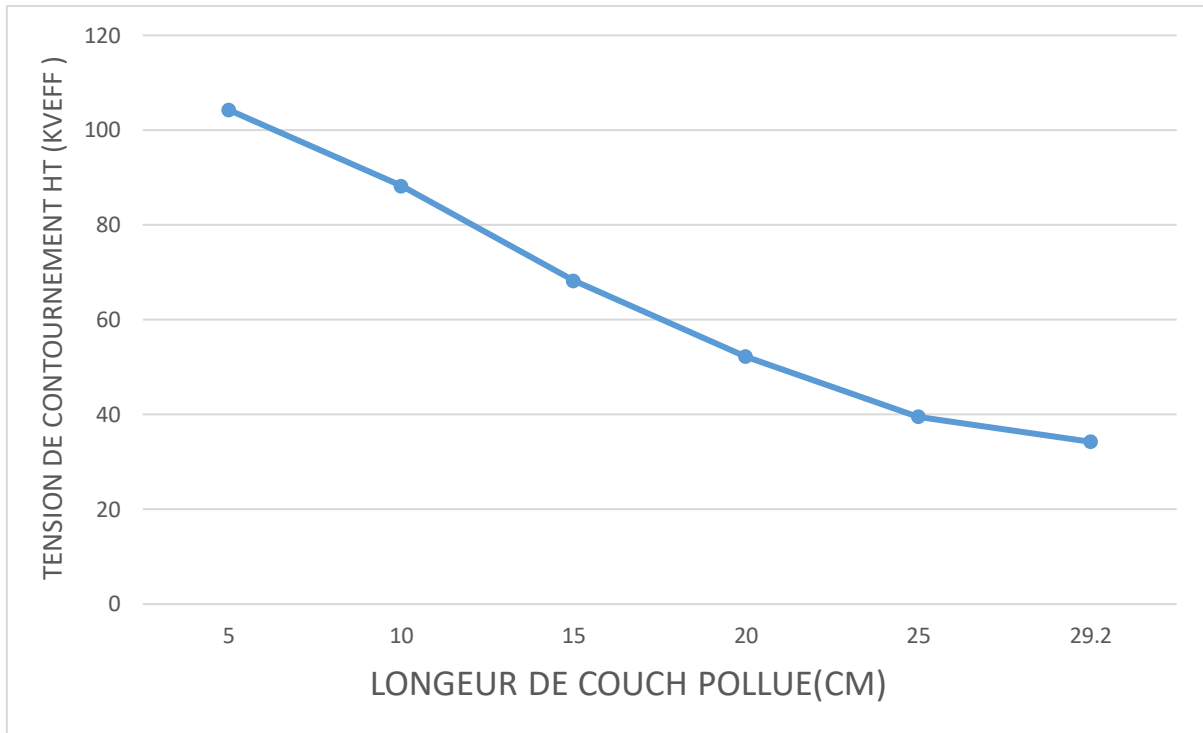


Figure IV.3.1 : variation de tension de contournement en fonction de longueur de couche pollue cote haut tension

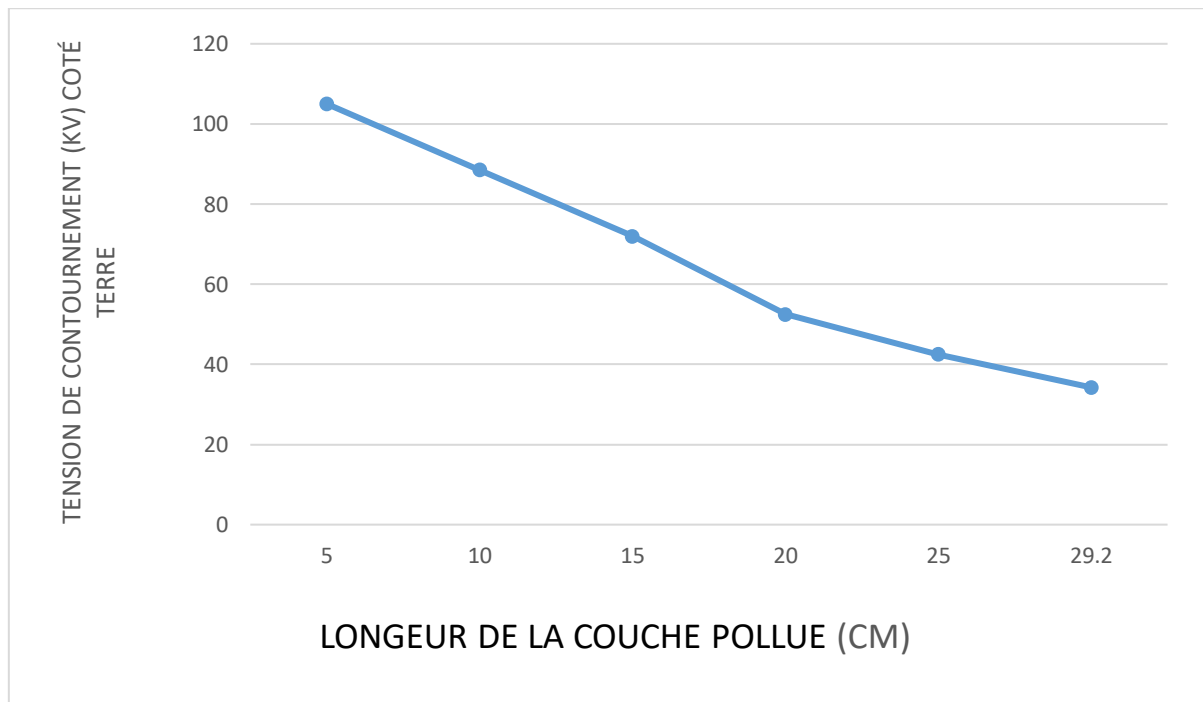


Figure IV.3.1.2 : variation de tension de countournement en fonction de longueur de couche pollue cote terre

