

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

N° : ER-06



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE ELECTRIQUE
OPTION : RESEAUX ELETRIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par:

MAKHLOUFI SALH EDDINE

Intitulé

**Comportement d'un modèle plan d'isolateur pollué
sous tension alternative**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. GHELLAB MOHAMEDZINELAABIDINE	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Dr. RAHALI HILAL	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Dr. BENYETTOU LOUTFI	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019/ 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous remercions en premier lieu le BON DIEU de nous avoir aidé à terminer ce modeste travail.

Nous remercions particulièrement notre promoteur Mr R. HILAL, pour sa précieuse directive, sa très grande disponibilité, son suivi constant et ses qualités humaines.

Nos sincères et chaleureux remerciement à Ma mère et Ma Famille pour leurs appuis moral.

Nos vifs remerciements vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons également à remercier au président du jury ainsi qu'aux examinateurs qui ont accepté de juger ce travail.

Que tous les professeurs ayant contribué à notre formation.

TABLE DES MATIERES

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	2
Chapitre I : Pollution Des Isolateur De Haute Tension	
I.1 Introduction.....	2
I.2 Définitions relatives aux matériaux diélectriques	2
I.2.1 Isolant	2
I.2.2 Isolation.....	2
I.2.3 Diélectrique	2
I.2.4 Décharge disruptive.....	4
I.2.5 Rigidité diélectrique	3
I.2.6 Résistivité diélectrique.....	3
I.2.7 Conductivité électriques	3
I.3 Différents types d'isolants	3
I.3.1 Isolant gazeux	3
I.3.2 Isolants liquides	5
I.3.3 Isolants solides	5
I.4 Les isolateurs	4
I.4.1 Définition.....	4
I.4.2 Profil de l'isolateur	6
I.4.3 Fonctionnement et constitution d'un isolateur	7
I.5 Caractéristiques d'un isolateur	8
I.6 Types d'isolateurs	7
I.6.1 Isolateurs rigides	9
I.6.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne.....	8
I.6.3 Isolateur long fut	10
I.6.4 Isolateur capôt et tige	9
I.6.4.1 Les différents profils de l'isolatrice capot tige	10
I.6.4.2 Profil standard.....	10
I.6.4.3 Profil antibrouillard (forme A)	10
I.6.4.4 Profil antibrouillard (forme B)	10
I.6.4.5 Profil sphérique.....	12
I.6.4.6 Profil plat.....	11
I.7 choix des isolateurs	11
I.8 Matériaux utilisés pour les isolants solides	12
I.8.1 Céramique.....	12

TABLE DES MATIERES

I.8.2 Verre	13
I.8.3 Porcelaine	14
I.8.4 Pyrex	15
I.8.5 Silicone	16
I.9 Pollution des isolateurs.....	17
I.9.1 DEFINITIONS	17
I.9.2 courant de fuite critique	17
I.9.3 Tension de tenue (Tension d'essai).....	17
I.9.4 Contournement	19
I.9.5 Contrainte de contournement	17
I.9.6 Tension de contournement.....	17
I.9.7 Courant de fuite	19
I.9.8 Longueur critique de l'arc	18
I.9.9 Conductance superficielle	18
I.10 SOURCES DE POLLUTION.....	20
I.10.1 Pollution naturelle	20
I.10.2 Pollution industrielle.....	19
I.10.3 Pollution mixte.....	21
I.11 FORMATION ET REPARTITION DE LA COUCHE DE POLLUTION	20
I.11.1 La non- uniformité longitudinale par groupe.....	20
I.11.2 La non-uniformité transversale.....	20
I.11.3 La non-uniformité longitudinale périodique	20
I.12 CONSEQUENCES DE LA POLLUTION.....	21
I.13 MESURES DE LA SEVERITE D'UN SITE.....	23
I.13.1 Classification de la sévérité des couches polluantes	23
I.13.2 Méthode de mesure de la salinité d'un site	23
I.13.2.1 Densité du dépôt de sel équivalent.....	23
I.13.2.2 Conductance superficielle	24
I.13.2.3 Courant de fuite	24
I.13.2.4 Contrainte de contournement.....	24
I.13.2.5 Mesure de la pollution de l'air	25
I.13.2.6 Mesures optiques.....	25
I.14 METHODE D'ESSAIS SOUS POLLUTION.....	25
I.14.1 Essais sous pollution naturelle.....	25
I.14.2 Essais sous pollution artificielle.....	25
I.14.2.1 Méthode de brouillard salin	26

TABLE DES MATIERES

I.14.2.2 Méthode de la couche solide	26
I.15 TECHNIQUE DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION.....	26
I.15.1 Allongement de la ligne de fuite	30
I.15.2 Utilisation des isolateurs plats	30
I.15.3 Graissage périodique	30
I.15.4 Revêtement silicone.....	30
I.15.5 Les isolateurs composites	31
I.15.6 Nettoyage des isolateurs	31
I.16 Conclusion	32

Chapitre II : Etude de la non-uniformité de la couche de pollution

II.1 Introduction	34
II.2. Modeles D'isolateurs.....	34
II.2.1. Modèle de J.Danis	34
II.2.2. Modèle de M. N. Rayes et M. Zhirh.....	37
II.2.3 Modèle de A.Mekhaldi et S.Bouazabia	39
II.2.4 Modèle de D. Namane	40
II.3 Conclusion.....	42

Chapitre III : Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.1 Introduction.....	43
III.2 Présentation du model 1512L	43
III.2.1 Objet d'essai	44
III.3 Configuration uniforme de la couche de pollution.....	45
III.3.1 Etude de la tension de contournement	45
III.3.2 Etude du Courant de fuite	47
III.3.2.1 Influence de la conductivité.....	47
III.3.2.2 Influence de la tension appliquée	48
III.4 Etude de la configuration non uniforme de la couche de pollution	49
III.4.1 Etude de la tension de contournement	49
III.4.2 Influence de la longueur et la position de la couche polluée	49
III.4.3 Etude du courant de fuite	51
III.4.3.1 Influence de la tension appliquée	51
III.4.3.2 Influence de la largeur de la couche polluante.....	53
III.4.3.3 Influence de la position de la couche polluante.....	55
III.5 Conclusion	58

TABLE DES MATIERES

CONCLUSION GENERALE.....	61
--------------------------	----

Liste des figures

Figure I.1 Exemple de profil réel d'un isolateur .	5
Figure I.2 Isolateur de haute tension.	7
Figure I.3 Les caractéristiques d'un isolateur	8
Figure I.4 photo Isolateur rigide.	9
Figure I.5 Isolateur à log fut en porcelaine céramique	9
Figure I.6 Vue en coupe d'un isolateur capôt et tige	11
Figure I.7 Différents profils d'isolateurs à capot tige	11
Figure I.8 Isolateurs en céramique à haute tension	13
Figure I.9 Isolateurs en verre à haute tension	14
Figure I.10 Isolateurs en Porcelaine	15
Figure I.11 Isolateurs en Pyrex	16
Figure I.12 Isolateurs en silicone	16
Figure I.13 Nettoyage des isolateurs	32
Figure II.1 Modèle de J.Danis	37
Figure II.2. Modèle de M N.Rayes et M.Zhirh	38
Figure II. 3 Modèle de A.Mekhaldi et S.Bouazabia	40
Figure II.4 Modèle de D. Namane	41
Figure III.1. modèle réel de l'isolateur 1512L. plein pollution	44
Figure III.2 modèle plan étudié	45
Figure III.3 : la tension de contournement en fonction de la conductivité.	46
Figure III.4: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la conductivité pour différentes valeurs de la tension appliqué.	47
Figure III. 5: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour différentes valeurs de la conductivité.	48
Figure III.6 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour pour les deux configurations.	51

Liste des figures

Figure III.7: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes longueur de la couche pollué coté haute tension.	52
Figure III.8: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes longueur de la couche pollué coté terre.....	53
Figure III.9: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche pollué coté haute tension).....	54
Figure III.10: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de durapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche pollué coté terre).	55
Figure III.11: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour les deux configurations (largeur de la couche pollué 10 cm)	56
Figure III.12: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour les deux configurations (largeur de la couche pollué 20 cm)	57
Figure III.13: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différentes coté de la couche pollué (tension appliquée 9kV)...	57
Figure III.14: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différentes coté de la couche pollué (tension appliquée 21kV).	58

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les valeurs moyennes de la tension en fonction des conductivités.....**46**

Tableau III.2 : tension de contournement pour la pollution non-uniforme du côté haute tension et côté terre en fonction de la largeur de la couche polluante..... **50**

Liste des nomenclatures

Liste des nomenclatures :

RS : Résistance surfacique.

R_v : Résistance Volumique.

L_c : 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**

U_c : Tension de contournement minimal.

r : Résistance de pollution linéique.

L_f : Ligne de fuite.

***bw* : Largeur de l'isolateur.**

δ_s : Conductivité de la couche de pollution.

***rd* : Le rayon du pied de la charge.**

σ : Conductivité exprimée $\mu\text{s}/\text{cm}$.

ϵ_r : Constant diélectrique.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

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 [1].

Les isolateurs sont des éléments essentiels dans la conception d'une ligne aérienne. Leur rôle est de relier les conducteurs sous tension aux supports et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux parties constitutives de la ligne pour éviter tout risque d'amorçage. En effet, le choix du type d'isolateur, les contrôles de réception, la surveillance en exploitation doivent être faite avec un maximum de soin, pour assurer le bon fonctionnement de la ligne [2].

De ce fait, les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie [3]. Le phénomène de pollution des isolateurs peut être considéré comme un déversement continu ou intermittent d'impuretés d'origines diverses. Ces impuretés peuvent provenir des flots de fumée qui s'échappent des appareils d'évacuation (pollution industrielle ou urbaine), ou alors de fines particules salines dans les régions situées au bord de la mer (pollution marine), et même de particules de sable plus ou moins fines dans les régions désertiques (pollution désertique) [1].

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.

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.

Le présent notre travail exposera, dans un premier chapitre, les concepts fondamentaux liés aux isolateurs, leurs différents types et leur fonctionnement et constitution ainsi que les

Introduction Générale

matériaux utilisés dans la fabrication. Nous exposerons par la suite une présentation des phénomènes de pollution et leurs conséquences sur le transport de l'énergie électrique, certaines méthodes de mesure de la sévérité de pollution des sites, différentes techniques de lutte contre la pollution, diverses méthodes de surveillance des isolateurs soumis à la pollution, ainsi que les méthodes d'essais sous pollution naturelle et artificielle.

Dans le deuxième chapitre, nous citerons les principaux modèles rencontrés dans la littérature décrivant les phénomènes de contournement des isolateurs sous atmosphère polluée.

Le troisième chapitre est entièrement consacré à l'étude du comportement du modèle plan lorsque la pollution est uniforme avec plusieurs conductivités, et lorsque la pollution est non uniforme pour deux cas de figures. Nous présentons les résultats concernant 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.

Chapitre 1

Pollution Des Isolateur De Haute Tension

I.1 Introduction

Dans les lignes de transport d'énergie électrique, l'isolant principal est l'air, cependant, on utilise des isolateurs attachés à des pylônes afin de maintenir les câbles suspendus dans l'air. Dans ce cas, l'isolant joue un rôle essentiellement mécanique. Il n'en demeure pas moins que le matériau utilisé doit posséder d'excellentes propriétés d'isolation électrique. Les matériaux isolants occupent une place importante dans les applications électriques. On les retrouve partout où il y a des conducteurs électriques. Ils doivent être entourés d'isolant, afin de :

- Protéger les utilisateurs contre les chocs électriques ;
- Protéger l'équipement électrique contre les risques de court-circuit ;

En outre, ils sont conçus de telle sorte que leur perforation soit impossible. Cette précaution permet aux isolateurs d'assurer la continuité de leur fonction de support mécanique même lorsque leur fonction d'isolation électrique n'est plus remplie.

I.2 Définitions relatives aux matériaux diélectriques

I.2.1 Isolant [4]

Un isolant est une substance dont la conductivité est nulle, ou en pratique très faible. L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction électrique entre conducteurs soumis à des potentiels électriques différents. On peut considérer comme isolant, tous les matériaux dont la résistivité est supérieure à $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$.

I.2.2 Isolation [5]

C'est un système constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.

I.2.3 Diélectrique

Un diélectrique est défini comme un milieu matériel dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparées par une énergie supérieure à 5 eV. Le milieu matériel peut être constitué par un solide, un liquide ou un gaz.

I.2.4 Décharge disruptive [7]

Le développement de la décharge disruptive (ou perforation diélectrique) à l'intérieur des matériaux isolants solides est lié à un ou à une association des phénomènes suivants :

Décharge intrinsèque ;

Décharge thermique ;

Décharge partielle.

I.2.5 Rigidité diélectrique

C'est la propriété d'un diélectrique de s'opposer à la décharge disruptive. Si on augmente progressivement la tension entre les deux armatures de condensateur jusqu'à une certaine valeur (tension disruptive); il se produit une décharge entre ces deux armatures avec l'apparition d'une étincelle (arc électrique). Numériquement, la rigidité diélectrique est le rapport entre le potentiel appliqué et la distance entre les électrodes au moment où la rupture s'effectue [11].

I.2.6 Résistivité diélectrique

Sous l'action du champ électrique, toutes les charges se mettent en mouvement. Dans un diélectrique ce mouvement est un courant électrique, le mouvement des charges libres bien que leur quantité est, très faible constituent un courant de fuite. Ce dernier a deux chemins possibles : il passe à travers le diélectrique lui-même ou bien il s'écoule par la surface du diélectrique. On aura donc un courant de fuite surfacique et un autre volumique. Chacun d'eux développe une résistance surfacique (R_S) et une autre volumique (R_v) [11].

I.2.7 Conductivité électriques

La conductivité électrique est la capacité d'un matériau à laisser passer et conduire le courant électrique, comme la plupart métaux et les solutions chargées en ions.

I.3 Différents types d'isolants

I.3.1 Isolant gazeux [5]

L'air et les gaz secs sont de bons isolants, ils ont des propriétés particulières :

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature du gaz ;
- Permittivité faible, les gaz sont auto-générateurs ;
- Légers et non inflammables

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, gaz rares de l'air, L'hydrogène.

I.3.2 Isolants liquides [5]

Les liquides diélectriques sont souvent utilisés en association avec des solides :

Transformateurs, condensateurs, câbles. Les liquides sont utilisés pour :

- Améliorer le pouvoir de coupure de certains appareils électriques par l'amélioration des conditions d'extinction de l'arc électrique ;

- Assurer une bonne isolation électrique et permettre un bon refroidissement.

I.3.3 Isolants solides [6]

Les isolants solides sont d'origine minérale, organique :

- les isolants d'origine minérale sont des substances siliceuses et calcaire, solides à la température ordinaire, incombustibles et supportant des températures élevées, à l'exception des hydrocarbures (verre, produits céramiques,...) ;
- les isolants d'origine organique sont généralement des substances fibreuses à base de cellulose. Ces matériaux ont une bonne résistance mécanique, ils sont combustibles et ne supportent pas des températures supérieures à 100°C sans perdre leurs propriétés mécaniques et diélectriques (cellulose, silicone) ;
- les isolants d'origine résineuse sont généralement des matières organiques naturelles ou synthétiques qui peuvent se présenter à l'état solide, thermoplastique ou plastique (Caoutchouc, ...).

I.4 Les isolateurs

I.4.1 Définition

L'isolateur est utilisé comme son nom l'indique pour l'isolement entre deux corps ou deux pièces sous différentes tensions pour empêcher les courts circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution. L'isolateur est un matériau solide, liquide ou gaz qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle [13].

I.4.2 Profil de l'isolateur

Pour assurer sa fonction, le profil de l'isolateur doit satisfaire les conditions suivantes :

1. Une longueur de fuite maximale
2. Un nombre optimum de nervures (pour une taille donnée de l'isolateur) qui permet d'avoir une tension de contournement plus élevée.
3. Une géométrie de l'isolateur permettant le nettoyage naturel de l'isolateur par le vent ou par la pluie.
4. Des diamètres de l'isolateur différents assurant une contamination non-uniforme et donc des tensions de contournement plus élevées.

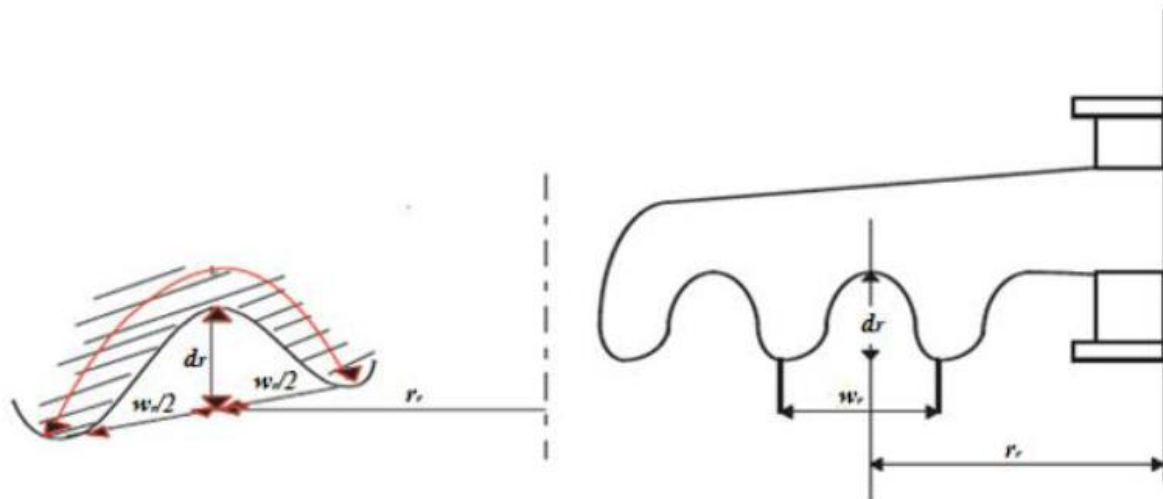


Figure I.1 Exemple de profil réel d'un isolateur [14].

