

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:/2024



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Electrotechnique

Spécialité: Réseaux électriques

Par: BOUCHAMA Karima Malak et KOUARTA Ouail

Thème

Étude du contournement électrique des isolateurs pollués

Soutenu publiquement, le 23 Juin 2024 devant le jury composé de:

M. KACHI Miloud
M. REMADNIA Mokdad
Mme. FETISSI Selwa

Pr.
MCA
MCB

Univ. Guelma Président/ Examineur
Univ. Guelma Encadreur
Univ. Guelma Examineur

Année Universitaire: 2023/2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu, le tout puissant, qui nous a accordé la santé et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur Dr. REMADNIA Mokdad, pour son soutien, ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité tout au long de nos études et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nos sincères remerciements s'adressent également à tous les enseignants du département de Génie Électrotechnique et Automatique de l'Université 8 Mai 1945 Guelma pour leurs efforts et leur dévouement tout au long de notre formation.

Nos reconnaissances vont aussi aux membres de jury, pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Nous remercions enfin tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de ce travail et qui n'ont pas pu être cités ici.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mon très cher père, symbole de patience et du courage.

*Ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple sacrifice, te de l'honnêteté, je
leurs souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.*

*À mon cher frère ADEM et mes belles sœurs OUMNIA et MARIA, puisse dieu
vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussit.*

*À ma meilleure amie MERIEM, avec qui j'ai partagé les plus beaux moments
depuis 2018.*

Et enfin à tous mes amies, et tous mes collègues de la promotion 2024.

Bouachama Karima malak

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À Mes parents qui m'ont toujours soutenu depuis ma naissance et durant toute ma vie.

À mes frères.

À tous mes amis.

Et enfin à tous mes collègues de la promotion 2024.

Kouarta Ouail

Sommaire

Introduction générale	01
CHAPITRE 1 – GENERALITES SUR LES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION	
I.1. Introduction	03
I.2. Définitions	03
I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur	04
I.4. Principaux types d'isolateurs	05
I.4.1. Isolateurs de type rigide	05
I.4.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne	06
I.4.2.1. Isolateurs à capot et tige	06
I.4.2.2. Isolateur à long fût	09
I.5. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs	10
I.5.1. Céramique	10
I.5.2. Verre	10
I.5.3. Matériaux synthétiques	11
I.6. Choix des isolateurs	12
I.7. Classification des isolateurs	13
I.7.1. Isolateur de Classe A	13
I.7.2. Isolateur de Classe B	13
I.8. Défauts des isolateurs	13
I.8.1. Défauts électriques	13
I.8.2. Défauts mécaniques	14
I.9. Conclusion	14
CHAPITRE II – POLLUTION DES ISOLATEURS	
II.1. Introduction	16
II.2. Définitions	16
II.2.1. Pollution	16
II.2.2. Salinité	16
II.2.3. Couche de pollution	17
II.2.4. Degré de pollution	17
II.3. Sources et types de pollution	17
II.3.1. Pollution naturelle	17
II.3.1.1. Pollutions marines	18
II.3.1.2. Pollutions désertiques	18
II.3.2. Pollution industrielle	18
II.3.3. Pollution mixte	19
II.4. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués	19
II.5. Comportement des isolateurs sous pollution	20
II.5.1. Classification de la pollution selon le type d'environnement	20
II.5.2. Formation des couches polluantes sur les isolateurs	21
II.5.3. Conséquence de la pollution	22
II.6. Méthodes de mesures de la sévérité de pollution d'un site	23
II.6.1. Densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)	23
II.6.2. Conductance superficielle	24
II.6.3. Méthode de courant de fuite	24
II.7. Conclusion	25
CHAPITRE III – PHENOMENE DE CONTOURNEMENT	
III.1. Introduction	26
III.2. Définitions concernant le contournement des isolateurs	26

III.2.1. Contournement	26
III.2.2. Ligne de contournement	27
III.2.3. Tension de contournement	27
III.2.4. Contrainte de contournement	27
III.2.5. Tension de tenue	27
III.2.6. Ligne de fuite	27
III.2.7. Courant de fuite	28
III.3. Causes de contournement	28
III.4. Déroulement du contournement	28
III.5. Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs	29
III.5.1. Répartition longitudinale non-uniforme et non-périodique par groupe	30
III.5.2. Répartition transversale non-uniforme	30
III.5.3. Répartition longitudinale non-uniforme périodique	30
III.6. Technique de lutte contre la pollution	31
III.6.1. Allongement de la ligne de fuite	31
III.6.2. Changement de forme des isolateurs – isolateurs plats	31
III.6.3. Graissage périodique	31
III.6.4. Revêtement a base des silicones	32
III.6.5. Les isolateurs composites	32
III.6.6. Nettoyages des isolateurs	33
III.7. Conclusion	34

CHAPITRE IV – TECHNIQUES ET RESULTATS EXPERIMENTAUX

IV.1. Introduction	36
IV.2. Dispositif expérimental	36
IV.2.1. Modèle expérimental	36
IV.2.2. Circuit de mesure de la tension de contournement	37
IV.3. Mode opératoire	40
IV.3.1. Préparation des solutions polluantes	40
IV.3.2. Application de la couche de pollution	41
IV.3.3. Mesure de la température et l’humidité	42
IV.4. Résultats et discussion	43
IV.4.1. Effet de la conductivité de la solution polluante	43
IV.4.2. Effet de la largeur de couche de pollution	44
IV.4.2.1. Cas d’une surface propre	44
IV.4.2.2. Cas d’une surface polluée	44
IV.4.3. Effet de la nature de la pollution	51
IV.5. Conclusion	52
Conclusion générale	53
Bibliographie	54

Introduction générale

Les besoins économiques et le bien-être des populations font partie aujourd'hui des raisons d'un développement croissant des installations de production, de transport et de transformation d'énergie électrique. L'approvisionnement de cette énergie électrique provenant des centrales exige l'installation des lignes aériennes et souterraines permettant l'alimentation des consommateurs. Les lignes aériennes qui sont conçues, réalisées, entretenues sont exploitées, sont exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci la pollution des isolateurs.

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension de la terre, et pour assurer une liaison mécanique entre les conducteurs portés à des potentiels différents accrochés au pylônes des lignes aérienne. Les isolateurs utilisés à l'extérieur sont tous exposés aux différents agents constituant l'atmosphère qui le contamine. Cette contamination se manifeste par l'accumulation d'un dépôt de pollution à sa surface. Différentes sources peuvent être à l'origine de cette pollution : naturelle, industrielle ou mixte. En effet, les dépôts polluants qui recouvrent les surfaces isolantes peuvent, dans certaines conditions, engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle et par conséquent la réduction de la tension de tenue des isolateurs pouvant conduire au contournement des isolateurs, ce qui a pour conséquence grave, la mise hors service de la ligne. Par conséquent, la connaissance du degré de pollution constitue donc une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

Nous avons essayé, à notre échelle, et par les moyens qui ont été mis à notre disposition au niveau de laboratoire de Génie Electrique de Guelma, d'effectuer une étude expérimentale sur le comportement d'un modèle d'isolateur pollué. Le modèle de laboratoire utilisé est une plaque isolante en verre soumis à une tension alternative. Le mémoire comporte quatre chapitres qui se présentent comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique sur les isolateurs de haute tension, leurs caractéristiques, leurs différents types ainsi que les matériaux utilisés dans leurs fabrications.

Dans le deuxième chapitre, nous rappelons le phénomène de pollution des isolateurs et ses conséquences sur le transport de l'énergie électrique, ainsi que les méthodes de mesures de la sévérité de pollution des sites.

Nous présentons dans le troisième chapitre le phénomène de contournement et les différentes techniques de lutte contre la pollution des isolateurs.

Le travail expérimental présenté dans le quatrième chapitre est structuré en deux parties : La première partie est consacrée aux techniques expérimentales. La deuxième partie est réservée la présentation et l'interprétation des résultats expérimentaux ainsi obtenus.

Chapitre I

Généralités sur les isolateurs de haute tension

I.1. Introduction

Les équipements Haute Tension des réseaux aériens de transport de l'énergie électrique sont supposés opérer de façon fiable sous des conditions environnementales spécifiques pour lesquelles ils sont prévus. En particulier, les isolateurs, qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes. Leur rôle est d'assurer l'isolement électrique entre les parties portées à la Haute Tension ou entre les parties Haute Tension et les parties mises à la terre. Par conséquent, les isolateurs sont des éléments indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Dans ce chapitre nous allons présenter les concepts fondamentaux liés aux isolateurs, leurs différents types et les matériaux utilisés dans leur fabrication.

I.2. Définitions

Isolant

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 champs électriques.

Isolement

On appelle isolement d'un ouvrage ou d'un appareil électrique, son aptitude à supporter la tension, ou plus généralement, les contraintes électriques qui lui sont appliquées.

Isolation

On appelle isolation l'élément matériel ou l'ensemble des dispositifs constructifs qui assurent cet isolement.

Isolateur

L'isolateur est un matériau isolant solide qui a une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il 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. Les isolateurs des lignes aériennes ont deux fonctions principales : d'une part, ils permettent d'isoler électriquement les lignes de transport d'énergie électrique des pylônes mis à la terre [1], et d'autre part, ils ont un rôle mécanique qui consiste à soutenir ces mêmes lignes et donc résister aux différentes

contraintes mécaniques dû surtout au poids de la ligne et son mouvement en présence de vent, etc. [2-3].

Diélectrique

Un matériau diélectrique est un matériau ne contenant pas de charges électriques susceptibles de se déplacer de façon macroscopique, c'est-à-dire que c'est un milieu qui ne peut pas conduire le courant électrique. C'est par exemple, le verre, des céramiques et de nombreux plastiques, mais aussi bien sûr le vide [4]. Les diélectriques peuvent être à l'état gazeux, liquide ou solide. Il est clair qu'aucun diélectrique n'est capable de résister indéfiniment à l'application d'une tension d'amplitude croissante. Il se produit alors une rupture du pouvoir isolant qui se traduit par la formation d'un chemin conducteur à travers le corps isolant. Les mécanismes de rupture diélectrique sont extrêmement complexes. Ceux-ci dépendent essentiellement de la forme de la tension appliquée (principalement la vitesse de croissance et l'amplitude) et de la nature de l'isolant (air, gaz, diélectrique solide ou liquide...).

Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un milieu isolant représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant le déclenchement d'un arc électrique.

I.3. Fonctionnement et constitution d'un isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables dans le transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur importance est reliée directement au fait de [5] :

- ❖ Réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes.
- ❖ Maintenir les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage).
- ❖ Assurer la transition entre l'isolation interne (huile, SF6) et l'isolation externe (air atmosphérique).
- ❖ Raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles).
- ❖ Jouer le rôle d'une enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement. Un isolateur, du point de vue électrique, est considéré comme étant deux

électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents, ces trois zones sont [6] :

- 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).

L'isolateur de haute tension est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2 tel que M1 se fixe au pylône et M2 porte le conducteur. Il possède un double rôle:

- Un rôle mécanique : porte le conducteur.
- Un rôle électrique : isole le conducteur par rapport au pylône.

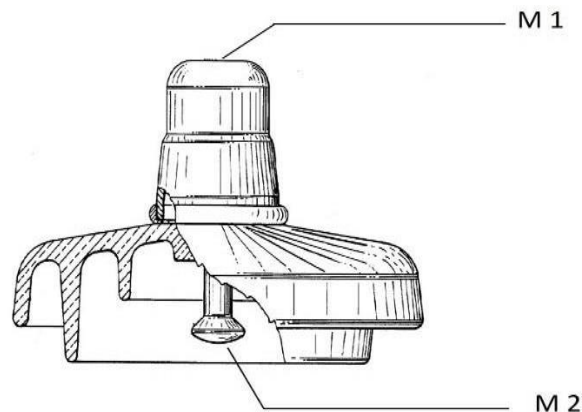


Figure I.1 : Isolateur de haute tension (capot et tige) [7].

I.4. Principaux types d'isolateurs

On distingue deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs de type rigide et les éléments de chaîne.

I.4.1. Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide est relié au support par une ferrure fixe (Figure I.2). Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes [8]. Ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV.

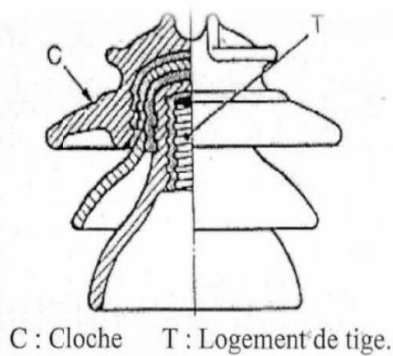


Figure I.2 : Isolateur rigide [9].

I.4.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

C'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaires pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne, à la pince de suspension du conducteur ou au support. Ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales (chaînes d'alignement), soit horizontale (chaînes d'ancrage) [9]. Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

- ❖ L'isolateur capot et tige.
- ❖ L'isolateur long fut.

I.4.2.1. Isolateurs à capot et tige

L'isolateur capot et tige 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 ou la porcelaine. 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. L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique. Une coupe de l'isolateur capot-tige est schématisée sur la figure I.3.