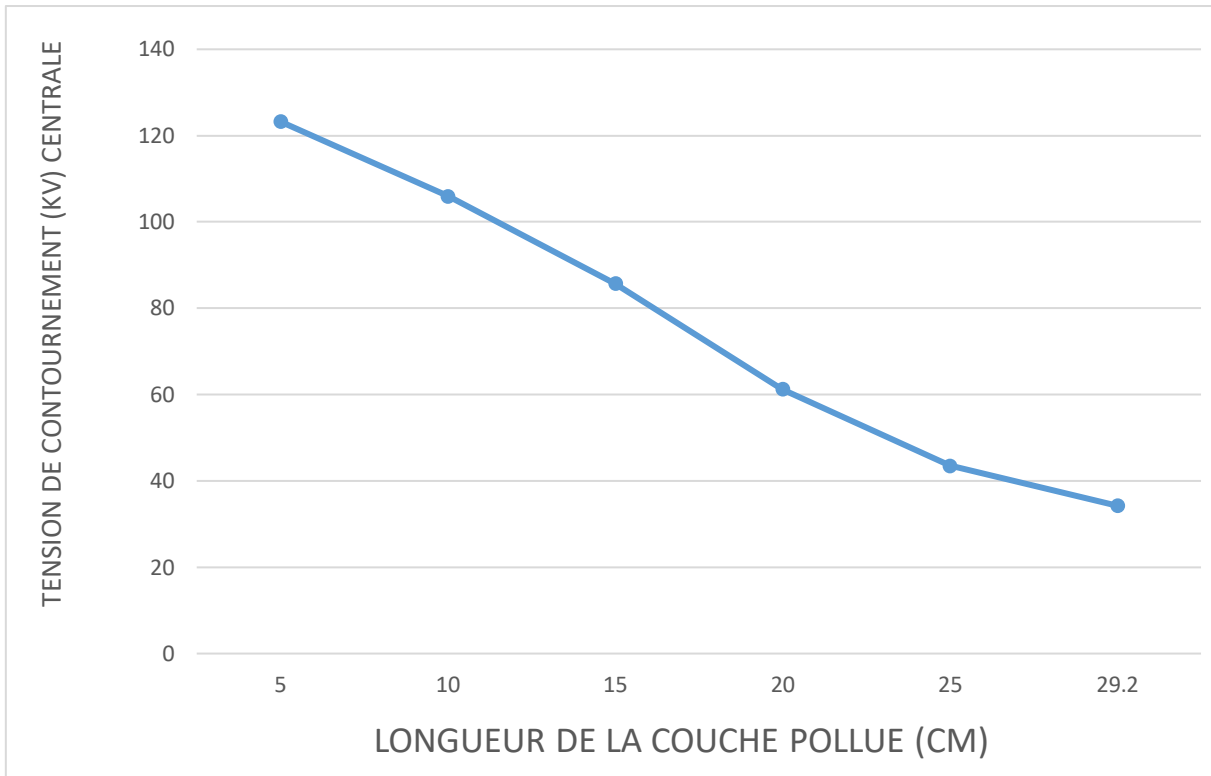


Figure IV.3.1.3 : variation de tension de countournement en fonction de couche pollue cote centrale

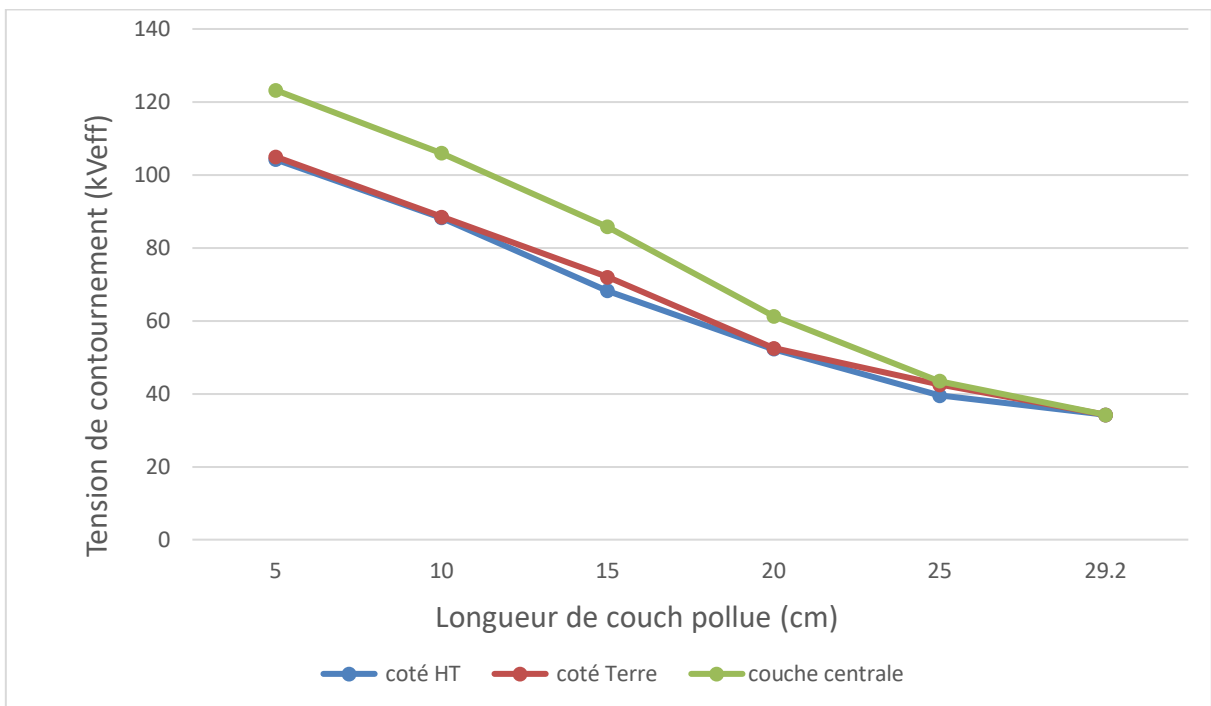


Figure IV.3.1.4 : variation de tension de countournement en fonction de couche Pollue