Avec :

w_r : la largeur de la rainure en cm.

d_r : sa hauteur en cm.

r_r : la distance qui sépare la rainure et l'axe de symétrie de l'isolateur en cm.

I.4.3 Fonctionnement et constitution d'un isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes, ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe, ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [15]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme étant deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents [15].

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air-matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de

Fuite, ligne le long de laquelle circulerait le courant de fuite).



Figure I.2 Isolateur de haute tension.

I.5 Caractéristiques d'un isolateur

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

1. **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.
2. **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.
3. **La ligne de contournement L_c** : C'est la distance la plus courte dans l'air entre Deux parties conductrices [16].

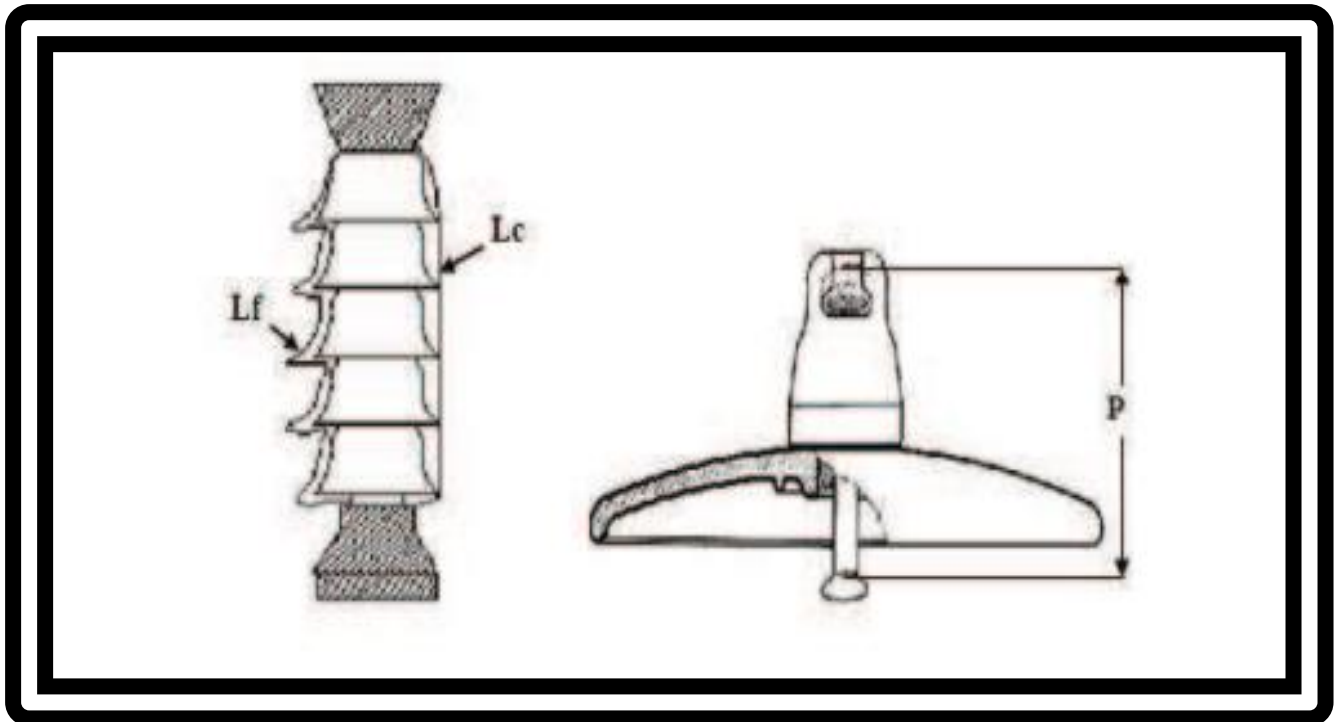


Figure I.3 Les caractéristiques d'un isolateur

I.6 Types d'isolateurs

Vu les différentes façons d'utilisations et les différentes conditions de fonctionnement des isolateurs, on en distingue des types différents des isolateurs. La différence entre ces types se fait soit par leur fonction (support ou traversée), soit par le matériau isolant utilisé pour la fabrication de ces isolateurs, soit encore par leur profil ou par leur mode de fixation.

I.6.1 Isolateurs rigides

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'un ou plusieurs isolateurs encastrés et scellés entre eux, ils sont fixés aux pylônes par des ferrures de différentes formes. Ils sont montés sur pylônes soit d'une façon verticale, horizontale ou oblique (inclinée). Mais ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 KV [15].



Figure I.4 photo Isolateur rigide.

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) [17].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

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

I.6.3 Isolateur long fut

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux Synthétiques muni d'ailettes.

A chaque extrémité il y a une pièce métallique pour les liaisons.

Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle enveloppe les extrémités tronconiques sur le cylindre (figure a), soit en forme de tige scellée dans une Cavité prévue à cet effet (figure b) [18].

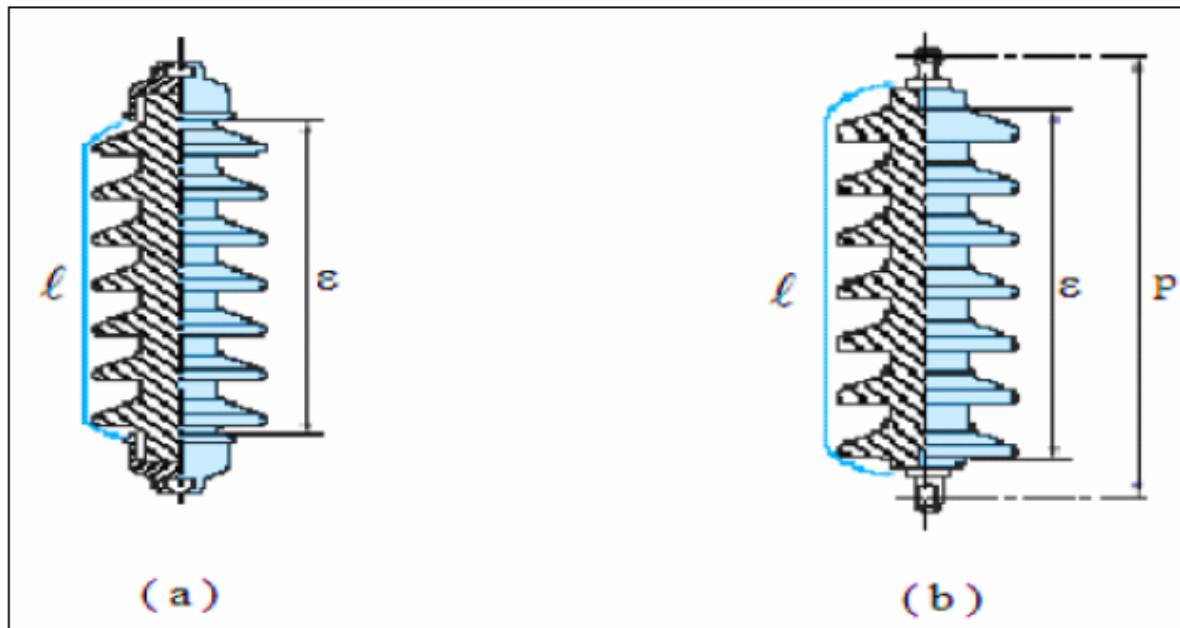


Figure I.5 Isolateur à log fut en porcelaine céramique

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

P : Pas nominal.

ε : Longueur du canal de perforation $\frac{l}{2} \ll \varepsilon$.

I.6.4 Isolateur capot et tige

Élément de chaîne constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige.

La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (Figure I.6). La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur lesquels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement [13].

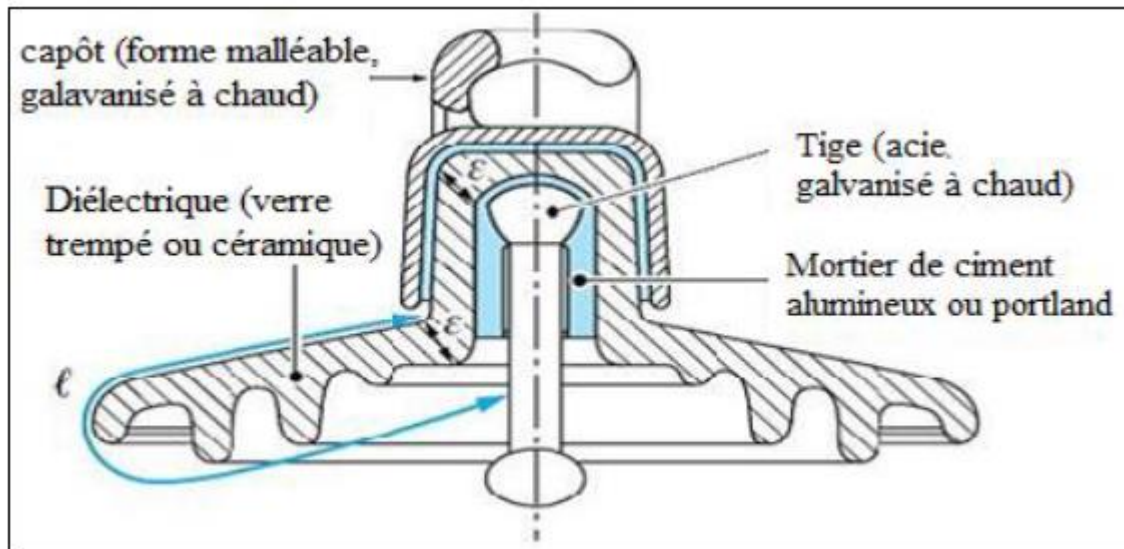


Figure I.6 Vue en coupe d'un isolateur capôt et tige

I.6.4.1 Les différents profils de l'isolatrice capôt tige

Afin d'améliorer le fonctionnement des isolateurs dans les régions polluées, la CEI (comité international d'électrotechnique) a proposé plusieurs profils. Nous pouvons citer :

I.6.4.2 Profil standard

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 [19].

I.6.4.3 Profil antibrouillard (forme A)

Il est de conception avec un diamètre plus grand que le type de profil standard muni de deux ou trois rainures à grande profondeur. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire et empêche le claquage entre rainures voisines quand il y a une pollution sévère et tout le profil intérieur simplifie la maintenance [20].

I.6.4.4 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 [19].

I.6.4.5 Profil sphérique

La forme sphérique permet une longueur de fuite équivalente à celle l'absence de rainures

internes permet un lavage manuel facile et efficace [21].

I.6.4.6 Profil plat

L'élimination complète des rainures internes réduit grandement l'accumulation de pollution sur la surface basse, grâce au courant d'air. Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquente par pluie [21].

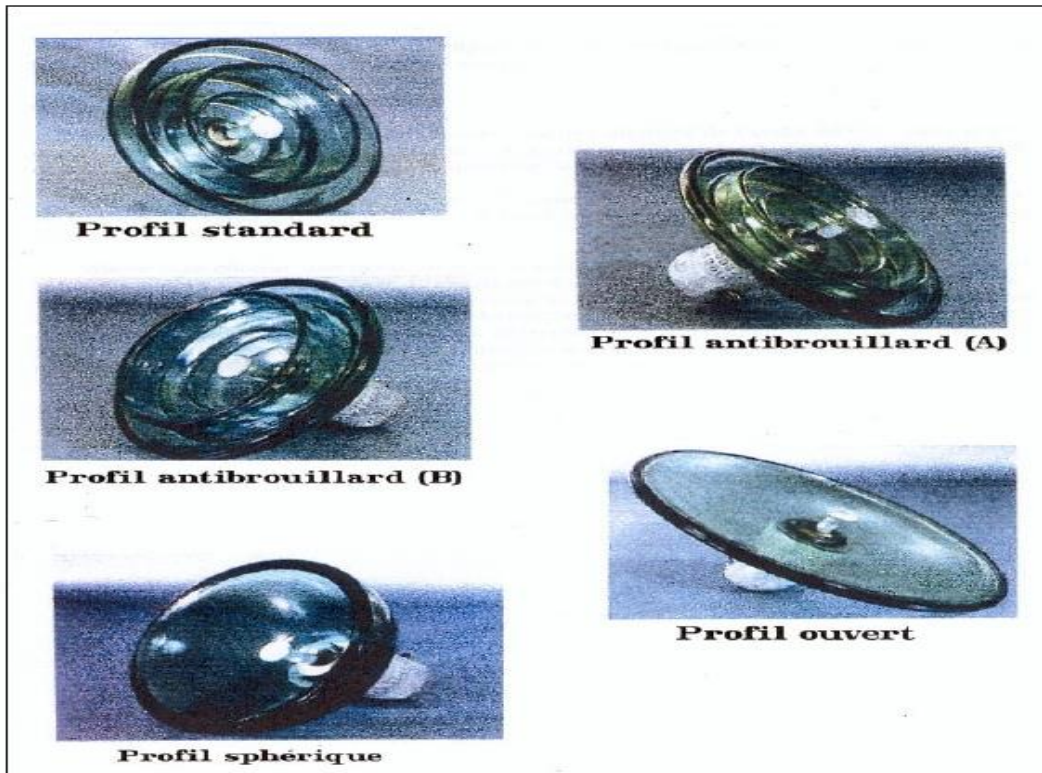


Figure I.7 Différents profils d'isolateurs à capot tige

I.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 sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service.

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 [22].

Même bien choisie, une isolation n'est jamais à l'abri d'un incident :

- La sévérité de la pollution d'un site peut changer.
- L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste.

- La construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement Météorologique. Exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la Pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation.

Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution éventuelles [23].

I.8 Matériaux utilisés pour les isolants solides

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des Isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont la lourdeur des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années, on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [24].

I.8.1 Céramique

Le développement de 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. [24].



Figure I.8 Isolateurs en céramique à haute tension

I.8.2 Verre

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation facile défauts. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

* Verre trempé

La résistance à la traction du verre trempé est environ 5 à 6 fois plus grande que le verre recuit et peut supporter des variations brusques de température pouvant atteindre 100°C [24].

* Verre recuit

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant

des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension [24].



Figure I.9 Isolateurs en verre à haute tension

I.8.3 Porcelaine

La porcelaine est constituée par du kaolin et du quartz de première qualité. Ils sont cuits à 1400 °C, puis recouverts d'émail au silicate et recuits au four pour obtenir une glaçure à chaud qui le rend imperméable à l'eau. La rigidité diélectrique de la porcelaine varie entre 25 et 35 kV/mm, sa permittivité relative oscille entre 6 et 7. Elle est dotée d'une grande Résistivité, environ $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ à 20 °C, ses pertes diélectriques sont faibles en basse fréquence et en haute tension, quant à sa résistance mécanique, elle varie entre 2500 et 4000 N/mm. En plus de ces bonnes caractéristiques, elle oppose une grande résistance aux agents atmosphériques et chimiques, elle n'absorbe pas l'humidité. Elle présente aussi une grande résistance aux températures élevées sauf qu'au-delà de 300 °C, ses propriétés diélectriques diminuent rapidement [3, 9].



Figure I.10 Isolateurs en Porcelaine

I.8.4 Pyrex

Il est utilisé pour la conception des isolateurs grâce à sa résistance aux variations brusques de la température. Il présente une résistivité électrique allant de 10^{10} à $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

Sa rigidité

Diélectrique varie entre 20 à 50 kV/cm [11]



Figure I.11 Isolateurs en Pyrex

I.8.5 Silicone

Les silicones est un nom donné à toute une catégorie de corps récemment inventés qui sont analogues aux résines synthétiques. Ils sont différents, parce qu'ils ne contiennent que peu ou pas de carbone dans la constitution de leurs molécules. Ils ne sont pas combustibles. On en a fabriqué de nombreuses variétés aux propriétés très diverses et faites des huiles, des vernis, des graisses, du caoutchouc [11].



Figure I.12 Isolateurs en silicone

I.9 Pollution des isolateurs

Avant d'aborder les phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension, nous avons jugé opportun et adéquat de donner quelques définitions de certains termes que nous utilisons fréquemment.

I.9.1 DEFINITIONS**I.9.2 courant de fuite critique**

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer le contournement sous pollution d'un isolateur à tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essai ainsi que la forme de l'isolateur.

I.9.3 Tension de tenue (Tension d'essai)

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive (contournement dans le cas des isolateur) [12].

La tension d'essai ou de tenue est fixée par les règles nationales ou internationales et permet une coordination correcte de l'isolement.

I.9.4 Contournement [7]

Décharge disruptive le long d'une surface solide dont la trajectoire contourne ce dernier (cas d'isolateur). Le terme contournement est employé pour des décharges disruptives par amorçage dans l'air entourant l'isolateur.