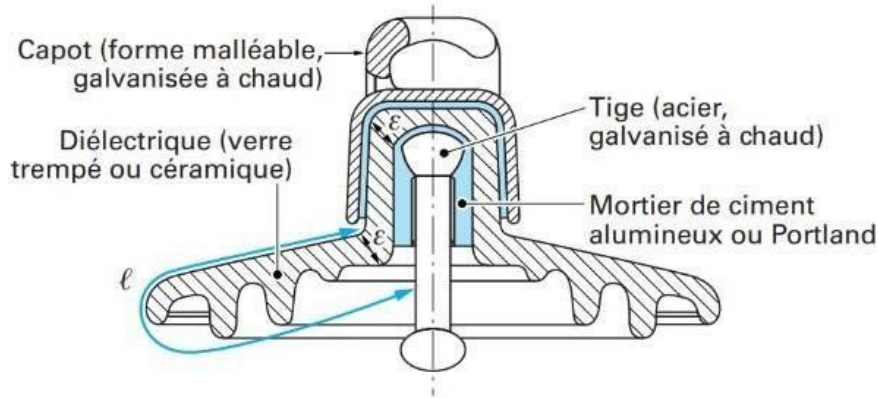


Figure I.3 : Vue en coupe d'un Isolateur capot et tige [10].

l : Plus courte distance dans l'air entre le capot et la tige

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

On peut trouver plusieurs profils d'isolateurs capot et tige et ceci pour un meilleur fonctionnement :

a. Profil standard

Ce sont les plus communs et les plus utilisés sur les lignes installées dans les zones de faible pollution où ils se comportent bien grâce à leurs petites nervures bien espacées. Ce type est très utilisé dans les endroits à pollution modérée (Figure I.4) [11].

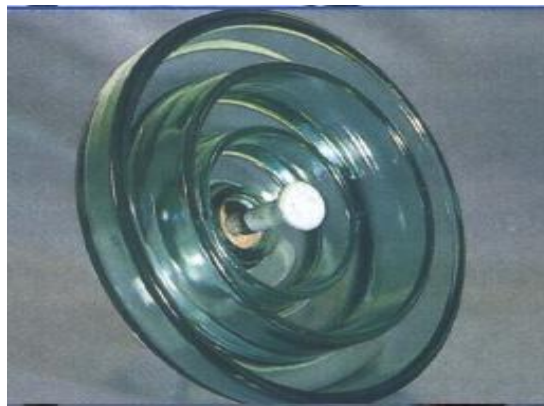


Figure I.4 : Isolateur capot et tige de profil standard [12].

b. Profil antibrouillard

Il est plus large que le profil standard. L'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution [5].

❖ Profil antibrouillard (forme A)

Son diamètre est plus grand que celui du profil standard. Il est muni de deux ou trois rainures à grande profondeur (Figure I.5a). Le profil et les grands espacements des rainures permettent une auto lavage par l'action de vent et de la pluie. Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire [9].

❖ Profil antibrouillard (forme B)

Dans cette conception (Figure I.5b), l'épaisseur de la rainure extérieure agit comme une barrière contre l'action du brouillard et de 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 [9].

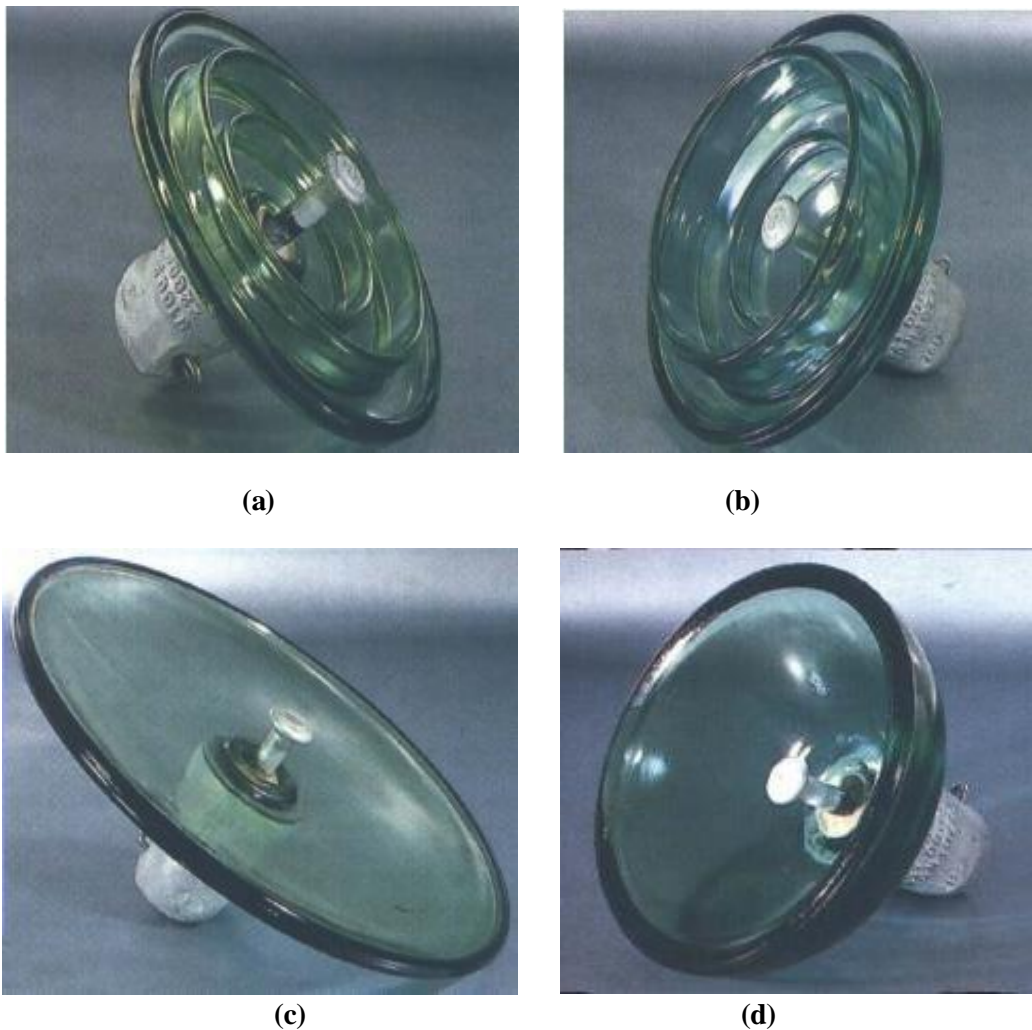


Figure I.5 : Isolateur capot et tige : (a) Profil antibrouillard (Forme A), (b) Profil antibrouillard (Forme B), (c) Profil plat, (d) Profil sphérique.

❖ Profil plat

Ce type d'isolateur, de par le profil de son diélectrique totalement plat comme indiqué sur la figure I.5c, est très recommandé pour les zones désertiques. En effet, l'absence de nervures rend difficile le dépôt de particules, en particulier sur la surface inférieure du diélectrique. De plus, sa forme facilite son auto-nettoyage par le vent. Ils peuvent également être utilisés dans les zones de pollution industrielle sévère ou mixte.

❖ Profil sphérique

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel (Figure I.5d).

I.4.2.2. Isolateur à long fût

Ils sont constitués d'un cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes. A chaque extrémité est fixée une pièce métallique de liaison ; celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (Figure I.6). Ils peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis.

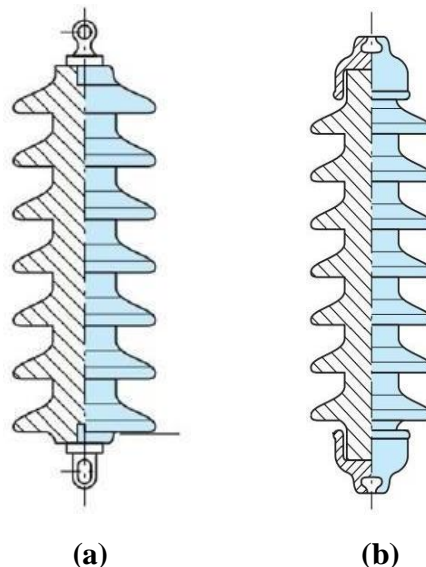


Figure I.6 : Isolateur à long fût : (a) Extrémités tronconiques, (b) Extrémités en forme de tige [13].

I.5. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs

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 : le poids lourd 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 [14].

I.5.1. 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 ya des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramique a grains très fins. Souvent on trouve la céramique dans les postes : isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance [15].



Figure I.7 : Isolateurs en céramique [13].

I.5.2. Verre

Les isolateurs en verre, un peu moins chers, mais plus fragiles que ceux en porcelaine. Outre son bas prix, le verre présente l'avantage de permettre de déceler les défauts par une simple observation. En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne haute tension sont en verre [16]. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

❖ Verres trempés

Ils consistent à porter la pièce à une température voisine de son point de ramollissement 700°C et à la refroidir brusquement au moyen de jets d'eau froide sous pression, ce traitement améliore les qualités mécaniques du verre obtenu. Le premier avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ainsi que sa tenue aux chocs thermiques en traction (5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit). Aussi peut supporter une variation brusque de température pouvant atteindre 100°C.

❖ Verres recuits

Le verre recuit est utilisé pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension [17].

I.5.3. Matériaux synthétiques

Les isolateurs en matériaux synthétiques, dits composites, sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine, donnant à l'isolateur sa tenue mécanique, et d'un revêtement à ailettes de type élastomère comme indiqué sur la figure I.8.

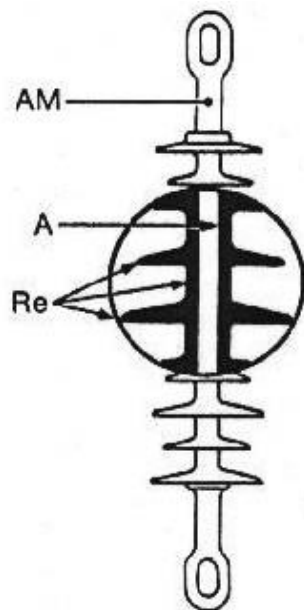


Figure I.8 : Isolateur composite : (AM : Pièce d'accrochage métallique, A : Noyau en fibre de verre-résine, Re : Revêtement ailettes en matériaux synthétiques) [5].

Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (Figure I.9a). L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques) (Figure I.9b).

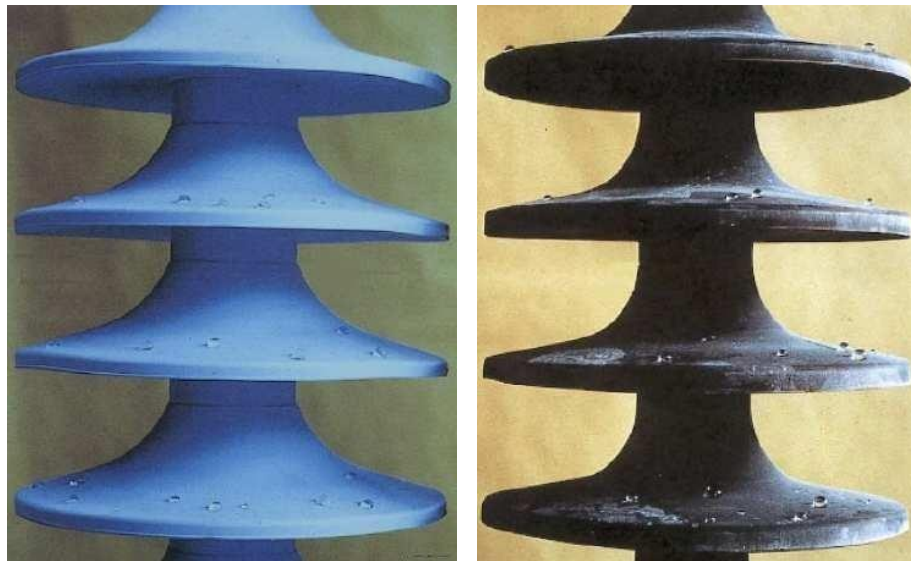


Figure II.9 : Photographie des isolateurs composites : (a) Bonne prospérité hydrophobe, (b) Vieillissement de l'isolateur [16].

I.6. 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 [14].

Une des caractéristiques des isolateurs de lignes est leur forme. En effet, la conception des isolateurs est en grande partie dictée par la nécessité de limiter les courants de fuite due à la pellicule d'humidité et de sel précipité que l'on retrouve à la surface des isolateurs. Cette pellicule est beaucoup plus conductrice que le matériau lui-même. Le matériau isolant choisi pour cette fonction (isolation) sera donc déterminé par sa résistance mécanique en flexion ou en traction et par sa porosité de surface [18]. Egalement, le matériau devra avoir une résistivité la plus élevée possible, afin d'éviter que l'isolateur lui-même ne soit un conducteur d'électricité.

I.7. Classification des isolateurs

Conformément à la publication CEI-383 (Commission d'électrotechnique internationale), les isolateurs de lignes aériennes sont divisés en deux classes selon leur forme [19].

I.7.1. Isolateur de Classe A

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur " ϵ " du canal de perforation à travers la matière isolante solide est au moins égale à la moitié de la plus courte distance dans l'air " L " extérieur à l'isolateur, cette forme implique que ces isolateurs soient imperforations. Les isolateurs à long fût font, en général, partie de cette classe.

I.7.2. Isolateur de Classe B

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur " ϵ " du canal de perforation à travers la matière isolante est inférieure à la moitié de la plus courte distance dans l'air " L " extérieur à l'isolateur. Les isolateurs à capot et tige appartiennent à cette classe.