En analysant les courbes (Figure IV.3.1 à IV.3.4), nous observons une variation presque linéaire et une diminution de la tension de contournement en fonction de l'augmentation du rapport entre la largeur de la couche polluée et la longueur de fuite totale, que ce soit du côté haute tension (HT), du côté terre ou de la couche centrale. Cette observation s'explique par le fait que la pollution entraîne une augmentation significative de la conductivité superficielle des isolateurs, ce qui réduit leur capacité à résister aux décharges électriques. Ce phénomène a été également observé par d'autres chercheurs.

De plus, nous remarquons que les tensions de contournement du côté terre sont légèrement plus élevées que celles du côté haute tension (HT), notamment pour les rapports 0.51 et 0.85, qui correspondent aux largeurs de couche polluée de 15 et 25 cm. Cela indique que le modèle plan étudié présente une certaine rigidité accrue dans le cas de la pollution du côté terre pour les largeurs de couche polluée de 15 et 25 cm.

Certaines études antérieures ont démontré que, pour d'autres configurations de pollution non uniforme, la valeur du rapport entre l'impédance de la couche polluée et celle de la couche sèche du côté terre est effectivement inférieure à celle du côté haute tension (HT).

Pour les autres largeurs de couche polluée (5, 10 et 20 cm), nous n'observons pratiquement aucune influence de la position, ce qui constitue un résultat surprenant étant donné que nous avons observé un comportement différent de la plaque.

En ce qui concerne la couche centrale, qui subit deux zones sèches au lieu d'une seule comme dans les deux autres cas, nous observons une différence relativement plus importante par rapport aux deux autres côtés de pollution (HT et terre) pour les différentes largeurs de couche polluée ($X=5, 10, 15$ et 20 cm). Il

est important de noter que pour de faibles largeurs de pollution, la formation d'arcs autour des deux extrémités sèches de la couche centrale est plus difficile par rapport à un seul côté sec. Par conséquent, le modèle correspondant à cette configuration est presque identique au cas sec (sans pollution) lorsque la largeur de la couche polluante n'est pas significative.

IV.3.2. Etude du courant de fuite :

Afin de déterminer les caractéristiques du modèle plan, nous avons effectué des mesures et visualisé le courant de fuite à différents paliers de tension. Notre objectif était de mettre en évidence l'influence de la tension appliquée, de la largeur de la couche polluée et de son emplacement par rapport aux électrodes.

IV.3.2.1 Relation courant de fuite – tension appliquée :

Les figures IV.3.2.1 à IV.3.2.7 présentent l'évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes positions et largeurs de la couche polluée. Pour toutes les configurations et dispositions étudiées, les caractéristiques mettent en évidence une augmentation de l'amplitude du courant de fuite avec l'augmentation de la tension appliquée. Ceci est observé pour toutes les largeurs de la couche polluée et sa position par rapport aux électrodes (figures IV.3.2.1 à IV.3.2.7).

Les courbes présentent une partie linéaire avec une pente constante et une partie non linéaire. Pour les tensions appliquées inférieures à 15 kV, la pente de la courbe courant-tension reste relativement stable pour de faibles valeurs de la largeur de la couche polluée ($X=5$, $X=10$ et $X=15$ cm). Cela suggère que le système suit une loi ohmique, où l'impédance totale pour une largeur donnée ne dépend pas de la tension appliquée. Cette observation est cohérente si l'on néglige les phénomènes de conduction dans la zone sèche.

Cependant, pour des tensions plus élevées, on observe une augmentation significative du courant de fuite, ce qui indique que le système perd son caractère ohmique. Cette configuration est clairement illustrée sur les figures (IV.3.2.1 à IV.3.2.3), notamment pour la largeur critique de 25 cm, que ce soit du côté haute tension, du côté terre ou de la couche centrale. Cette largeur critique est observée pour des tensions supérieures à 21 kV. Cette évolution s'explique par le fait qu'une tension élevée entraîne une augmentation du nombre d'arcs qui se forment sur la plaque, ou de leur intensité, ce qui provoque la perte des propriétés isolantes de l'air entre l'électrode et la couche polluée.

