



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique



Université d'El Oued

Faculté des Sciences et Technologie

Département de Génie Electrique

## Mémoire de Master Académique

En Génie Electrique

Spécialité: Electrotechnique

Option: Réseaux électrique

### Thème

**Amélioration de rigidité diélectrique d'un  
isolateur de haute tension par le dépôt des  
barrières en verre**

**Présenté par:**

MEDEKHEL Lamine

DJEDID Yacine

**Encadré par:**

Dr. GUIA Talal

**Promotion : 2018 / 2019**

## *Remerciements*

*Notre remerciement Avant tout, louange à « ALLAH» qui nous a donnés la force, le courage et la patience de mettre ce modeste travail.*

*Nous remercions particulièrement notre encadreur **Dr T.GUIA**, pour sa précieuse directive, sa très grande disponibilité, son suivi constant et ses qualités humaines.*

*Nous tenons également à remercier le président et les membres de jury pour nous avoir fait l'honneur d'évaluer notre travail.*

*Nous remercions aussi tous les enseignants et les responsables du Département d'Electrotechnique de l'université d'EL OUED leur aide et leurs encouragements.*

Remerciement	I
Sommaire	II
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	X
Liste des symboles	XI
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>

## **Chapitre I : Généralité sur les isolateurs de haute tension**

I.1 Introduction	4
I.2 Définition de l'isolateur	4
I.3 Matériaux utilisés pour les isolants solides	4
I.3.1 Céramique	4
I.3.2 Verre	5
I.3.3 Porcelaine	5
I.3.4 Pyrex	5
I.3.5 Silicone	6
I.3.5.1 Différentes familles de silicone	6
I.4 Quelques définitions concernant les isolateurs	7
I.4.1 Contournement	7
I.4.2 Ligne de contournement	7
I.4.3 Tension de contournement	7
I.4.4 Tension de tenue	7
I.4.5 Ligne de fuite	7
I.4.6 Courant de fuite	8
I.5 Constitution de l'isolateur et son fonctionnement	8
I.6 Propriétés des isolants	9
I.6.1 Propriétés électriques	9

I.6.2 Propriétés thermiques	9
I.6.3 Propriétés mécaniques	9
I.7 Caractéristiques d'un isolateur	9
I.8 Principaux types d'isolateurs	10
I.8.1 Isolateurs de type rigide	10
I.8.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne	11
I.8.3 Isolateur capot et tige	12
I.8.4 L'isolateur long fût	15
I.9 Choix des isolateurs	17
I.10 Vieillessement des matériaux isolants	17
I.10.1. Farinage	18
I.10.2. Faiççage	18
I.10.3. Craquelures	18
I.10.4. Erosion	18
I.10.5. Acheminement	18
I.11 Défauts des isolateurs	18
I.11.1 Défauts électriques	19
I.11.2 Défauts mécaniques	20
I.11.3 Défauts dus à la manipulation	20
I.12 Conclusion	20

## **Chapitre II : Phénomène de Contournement et le Profil de l'isolateur**

II.1 Introduction	22
II.2 Contournement	22
II.2.1 Définition	22

II.2.2 Déroulement du contournement	23
II.2.3 Tension de contournement	26
II.2.4 Ligne de contournement	26
II.2.5 Temps de contournement	26
II.2.6 Contrainte de contournement	26
II.2.7 Tension de tenue	26
II.3 Courant de fuite	27
II.3.1 Conductance superficielle	27
II.3.2 Courant de fuite critique	28
II.3.3 Ligne de fuite	28
II.3.4 Ligne de fuite spécifique (Ls) d'un isolateur	28
II.3.5 Comptage des impulsions de courant de fuite	28
II.4 Etudes de la performance électrique des isolateurs	29
II.4.1 Influence de la forme de l'isolateur	29
II.4.2 Influence du diamètre	31
II.5 Autres paramètres qui caractérisent le profil des isolateurs	33
II.6 Conclusion	37