I.8. Défauts des isolateurs

Les isolateurs composites qui appartiennent aux générations précédentes ont présenté comme principaux problèmes l'érosion, l'acheminement, la décharge de couronne...etc. Ces problèmes ont été éliminés par le bon choix des matériaux et le développement de nouvelles techniques de fabrication. L'inconvénient des isolateurs composites est la difficulté d'identifier l'isolateur défectueux de l'isolateur sain. Globalement, On peut distinguer deux types de défauts sont mutuellement dépendants : défauts électriques et défauts mécaniques [2, 20, 21].

I.8.1. Défauts électriques

Le vieillissement des isolateurs est causé par les conditions climatiques auxquelles l'isolateur est exposé ainsi que son profil. Un profil qui permet l'accumulation des agents polluants favorise l'apparition des décharges locales menant à l'érosion et par la suite au cheminement. L'effet de couronne est considéré comme agent principal de vieillissement des Isolateurs. Cet effet se caractérise par la réduction de l'hydrophobie, la décoloration de la

surface de l'isolateur ainsi que l'érosion sous l'effet des gaz de décharge. Les gouttelettes d'eau sur la surface de l'isolateur affectent la distribution du champ sur cette surface. La permittivité relative de l'eau est élevée ce qui augmente l'intensité du champ aux voisinages des gouttelettes [21]. Un excellent isolateur est caractérisé par son hydrophobicité, cette hydrophobie peut être perdue suite à l'accumulation des agents polluants sur la surface de l'isolant, ou même après avoir subi des chocs électriques (arcs locaux).

Le mouillage de la surface favorise l'apparition de l'effet couronne dans les régions de forte intensité de champ, d'où la perte locale de l'hydrophobie ; une quantité de pollution se dissout et forme une couche plus ou moins conductrice, par conséquent une nouvelle distribution du champ s'établit. Ce processus se poursuit et le chemin conducteur mouillé se développe à travers l'isolateur, par la suite le courant circulant à travers ce chemin cause l'assèchement des régions à forte densité de courant ce qui conduit au développement d'un arc local. Dans le cas des isolateurs en verre ou en porcelaine, le mécanisme de décharge est différent de celui des isolateurs en polymère, le mouillage de la pollution accumulée sur la surface des isolateurs en verre ou en porcelaine conduit à l'apparition d'un film d'eau continu, donc l'arc peut se développer directement. Le séchage de la partie restante et l'élongation de l'arc causent le contournement de l'isolateur. De plus, la couche de pollution développée est souvent mince, ce qui limite l'intensité du courant de fuite et par la suite, la tension de contournement augmente [2].

I.8.2. Défauts mécaniques

Les défauts mécaniques d'un isolateur peuvent mener à des conséquences fatales. Dans le cas des isolateurs revêtu en silicone, la plupart des défauts sont d'ordre mécanique [21]. Les isolateurs en porcelaine peuvent être endommagés facilement mais le taux de tels endommagements est toujours faible. Les isolateurs composites ne sont pas fragiles mais marquent un taux relativement élevé d'endommagements. En effet, un nombre d'endommagements plus ou moins important a été constaté dû des manœuvres durant le transport et l'installation.

I.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur les isolateurs en précisant leur rôle et leurs différents types ainsi que les matériaux isolants utilisés pour leur fabrication. Ces derniers assurent à la fois un support mécanique et électrique ; ils supportent les parties sous

tension et les isolent du pylône. Souvent les isolateurs sont le siège des phénomènes de pollution qui les contamine en diminuant leur caractéristique diélectrique ce qui conduit contournement des isolateurs dans certains cas critiques, comme nous le verrons en détail dans le prochain chapitre.

Chapitre II

Pollution des isolateurs

II.1. Introduction

Dans de nombreux secteurs, y compris celui de l'électricité, la pollution exerce également un impact significatif, affectant la performance et la sécurité des infrastructures électriques. Tout d'abord, elle interfère avec la performance des équipements électriques en réduisant leur efficacité et leur durabilité. En outre, la pollution peut compromettre la fiabilité des réseaux électriques en augmentant le risque de pannes et d'incidents. Parmi les composants les plus sensibles à la pollution figurent les isolateurs électriques, dont la fonction principale est d'assurer l'isolation et la sécurité des lignes de transmission et de distribution. Les isolateurs électriques, placés à l'extérieur, sont exposés à divers agents polluants présents dans l'atmosphère. Ces agents peuvent se déposer sur la surface des isolateurs, formant des couches contaminantes plus ou moins conductrices. En présence d'humidité, ces couches réduisent la résistivité des isolateurs, diminuant ainsi leur tension de tenue. Cette diminution de la capacité d'isolation des isolateurs peut conduire à des arcs électriques, des courts circuits et même au contournement total des isolateurs, mettant ainsi en péril la sécurité des installations électriques et la continuité de l'alimentation électrique.

II.2. Définitions

II.2.1. Pollution

L'une des premières définitions, à la fois moderne et scientifique, de la pollution est celle donnée par [22] : La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'Homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau ou autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

II.2.2. Salinité

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux. Elle correspond à la masse de sel divisée par le volume de la solution, généralement exprimée en kg/m^3 .

II.2.3. Couche de pollution

C'est une couche conductrice électrolytique mise sur la surface de l'isolateur. Elle est composée du sel et des matériaux inertes.

II.2.4. Degré de pollution

Valeur de quantité (salinité, conductivité de la couche, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée sur l'isolateur en essai.

II.3. Sources et types de pollution

Les diverses formes de pollution atmosphérique fréquemment constatées peuvent être regroupées selon leurs sources et classifiées de la manière suivante :

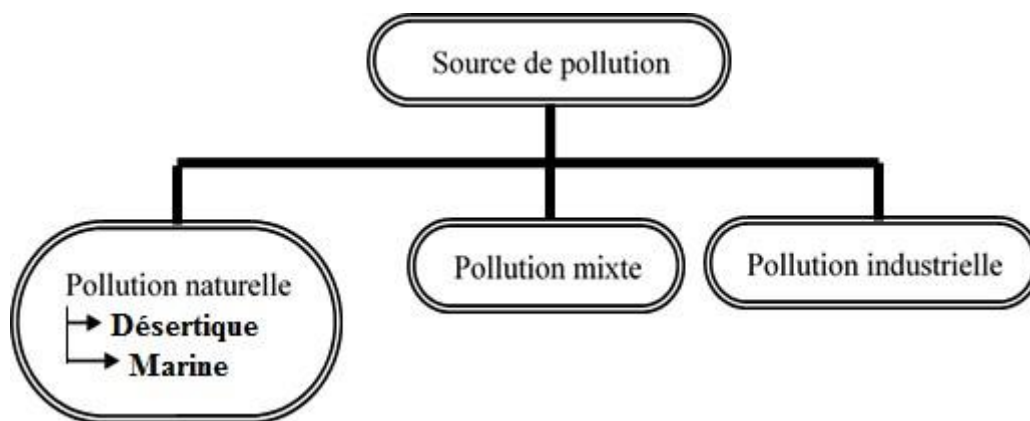


Figure II.1 : Sources de pollution.

II.3.1. Pollution naturelle

La pollution d'origine naturelle émerge de diverses sources intrinsèques à l'environnement. Elle dépend du climat et des facteurs météorologiques des régions. Elle est constituée de dépôts de poussières véhiculées par les vents tels que :

- ❖ Les sels marins présents dans les régions côtières, qui peuvent contribuer à la pollution atmosphérique par leur dispersion depuis les océans.
- ❖ Les poussières du sol, particulièrement lors de chantiers d'envergure, qui peuvent être soulevées et entraîner une augmentation des particules en suspension dans l'air.

- ❖ Les sables transportés par le vent dans les zones désertiques, où les vents peuvent propager des particules fines, accentuant ainsi la pollution atmosphérique locale.

Selon leur nature des dépôts, on distingue la pollution marine et la pollution désertique.

II.3.1.1. Pollutions marines

Dans les installations à proximité de la mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui recouvre toute la surface des isolateurs, y compris les parties mieux protégées. Cette couche de sel humidifiée par les embruns eux même, 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 développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [23].

II.3.1.2. Pollutions désertiques

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. La densité de sel dans le sable est très élevée, et la rosée matinale est la seule source d'humidification dans ces régions. Une fois humidifiés, et en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs électriques qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur.

Ce genre de pollution est constitué par les particules de sable, terre, poussière, et est accentué surtout par les facteurs climatiques :

- Le vent en assurant le transport de ces particules arides et finit par les déposer sur l'isolateur en formant une couche qui recouvre toute la surface de l'isolateur.
- La température, par ces variations entre le jour et la nuit implique le phénomène de condensation donnant au dépôt une certaine conductivité.

II.3.2. Pollution industrielle

Dans des zones à forte concentration industrielle, au voisinage des zones industrielles (pétrochimie, cimenteries, minerais et fumées des usines), les isolateurs se recouvrent peu à peu de poussières résultant des fumées dégagées par ces dernières, et qui sont faiblement

conductrices, mais hygroscopique, à la présence d'une humidité intense. Les sels contenus dans ces poussières abaissent considérablement la résistivité superficielle des isolateurs [24]. Bien que les industries soient les principales sources de cet effet, les gaz d'échappement des véhicules et l'emploi d'engrais en agriculture (insecticide, engrais et grains de pollens) participent également aux dépôts observés sur la surface des isolateurs [25].

II.3.3. Pollution mixte

La pollution mixte est la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées. La couche électrolytique formée par le processus d'humidification des dépôts solides accumulés progressivement sur la surface des isolateurs, engendre une diminution considérable de la rigidité diélectrique.

II.4. Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués

Parmi les facteurs météorologiques essentiels d'influence des dépôts polluants et par conséquent de la tenue électrique des isolateurs on distingue : le vent, la pluie, l'humidité et la température [28].

❖ Le vent

Il constitue l'agent qui assure le transport des poussières et des sels marins ainsi que la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs. D'autre part, le vent peut se comporter comme un agent d'auto-nettoyage lorsque sa vitesse est élevée.

❖ La pluie

Les pluies fines humidifient les surfaces polluées, donc favorisent l'adhérence de pollution, ce qui augmente le risque de contournement. Cependant, les pluies fortes permettent le nettoyage des surfaces polluées et diminuent le risque de contournement.

❖ L'humidité

L'humidité agit négativement sur la surface contaminée des isolateurs car elle provoque l'augmentation de la conductivité de la couche de pollution, surtout pendant les premières heures du matin, surtout pendant les périodes sèches.

❖ La température

Pour les surfaces polluées, les hautes températures ont une influence positive, car elles sèchent les dépôts de pollution et augmentent leur résistivité. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

II.5. Comportement des isolateurs sous pollution

La pollution des isolateurs constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages électriques (postes et lignes). Portés par le vent et déposés sur la surface des isolateurs, et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus ou moins conducteurs. Ce qui engendre une diminution conséquente de la tension de tenue des isolateurs. Le comportement des isolateurs sous pollution est un facteur essentiel pour la conception et l'exploitation des lignes en zones polluées. Il convient donc de connaître les différents phénomènes de conduction sous pollution.

II.5.1. Classification de la pollution selon le type d'environnement

Le tableau II.1 donne le classement de la pollution suivant son origine selon la norme (CET-815). Les types de pollution qui existent sont : la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte [2].

Tableau II.1 : Classification de la pollution selon le type d'environnement [26].

Niveaux de pollution	Exemples d'environnements typiques
I : Faible	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Zones sans industries et avec faible densité d'habitations équipées d'installations de chauffage. ❖ Zones avec faible densité d'industries u d'habitations mais soumises fréquemment aux vents et/ou pluies. ❖ Régions agricoles. ❖ Régions- montagneuses.
II. Moyen	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Zones avec industries ne produisant pas de fumées particulièrement polluantes et/ou avec une densité moyenne d'habitations équipées d'installations de chauffage. ❖ Zones à forte densité d'habitations et/ou d'industries mais soumises fréquemment aux vents et/ou à des chutes de pluies. ❖ Zones exposées au vent de mer, mais pas trop proches de la côte.
III. Fort	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Zones avec forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'installation de chauffage polluantes. ❖ Zones situées près de la mer, ou en tout cas exposées à des vents relativement forts venant de la mer.
IV. Très fort	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles-produisant des dépôts- conducteurs particulièrement épais. ❖ Zones généralement peu étendues, très proches de la côte et exposées aux embruns eu aux vents très forts et polluants venant de la mer. ❖ Zones désertiques caractérisées par de longues périodes sans pluie, exposées aux vents forts transportant du sable et du sel et soumise à une condensation régulier.