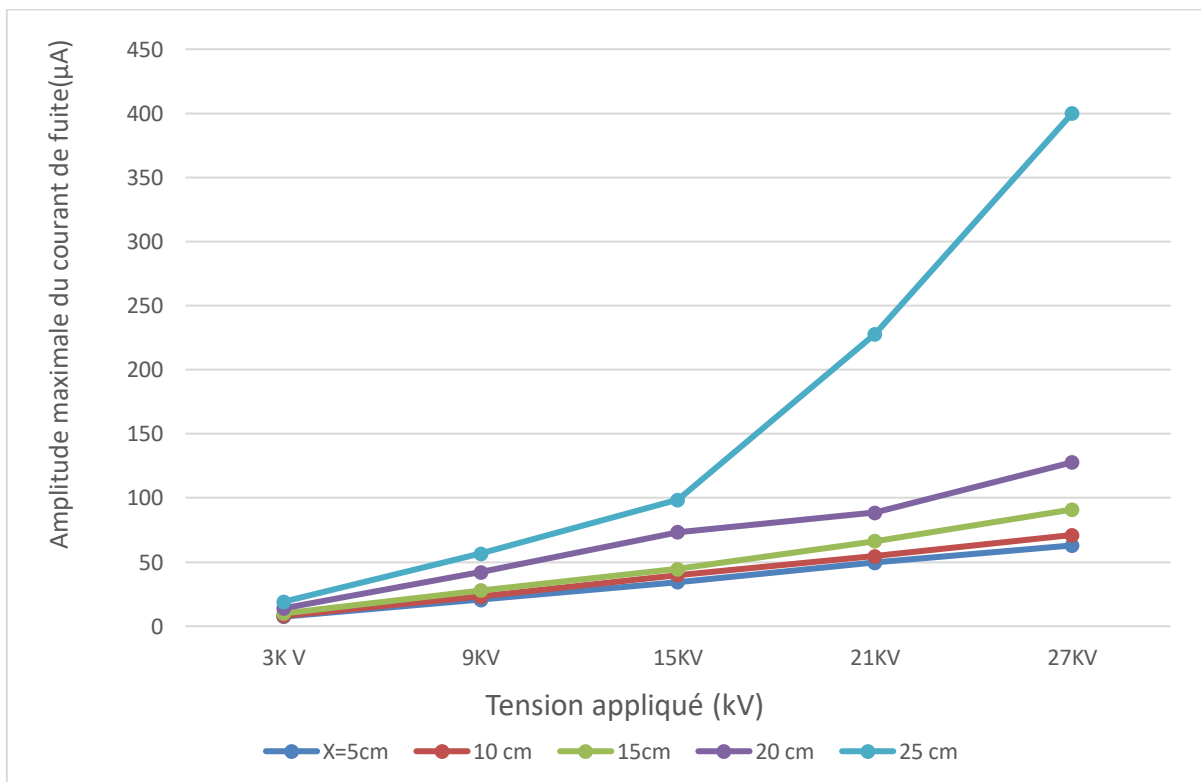


Figure IV.3.2.1: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeurs de la couche polluée coté haute tension.

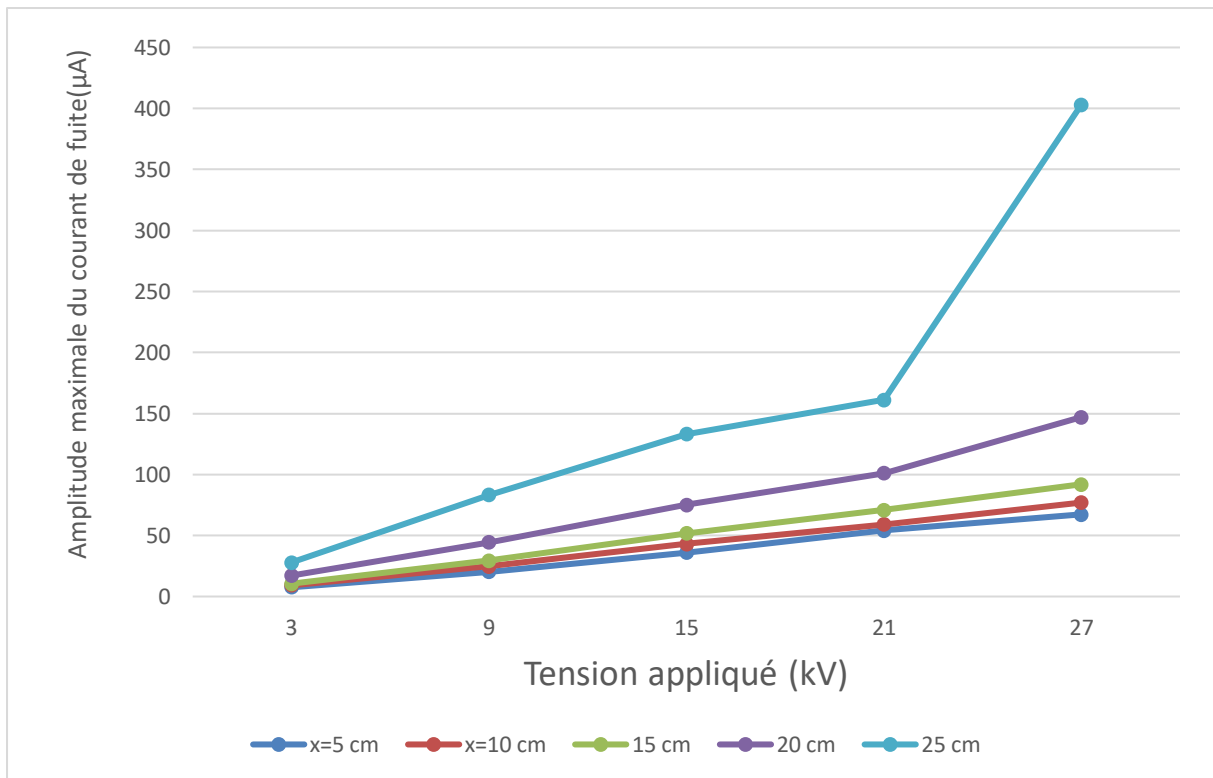


Figure IV.3.2.2: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes largeurs de la couche polluée coté terre.