## **Chapitre III : Etude et Résultats Expérimentale**

III.1 Introduction	39
III.2 Dispositif expérimental	39
III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université d'El Oued)	39
III.2.1.1 Équipement de la station d'essai	39
III.2.1.2 Transformateur d'essai	40
III.2.1.3 Transformateur de réglage	40
III.2.1.4 Oscilloscope numérique	40
III.2.1.5 Pupitre de commande	40

III.2.1.6 Appareils de mesure et de protection	41
III.2.1.7 Diviseur de tension	42
III.2.1.8 Circuit d'essai à tension alternatif	42
III.3 Mode opératoire	43
III.3.1 Modèle expérimental	43
III.3.2 Préparation du modèle	45
III.3.3 Les profile d'essai	45
III.4 Procédé d'essai	50
III.4.1 Mesure de la tension de contournement	50
III.4.2 Mesure du courant de fuite	50
III.5 Correction atmosphérique	51
III.5.1 Influence de la densité relative de l'air	51
III.5.2 Influence de l'humidité	52
III.6 Résultats et interprétations	52
III.6.1 Tension de contournement	52
III.6.1.1 Visualisations réels des arcs de contournement	52
III.6.1.2 Un seule barrière côte haute tension	54
III.6.1.3 Un seule barrière côte terre	54
III.6.1.4 Influence d'électrode avec une seule barrière	55
III.6.1.5 Influence de nombres des barrières	56
III.6.2 Courant de fuite	58
III.6.2.1 Influence de la tension appliquée	58
III.6.2.2 Influence de la position d'une seule barrière	59

III.6.2.3 Influence de nombres des barrières	60
III.6.2.3.1 Cas deux barrières	60
III.6.2.3.2 Cas de trois (03) barrières	61
III.7 Conclusion	64
<b>Conclusion générale</b>	<b>66</b>
<b>Référence bibliographie</b>	<b>68</b>

## **Chapitre I : Généralité sur les isolateurs de haute tension**

<b>Figure I.1</b> Isolateur de haute tension	10
<b>Figure I.2</b> Isolateur rigide	11
<b>Figure I.3</b> Assemblage à rotule	11
<b>Figure I.4</b> Isolateur capot tige	12
<b>Figure I.5</b> Profil standard	13
<b>Figure I.6</b> Profil antibrouillard (forme A)	13
<b>Figure I.7</b> Profil antibrouillard (forme B)	14
<b>Figure I.8</b> Profil sphérique	14
<b>Figure I.9</b> Profil plat	15
<b>Figure I.10</b> Isolateur en céramique	16
<b>Figure I.11</b> L'isolateur composite	17

## **Chapitre II : Phénomène de Contournement et le Profil de l'isolateur**

<b>Figure II.1</b> Contournement d'isolateur	23
<b>Figure II.2</b> Arc et bande sèche	24
<b>Figure II.3</b> Déroulement de contournement	25
<b>Figure II.4</b> Phénomène de contournement	25
<b>Figure II.5</b> Définition du facteur de profil	30
<b>Figure II.6</b> Influence du profil sur la tension de tenue des isolateurs	30
<b>Figure II.7</b> Assimilation théorique d'un isolateur à un cylindre	31
<b>Figure II.8</b> Diamètre moyen des isolateurs	32
<b>Figure II.9</b> Performance des isolateurs pollués en fonction du diamètre moyen	33

<b>Figure II.10</b> Distance minimale - c- entre deux ailettes _____	33
<b>Figure II.11 a</b> : Ailettes normales _____	34
<b>Figure II.11 b</b> : Ailettes alternées _____	34
<b>Figure II.11 c</b> : Isolateur à capot et tige _____	35
<b>Figure II.11 d</b> : Ailettes à ondulation _____	35
<b>Figure II.12</b> : Inclinaison des ailettes _____	36