I.9.5 Contrainte de contournement [10]

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de tension contournement à la longueur totale de l'isolateur.

I.9.6 Tension de contournement [7]

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs Oignent les deux électrodes. La tension de contournement dépend :

- * De la résistivité volumique moyenne de la pollution.
- * De la répartition de la couche de pollution.
- * De la longueur de l'isolateur.
- * Du profile de l'isolateur.

I.9.7 Courant de fuite [8]

C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et

de la longueur de la ligne de fuite. Dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante, provoque la formation d'une couche électrolytique.

I.9.8 Longueur critique de l'arc

C'est la longueur limite de l'arc partiel, qui au-delà de laquelle, l'arc conduira au contournement total. Autrement dit, pour une tension donnée, si l'arc atteint cette longueur, il est probable que le contournement ne se produise pas encore, mais dès qu'il la dépasse, le contournement est inévitable.

I.9.9 Conductance superficielle [9]

La conductance superficielle est le rapport du courant de fuite traversant l'isolateur à la Tension appliquée. Elle caractérise l'état global de la surface d'isolateur.

I.10 SOURCES DE POLLUTION

La nature de la pollution dépend des facteurs géographique et climatique. Les diverses sources de pollution les plus fréquemment observées sur les isolateurs peuvent être regroupées selon leurs origines et classées comme suit [10, 13]:

I.10.1 Pollution naturelle

Ce type de pollution peut être constitué par la pollution naturelle d'origine marine, celle provenant des dépôts de poussières naturelle, du sable véhiculé par les vents en régions désertiques, les pluies, ... etc.

A. Pollution marine

Dans les ouvrages installés en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégés.

Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [3, 14].

B. Pollution désertique

Dans les régions désertiques les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur la surface 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 contournement total de l'isolateur [14, 15].

C. Autres sources de pollution

La pluie est un phénomène naturel propice à l'humidification des isolateurs par excellence. Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides. Cependant, cet auto-lavage, favorable à l'amélioration des qualités diélectriques des isolateurs, est contrarié par le phénomène de ruissellement.

En présence d'une pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de la colonne isolante [2, 3, 14]. Comme l'eau n'est jamais parfaitement isolante, ce phénomène peut entraîner le contournement de la chaîne d'isolateur ; c'est le contournement sous pluie. Il est généralement admis que la pollution est plus contraignante que la pluie dans la mesure où la résistivité des couches polluantes est bien inférieure à celle de la pluie.

I.10.2 Pollution industrielle

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité de raffineries, de cimenteries, de complexes sidérurgiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes des fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage polluants des habitations, véhicules automobiles ...) ou agricole (engrais) [13, 15].

Les isolateurs se recouvrent des poussières faiblement conductrices, mais hygroscopiques (absorbent l'humidité). A la présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces poussières abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs et le contournement peut parfois survenir [17].

I.10.3 Pollution mixte

La pollution mixte résulte de la combinaison d'une ou de plusieurs pollutions précitées. C'est la forme de pollution la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Il est à noter que par suite du lavage périodique des dépôts par la pluie, on atteint après une période d'exploitation plus ou moins longue, une « pollution limite » propre à chaque site, qui dépend entre autres de l'intensité de la pollution, de l'adhérence des poussières, de la fréquence de pluie, [13, 14].

I.11 FORMATION ET REPARTITION DE LA COUCHE DE POLLUTION

L'interaction entre l'écoulement d'un air transportant de la poussière et l'obstacle que constituent les isolateurs engendre, en présence de l'humidité, la formation d'une couche de poussière sur la surface de ces isolateurs. La répartition de cette pollution dépend du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto nettoyage (vent et pluie forts). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs n'est pas uniforme [14]. Cette non uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente.

D'après l'étude faite par H. Streubel [15], la non uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories.

I.11.1 La non- uniformité longitudinale par groupe

Elle est caractérisée par un ensemble de groupes d'isolateurs, soumis à différentes conductivités de la couche de pollution, dont la valeur est constante dans chaque groupe.

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

- Temporairement pendant le lavage sous tension.
- Dans les chaînes d'isolateurs en forme de « T ».
- Par effet du champ électrique où la concentration de la pollution est

Accentuée sur les isolateurs les plus proches de la borne haute tension.

I.11.2 La non-uniformité transversale

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite. Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies.

I.11.3 La non-uniformité longitudinale périodique

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire.

Ces principales spécifications sont :

- La face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure.
- La concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
- La pollution est plus accentuée entre les nervures.

I.12 CONSEQUENCES 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.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [9] :

A. Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courant de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation.

B. 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 nécessitant le remplacement de l'élément défaillant.

C. Contournement des isolateurs pollués

L'accumulation du dépôt est continue et elle n'est modifiée que par la pluie ou le vent. En position verticale, le nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que sur le dessous, d'où un dépôt plus important sur la surface inférieure des ailettes.

Généralement, les principaux phénomènes conduisant au contournement d'un isolateur pollué, soumis à la tension de service, comprenant la formation d'une couche électrolytique conductrice à la surface de l'isolateur, consiste en l'apparition brusque d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arcs partiels, et la propagation en surface de l'arc qui peut couvrir tout l'isolateur.

Le comportement des isolateurs sous pollution peut être par conséquent décomposé en quatre étapes distinctes. Chacune de ces étapes a une importance sur le résultat final, donc sur la tenue ou le contournement de la chaîne isolante sous tension de service du réseau.

Étape 1 : Dépôt de la pollution

Les particules du dépôt sont apportées par le vent et se concentrent entre les nervures ou autour du capot. Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

- La nature, le poids et la taille des particules polluantes.
- La distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peut provenir des poussières.
- La vitesse du vent.
- L'orientation de la chaîne. La forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto nettoyage par les forts pluies et vents.

Étape 2 : Humidification de la pollution

Le brouillard et la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions sont dites critiques. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, mais diminue s'il y a séchage. Le niveau de courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et insolubles. Ces derniers maintiennent par absorption une certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, entretenant ainsi l'humidification du dépôt.

Étape 3 : Développement des zones sèches et apparition d'arcs

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importants près des ferrures de l'isolateur. 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 ». La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée à ses bornes. Si la largeur de cette bande sèche est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc est créé.

Étape 4 : Comportement des arcs

La résistance du dépôt humidifié non court-circuité par l'arc limite le courant et la longueur de l'arc. Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle le « courant critique » correspondant à une « longueur critique » de l'arc,

cette situation reste stable. Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir [11].

I.13 MESURES DE LA SEVERITE D'UN SITE

Afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance dans un site pollué, il est nécessaire de caractériser la sévérité de la pollution de ce site.

Cette sévérité est généralement représentée par la conductivité des dépôts polluants. La sévérité considérée est alors exprimée en termes de salinité équivalente [16]. En effet, on peut faire correspondre à chaque site soumis indifféremment à une pollution naturelle ou Industrielle, une solution saline équivalente. Cette dernière est également définie à partir de la conductivité superficielle des couches polluantes.

I.13.1 Classification de la sévérité des couches polluantes

Afin d'évaluer l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la méthode de brouillard salin et les conditions de pollution naturelles, nous présentons les niveaux de pollution qui sont répartis en quatre classes de sévérité [8].

Classe 1 : Cette pollution correspond à une pollution faible. Elle est généralement naturelle (excepté la pollution marine) ou légèrement industrielle. La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium de 2.5 kg/m³ de concentration.

Classe 2 : La classe 2 correspond à une pollution moyenne. Elle est naturelle (sauf pollution marine) ou faiblement industrielle. En classe 2, la salinité équivalente maximale retenue est de 10 kg/m³.

Classe 3 : Cette classe correspond à des zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle. La salinité équivalente maximale concernant cette classe est de 80 kg/m³.

Classe 4 : Correspond aux zones où le niveau de pollution est exceptionnel. La pollution est éventuellement naturelle, industrielle ou mixte. La salinité équivalente maximale est de 160 kg/m³.

I.13.2 Méthode de mesure de la salinité d'un site

Les principales méthodes qui ont été proposées pour caractériser la sévérité d'un site sont [9, 17] :

I.13.2.1 Densité du dépôt de sel équivalent

Cette méthode permet d'établir une relation avec les méthodes d'essais sous pollution artificielle.

Des échantillons de sel sont prélevés à la surface d'un isolateur témoin par lavage, en utilisant un matériau absorbant (coton) et de l'eau distillée. Le dépôt est ensuite dissout dans une quantité de solution connue.

La conductivité de la solution obtenue ainsi que les caractéristiques de l'isolateur permettent de déterminer la salinité équivalente. Les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante afin d'obtenir les niveaux entre les périodes de lavage naturel.

I.13.2.2 Conductance superficielle

Cette méthode peut être représentatif d'un type de pollution du site étudié. En général, elle représente des résultats dispersés.

La conductance des isolateurs témoins, installés sur site, est obtenue à partir d'une mesure du courant de fuite en calculant le rapport $G=I/V$ ou V est la tension d'alimentation de l'isolateur témoin (tension de service). La conductivité superficielle est obtenue en multipliant la conductance G par un facteur de forme de l'isolateur. Généralement, la tension est appliquée aux électrodes terminales. Ce qui fournit la conductivité superficielle globale de l'isolateur.

I.13.2.3 Courant de fuite

On registre pendant une période donnée, sur un isolateur soumis à sa tension de service, le nombre d'impulsions du courant de fuite dépassant une amplitude fixée à l'avance.

L'existence d'impulsions procède généralement la phase de contournement.

Pour cet enregistrement, on utilise un isolateur en service ou un isolateur témoin et un dispositif permettant de compter les impulsions du courant de fuite [9]. Par la suite, on mesure la plus forte valeur de crête du courant de fuite. Les mesures devant être effectuées durant une période relativement longue [5, 9, 17].

I.13.2.4 Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est la tension de contournement divisée par la longueur totale de l'isolateur. Sur site, cette contrainte peut être mesurée de différentes façons [17], entre autres :

- Installation de chaînes d'isolateurs de même type, mais de différentes longueurs et soumises à une tension constante. On estime les probabilités de contournement à partir des proportions d'amorçage enregistrées.

- Une autre méthode consiste à disposer des éclateurs sur chaque chaîne, afin que la chaîne accroisse sa longueur effective jusqu'à atteindre le niveau de tenue en tension.

I.13.2.5 Mesure de la pollution de l'air

Les mesures de pollution de l'air s'effectuent sur une période de temps donnée et permettant d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de la pollution de l'air sur un site.

Les méthodes de mesures adoptées partent du principe qu'en ce qui concerne les phénomènes de contournement, une corrélation peut être établie entre l'analyse physico-chimique de l'air sur un site et la sévérité de la pollution sur ce même site [9].

I.13.2.6 Mesures optiques

Le but des mesures optiques est d'évaluer l'épaisseur de la couche de pollution déposée à la surface de l'isolateur. Un dispositif à rayons laser permet à partir des rayons réfléchis (amplitude, décalage de phase, etc.), de déterminer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut être ainsi se faire sans toucher à cette couche [9].

1.14 METHODE D'ESSAIS SOUS POLLUTION

Pour comparer les performances de divers types d'isolateurs et sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais. Ces derniers peuvent être effectués dans les conditions naturelles (sur site) ou au laboratoire. On distingue deux catégories de recherche sur les isolateurs pollués : Les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle [18, 19].

I.14.1 Essais sous pollution naturelle

Cette méthode consiste à installer dans différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs ou colonnes isolantes de longueurs et de profils différents.

Les qualités respectives de ces isolateurs soumis à une même tension, sont appréciées en fonction du temps au contournement ainsi qu'en se basant sur le courant de fuite ou la conductivité superficielle. On peut donc classer les isolateurs en distinguant ceux qui ont contourné de ceux qui ont tenu, par exemple durant deux ou trois ans d'exploitation.

L'inconvénient majeur de ces essais est la faite que la pollution est un phénomène qui présente une évolution lente à l'accumulation progressive des dépôts.

I.14.2 Essais sous pollution artificielle

Les chercheurs ont tenté de créer artificiellement au laboratoire une pollution. Cette procédure a pour but principal d'éviter l'inconvénient des essais naturels, qui est leur durée.

Afin de valider ces essais artificiels, il a été nécessaire de comparer les isolateurs essayés au laboratoire à ceux observés sous pollution naturelle par critère de mérite, et qui sont :

- La tension de contournement ou la sévérité maximale de la pollution artificielle que l'isolateur peut supporter sans défaillance pour les essais au laboratoire.
- Le temps au contournement pour les essais sur site [5].

Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisés sont la méthode du brouillard salin et les méthodes de la couche solide [20].

I.14.2.1 Méthode de brouillard salin

La solution saline dans la méthode du brouillard salin représente assez bien la pollution Marine contenant un peu de matière insoluble. Elle est valable pour représenter de nombreux dépôts de pollution industrielle ayant une couche de pollution relativement mince [2, 13, 21, 22].

L'isolateur soumis à la tension est placé dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité.

D'après la classification des sites pollués, les valeurs de salinité appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 160 kg/m³ [23].

I.14.2.2 Méthode de la couche solide

Cette méthode consiste en l'application d'une couche solide à la surface de l'isolateur tels que les cendres de carburant et le ciment, pouvant contenir des quantités d'eau relativement importantes [2, 21].

Cette couche est composée d'un matériau solide contenant des ingrédients ioniques. Elle devient conductrice avec l'humidification.

On utilise généralement la farine de quartz comme matériau solide et le chlorure de sodium comme ingrédient ionique.

I.15 TECHNIQUE DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION

La sévérité de la pollution d'un site peut changer simultanément. La création d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, ou plus simplement un événement métrologique exceptionnel peut augmenter temporairement ou durablement la pollution du site.

Dans ces conditions, le dimensionnement initial des isolateurs peut alors devenir insuffisant. Pour protéger ces isolateurs, différentes méthodes sont adoptées [5] :

I.15.1 Allongement de la ligne de fuite

Cette méthode permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions atmosphériques. Deux techniques sont utilisées :

- Le changement d'isolateur afin d'allonger la ligne de fuite. Cette technique est très coûteuse et parfois impossible à réaliser en poste.
- L'utilisation de prolongateur de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [24].

I.15.2 Utilisation des isolateurs plats

Bien que cette méthode diminue la ligne de fuite contrairement à la méthode précédente, ces isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs classiques. Les isolateurs plats s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent [8]. Ils sont principalement utilisés dans les pays désertiques soumis à des tempêtes de sable où la principale source d'humidification est la condensation [5].

I.15.3 Graissage périodique

Cette méthode est utilisée seulement pour les isolateurs de poste. Par mesure économique, On utilise des graisses de silicone grâce à sa propriété hydrophobe. La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité des graisses [8].

I.15.4 Revêtement silicone

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs [5]. Ce revêtement protège les isolateurs et améliore leur tenue sous pollution.

I.15.5 Les isolateurs composites

Ces isolateurs sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine d'un revêtement à ailette de type élastomère [5]. Ils présentent entre autres, l'avantage d'une grande légèreté alliée à une grande résistance mécanique que lui confère le noyau. Ils ont aussi de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères.

I.15.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues.

Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles [11]. Dans ces deux cas et afin d'éliminer tout risque de contournement, le lavage est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau, le processus et les distances de sécurité.

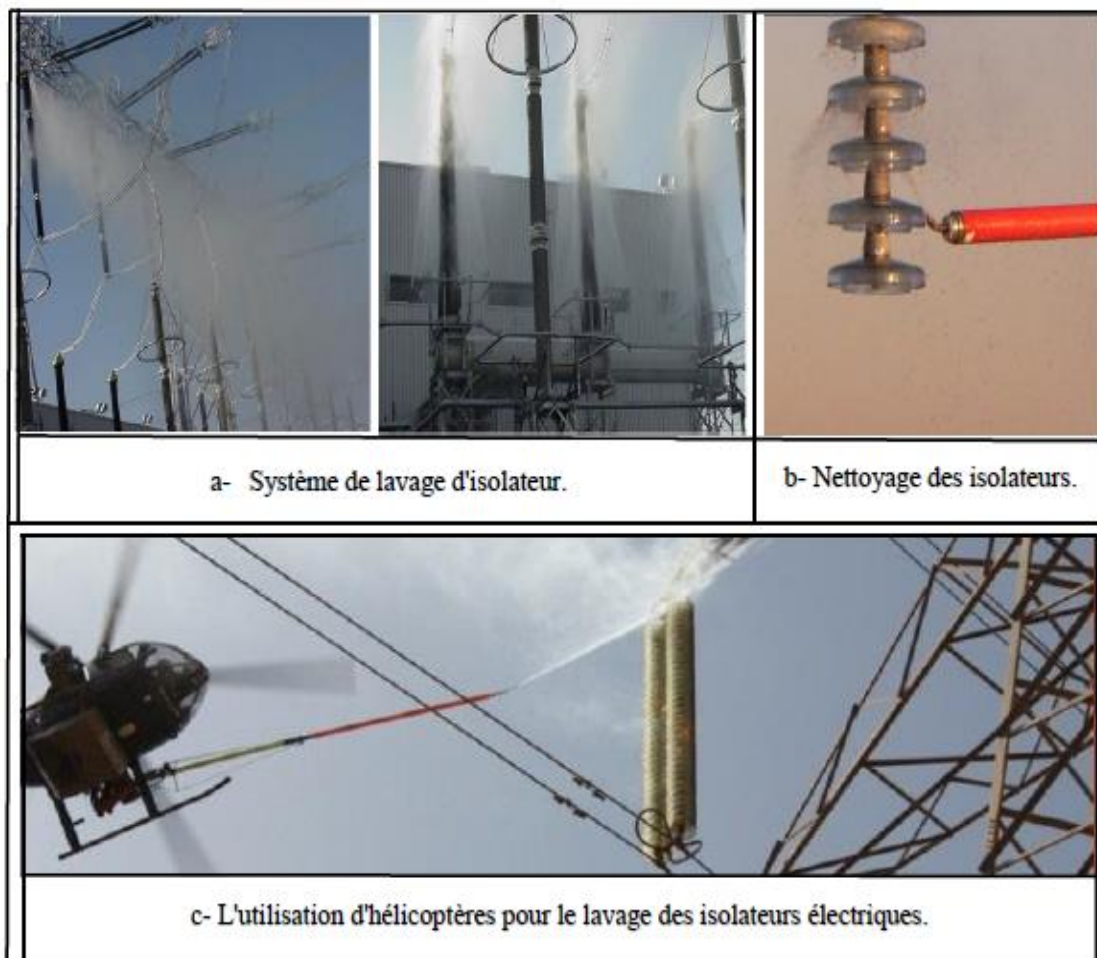


Figure I.13 Nettoyage des isolateurs

I.16 Conclusion

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaire pour déterminer la sévérité d'un site.