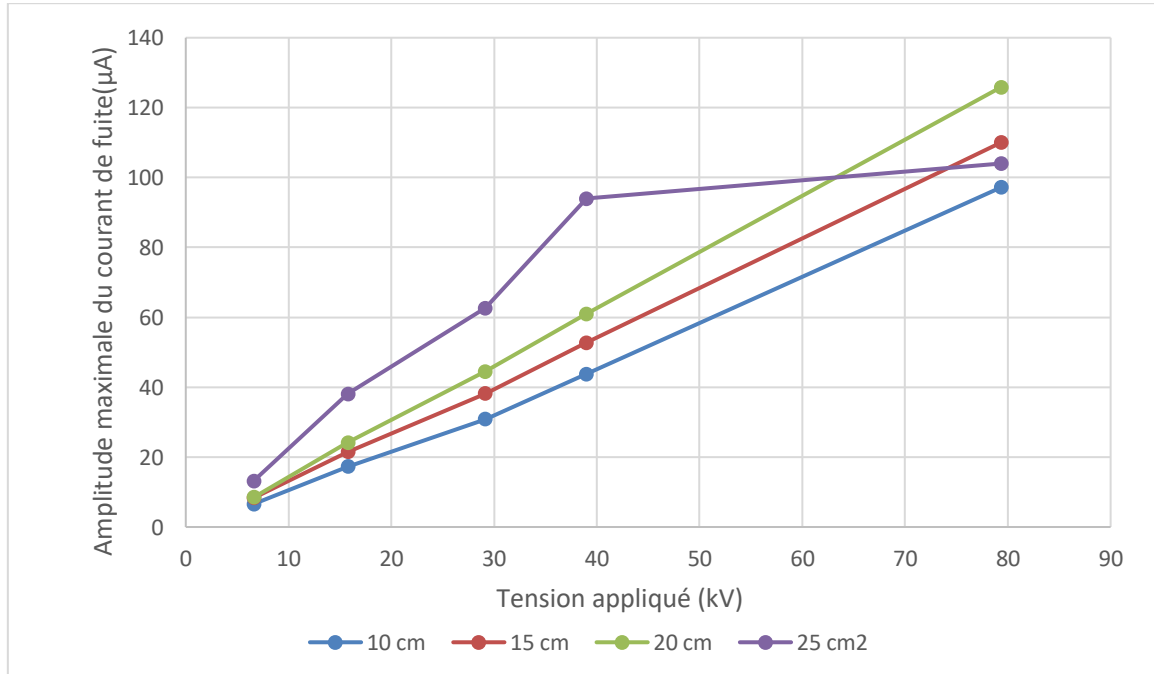


Figure IV.3.2.3: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension Appliquée pour différentes largeurs de la couche polluée centrale.

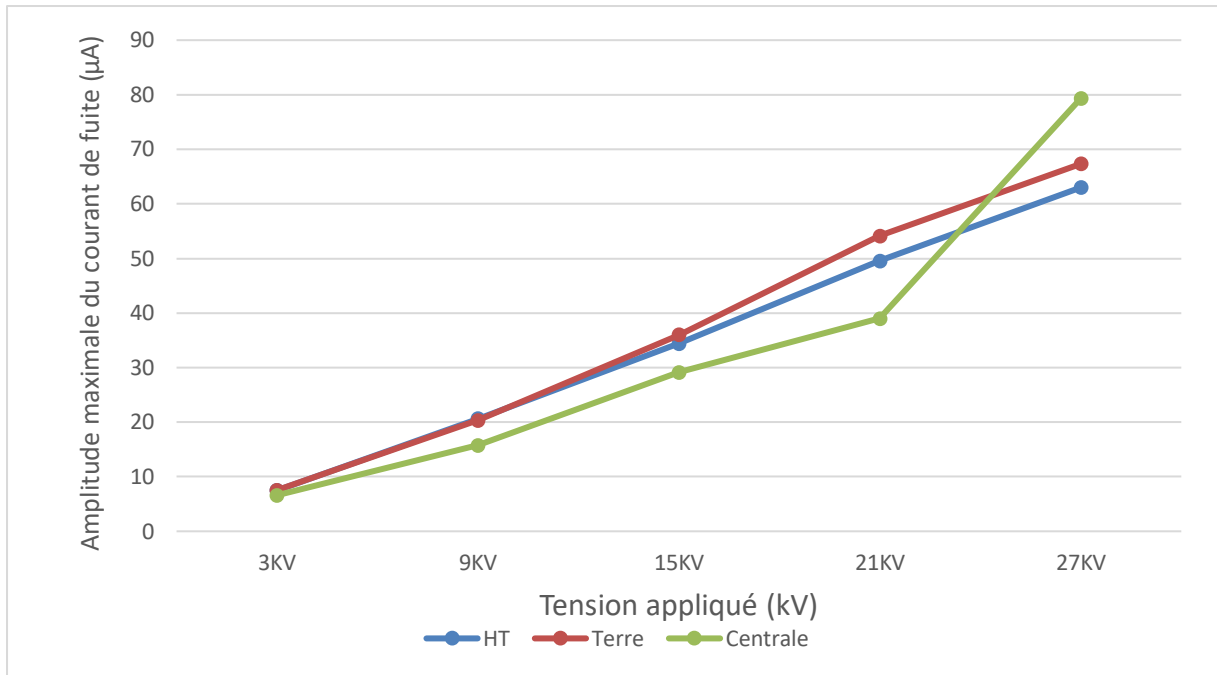


Figure IV.3.2.4: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension Appliquée pour une couche polluée de 5 cm.