II.5.2. Formation des couches polluantes sur les isolateurs

Les couches de pollution se déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs, du fait qu'ils forment des obstacles à l'écoulement d'air, transportant de diverses substances organiques ou minérales (poussières, sel marin, fumée, engrais,...). La couche de pollution se concentre dans les parties protégées contre les facteurs de nettoyage naturel (vent violent, pluie abondante,...). La répartition de la pollution est loin d'être uniforme et homogène et dépend essentiellement [27] :

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

II.5.3. Conséquence de la pollution

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante. La 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 [32] :

a. Arc non localisé

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

b. Arc fixe

Contrairement au cas précédent, l'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant, soit en se réamorçant au même endroit. Cet arc peut entraîner par effet thermique, une dégradation de l'isolation, nécessitant ainsi le remplacement de l'élément défaillant.

c. Court-circuit

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

II.6. Méthodes de mesures de la sévérité de pollution d'un site

La sévérité de pollution d'un site est généralement caractérisée par l'intensité de précipitation ainsi que par la conductivité des dépôts polluants. L'évaluation de la sévérité de pollution d'un site devrait fournir toutes les informations nécessaires sur le comportement diélectrique des isolateurs [29]. Plusieurs méthodes de mesures, basée sur des théories et des données expérimentales, ont été proposées, pour caractériser la sévérité d'un site. Parmi les méthodes les plus utilisées, on trouve : la méthode de salinité équivalente, la détermination du courant de fuite et la méthode de conductance superficielle.

Avec la mise sur le marché de la sonde mobile, l'utilisation de ces trois méthodes deviendra générale car elle offre d'autres avantages, elle est alimentée par batteries et elle est portable, donc les mesures peuvent être effectuées sur des isolateurs réels et en service.

Dans tous les cas, le choix d'une méthode dépend essentiellement des paramètres suivants

- Equipement de mesure (coût des appareils et de la réalisation des mesures, disponibilité de mesures électriques, fiabilité statistique et fiabilité d'applications des données fournies)
- Réseau de transport (étendue, situation géographique, gamme de sources polluantes, degré de fiabilité demandé).
- Le choix de la technique de mesure dépend aussi de la manière dont les mesures de sévérité de pollution sont introduites dans le calcul du niveau d'isolement.

II.6.1. Densité de dépôt de sel équivalent (DDSE)

La densité de dépôt de sel équivalent est utilisée comme un paramètre de base pour l'évaluation du comportement d'isolateurs sur site. Elle est le dépôt équivalent exprimé en mg de NaCl par cm^2 de la surface d'un isolateur, qui a une conductivité électrique égale à celle du dépôt réel, lorsqu'il est dissous dans la même quantité d'eau. Des échantillons de pollution sont prélevés à la surface d'isolateurs ou d'autres collecteurs. Le dépôt est récupéré par lavage en utilisant un matériau absorbant (coton, mouchoir en papier,...) et de l'eau distillée. A partir de la conductivité de la solution obtenue, on peut donc calculer la DDSE. Les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante. La DDSE ne dépend pas seulement de la forme de l'isolateur mais aussi de la position dans laquelle il est installé, c'est-à-dire l'angle qu'il fait avec la verticale et son orientation. Cette méthode mesure l'équivalent du composant actif du contaminant sans tenir compte de certains facteurs à savoir l'humidification de la pollution et le processus d'amorçage des arcs [27].

II.6.2. Conductance superficielle

La conductance superficielle caractérise l'état global de la surface isolante (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche). Elle est définie comme le rapport du courant à fréquence industrielle qui traverse l'isolateur à la tension appliquée. La conductance superficielle G est obtenue en appliquant pendant 2 à 5 périodes une tension, alternative (50Hz) donnée V , en mesurant le courant de fuite maximum I traversant la couche de pollution. La conductance est donnée par la formule suivante [30] :

$$G = \frac{I}{V} \quad (\text{II.1})$$

Avec:

G : la conductance en (S).

I : le courant en (A).

V : la tension en (V).

La conductance superficielle σ des isolateurs est obtenue en multipliant la conductance superficielle G par le facteur de forme f , définie par la formule :

$$\sigma = f \cdot G \quad (\text{II.2})$$

Si la couche n'est pas homogène, la conductivité superficielle locale peut être obtenue en mesurant la conductance d'une partie de la surface isolante en utilisant des électrodes auxiliaires intermédiaires. Les tensions élevées peuvent être à l'origine de la distorsion du courant de fuite, car elles créent des zones sèches sur la surface de l'isolateur. Ceci peut être évité en limitant le temps d'application de la tension [27].

II.6.3. Méthode de courant de fuite

Le comptage des impulsions consiste à enregistrer, à l'aide d'un dispositif approprié, pendant une période donnée, le nombre d'impulsions du courant de fuite, dépassant une certaine amplitude, pour un isolateur soumis à sa tension de service. L'existence d'impulsions précède généralement la phase finale de contournement sous pollution. La fréquence et l'amplitude de ces impulsions croissent lorsqu'on s'approche du contournement [31]. Cette méthode se prête mieux à la détermination des longueurs d'isolateurs dans le cadre de l'extension ou du reconditionnement de réseaux existants. Cependant, elle ne fournit pas une mesure absolue de la performance des isolateurs et exige une aptitude au contrôle permanent.

II.7. Conclusion

Dans le matériel électrique destiné à fonctionner en haute tension et moyenne tension, l'isolation des conducteurs prend une grande importance d'où, les matières isolantes pour chaque type d'isolateur sont choisies en tenant compte de leurs propriétés et les différentes contraintes supportées. La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des équipements électriques de haute tension. Pour mieux dimensionner les 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'isolateur.

Chapitre III

Phénomène de contournement

III.1. Introduction

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir. L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la réparation du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'au contournement total de l'isolateur. Dans ce qui va suivre, nous allons exposer les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués ainsi que les techniques de lutte contre la pollution.

III.2. Définitions concernant le contournement des isolateurs

III.2.1. Contournement

On dit que le contournement se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur. Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre) [33].



Figure III.1 : Phénomène de contournement dans un isolateur [34].

Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau électrique. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées

dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe, les interruptions ne sont pas acceptables parce qu'elles mènent à d'énormes pertes financières de production, de machines bloquées et des pertes de contrôle du cycle du processus.

III.2.2. Ligne de contournement

La ligne de contournement (L_c) est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices [35].

III.2.3. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [2]. 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 profil de l'isolateur.

III.2.4. Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [31]. Pendant une période donnée, on détermine soit la contrainte de contournement soit la relation entre contrainte de contournement et la fréquence de contournement. Ceci concerne toutes les phases du processus de contournement.

III.2.5. Tension de tenue

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive (contournement dans le cas des isolateurs) [36].

III.2.6. Ligne de fuite

La ligne de fuite est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolant entre deux parties conductrices [2].

III.2.7. Courant de fuite

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 [37].

III.3. Causes de contournement

Le contournement des isolateurs peut avoir trois origines possibles, car il est généralement déclenché par :

- Des surtensions induites par les décharges électriques atmosphériques.
- Des surtensions de manœuvre dans les réseaux électriques.
- La formation d'un chemin de conduction à travers le système d'isolation, souvent causée par une contamination de la surface.

En effet, le contournement des isolateurs par un arc électrique dû à la pollution atmosphérique est la cause principale des interruptions dans le réseau électrique de transport.

III.4. Déroulement du contournement

La chronologie du processus qui mène au contournement des isolateurs est constituée essentiellement de quatre grandes phases [33, 38] :

❖ Phase 1 : Dépôt de pollution

C'est le dépôt d'une couche solide constituée de sels et de matériaux insolubles, sauf dans le cas d'une pollution marine ou la pollution est sous la forme d'embruns marins (Figure III.2a).

❖ Phase 2 : Formation d'un électrolyte

Cette phase est caractérisée par une humidification de la couche de pollution et circulation d'un courant du à la dissolution des sels contenus dans le dépôt. A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel circulant sur la surface de l'isolateur (Figure III.2b).

❖ Phase 3 : Formation d'une bande sèche

Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche dues à l'échauffement par effet Joule (Figure III.2c).

❖ Phase 4 : Contournement

Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche :

- Soit la décharge s'éteint \Rightarrow pas de contournement (Figure III.2d).
- Soit la décharge progresse sur la surface \Rightarrow contournement de l'isolateur (Figure III.2e).

De manière générale, le contournement d'un isolateur pollué est précédé de l'apparition d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arc partiels, Un arc peut se propager en surface jusqu'au contournement total de l'isolateur.

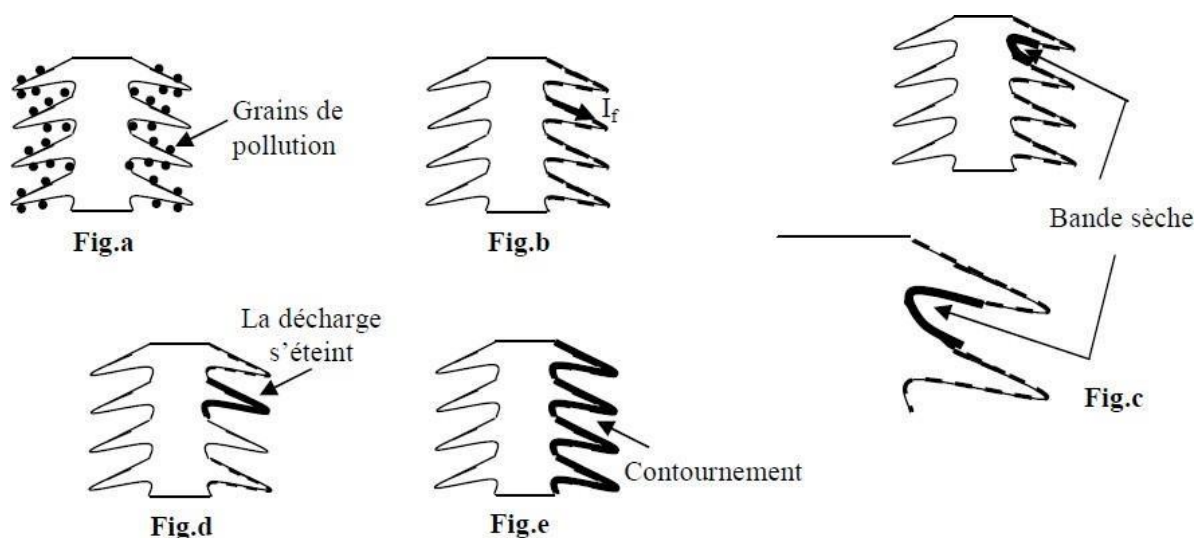


Figure III.2 : Déroulement de contournement [33].

III.5. Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs

La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent 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 forte). Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs n'est pas uniforme. Cette non uniformité devient plus accentuée lorsque la longueur des chaînes d'isolateurs augmente. Il existe une distinction nette entre les couches formées à la surface supérieure et celles formées à la surface inférieure d'un isolateur soumis à la pollution naturelle. La répartition de la couche de pollution dépend du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et le niveau de la tension qui leur est appliqué [39]. Selon Streubel [40], il existe trois catégories de non uniformité de la pollution :

- ❖ Longitudinale non-uniforme et non-périodique ;
- ❖ Transversale non-uniforme ;
- ❖ Longitudinale non-uniforme et périodique.

III.5.1. Répartition longitudinale non-uniforme et non-périodique 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. Ce type de pollution se trouve dans les cas suivants :

- Temporairement pendant le lavage sous tension,
- Dans les chaînes d'isolateurs en forme de « T ».

III.5.2. Répartition transversale non-uniforme

Ce type de non uniformité est caractérisé par des secteurs ou bandes de pollution de différentes largeurs, dont la conductivité superficielle est variable d'un secteur à l'autre le long du périmètre de l'isolateur tout en restant constante dans le même secteur, le long de la ligne de fuite. Ce type de répartition est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies [14].

III.5.3. Répartition longitudinale non-uniforme 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 [14] :

- 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.

III.6. Technique de lutte contre la pollution

Une bonne conception de l'isolation des installations électriques basée sur des mesures de sévérité de pollution permet de limiter, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service. Cependant, La sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle zone industriel ou usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Dans ces circonstances, on a recourt à des solutions techniques appropriés pour chaque cas. Plusieurs techniques de lutte contre la pollution sont utilisées.

III.6.1. Allongement de la ligne de fuite

L'allongement de la ligne de fuite permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux techniques sont utilisées :

- ❖ Le changement du type d'isolateur pour rallonger la ligne de fuite ; c'est une technique très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- ❖ Prolongement de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants [41].

III.6.2. Changement de forme des isolateurs – isolateurs plats

Tandis que les deux précédentes méthodes conduisent à allonger la ligne de fuites des isolateurs, l'utilisation d'isolateurs plats conduit à la diminuer. La mise en place d'isolateurs plats entraîne une réduction de la ligne de fuite des isolants. Effectivement, ces isolateurs sans nervure ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent [42]. Ils sont principalement utilisés dans les pays soumis à des tempêtes de sable où la principale source d'humidification est la condensation. C'est le cas dans les régions sahariennes [43].

III.6.3. Graissage périodique

En raison de ses caractéristiques hydrophobes, le graissage offre une protection temporaire aux isolateurs. On utilise des graisses silicones, et on parle alors de siliconage des

isolateurs. La durée du processus de graissage est influencée à la fois par l'environnement (pollution, conditions climatiques) et par la propre qualité du produit. En règle générale, la longévité varie de 1 à 4 ans. Le processus de graissage est couramment employé à travers le monde, cependant le processus de nettoyage et de graissage est difficile, long et onéreux. De plus, elle requiert une interruption du service. Pour juger de l'opportunité de renouveler la graisse, une méthode de contrôle de la pollution des graisses a été mise au point par la société d'électricité de France [43].