### **Chapitre III : Etude Et Résultats Expérimentale**

<b>Figure III.1.</b> Oscilloscope numérique _____	40
<b>Figure III.2.</b> Photo du pupitre de commande du laboratoire de haute tension _____	41
<b>Figure III.3.</b> Circuit d'essai à fréquence industrielle _____	42
<b>Figure III.4.</b> Photo du circuit d'essai à fréquence industrielle _____	43
<b>Figure. III.5</b> Modèle expérimental _____	44
<b>Figure III.6</b> Photo de modèle d'isolateur _____	44
<b>Figure III.7</b> Profile d'essai Sans Barriere _____	45
<b>Figure III.8.</b> Profile d'essai Avec Barrière côté haute tension _____	46
<b>Figure III.9.</b> Profile d'essai Avec un Barrière côté terre _____	46
<b>Figure III.10.</b> Profile d'essai Avec une barrière au milieu _____	47
<b>Figure III.11.</b> Profile d'essai Avec une barrière placé à 20 mm d'électrode HT _____	47
<b>Figure III.12.</b> Profile d'essai Avec une barrière placé à 20 mm d'électrode de terre _____	48
<b>Figure III.13.</b> Profile d'essai Avec trois (3) barrières _____	48
<b>Figure III.14.</b> Profile d'essai Avec 2 barrières (au milieu et côté haute tension) _____	49
<b>Figure III.15.</b> Profile d'essai Avec deux (2) barrières (au milieu et côté terre) _____	49
<b>Figure III.16.</b> Profile d'essai Avec deux (2) barrières au les deux côtes _____	50

<b>Figure III.17</b> Instrument de mesure pour les conditions atmosphériques _____	51
<b>Figure III.18</b> Photo réel de contournement des différentes configurations _____	52
<b>Figure III.19</b> Histogramme de tension de contournement pour l différentes distance entre la barrière et l'électrode de la Haute Tension Configuration «A, B, E, D» _____	54
<b>Figure III.20</b> Histogramme de tension de contournement pour différentes distance entre la barrière et l'électrode de la Haute Tension Configuration «A, C, F, D » _____	55
<b>Figure III.21</b> Histogramme de Tension de contournement- électrode Configuration « B, C, E, F » _____	56
<b>Figure III.22</b> Histogramme de Tension de contournement en fonction de nombres et positions des barrières, Configuration « G, J, H, I » _____	57
<b>Figure. III.23</b> Histogramme de Tension de contournement pour toutes configurations _____	57
<b>Figure III.24</b> Variation de Courant de fuite en fonction de la tension applique pour la configuration A (Sans barrière) _____	59
<b>Figure III.25</b> Variation du Courant de fuite en fonction de la Tension appliquée, Pour différentes distance barrière-électrode (terre, HT) configuration« B, C, D, E, F » _____	60
<b>Figure III.26</b> Variation du Courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour deux barrières, Configuration« H, I, J » _____	61
<b>Figure III.27</b> Variation du Courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour trois barrières, configuration « G» _____	61
<b>Figure III.28</b> Variation du courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour toutes les configurations «A, B, C, D, E, F, G, H, I, J» _____	62

### Chapitre III

<b>Tableau III.2</b> Distance barrière-électrode de terre	<u>53</u>
<b>Tableau III.1</b> Distance barrière-électrode HT	<u>54</u>
<b>Tableau III.3</b> Tension de contournement pour toute configuration	<u>58</u>
<b>Tableau III.4</b> courant de fuite en fonction de tension applique pour toute configuration	<u>63</u>

**Lc** : Ligne de contournement

**Lf** : Ligne de fuite

**If** : Courante de fuite

**P** : Le pas

**Er** : rigidité diélectrique

$\epsilon_r$  : Permittivité relative

**tg  $\delta$**  : Facteur de pertes diélectriques

$\rho$  : Résistivité électrique

**G** : Conductance superficielle

**F** : facteur de forme

**Ic** : Courant de fuite critique

**Ls** : Ligne de fuite spécifique

*lt* : est la ligne de fuite totale d'un isolant.