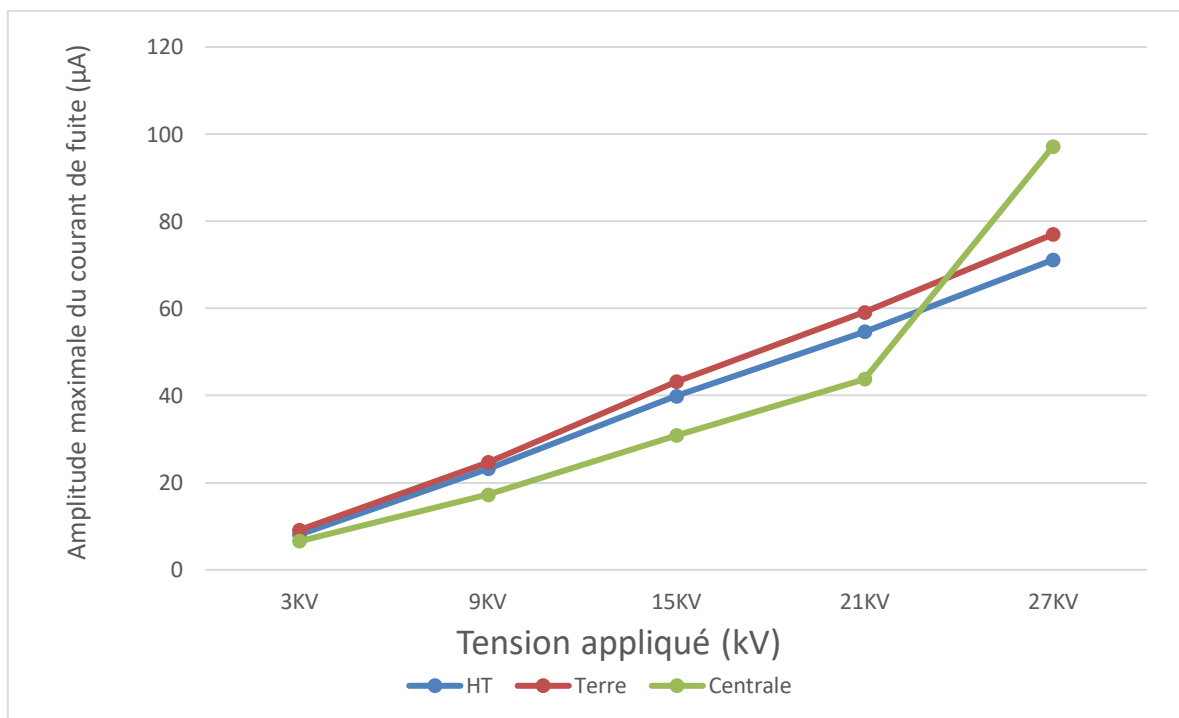


Figure IV.3.2.5: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour une couche polluée de 10 cm.

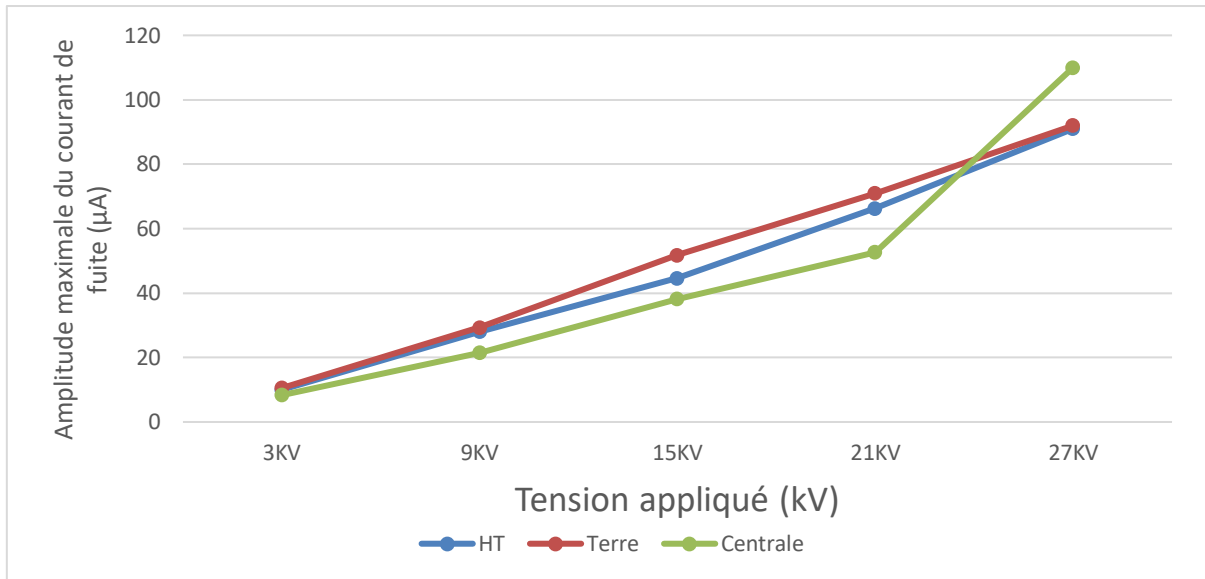


Figure IV.3.2.6: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension Appliquée pour une couche polluée de 15 cm.