III.6.4. Revêtement a base des silicones

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc siliconé qui se gonfle à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour le graissage, grâce à ses propriétés hydrophobes [44], ce revêtement assure une protection et une amélioration de leur résistance à la pollution. Cependant, sa durée de vie est généralement bien supérieure à celle du graissage. Cette technique est relativement ancienne et tend aujourd'hui à se développer grâce à la mise sur le marché de produits plus performants. Dans certains postes de compagnies américaines, des revêtements ont été appliqués pendant plus de dix ans [43].



Figure III.3 : Opération de revêtement d'un isolateur.

III.6.5. Les isolateurs composites

Les isolateurs composites sont apparus au début des années 70. Ils sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type

élastomère. Ces isolateurs se distinguent par leur légèreté, leur résistance mécanique élevée et leurs propriétés hydrophobes excellentes, ce qui leur permet d'être utilisés dans des conditions de pollution extrêmement sévères. Cependant, ces isolateurs revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au fil du temps, ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes électriques et climatiques auxquelles ils sont soumis en service. Les isolateurs composites sont aujourd'hui de plus en plus utilisés sur les réseaux de transport et de distribution [45].



Figure III.4 : Isolateur composite.

III.6.6. Nettoyages des isolateurs

Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension sont fréquemment utilisés de façon périodique à travers le monde et en particulier dans les postes. Comme ces méthodes sont utilisées hors tension, elles entraînent nécessairement des interruptions de service parfois assez longues [43].



Figure III.5 : Lavage hors tension des isolateurs.

Le lavage sous tension des isolateurs permet d'éviter ces coupures. Dans son principe, ce type de lavage permet de garder propre l'isolateur. La fréquence de lavage est déterminée de façon à éviter l'accumulation des dépôts de polluants à la surface des isolateurs. Ce dernier est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.



Figure III.6 : Lavage sous tension des isolateurs des lignes haute et très haute tension au profit de la société Sonelgaz dans la ville de Sidi Ali Boussidi - wilaya de Sidi Bel Abbes, Algérie.

Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays notamment au Amérique du nord. Cette technique permet le nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment par exemple) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs. Malgré la simplicité de ces dispositifs, le lavage sous tension de la totalité d'un poste reste cependant une opération couteuse. Il importe donc de réaliser de lavage eu moment le plus approprié [43].

III.7. Conclusion

La connaissance du degré de pollution est une condition indispensable permettant de dimensionner convenablement l'isolation extérieure d'un site. En effet, lorsqu'une installation électrique doit être construite en zone polluée, il est certain que la meilleure définition de

l'isolement sera obtenue en déterminant la salinité équivalente du site par une expérimentation aussi longue que possible dans ce même site.

Les techniques de lutte contre la pollution connues actuellement (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, revêtement hydrophobe,...), permettent de disposer de solutions curatives adaptées à la plupart des problèmes de pollution rencontrés par les exploitants des réseaux électriques.

Les procédés de lavage et de graissage sont des moyens de dépannage devant les difficultés dues à une pollution inattendue ou bien exceptionnelle. Ils ne doivent, en aucun cas, être considérés comme un moyen principal pour faire face à la pollution des isolateurs.

Chapitre IV

Techniques et résultats expérimentaux

IV.1. Introduction

Nous décrivons, dans la première partie de ce chapitre, la méthode expérimentale utilisée pour étudier le contournement d'une surface isolante polluée. Pour cela plusieurs essais préliminaires ont été réalisés dans le but de s'assurer du bon fonctionnement du matériel. Dans la seconde partie, nous présentons, les résultats expérimentaux relatifs à l'influence de la nature de la pollution et la largeur de la couche de pollution sur le comportement de modèle d'isolateur. Différentes conductivités de la solution saline ont été utilisées. Nous avons examiné l'influence de ces paramètres sur la tension de contournement.

IV.2. Dispositif expérimental

IV.2.1. Modèle expérimental

Le modèle expérimental que nous avons choisi est semblable à celui utilisé par Claverie et Porcheron [46,47]. C'est un modèle plan de forme rectangulaire, constitué d'une plaque de verre. Cette plaque est munie à deux électrodes en papier aluminium, l'une reliée à la terre et l'autre est mise à la borne de haute tension (Figure IV.1). La distance inter-électrodes du modèle expérimental ($d=10\text{mm}$) correspond à la ligne de fuite de l'isolateur réel. Le modèle est disposé horizontalement sur quatre colonnes isolantes, elles-mêmes posées sur un support en bois. Le modèle se trouve ainsi placé à un mètre du sol et à une distance suffisamment grande du transformateur d'essais. Le modèle de laboratoire est soumis à une répartition de la pollution reproduisant l'état critique de surface de l'isolateur. Pour simuler une pollution parfaitement conductrice, les couches polluantes sont humidifiées par pulvérisation. Les dimensions du modèle plan étudié sont données dans le tableau IV.1.

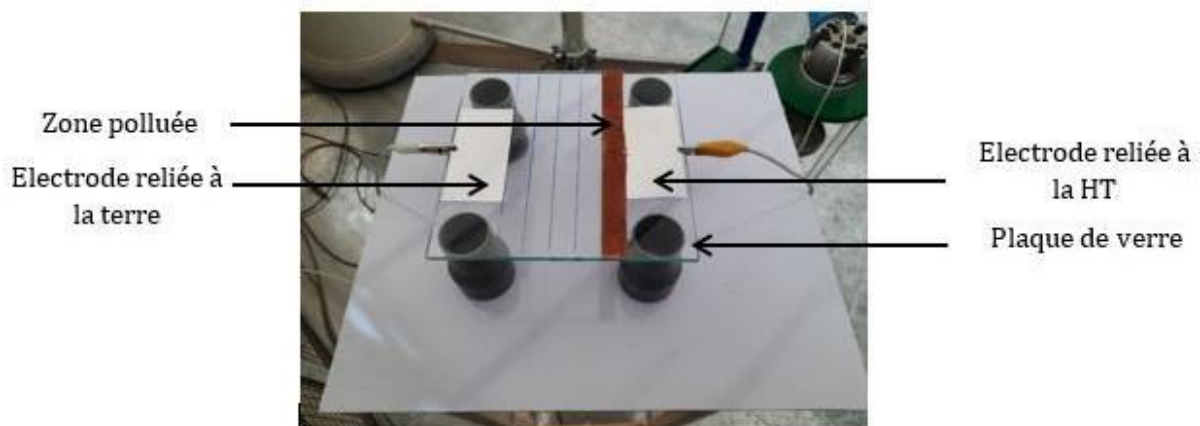


Figure IV.1 : Modèle expérimental de l'isolateur.

Tableau IV.1 : Les dimensions du modèle expérimental.

Dimensions	Longueurs (cm)
Longueur de la plaque	20
Largeur de la plaque	20
Epaisseur de la plaque	6
Distance inter-électrodes	10

IV.2.2. Circuit de mesure de la tension de contournement

La mesure de la tension de contournement, a été effectuée en appliquons une tension alternative croissante en utilisant une plateforme haute tension disponible au Laboratoire de Génie Electrique de Guelma (LGEG). Le montage expérimental du circuit d'essais de contournement est présenté par les figures IV.2 et IV.3.

**Figure IV.2 :** Photo du montage expérimental.

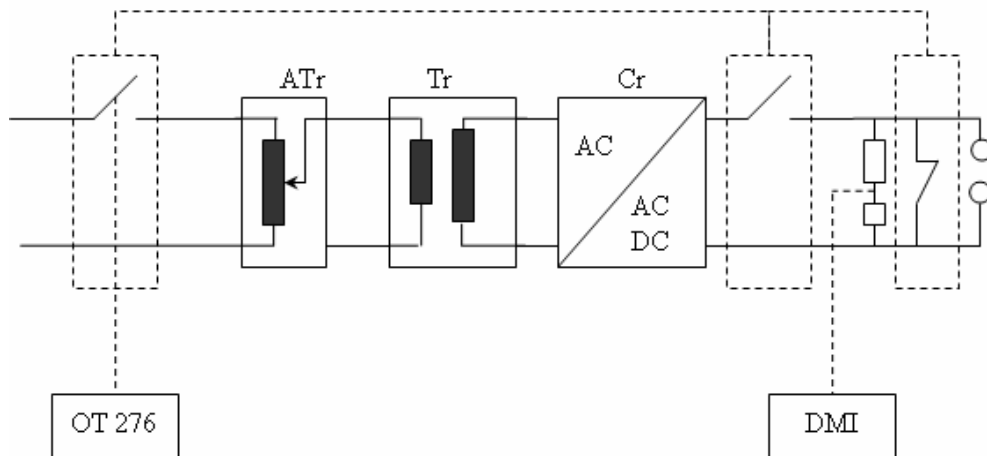


Figure IV.3 : Schéma global du circuit d'essais en tension alternative.

La plateforme haute tension est constituée des éléments suivant :

❖ Transformateur monophasé

Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de haute tension. Il a un rapport de transformation de 220V / 100kV, avec une puissance de 5 KVA. Ce transformateur permet la variation de la tension au secondaire de 0 à 100kV.



Figure : IV.4 : Transformateur monophasé.

❖ Autotransformateur

L'autotransformateur nous permet la variation de la tension aux bornes du transformateur d'essai.



Figure : IV.5 : Autotransformateur.

❖ **Unité de mesure DMI-551**

La DMI (Digital Measuring Instrument) est l'outil de réception et affichage des mesures, réglable suivant le mode de test AC ou DC.



Figure : IV.6 : Unité de mesure DMI-551.

❖ **Unité de contrôle (OT276)**

Elle est utilisée pour : le contrôle et la régulation du transformateur (courant et tension) et la commande de l'interrupteur de mise à la terre.



Figure : IV.7 : Unité de contrôle (OT276).

❖ Interrupteur de mise à terre

C'est un interrupteur à distance, qui peut être utilisé pour la mise à la terre de la construction Haute tension.



Figure : IV.8 : Interrupteur de mise à terre.

IV.3. Mode opératoire

IV.3.1. Préparation des solutions polluantes

Nous avons choisi d'utiliser une solution saline à base de NaCl. Pour préparer cette solution, nous avons rajouté à l'eau distillée, versée dans un récipient mis sous agitation manuelle, des quantités de chlorure de sodium. La conductivité est mesurée en plongeant dans le bécher la sonde conductimètre. Nous fixons, à chaque fois, la conductivité de la solution à la valeur désirée grâce à un conductimètre, en variant la concentration de NaCl dans l'eau distillée. Les conductivités ainsi choisies sont les suivantes : $400\mu\text{S}/\text{cm}$, $1,2\text{mS}/\text{cm}$, $2\text{mS}/\text{cm}$, $2,8\text{mS}/\text{cm}$ (Figure IV.9). En effet, nous pouvons, non seulement étudier l'influence de la nature de pollution, mais également, l'impact de la conductivité sur le comportement de l'isolateur en question. Par ailleurs, la conductivité de l'eau distillée ainsi utilisée est de $10\mu\text{S}/\text{cm}$.



(a)



(b)

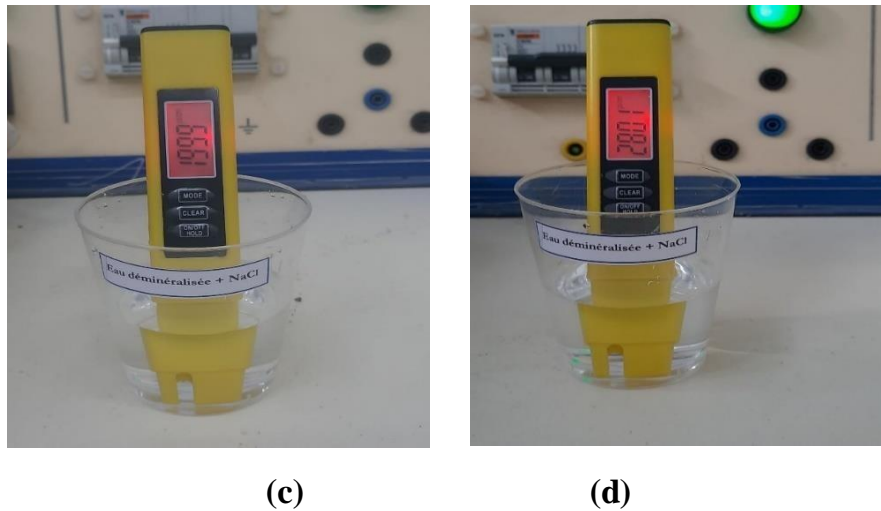


Figure IV.9 : Solution saline, (a) conductivité = $400\mu\text{S}/\text{cm}$, (b) conductivité = $1,2\text{mS}/\text{cm}$, (c) conductivité = $2\text{mS}/\text{cm}$, (d) conductivité = $2,8\text{mS}/\text{cm}$.

IV.3.2. Application de la couche de pollution

Trois échantillons prélevés des régions différentes ont été utilisés dans nos essais.

- Echantillon 1 : Sable des dunes provenant de la région de (Adrar) ;
- Echantillon 2 : Sable de mer provenant de la région de (Annaba) ;
- Echantillon 3 : Tuf prélevé d'une mine situé à (Guelma).