Le fait de disposer d'une méthode de pollution artificielle permet de n'effectuer l'expérimentation (sur site) que sur un seul type d'isolateurs et éventuellement à un niveau de tension différent que celui prévu, ce qui constitue déjà un avantage considérable.

Afin d'être en mesure de fournir rapidement des renseignements concernant l'isolement nécessaire, il serait préférable de disposer d'une carte de sévérité des principaux sites

Pollués. On propose de les classer en quatre catégories de sévérité auxquelles correspondent des longueurs minimales de lignes de fuite à respecter pour les isolateurs en services dans ces sites.

Chapitre 2

Etude de la non-uniformité de la couche de pollution

II.1 Introduction

Plusieurs travaux expérimentaux et théoriques ont été consacrés pour expliquer le mécanisme conduisant au contournement des isolateurs pollués. Le but de ces travaux est d'élaborer un modèle pouvant tenir compte des paramètres réels intervenant dans la génération et la propagation des arcs électriques sur les surfaces isolantes. Il s'agit en particulier de la forme des isolateurs, de la répartition des couches polluantes (homogènes ou non homogènes), de la résistivité des échanges thermiques, de la non uniformité du mouillage, de l'intensité des arcs au voisinage de la surface isolante, de la formation d'arcs multiples et de la détermination de la tension de contournement. Dans ce qui va suivre, nous allons exposer une recherche bibliographique des différents modèles statiques et dynamiques développés dans ce domaine. Devant le nombre incalculable de paramètres pouvant intervenir dans le comportement des isolateurs, des modèles de laboratoires sont parfois adoptés par les chercheurs. Ces travaux présentent l'avantage de contourner la difficulté liée à la forme complexe de l'isolateur, par des modèles à géométrie simple.

Nous citons brièvement quelques-uns de ces modèles sous pollution :

- Modèle de J.Danis
- Modèle de M. N. Rayes et M. Zhirh
- Modèle de A.Mekhaldi et S.Bouazabia
- Modèle de D. Namane

II.2. Modèles D'isolateurs

Afin de contourner la difficulté liée à la configuration souvent complexe de l'isolateur, des modèles simples de laboratoire ont été adoptés par un certain nombre de chercheurs.

II.2.1. Modèle de J.Danis

Ce modèle est constitué d'une plaque de verre isolante, plane ou cylindrique, munie de deux électrodes rectangulaires identiques et placées aux deux extrémités de la plaque (Fig. II.1).

Dans le but de reproduire des couches similaires à celles observées sur des isolateurs naturellement pollués, J.Danis [18, 20] a considéré un modèle constitué de plusieurs zones

sèches séparées par des zones humides (Fig. II.1.a). Ainsi, l'auteur a abouti aux résultats suivants :

- L'arc électrique prend naissance dans les zones sèches et se déplace vers les zones humides (Fig. II.1.b).
- Cet arc s'amorce d'une façon aléatoire le long de la zone sèche et aucune position n'est privilégiée par rapport à une autre.
- Aux premiers stades du processus, de nombreux arcs partiels peuvent avoir lieu dans la zone sèche. Lorsque le courant augmente, les arcs disparaissent de telle sorte qu'un seul arc dominant persiste. Celui-ci se développe donc, seul, à travers la zone humide.
- Le développement de l'arc d'une zone sèche s'effectue de manière à rejoindre l'arc développé sur la zone sèche voisine (Fig. II.1.c).
- Le contournement se fait à travers les chemins déjà préétablis par les différents arcs de chaque zone sèche (Fig. II.1.d).
- Les positions des arcs développés changent lorsque l'expérience est répétée, et le contournement se fera donc à travers un autre chemin qui n'est pas forcément le plus court (Fig. II.7.e).

A partir de ces considérations, l'auteur a conclu que le lieu, la forme et la propagation des arcs partiels sont déterminés à partir de plusieurs facteurs qui sont dépendants entre eux.

Comme il est impossible de déterminer l'effet instantané de tous ces facteurs, le comportement macroscopique de ces arcs a une nature aléatoire. Ainsi, la rupture des zones sèches survient d'une manière aléatoire. Comme la tension de contournement dépend de la rupture de ces zones sèches, celle-ci possède également le même caractère, c'est à dire qu'elle obéit aux lois statistiques.

Une simulation numérique des observations expérimentales, utilisant des photographies à grande vitesse (3000 images par seconde), a été effectuée pour déterminer cette tension.

En considérant que la résistance de la couche polluante est linéaire par rapport à la longueur, l'équation qui régit le modèle est :

$$U = \frac{\alpha x}{in} + r_p (L_f - x) i \quad \text{II.1}$$

Avec :

$n \geq 0.5$ et $200 \leq A \leq 400$,

rp : est la résistance linéique.

Le courant et la tension critique déduite par l'auteur sont donnés par les expressions :

$$I_C = \left(\frac{A}{rp} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad \mathbf{II.2}$$

Et

$$u_C = L(Arp)^{\frac{1}{n+1}} = Ai_c^{-1} \quad \mathbf{II.3}$$

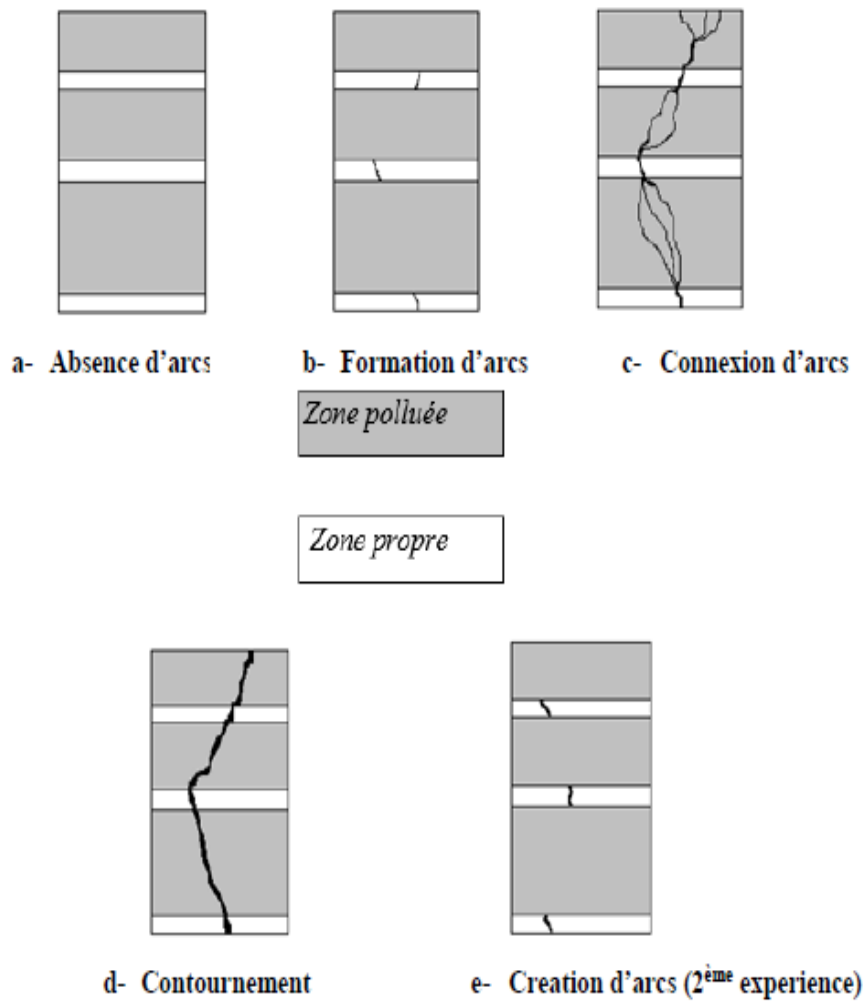


Figure II.1 Modèle de J. Danis

II.2.2. Modèle de M. N. Rayes et M. Zhirh

Le modèle est constitué d'une électrode de haute tension placée au-dessus d'une plaque isolante, à une distance s , considérée égale à la largeur de la zone sèche. La plaque isolante est placée sur quatre colonnes uniformément polluées, de longueur $l - S$, égale à la distance séparant cette plaque de la terre (Figure I.2) [25].

En faisant varier la longueur des colonnes, et en relevant les tensions de contournement correspondantes, les auteurs font les remarques suivantes :

L'allure des courbes représentant la variation de la tension de contournement en fonction de la distance S est en forme de V, et le minimum correspond à une largeur S_{min} située à environ 45-50% de la longueur l .

Pour une même largeur de la zone sèche, la tension de contournement diminue avec la conductivité des couches polluantes.

La tension de contournement de l'ensemble zone sèche-zone polluée semble être confondue avec celle de la zone polluée lorsque $S < S_{min}$, et avec celle de la zone sèche pour $S > S_{min}$.

L'auteur conclut que :

Le contournement de l'isolateur sous tension à fréquence 50 Hz dépend du rapport des largeurs des zones sèches et polluées.

Les courbes en V obtenues ont montré que le contournement total ne représente pas la somme des contournements partiels des zones sèches et zones polluées.

Le contournement total correspond à un des contournements partiels considérés, suivant le rapport entre les largeurs de la zone sèche, et de la zone polluée.

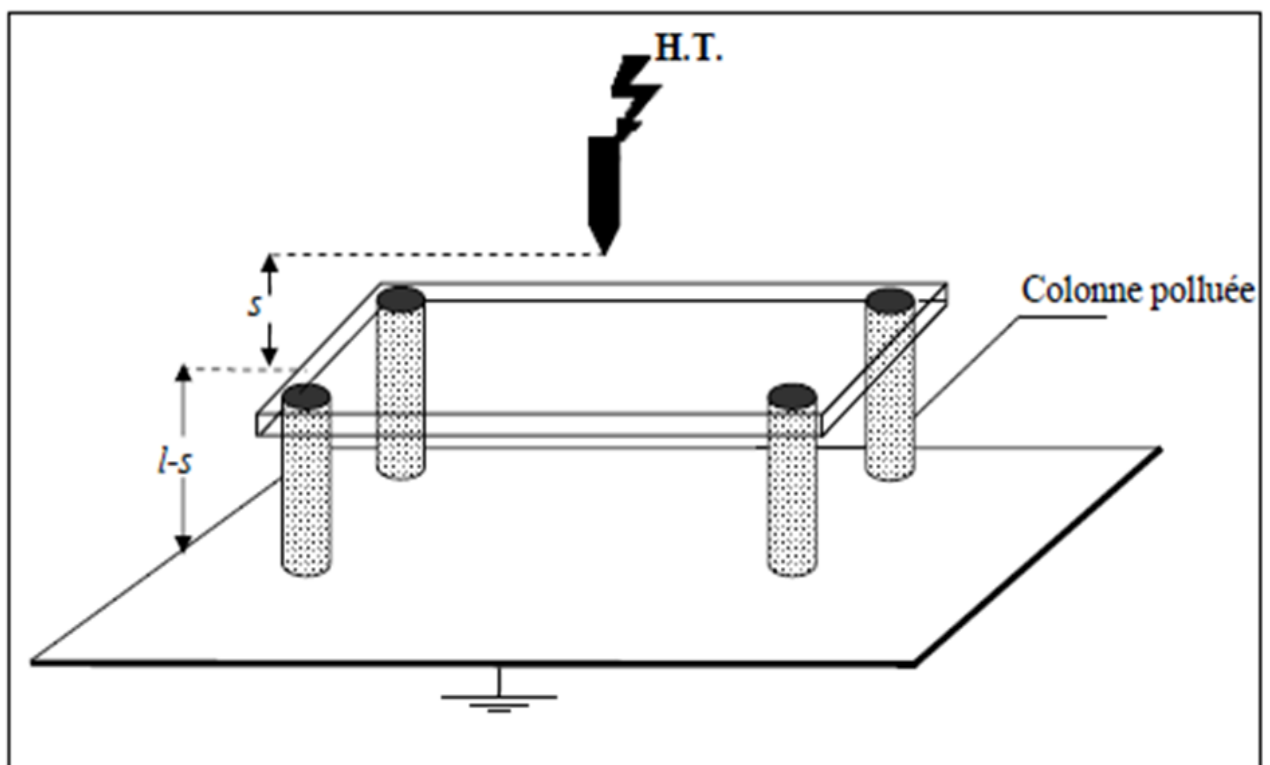


Figure II. 2. Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh

II.2.3 Modèle de A.Mekhaldi et S.Bouazabia

A. Mekhaldi et S. Bouazabia [26] ont considéré un modèle expérimental similaire à celui de P. Claverie et Y. Porcheron [27], pour l'étude du phénomène de conduction superficielle, dans le cas d'isolateurs pollués.

La couche polluante est réalisée par l'application du sable sur la surface de la plaque, entre les deux électrodes d'une façon uniforme et selon l'épaisseur désirée, et puis à l'humidification de cette couche par pulvérisation d'eau distillée. La mesure du courant de fuite est réalisée en considérant que ce courant n'existe que dans la zone d'influence entre les deux électrodes, définie par l'angle θ (Figure II.3).

Les deux auteurs assimilent le modèle de laboratoire par un modèle de deux cylindres concentriques de rayon respectifs R et $R+D$ (Figure II.3) et utilisent les équations de l'électromagnétisme classique (équation de poisson). Ils ont établi l'expression théorique du courant de fuite qui :

$$I = y \frac{v_a e}{\ln \left[\frac{R+D}{R+x} \right]} \quad \text{II.4}$$

Avec :

- R** : rayon de l'électrode circulaire,
- D** : distance inter-électrodes,
- x** : longueur de l'arc,
- e** : épaisseur de la couche polluante,
- a** : longueur de l'électrode rectangulaire,
- $\alpha = 2 \arctg (a/2(R+D))$,
- Y** : conductivité de la couche polluante,
- V** : tension d'alimentation.

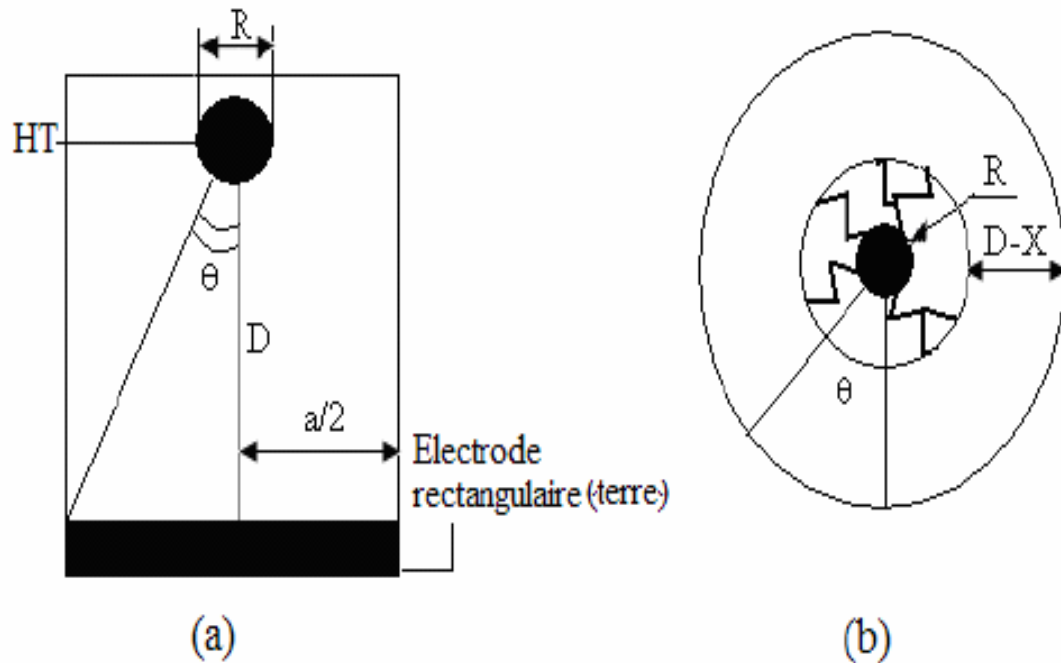


Figure II. 3 Modèle de A.Mekhaldi et S.Bouazabia

II.2.4 Modèle de D. Namane

Afin d'examiner le comportement des surfaces isolantes sous pollution discontinue, D. Namane a proposé un modèle plan rectangulaire (Fig. II.4) [12].