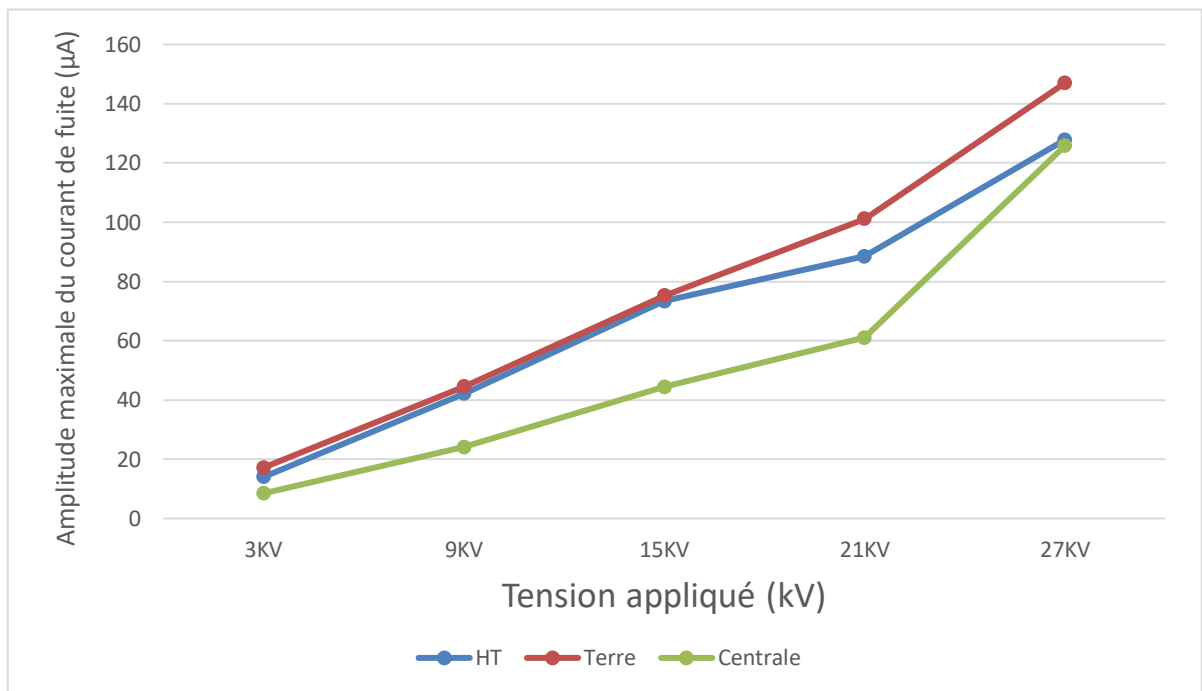


Figure IV.3.2.7: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension Appliquée pour une couche polluée de 20 cm.

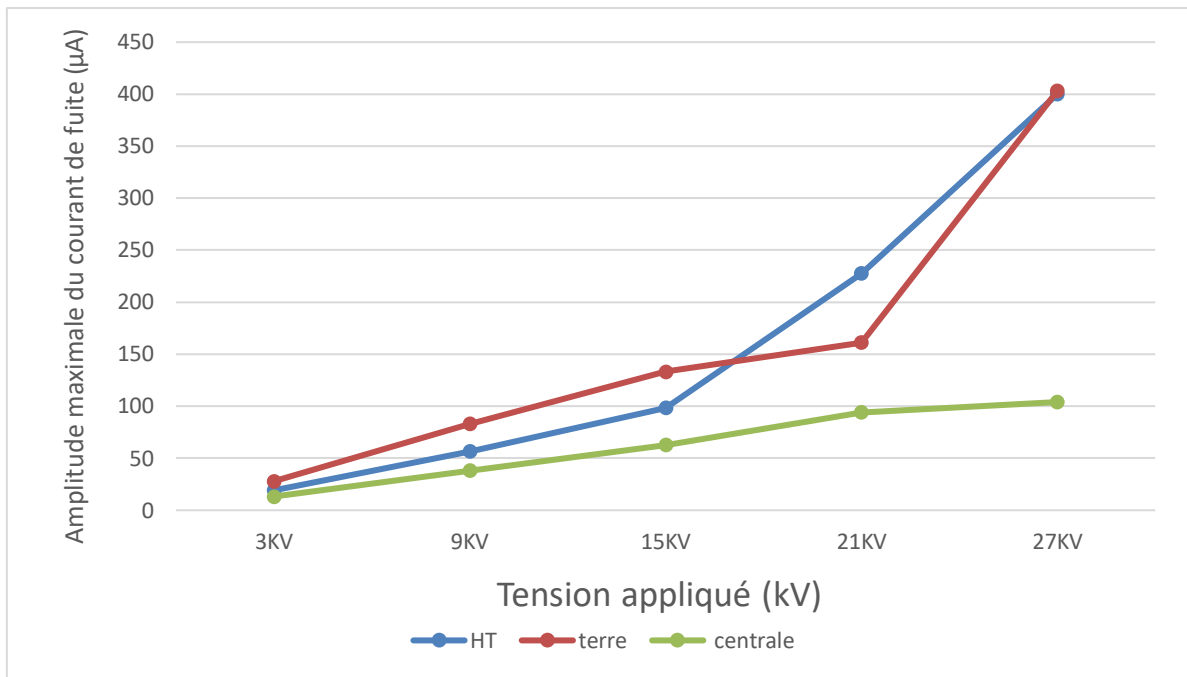


Figure III.18: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension Appliquée pour une couche polluée de 25 cm.

IV.4. Conclusion :

Dans ce chapitre consacré à l'étude du comportement du modèle plan dans différentes conditions de pollution, la tension de contournement diminue dans le cas de la pollution uniforme avec l'augmentation de la conductivité de la surface polluée ou avec l'augmentation de la largeur de la couche polluée dans le cas de la pollution non uniforme. Lorsque la couche polluée se situe au centre, la rigidité diélectrique est plus élevée que lorsque la couche polluée se trouve du côté terre ou du côté HT. Cela est dû au fait que l'effet de conduction est moins important dans le cas de la couche centrale, ce qui crée une sorte de barrière isolante remplaçant les intervalles d'air entre la couche polluée et l'électrode. Les décharges parallèles à la surface de l'isolateur se forment lorsque 85,6% de la distance inter-électrode est polluée, ce qui correspond à la tension de contournement la plus faible pour les trois cas de pollution non uniforme.