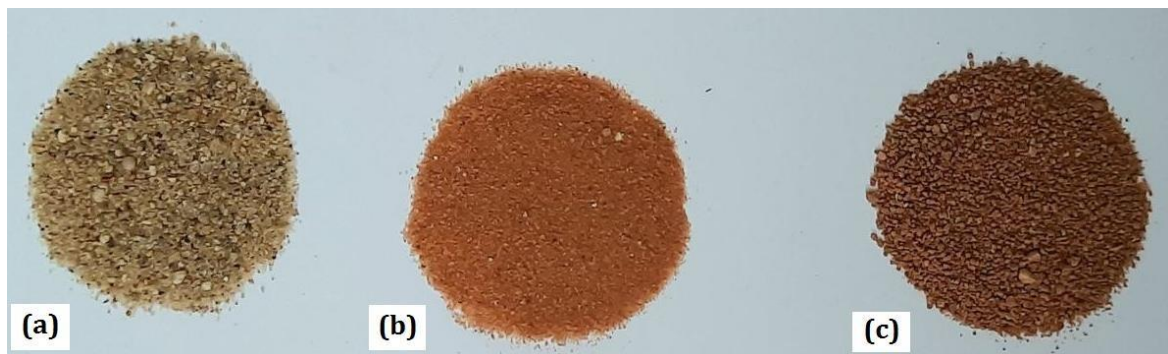


Figure IV.10 : Echantillons de pollution : (a) sable de mer, (b) sable des dunes, (c) poudre de tuf.

Avant d'entamer les essais, nous nettoyons d'abord notre modèle plan en utilisant un morceau de coton imbibé d'alcool puis nous l'essuyons avec un papier absorbant pour le sécher et se débarrasser de toutes les impuretés déposées. Pour mettre en évidence l'impact de l'épaisseur de la couche polluante sur le comportement de l'isolateur, nous utilisons différentes quantités de pollution que nous répartissons d'une manière uniforme sur toute la surface du modèle plan. Les quantités de sable utilisées sont : 7,5g, 15g, 22,5g, 30g et 37,5g. Ces quantités

nous ont permis d'adopter les largeurs de bande suivante : 2cm, 4cm, 6cm, 8cm et 10cm. Une fois la couche de pollution est bien répartie sur toute la surface du modèle plan, nous procédons ensuite à sa pulvérisation avec une solution saline (Figure IV.11). Cette opération est effectuée six fois de chaque côté à une distance constante de 30cm à l'aide d'un pulvérisateur, en gardant une ouverture constante du pulvérisateur.

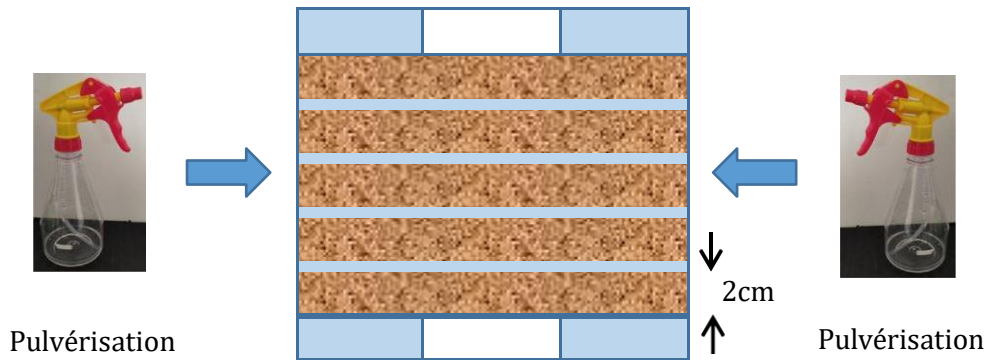


Figure IV.11 : Humidification des bandes de pollution par la solution saline.

IV.3.3. Mesure de la température et l'humidité

La tension de contournement des isolateurs est étroitement liée aux conditions climatiques, à savoir, la température et l'humidité de l'air environnant. En conséquence, on a utilisé un thermo-hygromètre numérique pour mesurer la température et l'humidité relative avant les expériences de contournement. Toutes les expériences ont été réalisées à l'air ambiant : Température = $18 \pm 1^\circ\text{C}$, Humidité relative de l'atmosphère = $54 \pm 1\%$.



Figure IV.12 : Hygromètre numérique Modèle Lutron AM-4205A.

IV.4. Résultats et discussion

IV.4.1. Effet de la conductivité de la solution polluante

Dans ces expériences, une couche de sable de mer d'épaisseur 6cm est déposée sur la surface de notre modèle d'isolateur. Les essais de contournement sont effectués juste après avoir humidifié la couche de pollution par la solution saline de conductivité donnée. Les valeurs de la tension de contournement sont obtenues pour quatre conductivités choisies de la solution saline (400 μ S/cm, 1,2mS/cm, 2mS/cm, 2.8mS/cm). Nous avons répété l'essai de contournement quatre fois pour chaque solution saline. La valeur de la tension de contournement sera la valeur moyenne des quatre valeurs obtenues.

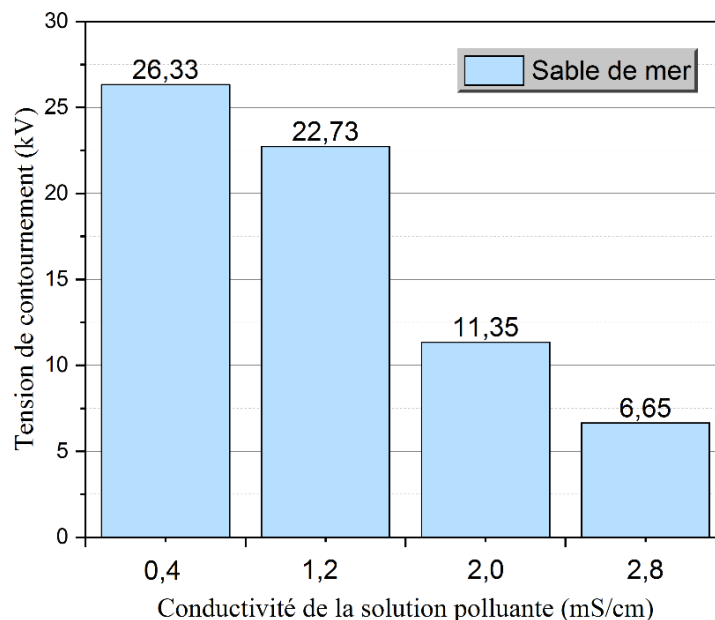


Figure IV.13 : Tension de contournement en fonction de la conductivité de la solution polluante (largeur de la couche de pollution = 6cm).

La figure IV.13 présente la variation de la valeur efficace de la tension de contournement en fonction de la conductivité de la solution polluante. D'après ces résultats, nous remarquons que l'augmentation de la conductivité diminue la résistance de la couche polluante. Ce qui provoque le contournement de l'isolateur pour de faibles niveaux de tensions. Nous pouvons déduire que le modèle d'isolateur est plus rigide lorsque la conductivité est faible. Par voie de conséquence, le cas le plus défavorable, correspondant à une tension de contournement la plus faible (conductivité = 2,8mS/cm).

IV.4.2. Effet de la largeur de couche de pollution

Dans cette section, nous nous sommes intéressés à la variation de la tension de contournement dans le cas où la surface de l'isolateur est propre ensuite polluée avec différentes épaisseurs de la couche polluante.

IV.4.2.1. Cas d'une surface propre

Nous avons procédé à des essais de contournement pour une surface propre et sec de l'isolateur et une distances inter-électrodes de l'isolateur ($d=10\text{cm}$). Les résultats des essais sont regroupés dans le tableau suivant :

Essai N°	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	44,01	44,04	43,95	44,00

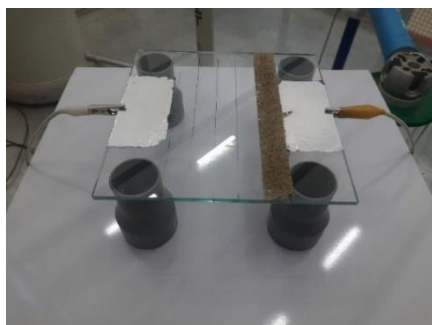
IV.4.2.2. Cas d'une surface polluée

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour les trois échantillons de pollution en variant à chaque fois la largeur de la couche polluante. La conductivité de la solution saline utilisée au cours de ces expériences est $1,2\text{mS/cm}$.

❖ Pollution en sable de mer

a. Largeur de pollution $L=2\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	40,71	42,03	43,20	41,98



(a)

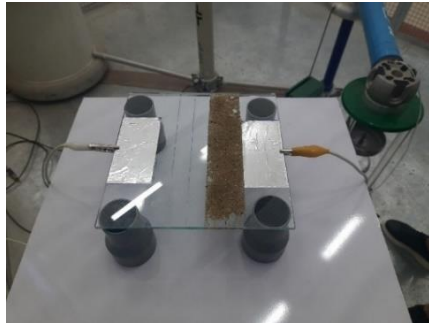


(b)

Figure III.14 : Photo pollution en sable de mer : (a) largeur de la bande de pollution 2cm, (b) contournement du modèle pollué.

b. Largeur de pollution $L=4\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	32,42	31,64	33,43	32,49



(a)

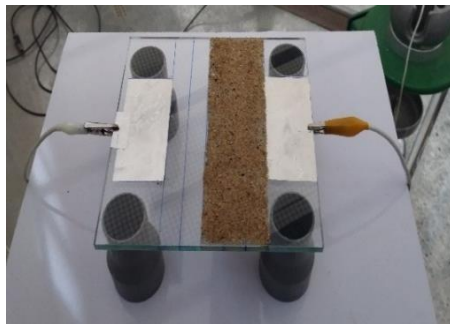


(b)

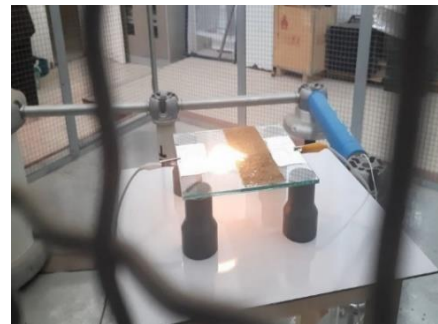
Figure III.15 : Photo pollution en sable de mer : (a) largeur de la bande de pollution 4cm, (b) contournement du modèle pollué.

c. Largeur de pollution $L=6\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	22,59	23,12	22,48	22,73



(a)



(b)

Figure III.16 : Photo pollution en sable de mer : (a) largeur de la bande de pollution 6cm, (b) contournement du modèle pollué.

d. Largeur de pollution $L=8\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	8,27	8,09	8,14	8,16

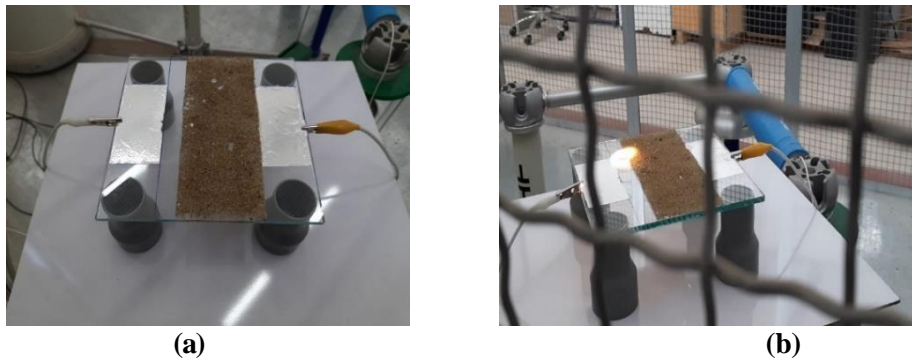


Figure III.17 : Photo pollution en sable de mer : (a) largeur de la bande de pollution 8cm, (b) contournement du modèle pollué.

e. Largeur de pollution $L=10\text{cm}$ (surface pleine de pollution)

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	1,7	1,61	1,62	1,64

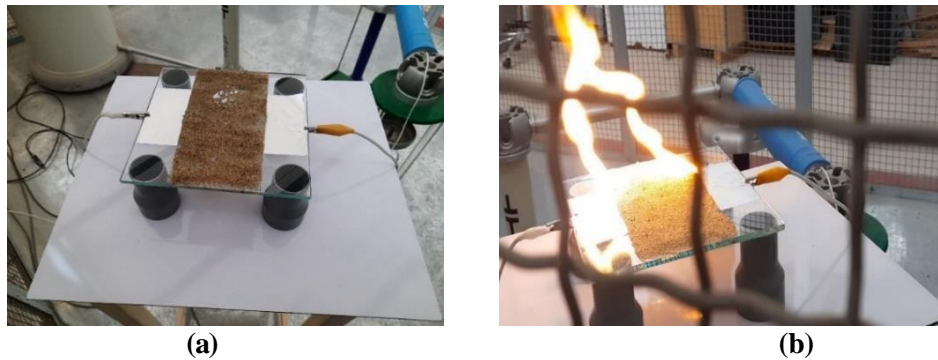


Figure III.18 : Photo pollution en sable de mer : (a) largeur de la bande de pollution 10cm et (b) contournement du modèle pollué.