*st* : est la distance d'arc qui est la plus courte distance dans l'air

**FP** : facteur de profile

---

# *Introduction Générale*

---

### Introduction générale

De nos jours, l'énergie électrique joue un rôle très important dans le développement et l'évolution de l'industrie et l'économie du pays. De ce fait, il faut assurer, à tout instant, un bon équilibre entre la demande croissante et la production de l'énergie. C'est pour cela, qu'une très grande part d'importance est attachée aux réseaux électriques, principalement aux lignes de haute tension [1].

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

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

D'innombrables travaux ont été consacrés à l'épineux problème du contournement des isolateurs. Ceux-ci tant expérimentaux que pratique [1, 2], ont pour objectif d'améliorer la tenue diélectrique de surface d'isolateur. De plus, afin de mieux cerner le phénomène précédant le contournement.

Généralement les isolateurs réels avec leurs formes géométriques complexe ont été convertis en modèle équivalent a deux dimensions (modèle d'Obtenus), où un coté égal à la longueur de la ligne de fuite de l'isolateur et l'autre coté est obtenu par le rapport entre le diamètre de l'isolateur et le facteur de forme. Son modèle électrique équivalent est simple circuit électrique pour déterminer les grandeurs critiques du contournement tel que le courant de fuite, la tension et la longueur de l'arc critiques, mais cependant ce modèle ne peut pas montrer l'influence de la géométrie complexe de l'isolateur sur la tension de contournement. C'est pourquoi une approche est adaptée pour essayer de représenter la forme ouverte de la surface d'un isolateur réel [3].

Notre travail porte sur l'étude des phénomènes de contournement et de décharges électriques sur la surface d'isolateur, sous tension alternative 50 Hz. Il met en évidence l'influence de barrière isolant sur le comportement d'un modèle de laboratoire.

Notre mémoire est structuré en trois chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons généralité sur l'isolateur de haute tension et les matériaux utilisés pour les isolants solides, quelques définitions concernant les isolateurs (contournement, tension de tenu, ligne de fuite,...), ainsi que principaux types d'isolateurs et les défauts des isolateurs.

A travers le deuxième chapitre, nous présenterons les principaux profils d'isolateur et les phénomènes de contournement des isolateurs,

Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats de nos essais expérimentaux effectués au niveau du laboratoire de Haute Tension de l'université d'el oued. Ces essais concernent les mesures de la tension de contournement, le courant de fuite.

Enfin, nous terminerons notre étude par une conclusion générale, représentant une synthèse globale de notre travail.

---

# *Chapitre I*

## *Généralité sur les isolateurs de Haute Tension*

---

## **I.1 Introduction**

La contrainte électrique dans les circuits électriques est résistée principalement par les isolateurs, ces derniers sont constitués d'un matériau isolant solide, caractérisé par une grande impédance au passage du courant électrique. Son rôle est de séparer deux corps conducteurs, soumis à deux potentiels différents [4].

Dans les réseaux de transport d'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur qui représente les deux parties conductrices, est assuré par une chaîne d'isolateurs. Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments).

## **I.2 Définition de l'isolateur**

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

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, 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, son mouvement en présence de vent, etc [5].

## **I.3 Matériaux utilisés pour les isolants solides**

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des Isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont la lourdeur des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. [6]

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

### **I.3.1 Céramique**

Le développement de la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent on trouve les céramiques dans les postes : isolateurs supports, couverture

isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel, des bornes de traversées des transformateurs de puissance [7].

### **I.3.2 Verre**

En Algérie, les isolateurs utilisés dans les lignes de moyenne haute tension sont en verre. Parmi les avantages que présentent le verre, le bas prix et l'observation facile défauts. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit [8].

#### ➤ **Verre trempé**

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

#### ➤ **Verre recuit**

Le verre recuit est utilisé pour la fabrication d'isolateurs rigides, mais présente cependant des inconvénients. Parmi ces inconvénients, nous citons le fait qu'il ne résiste pas aux variations brusques de température et qu'il ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles et c'est pour cette raison qu'il n'est pas utilisé pour la fabrication des isolateurs de suspension.