Les différentes contraintes sous lesquelles est soumis son modèle de laboratoire sont :

- la discontinuité de la pollution en variant de manière régulière la largeur de la pollution,
- la position de la pollution par rapport aux électrodes
- la conductivité de la couche polluante appliquée sur la plaque.

L'influence de ces contraintes sur le courant de fuite, sur la tension d'entretien de l'arc électrique et sur la tension de contournement ainsi que le processus de contournement, est alors examinée.

- Le courant de fuite est toujours plus élevé lorsque la couche polluante est du côté de l'électrode rectangulaire, mise à la terre. Ceci est dû au phénomène de la conduction dans la zone sèche et à l'effet de couronne. En effet, lorsque la zone sèche est de côté

haute tension, le rayon de courbure de l'électrode circulaire provoque un champ électrique, plus intense que celui de l'électrode rectangulaire, par conséquent, on obtient une augmentation du courant de fuite.

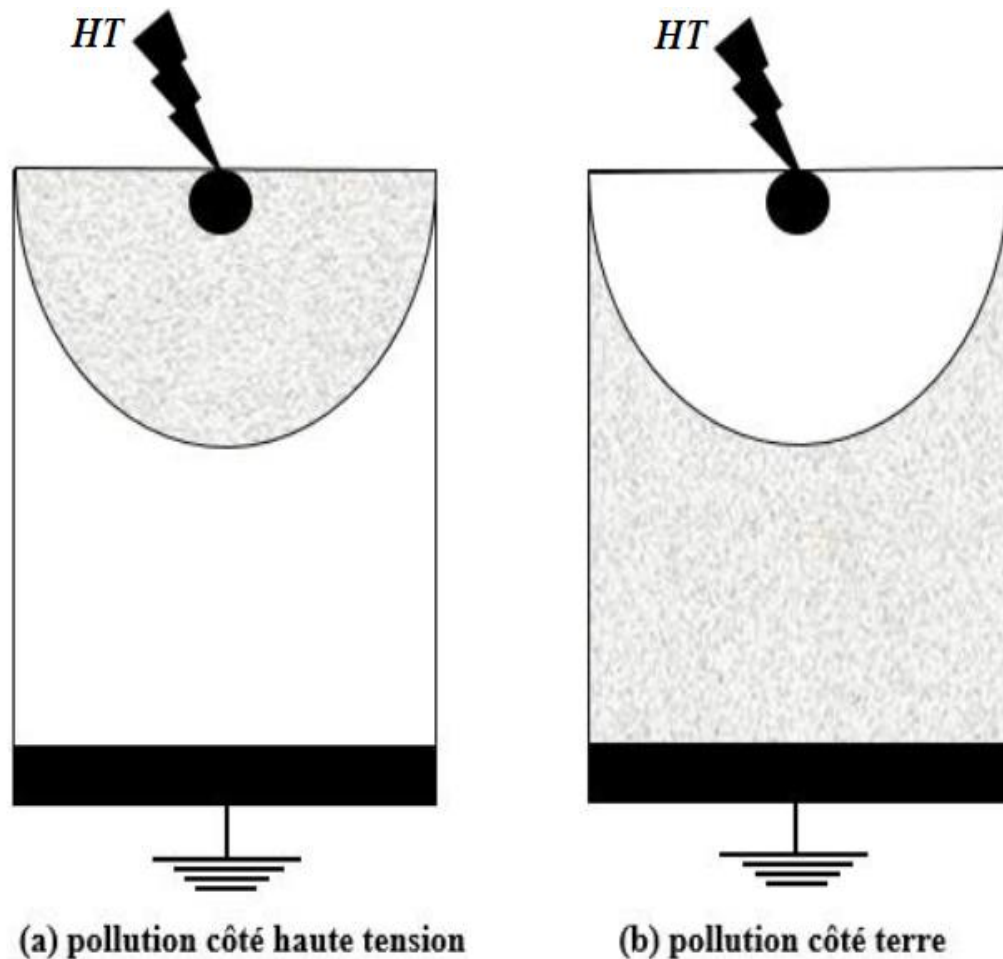


Figure II.4 Modèle de D. Namane

Les principaux résultats qui ont été obtenus sont les suivants :

- La position de la couche polluante vue des électrodes a peu d'influence sur la tension d'entretien de l'arc.
- La position de la pollution n'a apparemment pas d'influence sur la tension de contournement pour les conductivités utilisées.

- Il existe une conductivité limite, selon l'auteur, à partir de laquelle, en cas de zones Sèches préétablies, la couche polluante peut être considérée comme court-circuitée.
- L'augmentation de la conductivité diminue la tension d'entretien d'arc et réduit la Rigidité du modèle.

II.3 Conclusion

- La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension.
- L'amorçage à la surface d'un isolateur pollué dépend de plusieurs paramètres. Pour représenter les conditions naturelles qui provoquent l'amorçage sous pollution, plusieurs techniques d'essais au laboratoire ont été mises en œuvre.
- La méthode d'essai sous pollution artificielle est largement utilisée. Elle consiste à reproduire au laboratoire les conditions de la pollution naturelle, ainsi qu'elle possède l'avantage d'être rapide.
- Les diverses méthodes proposées sont, pour la plupart, basées sur la détermination expérimentale de la conductivité superficielle de la couche polluante.

Chapitre 3

Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinons l'effet de la pollution sur le modèle plan de l'isolateur 1512 L, nous avons étudiés deux configurations de pollutions (uniforme et non-uniforme) :

- En premier cas, on mesure la tension de contournement en fonction de différentes Conductivités.
- Le cas de la pollution non –uniforme pour deux configurations différentes :
 - Couches polluées à partir du côté de l'électrode sous tension
 - Couches polluées à partir du côté de l'électrode mise à la terre.
- Et d'autre part, on s'intéresse à l'évolution du courant de fuite qui est un des Paramètres essentiels pour la prédiction de l'état de surface de l'isolateur. Nous étudions la Variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes conductivités Pour le cas uniforme et on fonction de la tension appliquée et la longueur pour les deux Configurations.

III.2 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].

La pollution est présentée par quatre zones Z1, Z2, Z3, Z4. Nous commençons par une variation de la largeur de la couche de pollution (largeur de la couche polluante Ni) de 0 (propre) à 100% (pollution uniforme), puis de la même manière pour les différentes conductivités. (Figure III.1).

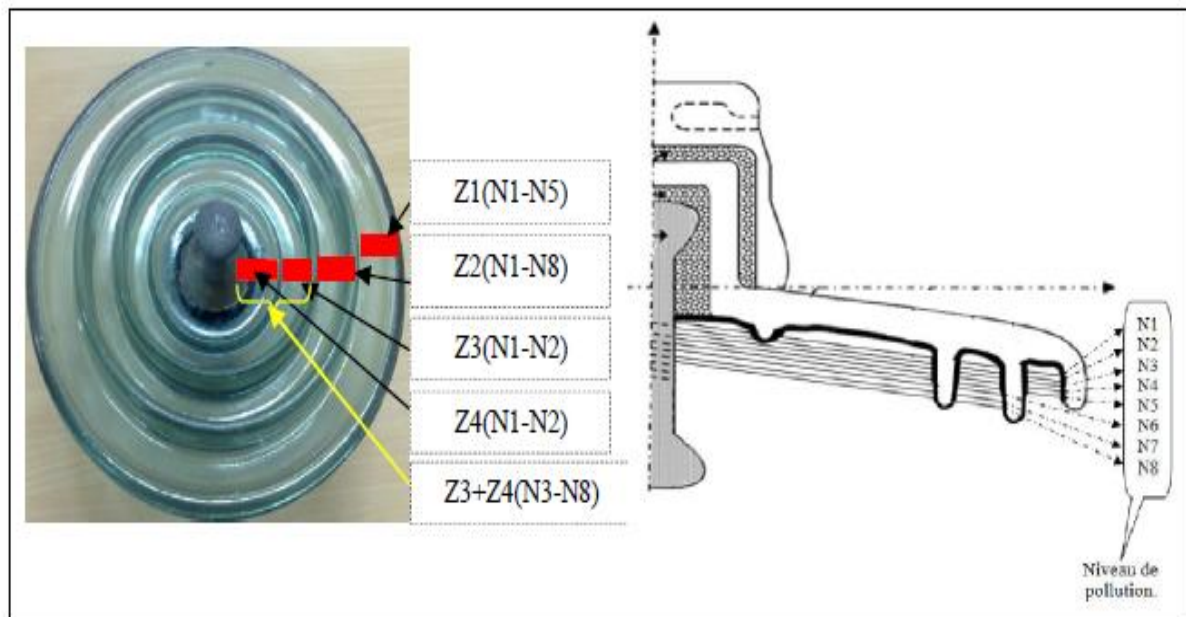


Figure III.1. Modèle réel de l'isolateur 1512L, plein pollution.

III.2.1 Objet d'essai

Dans le but de déterminer l'influence de la pollution sur le comportement des isolateurs, des nombreux essais sur le modèle plan de laboratoire ont avont effectué par [22].

Le modèle plan (figure .5) 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 [22].

La mesure peut être considérée comme un outil de diagnostic des changements apportés à l'état de surface en variant les conductivités ainsi que les largeur de la couche polluée sur le modèle plan de l'isolateur 1512 L.

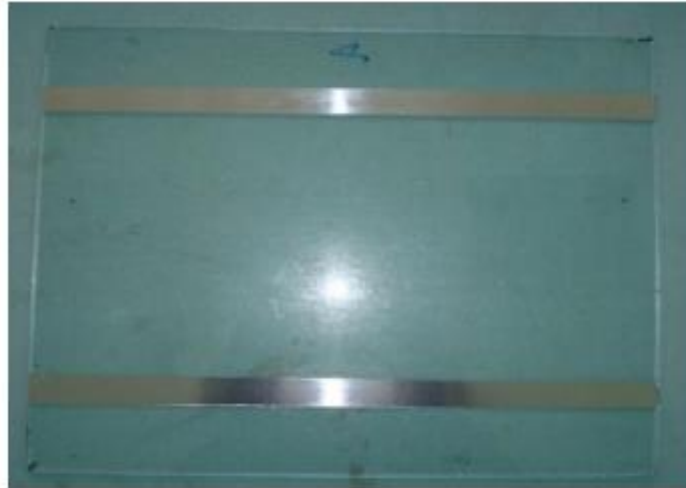


Figure III.2 modèles plan étudié

III.3 Configuration uniforme de la couche de pollution

III.3.1 Etude de la tension de contournement

La tension de contournement est un paramètre essentiel pour l'isolateur car il permet d'identifier le système formé par les électrodes (pointe-pointe, plan-plan, ...) et donc de définir la rigidité diélectrique du système ainsi formé par les électrodes [4].

Les observations de laboratoire montrent que le contournement se produit directement sans apparition au préalable de décharges préliminaires. Dues à l'effet de couronne. Avec l'augmentation de la tension appliquée, ces luminosités deviennent intenses. A partir d'un certain seuil représentant la tension critique, une décharge électrique rapide court-circuite brutalement la distance inter-électrodes, provoquant ainsi le contournement total de la surface isolante.

Ce phénomène, caractérisé par la non-génération d'arcs partiels, est dû à la fois à la nature de la pollution utilisée et au fait que la longueur totale de la bande propre équivalente (représentant la somme des différentes bandes propres partielles) dépasse la valeur critique à partir de laquelle aucune décharge stable ne se propage [15, 16, 23, 24 de Tagar].

Cette longueur critique a été estimée, dans une étude antérieure [11 de Tagar], au tiers (33 %) de la ligne de fuite totale.

Nous nous sommes intéressés à analyser la variation de la tension de contournement en fonction de la conductivité. Cinq conductivités extrêmes ont été utilisées pour les essais de

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

contournement. Des séries d'essais en été effectués dans ce sens, les résultats d'essais pour les différentes conductivités sont présentés au tableau III.1: (Les valeurs de tensions indiquées sur le tableau sont la moyenne de 4 valeurs)

Conductivité	Tension de contournement (kV)
10 ($\mu\text{S/cm}$)	53.25
190 ($\mu\text{S/cm}$)	39.25
710 ($\mu\text{S/cm}$)	34.75
1.2 (mS/cm)	34.75
10.1 (mS/cm)	30.25

Tableau III.1 : Les valeurs moyennes de la tension en fonction des conductivités [26].

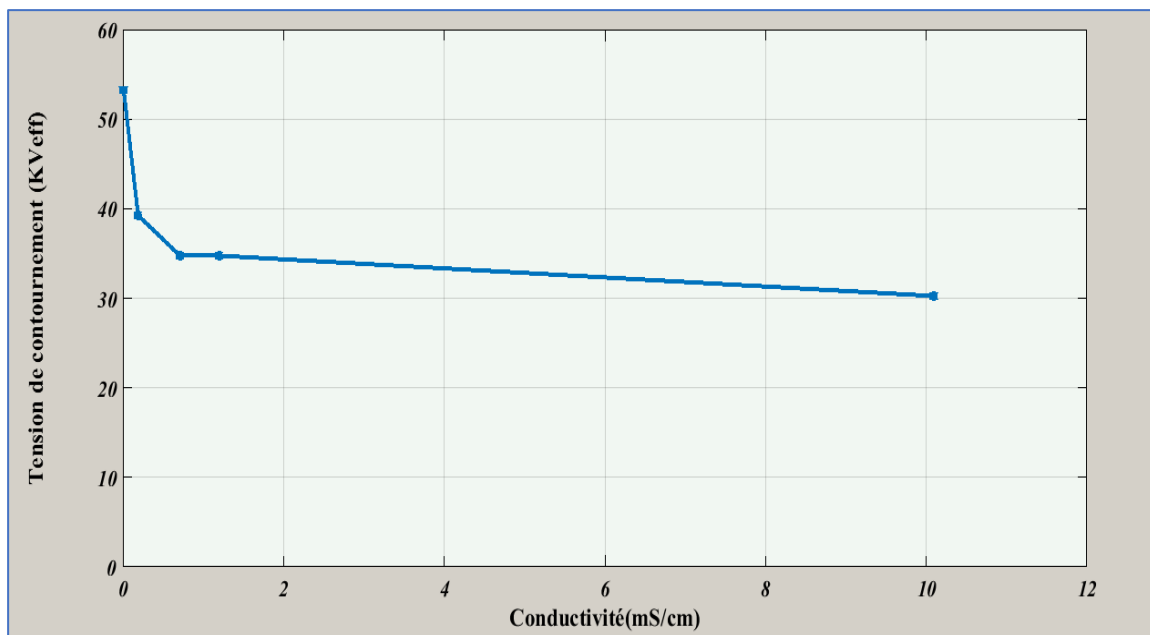


Figure III.3 : la tension de contournement en fonction de la conductivité.

Nous observons une nette diminution de la tension à partir de la conductivité 0.01 mS/cm jusqu'à la valeur de 0.71 mS/cm puis nous obtenons une stabilisation à partir de la conductivité 1.2 mS/cm. Cette observation est en accord avec plusieurs travaux de recherches [20,29, 28].

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

Une analyse des résultats de la figure III.3 indique que la tension de contournement diminue avec la croissance de la conductivité de la pollution. L'explication que l'on peut apporter à ces résultats est qu'une plus grande conductivité semble, dans un sens général, augmenter la vitesse de propagation des streamers et provoquer le contournement à des niveaux plus bas de la tension.

III.3.2 Etude du Courant de fuite

Nous présentons dans le graphe (III.4) les variations de courant de fuite en fonction de la conductivité et dans le graphe (III.5) la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour mieux mettre en évidence l'influence de la conductivité. En considérant cinq conductivités différentes de la couche polluante, 0,01 ; 0,19 ; 0,71 ; 1,2

Et 10,1 mS/cm, pour cinq niveaux de tension 3 ; 6 ; 9 ; 12 et 15 Kv.