❖ **Pollution en sable des dunes**

a. Largeur de pollution $L=2\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	40,5	41,4	40,3	40,73

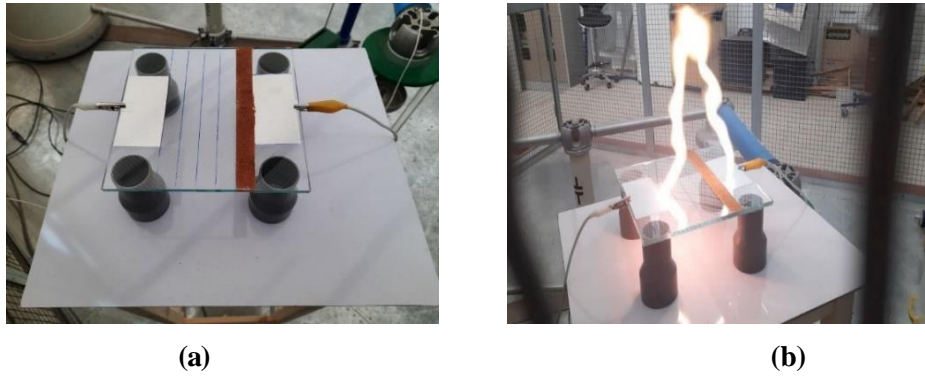


Figure III.19 : Photo pollution en sable des dunes : (a) largeur de la bande de pollution 2cm, (b) contournement du modèle pollué.

b. Largeur de pollution $L=4\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	32,31	33,1	31,22	32,21

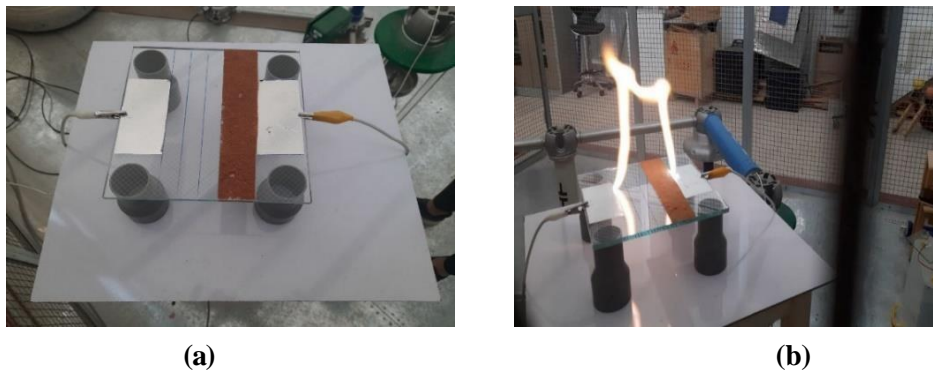


Figure III.20 : Photo pollution en sable des dunes : (a) largeur de la bande de pollution 4cm, (b) contournement du modèle pollué.

c. Largeur de pollution $L=6\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	24	24,2	23	23,73

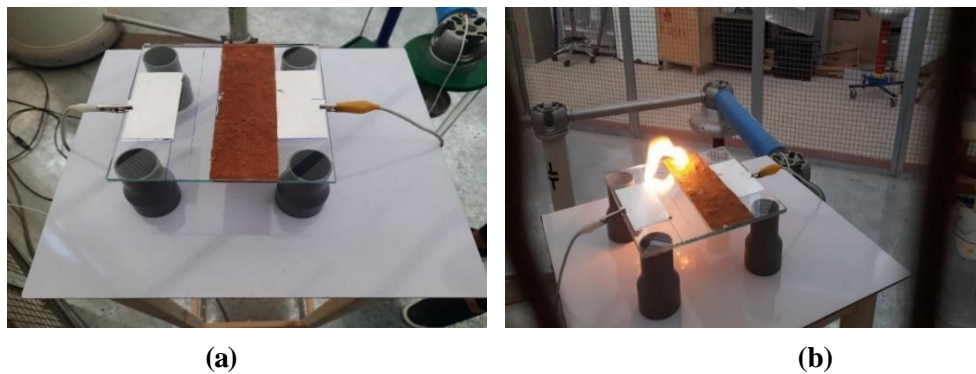
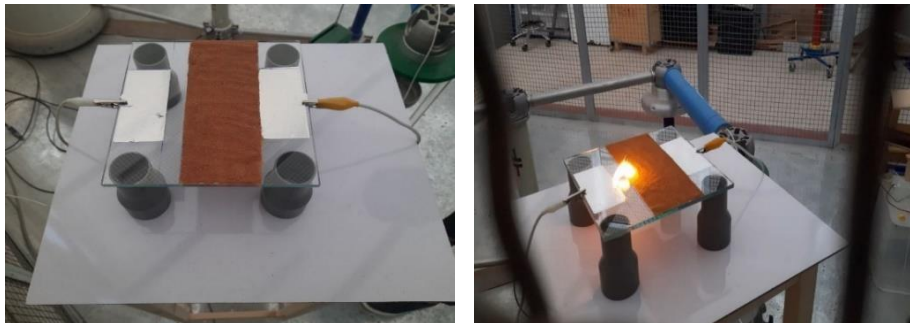


Figure III.21 : Photo pollution en sable des dunes : (a) largeur de la bande de pollution 6cm, (b) contournement du modèle pollué.

d. Largeur de pollution $L=8\text{cm}$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	12,9	12,55	13,5	12,98



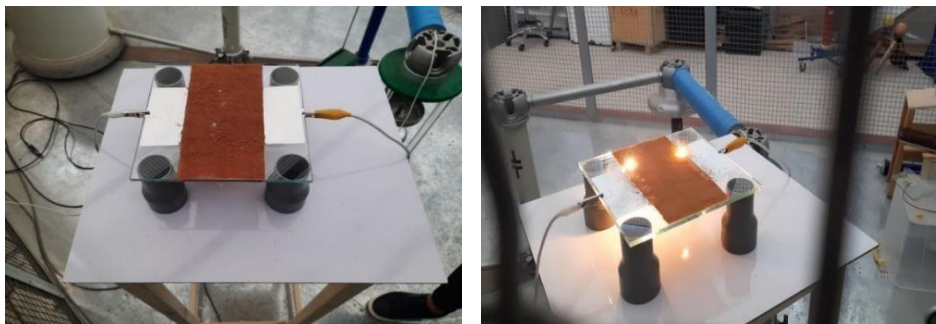
(a)

(b)

Figure III.22 : Photo pollution en sable des dunes : (a) largeur de la bande de pollution 8cm, (b) contournement du modèle pollué.

e. Largeur de pollution $L=10\text{cm}$ (surface pleine de pollution)

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	4,09	4,21	4,7	4,33



(a)

(b)

Figure III.23 : Photo pollution en sable des dunes : (a) largeur de la bande de pollution 10cm, (b) contournement du modèle pollué.

❖ **Pollution en poudre de tuf****a. Largeur de pollution $L=2\text{cm}$**

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	43,3	40,2	42,8	42,1

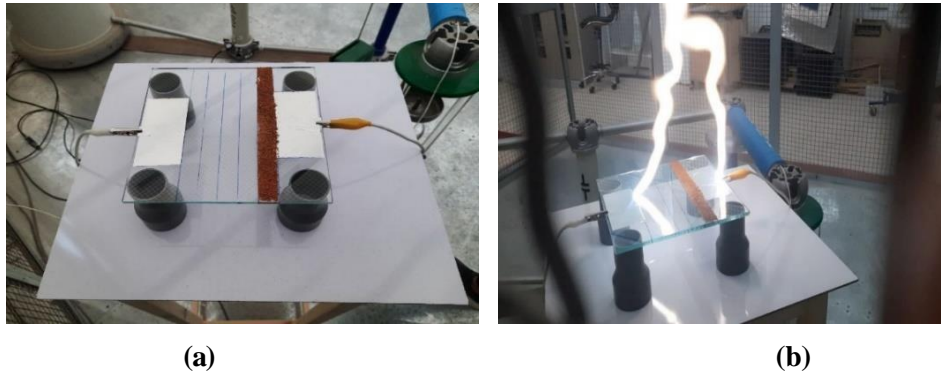


Figure III.24 : Photo pollution en poudre de tuf : (a) largeur de la bande de pollution 2cm, (b) contournement du modèle pollué.

b. Largeur de pollution $L=4cm$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	36,5	35,2	34,1	35,26

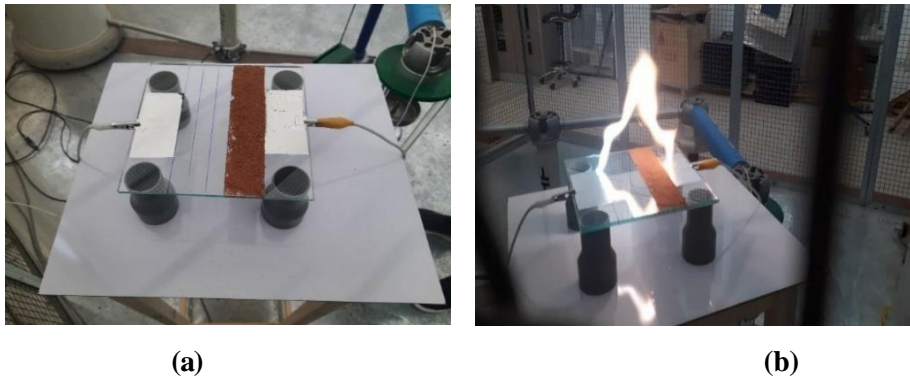


Figure III.25 : Photo pollution en poudre de tuf : (a) largeur de la bande de pollution 4cm, (b) contournement du modèle pollué.

c. Largeur de pollution $L=6cm$

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	24,96	24,63	24,5	24,79

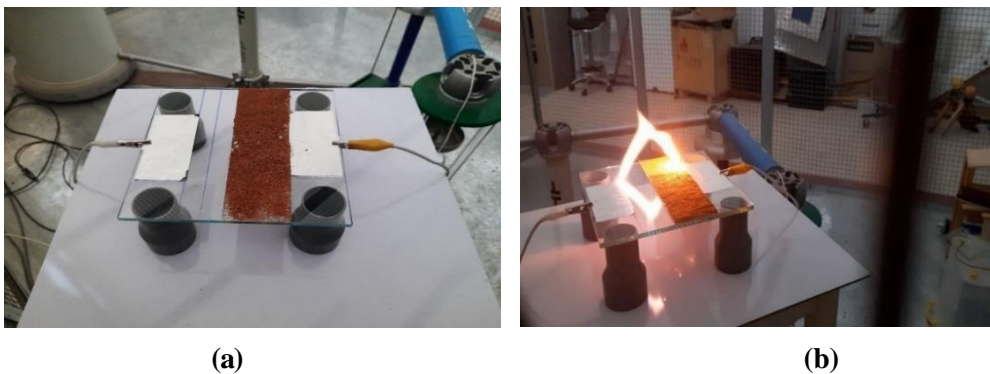
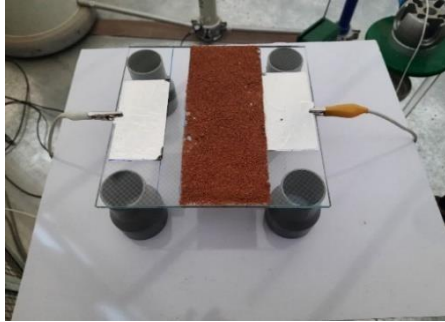


Figure III.26 : Photo pollution en poudre de tuf : (a) largeur de la bande de pollution 6cm, (b) contournement du modèle pollué.

d. Largeur de pollution L=8cm

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	14,9	15,07	14	14,65



(a)

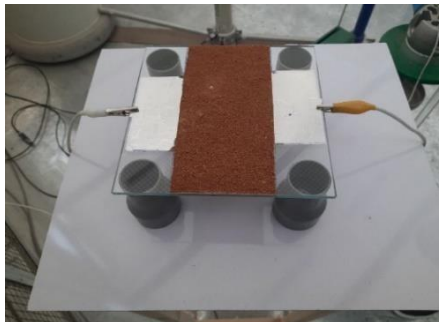


(b)

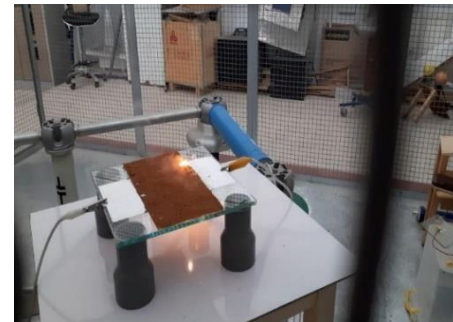
Figure III.27 : Photo pollution en poudre de tuf : (a) largeur de la bande de pollution 8cm, (b) contournement du modèle pollué.

e. Largeur de pollution L=10cm (surface pleine de pollution)

N° Essai	1	2	3	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	2,37	3,73	3,79	3,29



(a)



(b)

Figure III.28 : Photo pollution en poudre de tuf : (a) largeur de la bande de pollution 10cm, (b) contournement du modèle pollué.

Nous présentons sur la figure IV.29, la variation de la tension de contournement dans les trois échantillons en fonction de la largeur de la bande de pollution pour le cas d'une solution saline de conductivité 1,2mS/cm.