L'analyse du courant de fuite révèle que l'augmentation de son amplitude maximale est proportionnelle à la conductivité du milieu lorsque la pollution à la surface du plan est uniforme, ainsi qu'à l'accroissement de la tension appliquée. La diminution du courant de fuite est due à l'assèchement de certaines zones du plan, résultant de l'activité des décharges parallèles à la surface de l'isolateur. Cet assèchement est plus marqué avec l'augmentation de la conductivité volumique du milieu et de la tension appliquée, notamment pour des conductivités de 1,2 mS/cm et 10,1 mS/cm. En ce qui concerne la pollution non uniforme avec une conductivité de 1,2 mS/cm, l'amplitude du courant de fuite augmente avec l'augmentation de la largeur de la couche polluée pour les trois cas étudiés, avec la plus faible amplitude observée lorsque la couche centrale du plan est polluée. La formation des décharges à la surface se produit lorsque 85,6% de la longueur de fuite est polluée, et elles contribuent à une augmentation exponentielle du courant de fuite.

L'analyse du déphasage entre le courant de fuite et la tension appliquée s'est avérée très utile pour comprendre le comportement du circuit équivalent du modèle plan. On observe que la valeur du déphasage diminue avec l'augmentation de la conductivité du milieu, ce qui indique que l'isolateur a un effet résistif prédominant. Cependant, pour des conductivités élevées (10,1 mS/cm), le déphasage augmente en raison de l'assèchement progressif de l'isolateur plan, ce qui accroît l'effet capacitif de l'isolateur. En ce qui concerne la pollution non uniforme, l'effet résistif de l'isolateur augmente avec l'élargissement de la couche polluée, quel que soit le cas de configuration. Lorsqu'il y a amorçage des décharges parallèles, la valeur du déphasage courant-tension diminue brusquement, ce qui indique une diminution de l'effet capacitif. De plus, une légère diminution du déphasage est observée avec l'augmentation de la tension lorsque la couche polluée se situe du côté terre, du côté HT ou au centre.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Cette étude se concentre sur l'analyse expérimentale du comportement d'un isolateur 1512L dans différentes conditions de pollution. La pollution des isolateurs joue un rôle crucial dans la conception des lignes électriques haute tension utilisées pour le transport de l'énergie électrique.

Afin de dimensionner correctement les chaînes d'isolateurs, il est essentiel de connaître la gravité de la pollution sur les sites concernés. La compréhension de cette gravité joue un rôle crucial dans la conception d'un réseau électrique.

Dans le cas de la pollution non uniforme, l'évaluation de la gravité de la pollution peut être réalisée en se basant sur les variations d'énergie des harmoniques du courant de fuite. Les décharges électriques à la surface de l'isolateur engendrent une quantité significative d'énergie, principalement présente dans les harmoniques du courant de fuite.

De plus, l'activité des décharges parallèles à la surface du modèle est un indicateur précoce d'une éventuelle contournement pour toutes les conductivités étudiées. Afin de prévenir ce contournement, la surveillance de l'amplitude des différentes harmoniques du courant de fuite constitue un bon outil de diagnostic sur place. En effet, lorsque l'énergie des harmoniques augmente en fonction du rang, le contournement de l'isolateur est imminent. Cette énergie devient d'autant plus significative avec l'augmentation de la conductivité du milieu et la concentration de l'agent polluant dans le cas de la pollution non uniforme.

Reference :

[1] Amar Haddou Younes Bouzembarek "Exploitation du Signal du Courant de Fuite pour le Diagnostic de l'état du Réseau Electrique avec LabVIEW."

Mémoire de Fin d'Etudes de master académique, 2015/2016.

[2] : MEBAOUDJ_Seif_El_Islam_MEZAOUR_Hichem_ mémoire " Prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension en utilisant la logique floue". Mémoire fin d'étude master, université de Ouargla, 2014\2015.

[3] : BoufergueneKahina_AkliOurdia "Prédiction de la sévérité de Pollution sur un isolateur réel sous tension alternative 50Hz". Mémoire fin d'étude Master, université de Tizi-Ouzou, 2015.

[4] : Ndoumbe Jean," Étude comportementale des gouttelettes d'eau déposées sur la surface d'une Isolatrice composite haute tension en présence du champ électrique ", l'école doctorale Électronique, électrotechnique, Automatique De Lyon, l'école centrale de Lyon, 2014.

[5] : M'hamdi Ben alia, "modélisation d'un Isolateur naturellement Pollue Sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques équivalents", ingénieur d'Etat en Génie Electrique (Electrotechnique), université de Sidi Belabes, 2007/2008.

[6] : Sayah Moatez Béllah, "prédiction du contournement d'une chaine d'isolateur MT 175 Ctv-Sonelgaz polluée artificiellement par la logique floue", Mémoire de fin d'études Master, université de Biskra, 2014.

[7] : Ramos Hernanz, " Pollution des isolants dans les lignes de transport ", département de génie électrique École universitaire d'ingénierie, 2006.

[8] : Hassina Saad _ Kahina lebaz "Analyse Prédictive De la Sévérité Des Agents Polluants Déposés Sur Les Isolateurs", mémoire fin d`étude master, université de Tizi-Ouzou, 2019/2020.

[9]: Rahali Hilal "Comportement d`un modèle d`isolateur sous différentes configurations de pollution sous tension alternative 50 HZ.",Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique,2011.

[10] : K. sillini " Amélioration de la rigidité diélectrique des isolateurs de haute tension sous pollution non uniforme a tension 50 Hz ".Mémoire fin d`étude master, université de m`sil, 2022.