III.3.2.1 Influence de la conductivité

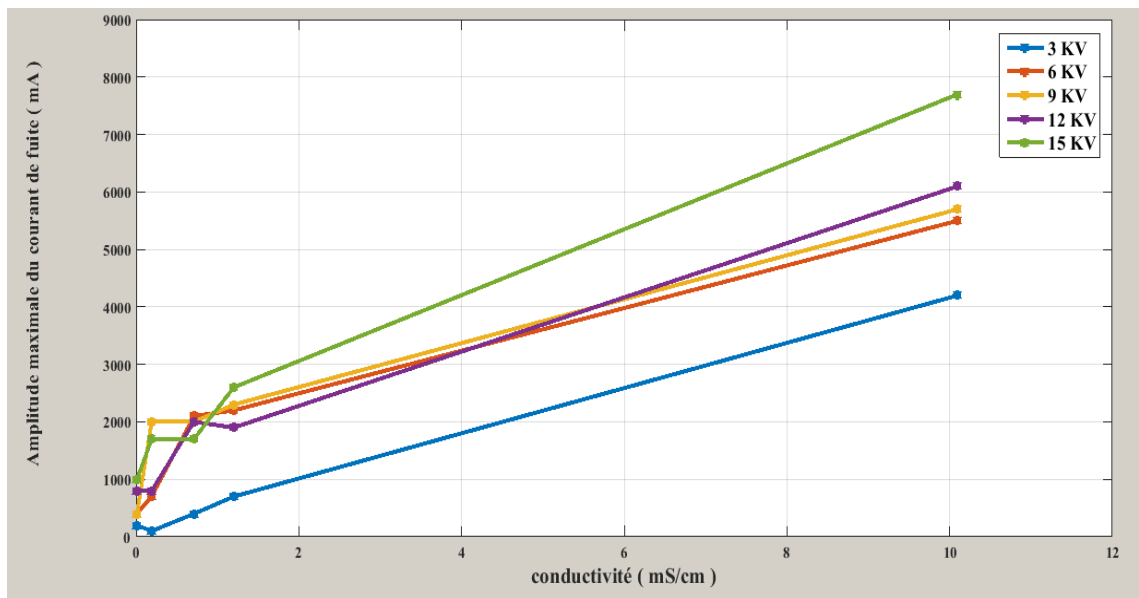


Figure III.4: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la conductivité pour différentes valeurs de la tension appliquée.

D'après les figures III.4, nous remarquons que le courant de fuite augmente en fonction de la conductivité de manière non-linéaire pour toutes les tensions appliquées.

Nous constatons que la conductivité influe sur le courant de fuite, de façon que le courant croisse avec l'augmentation de la conductivité de la pollution.

Nous remarquons que le courant de fuite augmente en fonction de la tension appliquée pour toutes les conductivités. En effet lorsque la conductivité est faible (0,1, 0,19, 0,71 mS/cm), le courant de fuite augmente de manière progressive et ne dépasse pas la valeur de

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

2000 μA pour les faibles valeurs de la tension appliqué.

Pour les conductivités 1,2 mS/cm et 10.1 mS/cm , l'amplitude maximale du courant de fuite se démarque brutalement pour ces deux conductivités (jusqu'à 8000 μA).

III.3.2.2 Influence de la tension appliquée

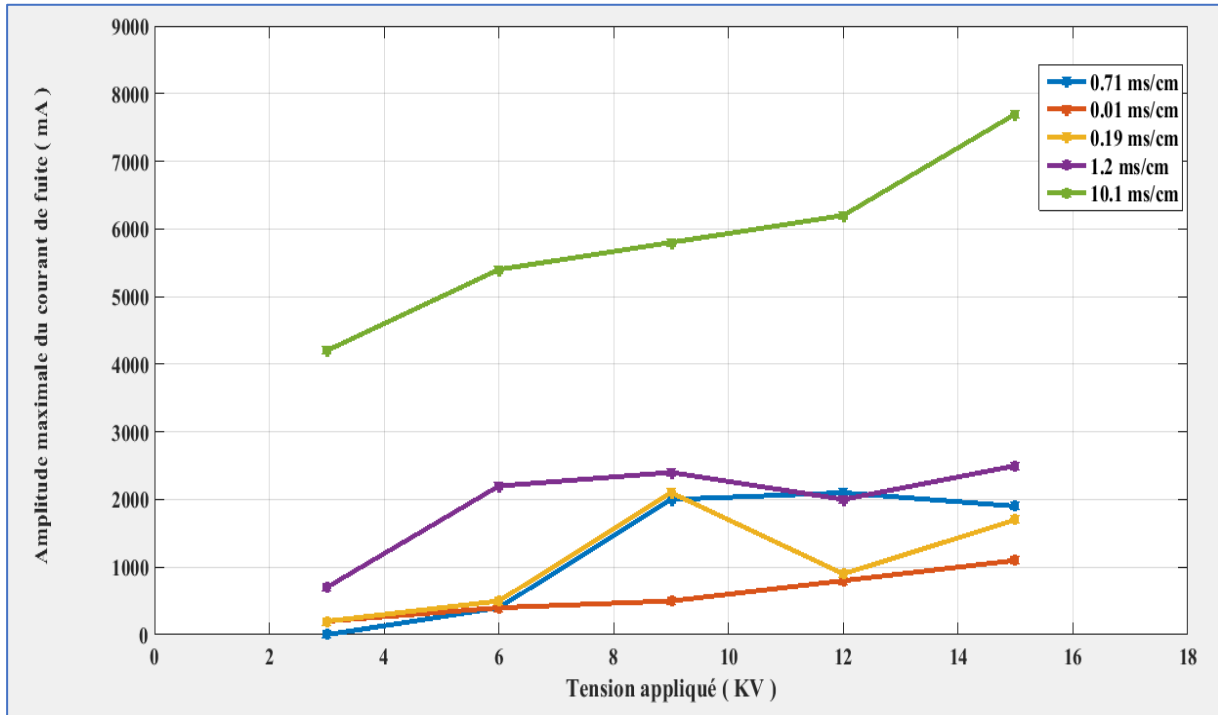


Figure III. 5 : Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour différentes valeurs de la conductivité.

D'après la figure III. 5, 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 pas eu d'assèchement important et cela malgré la présence des décharges parallèles à la surface de l'isolateur (à partir de 20 kVeff).

Pour les conductivités 0.19, 0.71 et 1.2 mS/cm, nous remarquons une baisse de l'amplitude maximale du courant de fuite à partir de la tension 9 kVeff. Cette baisse est très remarquable pour la conductivité 1.2 mS/cm à cause d'un assèchement beaucoup plus important de la surface isolante (signe d'activité de décharges très développées). Cette baisse peut être expliquée par le temps d'application de la tension (30 secondes) pendant lequel l'eau présente à la surface se vaporise petit à petit par effet joule menant à une augmentation de

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

l'impédance équivalente de l'isolateur, ce qui participe à l'augmentation de la rigidité diélectrique du modèle. Ainsi la valeur du champ électrique dans ces zones sèches n'engendrer pas des décharges électriques, ce qui réduit de manière importante le courant de fuite (de 2000 μA jusqu'au 1000 μA).

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.

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

III.4.1 Etude de la tension de contournement

Pour une distance inter électrode ($d=29,2$) et pour la valeur de conductivité (σ), on fait varier la longueur de la surface polluée (X) pour les deux configurations (cotés haute tension, et cotés terre).

III.4.2 Influence de la longueur et la position de la couche polluée

Cinq largeurs de la couche polluante ont été utilisées pour les essais de contournement (5, 10, 15, 20, 25 cm) avec une seule conductivité 1.2ms/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 aux tableaux III.2 :

Essai		Moyenne	Moyenne
Côté pollué		HT	Terre
Tension (kV_{eff})	5 cm	104.25	105
	10 cm	88.25	88.5
	15 cm	68.25	72
	20 cm	52.25	52.5
	25 cm	39.5	42.5

Tableau III.2 : tension de contournement pour la pollution non-uniforme du côté haute tension et côté terre en fonction de la largeur de la couche polluante.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

D'après la courbe (figure III.6) nous remarquons que la tension de contournement varie de manière presque linéaire et diminuée en fonction de l'augmentation du rapport de la couche polluée sur la longueur de fuite totale, que ce soit du côté HT ou du côté terre, puisque la pollution augmentant fortement la conductivité superficielle des isolateurs, diminue alors leur tenue diélectrique.

Nous constatons également que les tensions de contournement pour le côté terre sont légèrement plus élevées que celles du côté HT et cela pour les rapports 0.51 et 0.85 qui correspondent aux couches 15 et 25 cm. Ceci signifie que le modèle plan étudié est un peu plus rigide dans le cas de la pollution côté terre pour les largeurs des couches de pollution 15 et 25 cm.

Certains chercheurs [28] ont montré que pour d'autres configurations de pollution non-uniforme, la valeur du ratio entre l'impédance de la couche polluée et celle de la couche sèche du côté terre est effectivement plus petite que celle pour le côté HT.

Pour les autres largeurs de la couche polluée (5, 10 et 20cm), nous n'observons pratiquement pas d'influence de la position, résultat auquel on ne s'attendait pas d'autant plus que nous avons observé un comportement différent de la plaque.

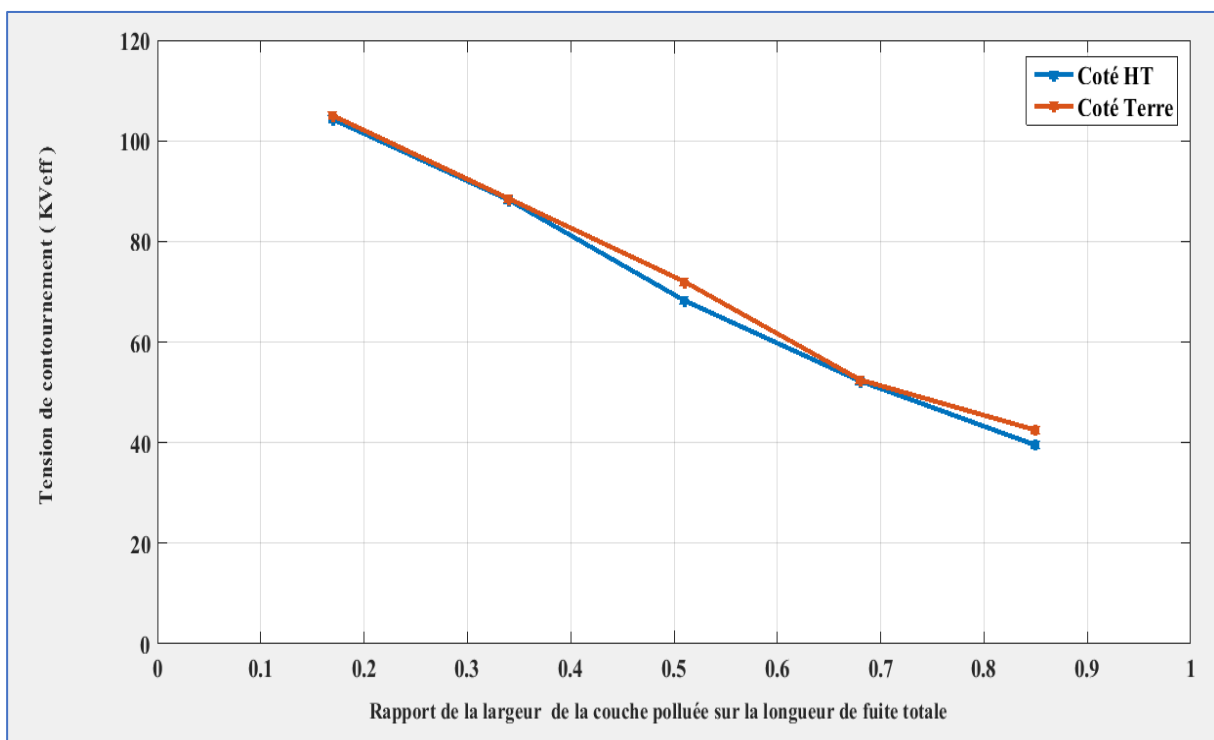


Figure III.6 : Tension de contournement en fonction du rapport de la largeur de la couche polluée sur la longueur de fuite totale pour la couche centrale pour les deux configurations.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.4.3 Etude du courant de fuite

Pour déterminer les caractéristiques de la plaque propre, nous avons mesuré et visualisé le courant de fuite pour différents paliers de tensions. On met en évidence l'influence de la conductivité, de la largeur et de l'emplacement de la couche polluée.

III.4.3.1 Influence de la tension appliquée

Les figures suivantes (1,2) donnent l'évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les différentes positions et longueurs de la couche polluée et pour différentes conductivités de pollution.

Pour les cas possibles de configurations et les dispositions considérées, les caractéristiques donnant la variation de l'amplitude du courant de fuite en fonction de la tension appliquée montrent que, pour toutes les longueurs de la couche polluée ainsi que la position de cette couche par rapport aux électrodes, l'amplitude du courant de fuite augmente avec la tension appliquée (figures III.7, III.8).

Pour des tensions appliquées inférieures à 15 kV, la pente de la courbe courant - tension reste assez stable pour les faibles valeurs de la couche de pollution ($X=5$, $X=10$ et $X=15$ cm).

Le système semble suivre donc une loi ohmique où l'impédance totale pour une largeur donnée ne dépend pas de la tension appliquée, ce qui est logique si on néglige les phénomènes de conduction de la zone sèche.

Par contre pour des tensions supérieures, l'accroissement du courant de fuite est très sensible, le système perd donc largement son caractère ohmique. Pour la largeur critique de 25 cm, pollution côté haute tension, côté terre et centrale. Cette largeur critique est observée pour une tension supérieure à 21 kV. Ceci est dû au fait que l'application d'une tension élevée provoque l'augmentation du nombre d'arcs apparaissant sur la plaque, ou de leur intensité, donc l'air compris entre l'électrode et la couche perd son caractère isolant.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

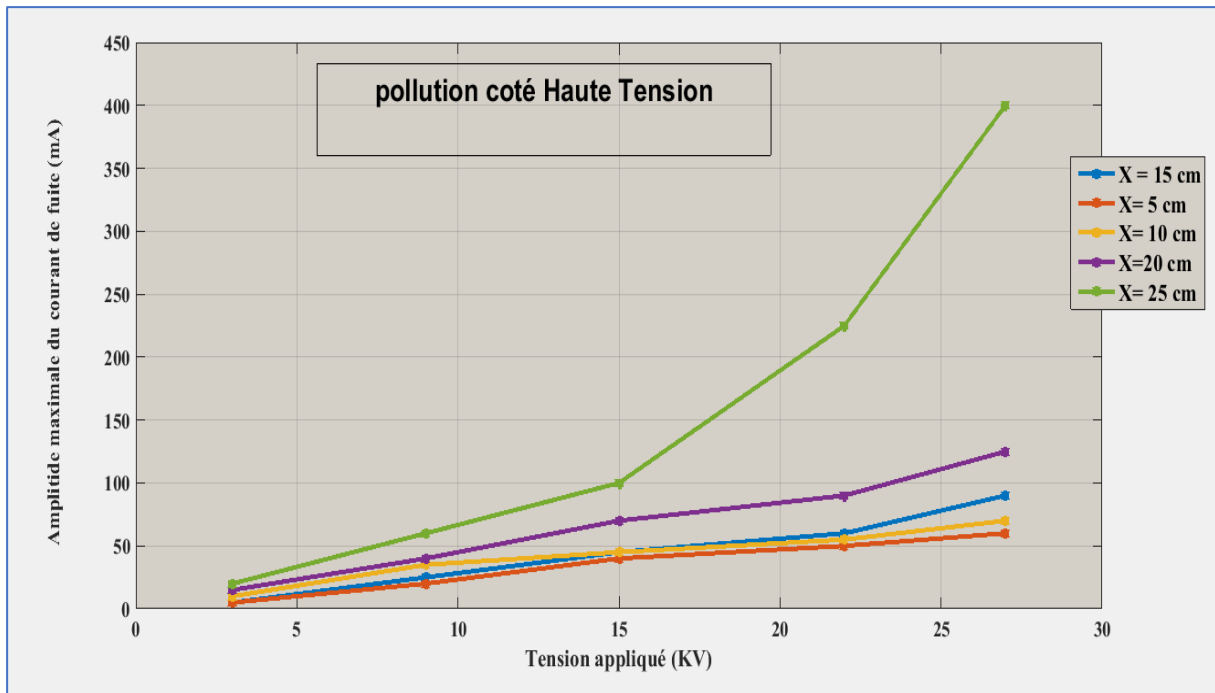


Figure III.7: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes longueurs de la couche polluée coté haute tension.

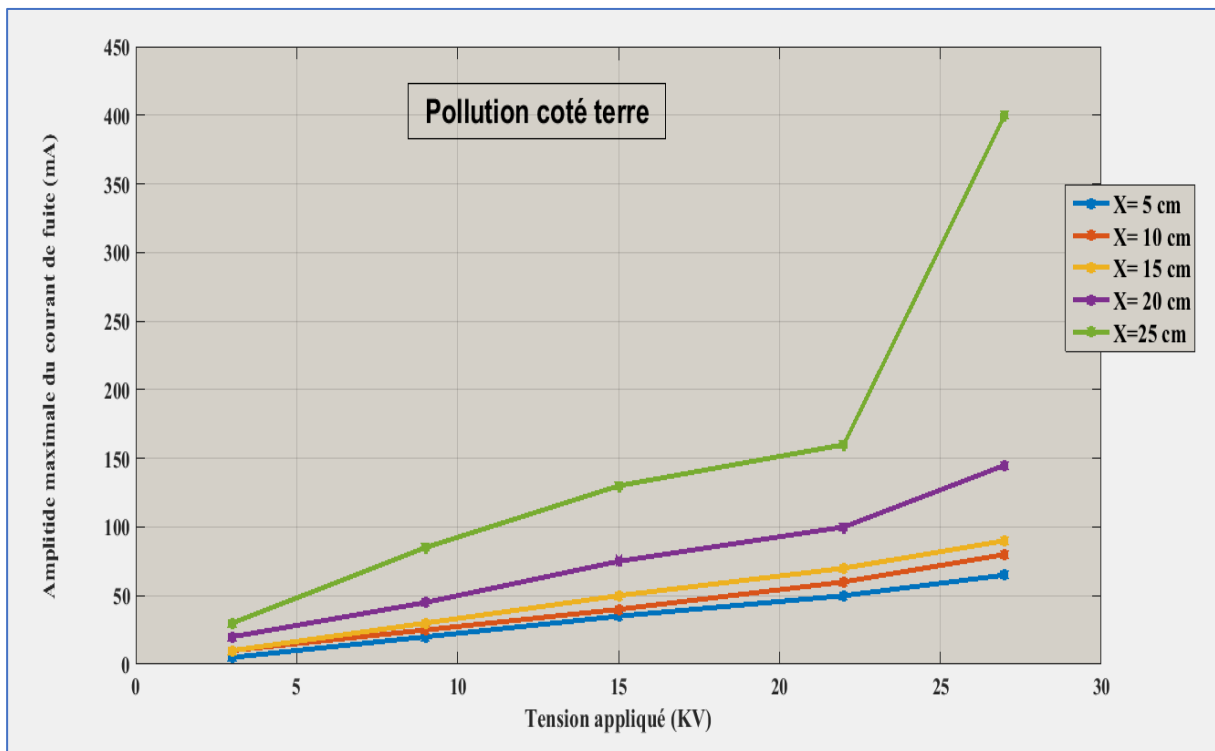


Figure III.8: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes longueurs de la couche polluée coté terre.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.4.3.2 Influence de la largeur de la couche polluante

Les figures (III.9 et III.10) montrent l'évolution de l'amplitude du courant de fuite en fonction de la 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 deux configurations.