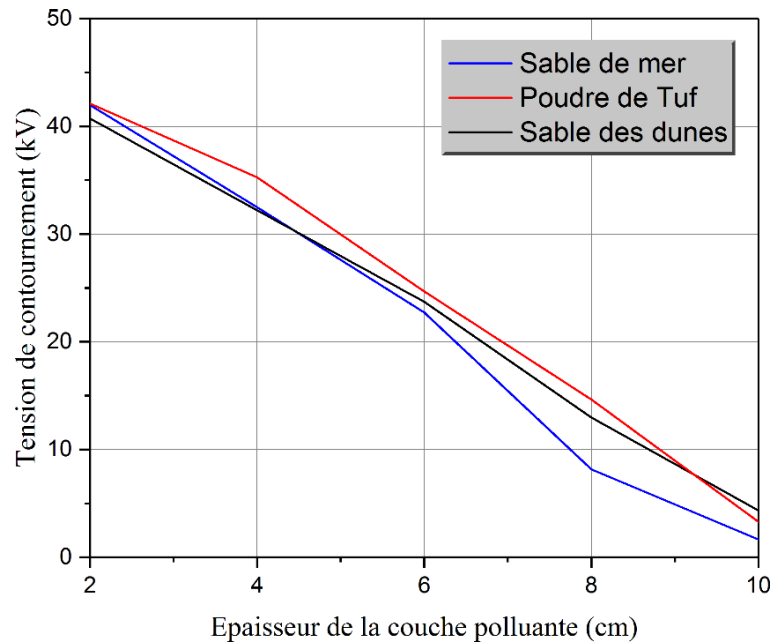


Figure III.29 : Variation de la tension de contournement en fonction de l'épaisseur de la couche polluante.

On constate que la tension de contournement est affectée par l'état de surface de l'isolateur. La moyenne de la tension de contournement enregistrée ($U = 44\text{kV}$) est grande dans l'état sec qu'à l'état humide. Par conséquent, l'isolateur est moins rigide lorsqu'il est humide. En effet, la pollution engendre une diminution de la rigidité diélectrique du système isolant. D'après la figure (III.29), nous remarquons que la tension de contournement diminue d'une façon linéaire en fonction de la largeur de pollution. Nous notons également que cette tension est d'autant plus importante que la largeur de pollution est faible (2cm). La tension de contournement décroît fortement pour les largeurs comprises entre 2 et 10cm.

IV.4.3. Effet de la nature de la pollution

Nous avons comparé la tension de contournement en fonction de type de pollution (sable de mer, poudre de tuf et de sable des dunes) pour la même épaisseur de couche (8cm) et pour la même conductivité de la solution saline (1,2mS/cm). Nous remarquons que la tension de contournement est affectée par la nature de la pollution, car elle diffère pour les trois cas. Elle est plus élevée lors de l'application de la couche de pollution en poudre de tuf, et plus faible dans le cas où la couche de pollution est en sable de mer comme il est indiqué sur la figure IV.30. Sur la même figure, nous pouvons bien remarquer que la tension de contournement obtenue dans le cas de pollution en sable des dunes est relativement élevée à celle prélevée lorsque la pollution appliquée est en sable de mer.

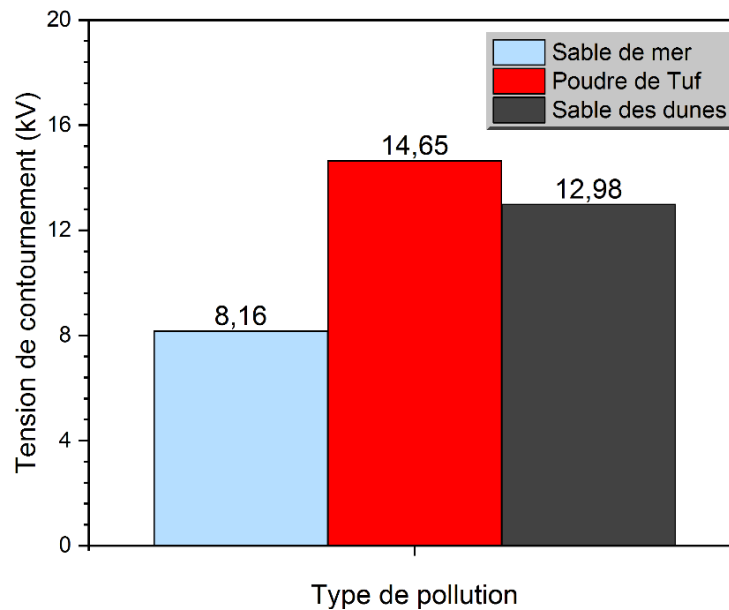


Figure IV.30 : Tension de contournement en fonction de la nature de la pollution (Largeur de la couche de pollution = 8cm).

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'influence de pollution sur la tension de contournement d'un modèle d'isolateur soumis à une tension alternative. Il résulte de cette étude expérimentale que la tension de contournement est affectée par l'augmentation de l'épaisseur de la couche de pollution ainsi que la nature de la pollution utilisé. Pour les différentes conductivités utilisées de la solution saline, la tension de contournement diminue de manière significative pour des conductivités relativement élevées.

Conclusion générale

La recherche bibliographique, entreprise dans le cadre de ce travail, nous a permis d'approfondir la compréhension des mécanismes d'extension d'une décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées. La complexité du phénomène de contournement et le grand nombre de paramètres qui caractérise le dépôt de pollution tels que la nature du dépôt polluant, la conductivité superficielle et le profil de l'isolateur rendent la compréhension et la maîtrise du mécanisme de contournement bien difficiles.

Les travaux expérimentaux que nous avons entrepris avaient pour objectif d'une part, de voir le comportement d'une surface isolante plane et pollué, lorsqu'une tension alternative lui est appliquée, et d'analyser, par la suite, les différents paramètres pouvant influencer la tension de contournement. A partir de cette étude nous sommes parvenus à synthétiser les résultats suivants :

- ❖ L'épaisseur de la couche polluante joue un rôle très important dans le contournement des isolateurs. Plus la couche de pollution est épaisse plus la tension de contournement est faible.
- ❖ La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la salinité du dépôt polluant. En effet, l'augmentation de la conductivité de la solution polluante des isolateurs diminue énormément la tension de contournement.
- ❖ La tension de contournement est affectée par l'état de surface de l'isolateur ; l'isolateur propre et sec est plus rigide que l'isolateur pollué.
- ❖ Les tensions de contournement enregistrées pour le cas de pollution en tuf sont légèrement plus élevées que celles de sable de mer et des dunes. Ceci signifie que le modèle plan étudié est un peu plus rigide dans le cas d'une pollution en tuf.

Enfin, nous suggérons d'effectuer une étude approfondie sur le courant de fuite, qui peut nous aider à mieux interpréter ce comportement d'isolateur.

Bibliographie

- [1] Chaarani R., "Étude de l'influence des caractéristiques des isolateurs sur leurs performances électriques dans des conditions de givrage", Thèse de Doctorat, Université du Québec, 2003.
- [2] Kara A., "Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué", Mémoire de Magistère en électrotechnique, Université Ferhat Abbas Sétif, 2013.
- [3] Mebaoudji S., Mezaour H., "Prédiction de la tension de contournement d'un isolateur de haute tension en utilisant la logique floue", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2015.
- [4] Do Amaral De Andrade Sophia G., "Diélectriques à haute permittivité - Effets des nanostructures et microstructures", Techniques de l'ingénieur, Réf: AF6632 v1, 2013.
- [5] Chedala A., Halem K., "Caractéristiques et paramètres électriques d'un modèle d'isolateur de haute tension sous tension alternative", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Centre Universitaire d'El-Oued, 2008.
- [6] Genberg S., "Isolateur en céramique et en synthétique", EDF-EPURE, avril 1998.
- [7] Ushakov, V.Y., Mytnikov, A.V., Rakhmonov, I.U., "Diagnostics of Insulating Structures of Overhead Power Lines and Outdoor Substations", In: High-Voltage Equipment of Power Systems. Power Systems. Springer, Cham. 2023.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-38252-9_12
- [8] Guia T., "Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle", Mémoire d'ingénieur d'état en génie électrique à L'ENP, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2007.
- [9] Zoubir L., Youcef S., "Distribution du champ et du potentiel électrique d'un isolateur de ligne 400kv", Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2015.
- [10] Boukar A., Kouache M., "Comportement de l'isolateur F160D/146DC pollué sous tension alternative", Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, 2017.
- [11] Baha Z., Bessei A., "Amélioration des performances d'isolation extérieure de l'isolateur composite", Mémoire de Master en génie électrique, Université d'El oued, 2022.
- [12] Haddou A., Bouzemrak Y., "Exploitation du signal du courant de fuite pour le diagnostic de l'état du réseau électrique avec Labview", Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2019.

- [13] Fares H., Belhadj O., "Analyse de contournement des isolateur haute tension dans un milieu pollué", Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar de Annaba, 2021.
- [14] Aouabed F., "Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP", Mémoire de Magister en électrotechnique, Université Ferhat Abbas de Setif, 2018.
- [15] Bellouze C., Djamaa H., "Etude de l'effet des rayons UV sur les isolateurs de type silicone", Mémoire de Master en électrotechnique, Université de Bejaïa, 2022.
- [16] Karout W., Belhadj S., "Analyse des surtensions électriques et leurs protections", Mémoire de Master en électrotechnique, Université de badji Mokhar de Annaba, 2019.
- [17] Ducouret X., " Lignes aériennes : matériels - Isolateurs", Techniques de l'ingénieur, Réf : D4423 v1, 2004.
- [18] Bouzeroura A., "Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue", Mémoire de Magister en électro-énergétiques, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2009.
- [19] Porcheron Y., "Lignes aériennes, Matériels entrant dans la constitution d'une ligne aérienne", Techniques de l'ingénieur, Réf : D4422 v1, 1992.
- [20] Gubanski S., "Diagnostic Methods for Outdoor Polymeric Insulators", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 14, n° 15, 2007.
- [21] Bouhadjar A. S., "Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes et modélisation", Mémoire d'ingénieur, école nationale polytechnique d'Alger, 2008.
- [22] Report of "The Environmental Pollution Panel President's Science Advisory Committee", 1965.
<https://www.documentcloud.org/documents/3227654-PSAC-1965-Restoring-the-Quality-of-Our-Environment>
- [23] A.Mekhaldi, "Etude du développement d'un arc électrique sur des surfaces isolantes contaminées par la pollution désertique", Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, 1990.
- [24] Leroy G., Gary C., "Les propriétés diélectriques de l'air et les très Hautes Tensions", Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [25] Fernando M.A.R.M. and Gubanski S. M., "Leakage Current Patterns on Contaminated Polymeric Surfaces", IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 5, October 1999.

- [26] Slama M., "Contribution à l'étude de l'influence de la non-uniformité de la pollution basée sur la méthode de la D.D.S.E pour le dimensionnement des isolateurs des lignes T.H.T a courant alternatif", Mémoire de Magister Université d'Oran, 2002.
- [27] M'hamdi B., "Modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques équivalents", Mémoire de Magister en génie électrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2008.
- [28] Teguwar M., "Modélisation d'isolateurs pollués soumis à divers électro-géométriques", Thèse de doctorat, ENP Alger, 2003.
- [29] Hammoum B., Kerbouchek A., "Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2007.
- [30] Si Tayeb H., Titouche K., "Influence de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative", Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- [31] Soufi M.A., Zemirline M., "Conception d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollue sous tension alternative 50Hz", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2004.
- [32] Ousaad R., Lebaz S., "Prédiction de la sévérité de pollution sur les isolateurs haute tension", Mémoire de Master, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2018.
- [33] Tilmatine A., Notes de Cours "Techniques de la Haute Tension", Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, Algérie.
- [34] <https://images.app.goo.gl/MGfouWxqD8eHrE559>
- [35] Ouerdane K., "Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en régions littorales", Mémoire d'ingénieur en électrotechnique, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene, Bab Ezzouar, 1998.
- [36] Khairoune N., Zelloutam AD., "Essais sur isolateurs pollués et modélisation", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2008.
- [37] Leroy C., "Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions", paris : collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, 1984.
- [38] Bessedik S.A., "Contournement des isolateurs pollués", Thèse de Doctorat en Haute tension et décharges électriques, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2015.

- [39] Belhouchet K., "Estimation des paramètres de l'arc de contournement des isolateurs pollués en utilisant l'approche génétique", Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université Ferhat Abbas de Sétif, 2018.
- [40] Streubel H., "The influence of non-uniform contamination on the flashover voltage of insulators", 4th International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46-10, Athens, Greece, 5-9 September 1983.
- [41] Ely C.H.A., Lambeth P.J., Looms J.S.T., Swift D.A., "Contournement des Polymères Humides et Pollués l'Ailette BOOSTER", CIGRE, Rapport 15 - 02, Paris, France, 1978.
- [42] Cimador A., Cojan M., Hautefeuille P., Morceau M., "Méthode de dimensionnement des isolateurs de lignes aériennes en régions polluées", CIGRE, Rapport No. 33-04, Paris, France, 1978.
- [43] Mekhaldi A., "Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz", Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, 1999.
- [44] Souid S., Soltani C., "Approche électrostatiques d'une chaîne d'isolateurs de haute tension", Mémoire de Master en Génie électrique, Université d'EL-Oued, 2013.
- [45] Sahli Z., Boudissa R., "Etude du comportement électrique d'un isolateur plat en verre pollué et soumis à une tension alternative", Mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2008.
- [46] Claverie P., "Predetermination of the behavior of the polluted insulators", IEEE Trans. Power Ap Syst., vol. 90, pp.1902-1908. 1971.
- [47] Claverie P., Porcheron Y., "How to choose insulators for polluted areas", IEEE Trans. Power Appar. Syst., vol. 92, pp. 1121--31, 1973.