Les caractéristiques courant de fuite-largeur de la couche polluée montrent que toutes les courbes ont une allure croissante, on peut la partitionner en trois parties :

- La première partie est représentée par une courbe presque linéaire de pente faible pour une largeur de couche inférieure à une limite ($17.39\% < X/L < 51\%$) quel que soit la tension appliquée et la position de la couche de pollution (côté terre, côté haute tension).

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

- La deuxième partie est représentée par un « coude ». Ce coude exprime en effet le passage de la couche partiellement polluée (donc comportant une zone sèche à impédance élevée) à la couche entièrement polluée où la résistance devient très faible et engendre donc un courant nettement plus élevé.

- Une croissance brutale du courant est représentée par la troisième partie. Cette augmentation est liée à l'élargissement de la couche polluée (couche polluée $> 61\%$) et à l'augmentation du niveau de la tension appliquée. Cette amplitude présente un maximum pour un niveau de tension égal à 27 kVeff et pour 85,6 % de la distance inter-électrode de la couche polluée.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

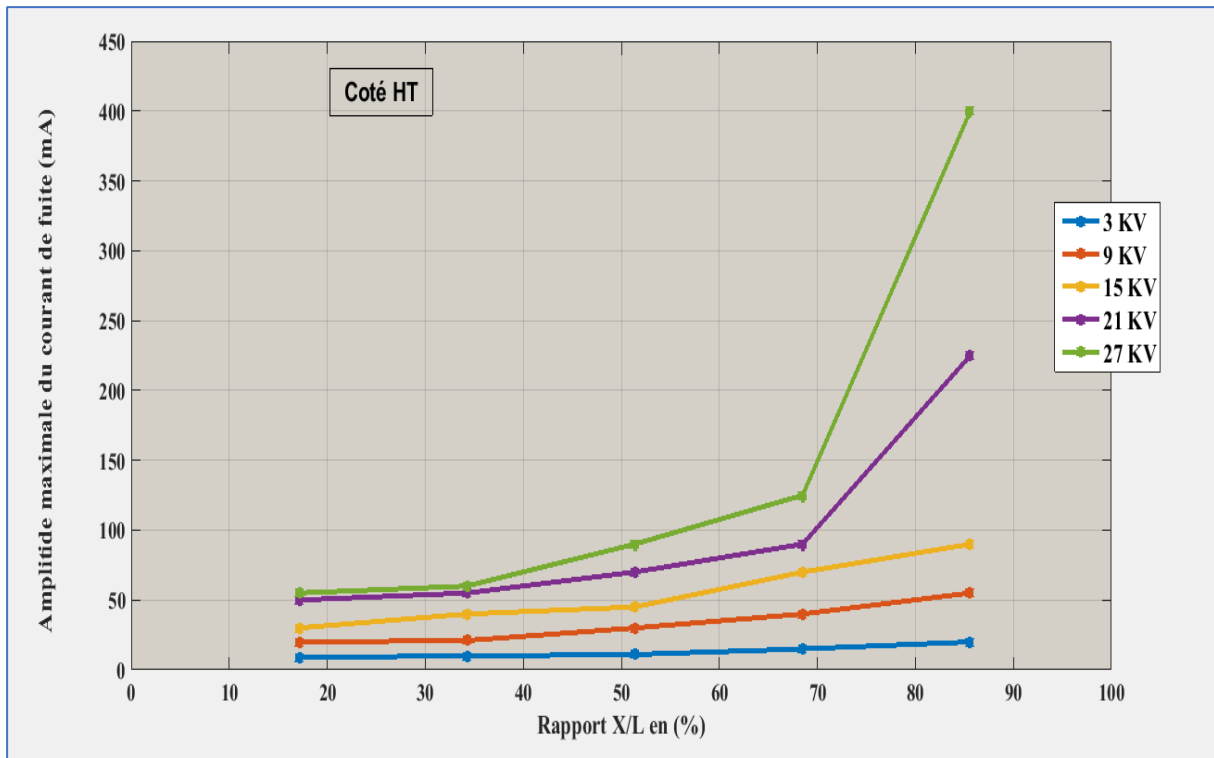


Figure III.9: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche pollué coté haute tension).

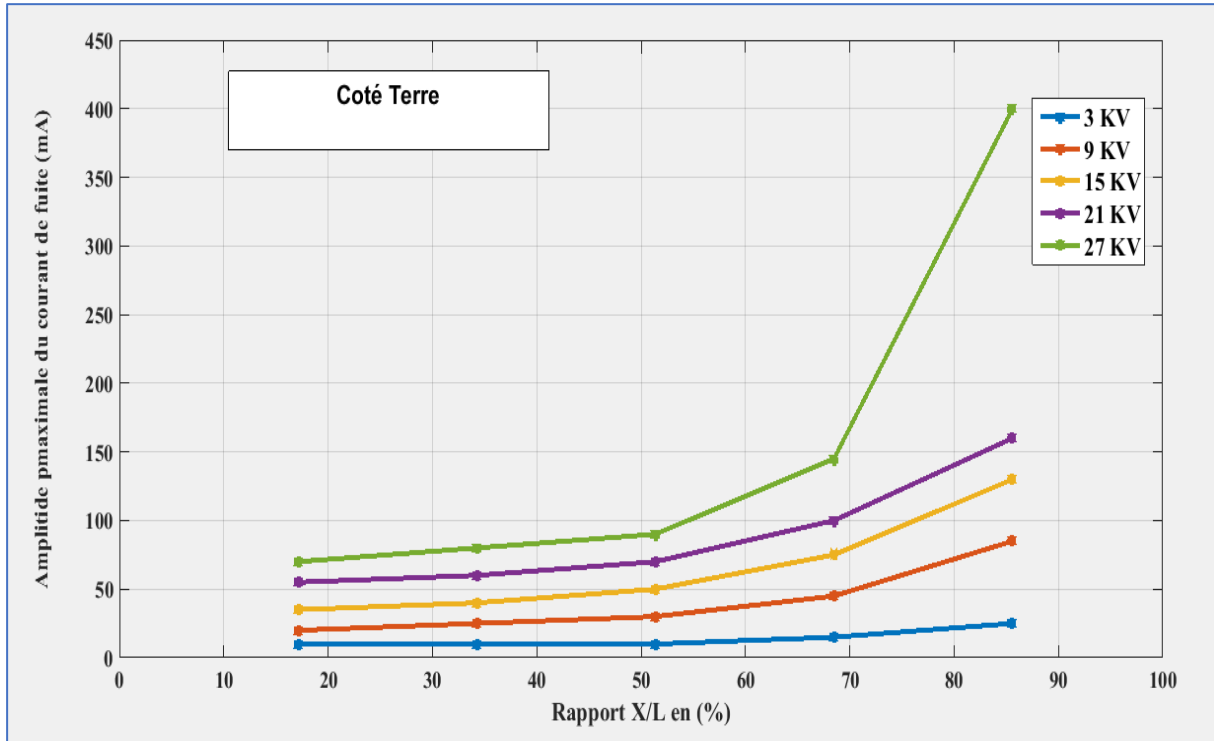


Figure III.10: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différentes valeurs de la tension appliquée (couche pollué coté terre).

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.4.3.3 Influence de la position de la couche polluante

Pour faire une étude sur l'effet de la position de la couche polluante sur l'amplitude de courant de fuite, nous représentons les données sur les graphes (III.11, à III.14).

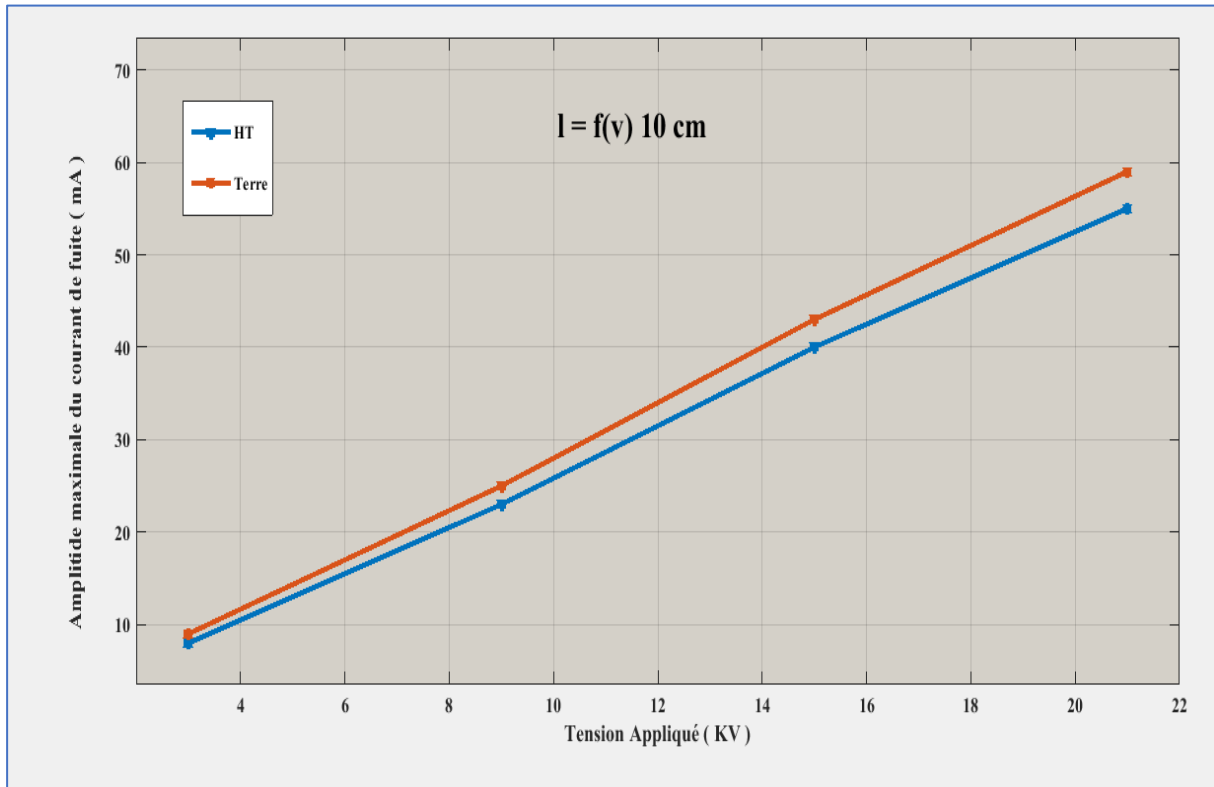


Figure III.11: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour les deux configurations (largeur de la couche polluée 10 cm)

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

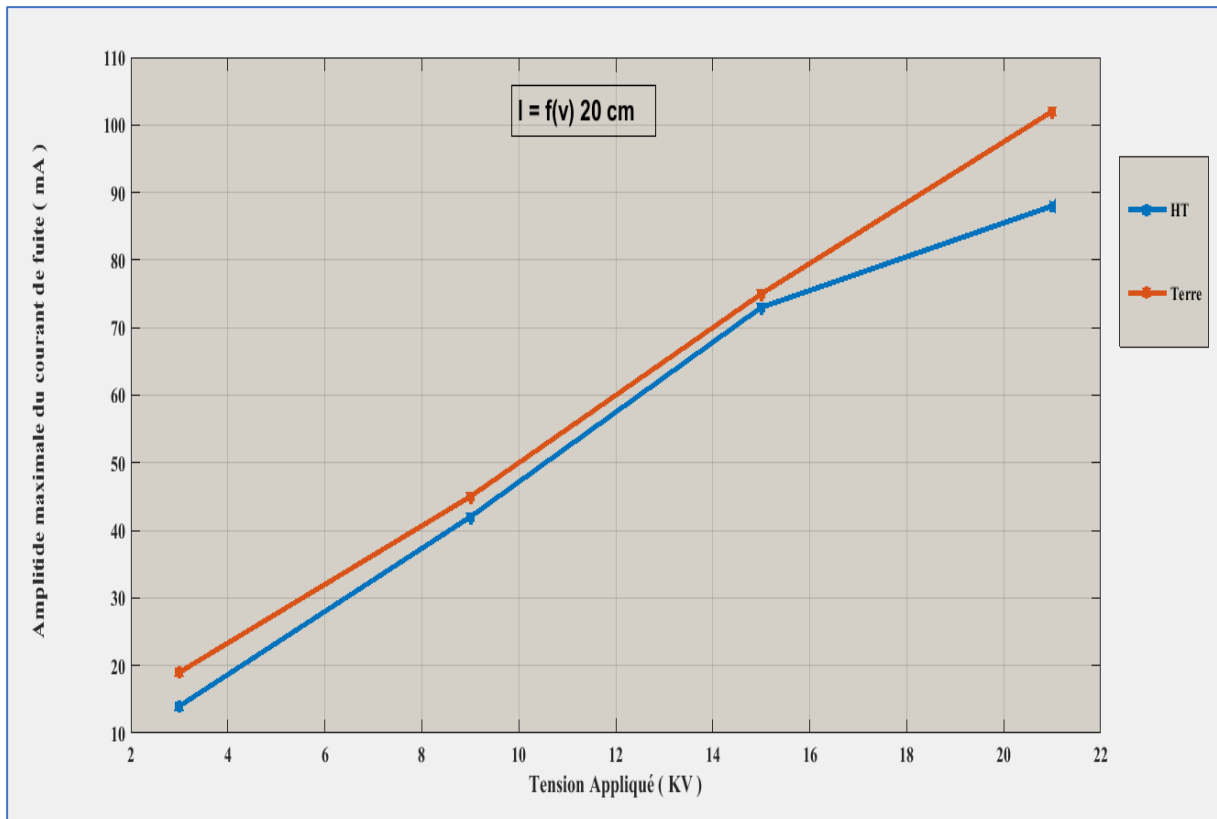


Figure III.12: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de la tension appliqué pour les deux configurations (largeur de la couche pollué 20 cm)

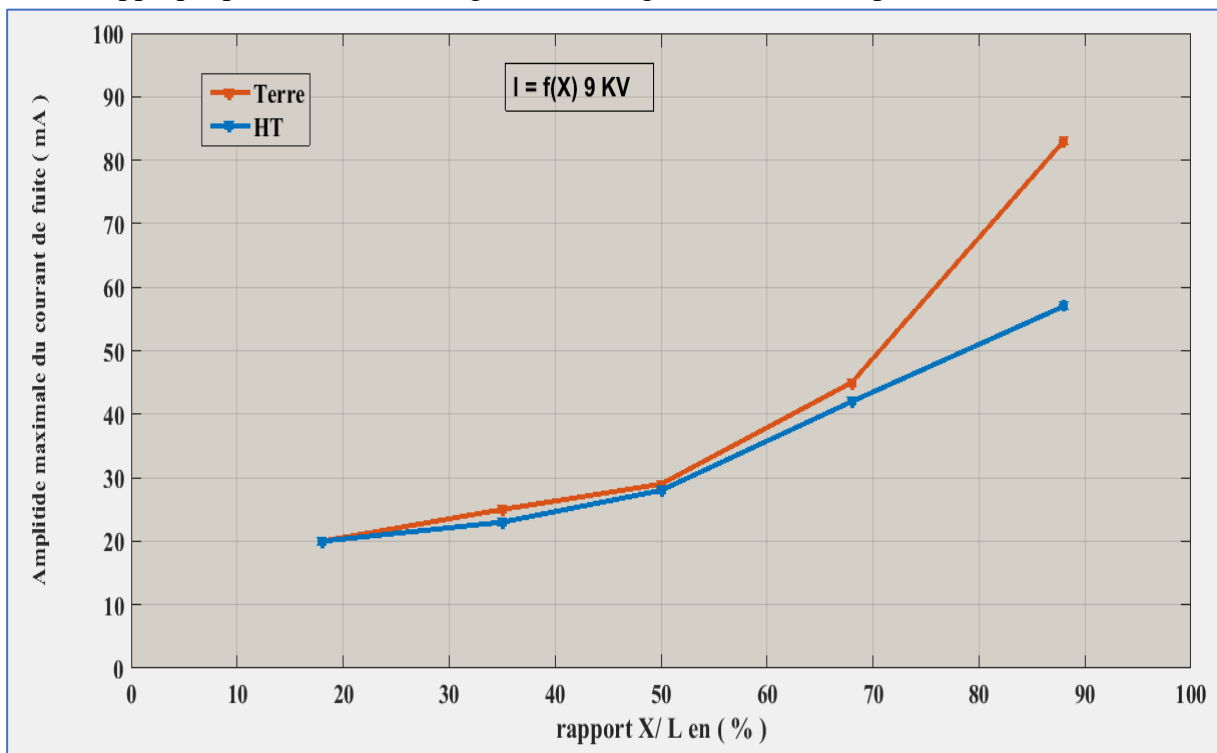


Figure III.13: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différents côtés de la couche pollué (tension appliquée 9kV).

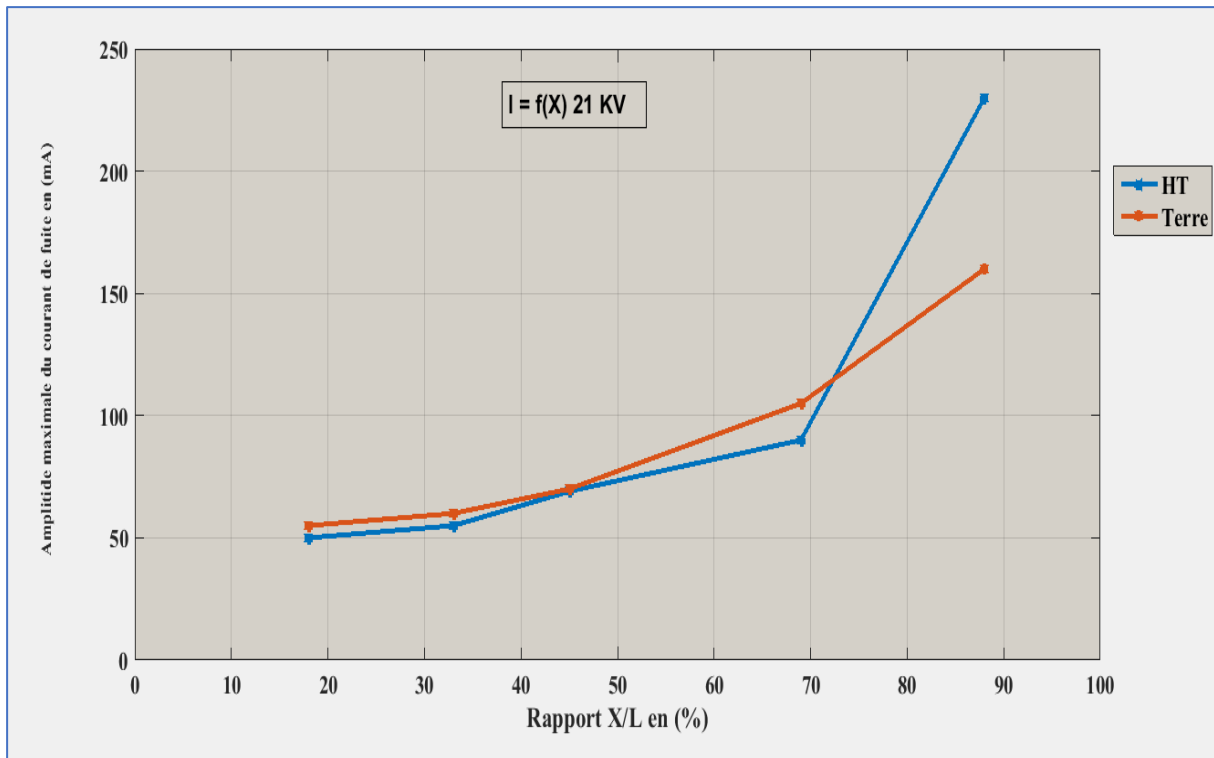


Figure III.14: Variation de l'amplitude maximale du courant de fuite en fonction de du rapport X/L pour différents côtés de la couche polluée (tension appliquée 21kV).

Ce résultat montre que la position de la couche de pollution n'a pas d'influence sur le Courant de fuite tant que la tension n'a pas atteint une limite correspondant probablement à la tension disruptive de l'interface air-verre pour la largeur sèche considérée.

C'est pourquoi pour les niveaux de tension plus élevés on remarque une large différence d'amplitude du courant de fuite, nous observons alors un courant beaucoup plus élevé lorsque la pollution est établie côté terre.

On constate que l'amplitude du courant est plus intense pour le côté terre par rapport aux autres configurations quand la largeur de la zone polluée est plus grande. Ceci pourrait s'expliquer par une plus grande probabilité de phénomènes de conduction de la zone sèche, par effet couronne et arcs, lorsque la couche polluante est du côté haute tension.

L'augmentation subite du courant de fuite pour une largeur de 25 cm et à partir de la tension de 21 kVeff, est causée par les décharges parallèles qui court-circuitent les intervalles d'air existant entre les extrémités de la couche polluée et chaque électrode, et diminue visiblement l'impédance équivalente du modèle.

Chapitre III Etude du comportement du modèle plan d'isolateur 1512 L

III.5 Conclusion

Nous concluons d'après notre étude que la tension de contournement diminue en fonction de deux paramètres principaux et qui sont :

- La conductivité du milieu qui fait varier la tension de contournement de manière non-linéaire.
- L'augmentation de la largeur de la couche de pollution ainsi que son emplacement fait aussi varier la tension de contournement de manière presque linéaire.

L'analyse du courant de fuite nous permet de conclure que :

- l'amplitude du courant de fuite augmente en fonction de la tension appliquée et de la conductivité du milieu.
- L'augmentation de la largeur de la couche polluée amplifie la valeur du courant de Fuite que ce soit pour le cas de la pollution du côté HT, ou terre.
- Nous avons néanmoins observé que la position a peu, ou pas, d'influence sur le courant de fuite pour les côtés haute tension et terre.

Nous concluons que le modèle plan est plus rigide dans le cas où la couche centrale est Polluée avec une conductivité volumique de 1,2 mS/cm pour des rapports de la couche polluée sur la longueur de fuite totale, inférieurs ou égaux à 68%. La tension de contournement présente aussi un minimum lorsque 85,6 % de la distance inter-électrode est polluée pour les deux cas de la pollution non-uniforme.

L'étude du déphasage courant de fuite-tension appliquée montre pour le cas sec que le modèle plan est caractérisé par un effet capacitif dominant et un faible effet résistif pour des tensions inférieures à 24 kVeff.

Pour la pollution uniforme, la valeur du déphasage diminue avec l'augmentation de la conductivité du milieu qui indique que l'isolateur à un comportement de plus en plus résistif. Pour les grandes conductivités (1,2 et 10,1 mS/cm) l'occurrence des décharges parallèles crée des zones sèches qui augmentent l'effet capacitif de l'isolateur. Cette augmentation est plus remarquable avec l'accroissement du niveau de la tension appliquée.

Pour la pollution non-uniforme, l'augmentation de la largeur de la couche polluée pour tous les emplacements de cette couche réduit l'effet capacitif et augmente l'effet résistif de l'isolateur.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis d'abord de mieux comprendre le mécanisme de contournement et d'analyser le comportement d'un modèle plan de laboratoire en fonction d'un certain nombre de paramètres électro-géométriques.

Dans ce présent travail, nous avons examiné le comportement des isolateurs uniformément et non uniformément pollués. Le but serait évidemment de dimensionner les isolateurs exposés à divers degrés de pollution.

Dans l'étude bibliographique, nous présentons les différents travaux qui ont été réalisés dans le domaine de la pollution des isolateurs (connaître le fonctionnement et la constitution d'un isolateur et leurs principaux types, ainsi que l'origine de la pollution, puis connaître les différents types de pollution et finalement nous présentons quelques travaux de laboratoire sous pollution artificielle).

Il ressort de notre travail consistant en l'étude de comportement d'une surface isolante plane, uniformément et non-uniformément polluée, lorsqu'une tension alternative lui est appliquée.

Nous concluons d'après notre étude que la tension de contournement diminue en fonction de deux paramètres principaux et qui sont :

- La conductivité du milieu qui fait varier la tension de contournement de manière non-linéaire.
- L'augmentation de la largeur de la couche de pollution ainsi que son emplacement fait aussi varier la tension de contournement de manière presque linéaire.

Le courant de fuite nous permet de conclure que :

- l'amplitude du courant de fuite augmente en fonction de la tension appliquée et de la conductivité du milieu.
- L'augmentation de la largeur de la couche polluée amplifie la valeur du courant de fuite que ce soit pour le cas de la pollution du côté HT, ou terre.
- Nous avons néanmoins observé que la position a peu, ou pas, d'influence sur le courant de fuite pour les côtés haute tension et terre.

Le modèle plan est plus rigide dans le cas où la couche centrale est polluée avec une conductivité volumique de 1,2 mS/cm pour des rapports de la couche polluée sur la longueur de fuite totale, inférieurs ou égaux à 68%. La tension de contournement présente aussi un minimum lorsque 85,6 % de la distance inter-électrode est polluée pour les deux cas de la

Conclusion Générale

pollution non-uniforme.

L'étude du déphasage courant de fuite-tension appliquée montre pour le cas sec que le modèle plan est caractérisé par un effet capacitif dominant et un faible effet résistif pour des tensions inférieures à 24 kVeff.

_ Pour la pollution uniforme, la valeur du déphasage diminue avec l'augmentation de la conductivité du milieu qui indique que l'isolateur à un comportement de plus en plus résistif. Pour les grandes conductivités (1,2 et 10,1 mS/cm) l'occurrence des décharges parallèles crée des zones sèches qui augmentent l'effet capacitif de l'isolateur. Cette augmentation est plus remarquable avec l'accroissement du niveau de la tension appliquée.

Pour la pollution non-uniforme, l'augmentation de la largeur de la couche polluée pour tous les emplacements de cette couche réduit l'effet capacitif et augmente l'effet résistif de l'isolateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographiques

[1] M. TEGUAR, " Étude mathématique des mécanismes de développement des décharges électriques sur des isolateurs installés en régions polluées ", Thèse de Magister, ENP, Juillet 1993, Alger, Algérie.
[2] A. CIMADOR, M. COJAN, P. HAUTEFEIULLE, M. MOREAU, " Méthodes de dimensionnement des isolateurs de Lignes Aériennes en régions polluées", CIGRE, Rapport 33-04, 1978, Paris, France.
[3] M. TEGUAR, " Modélisation d'isolateur pollués soumis à divers paramètre électro-géométrique ", Thèse de Doctorat, ENP, Avril 2003, Alger, Algérie.
[4] J. Y. SAISON, " Étude du phénomène d'humidification de dépôts naturels et artificiels de pollution sur des isolateurs électriques ", Thèse de Doctorat, es-Sciences de l'université de Strasbourg, 1992, France.
[5] 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.
[6] S. BOUAZABIA, T. CHIKHAOUI, " Méthode d'essais sur des isolateurs pollués dans les Conditions désertiques ", PFE, ENP, Juin 1988, Alger, Algérie.
[7] D. DUMORA, " Matériaux isolants céramiques en électrotechnique", Technique d'ingénieur D275.
[8] W. HEISE, G. F. LUXA, G. REVERY, M. P. VERMA, " Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide ", CIGRE, Rapport 33-09, 1982, Paris, France.
[9] P. J. LAMBETH, H. AUXEL, M. P. VERMA, " Méthode de mesure de la sévérité de pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à Haute Tension", Electra, N° 20, janvier 1972, Paris, France.
[10] M.A.B. EL Koshairy, F. A. M. Rizk, " Comportement des Isolateurs des Lignes de Transport à Très Haute Tension dans les Conditions de Pollution Désertiques ", CIGRE, Rapport 33 - 05, 1970, Paris, France.
[11] W. TAIBI, K. ABDELI, " Modèle d'un isolateur pollué sous tension alternative 50 Hz", PFE, USTHB, Juin 2002, Alger, Algérie.
[12] C. HURAU, A. M. RAHAL, " Le Contournement des isolateurs Haute Tension Approche à l'aide d'un Modèle de Laboratoire ", RGE, Juin 1975, p.425-429, Paris, France.
[13] P. CLAVRIE, Y. PORCHERON, " How to choose insulators for polluted Areas", IEEE Trans, PAS, Vol.92, N° 3, Mai-Juin 1973.
[14] G. NEUMÄRKER " Verschmutzungszustand und Kriechweg ", Monatsber. d. Deut. Akad, Wiss, vol.1, pp.352 - 359, 1959, Berlin, Allemagne.
[15] H. STREUBEL, " The influence of non-uniform contamination on the flashover voltage of insulators ", 4 th International Symposium on High Voltage Engineering, rapport 46-10, 5-9 September 1983, Athens, Greece.
[16] Publication IEC 71-2, " Insulation coordination. Application guide", Seconde édition, 1976.
[17] CIGRE, " Mesure de la sévérité de pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs pour les réseaux à courant alternatif ", Groupe de travail du comité d'étude, N°33, ELECTRA, N° 64, Mai 1979.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[18] A. BOUHAFS , " Comportement des surfaces isolantes sous pollution non uniforme. Élaboration d'un algorithme de contournement", Thèse de Magistère, ENP, Février 2002, Alger, Algérie.
[19] C. H. A. ELY, P. J. LAMBETH, J. S. T. LOOMS, D. A. SWIFT, C. E. G. B , " Contournement des polymères humides et pollués : L'ailette Booster ", CIGRE, Rapport 15-02, 1978.
[20] C. E. I-60 , " Technique des essais à M.T, définitions et prescriptions générales aux essais ", Première édition 1973.
[21] A. MEKHALDI , " Étude du Développement d'un Arc Électrique sur des Surfaces Isolantes contaminées par la Pollution Désertique", Thèse de Magistère, ENP, Juin 1990, Alger, Algérie.
[22] P. J. Lambeth, J. S. T. Looms, M. Sforzini, C. Malaguti, Y. Porcheron, P. Claverie , " Recherches Internationales sur la Pollution des Isolateurs ", CIGRE, Rapport N°. 33 - 02, 1970.
[23] W. HEISE, M. P. VERMA, H. NIKLASH, H. LIPKEN, H. SCHRIEBER, G. F. LUXA , " Critères de Contournement par Pollution et ses Applications pour le Dimensionnement et le Contrôle de l'Isolation ", CIGRE, Rapport 33-09, 1978, Paris, France.
[24] M. N. RAYES, M. ZHIRH , " Investigation about Flashover Performance of Insulators under Uniform and Non-Uniform Contamination", 7 th International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 43-08, 26-30 Août 1991, Dresden, Allemagne.
[25] A. BOUBAKEUR , " Essais d'Isolateurs Pollués dans les Conditions Naturelles ", Rapport interne, I. W. N, politechnika WARSZAWSKA, Varsovie 1978, Pologne.
[26] L. L. ALSTON, S. ZOLEDZIOWSKI , " Growth of Discharges on Polluted Insulators", IEEE, Trans. PAS, Vol.110, No7, Juillet 1963.
[27] H.H. WOODSON, A. J.MC-ELROY , "Insulators with contaminated surface, part II, Modelling of Discharge Mechanisms", IEEE, Trans, PAS, Vol.89, N° 8, Nov- Dec 1970.
[28] F. OBENAU S, " Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge ", Deutsche Elektrotechnik, vol. 4, pp. 135 - 136, 1958.
[29] J. DANIS , " A Stochastic Pollution flashover Model ", 4 th International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 46-12, 5-9, Sept 1983, Athens, Greece
[30] BOUTLENDJ , " Influence des écrans isolant sur la tension de décharge disruptive à 50Hz, des intervalles d'air pointe plan", PFE, ENP, Juin 1984.
[31] F.A.M. Rizk and Sherif I. Kamel , "Modelling of HVDC wall bushing flashover in no uniform rain", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.6, No4, pp.1650-1662, 1991.
[32] M. Farzanch. X. Chen. J. Zhang , " The influence of applied voltage on the surface of atmospheric deposited on insulating surfaces", IEEE, ISEI, 16-19 Juin 1996, Montreal, Québec, Canada.
[33] ROTH , " Hchspannugtechnik", 1959, Pologne.

Résumé

Résumé :

Dans ce travail expérimentalement, 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. 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.

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

Abstract:

In this experimental work, we study the effect of pollution on a plane model of a high voltage 1512 L insulator subjected to various electro geometric parameters. For this, several tests in uniform and non-uniform pollution are carried out. We are interested in the bypass voltage, the magnitude of the leakage current, the current-voltage phase shift, and the change in the number and length of parallel discharges.

Keywords: plane insulator model, Uniform pollution, non-uniform pollution, bypass voltage, leakage current, phase shift, parallel discharges.

ملخص:

في هذا العمل التجريبي، قمنا بمعالجة تأثير عامل التلوث على نموذج مخبري سطحي يمثل العازل 1512 ل على التوتر العالي يخضع إلى عدة عوامل كهربائية وهندسية. 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.

الكلمات المفتاحية: نموذج سطحي عازل، التلوث المنتظم، التلوث غير المنتظم، توتر الإحاطة، شدة تيار التسرب، تحول الطور بين التيار والجهد، التفريغات المتوازية