### **I.3.3 Porcelaine [9]**

La porcelaine est constituée par du kaolin et du quartz de première qualité. Ils sont cuits à 1400 °C, puis recouverts d'émail au silicate et recuits au four pour obtenir une glaçure à chaud qui le rend imperméable à l'eau. La rigidité diélectrique de la porcelaine varie entre 25 et 35 kV/mm, sa permittivité relative oscille entre 6 et 7. Elle est dotée d'une grande résistivité, environ  $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$  à 20 °C, ses pertes diélectriques sont faibles en basse fréquence et en haute tension, quant à sa résistance mécanique, elle varie entre 2500 et 4000 N/mm.

En plus de ces bonnes caractéristiques, elle oppose une grande résistance aux agents atmosphériques et chimiques, elle n'absorbe pas l'humidité. Elle présente aussi une grande résistance aux températures élevées sauf qu'au-delà de 300 °C, ses propriétés diélectriques diminuent rapidement.

### **I.3.4 Pyrex [10]**

Il est utilisé pour la conception des isolateurs grâce à sa résistance aux variations brusques de la température. Il présente une résistivité électrique allant de  $10^{10}$  à  $10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ . Sa rigidité diélectrique varie entre 20 à 50 kV/cm.

### I.3.5 Silicone

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

#### I.3.5.1 Différentes familles de silicone [13]

Les polymères de siloxane peuvent être produits sous différentes formes : fluides, gommes, gels, élastomères, et résines.

➤ **huiles et gomme**

Qui sont des polymères linéaires, se différencient par leur masse molaire ou viscosité.

➤ **gels de silicone**

Sont des fluides légèrement réticulés de PDMS, où la réticulation est réalisée par un silane de motif T ou par une réaction chimique entre un groupe de vinyle avec de l'hydrogène des différentes chaînes de siloxane.

➤ **élastomères de silicone**

Sont des fluides réticulés dont la structure tridimensionnelle est beaucoup plus complexe qu'un gel. En outre, ces élastomères comportent des oligomères (petites chaînes de faible poids moléculaire) dans la matrice. Des remplisseurs, tels que la silice amorphe, sont fréquemment ajoutés à la matrice pour renforcer la dureté.

➤ **résines de silicone**

Sont des réseaux plus fortement réticulés. Les propriétés physiques de la résine silicone sont réglées en changeant le rapport des siloxanes branchés ou linéaires et également des motifs fonctionnels attachés au Si.

➤ **Isolation surfacique**

Grâce à une excellente hydrophobicité à la surface, grâce à un retour d'hydrophobicité à la suite de décharges couronnes qui occasionnent un comportement hydrophile, du fait de leur faible poids et de leur flexibilité, les élastomères silicones sont largement utilisés dans l'isolation extérieure depuis une dizaine d'années. On les trouve dans des isolateurs, des traversées et également dans des disjoncteurs et des transformateurs de mesure. Comme on l'a déjà évoqué, le point faible de ces matériaux est leur faible dureté, ce qui fait que certaines applications où les contraintes mécaniques doivent être fortes leur sont interdites. Dans ce cas, il est souvent utilisé comme revêtement (coating) de céramiques qui elles peuvent supporter

les contraintes mécaniques. Quand les contraintes mécaniques ne sont pas trop importantes (ce qui correspond généralement aux dispositifs à moyenne et basse tension), on peut utiliser entièrement l'élastomère silicone.

#### ➤ **Isolation volumique**

Ces dernières années, on a pu constater que les élastomères silicones étaient de plus en plus utilisés dans l'isolation volumique moyenne et haute tension comme par exemple dans les câbles ou les terminaisons des câbles et les barres d'alternateurs qui doivent résister aux températures élevées. Cependant, les contraintes mécaniques limitent souvent la tension à 6 kV pour les générateurs et les câbles moyenne tension.

### **I.4 Quelques définitions concernant les isolateurs**

#### **I.4.1 Contournement**

C'est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles se déplaçant sur l'interface d'un isolateur d'une électrode vers une autre.

#### **I.4.2 Ligne de contournement**

La ligne de contournement est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices [14].

#### **I.4.3 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 [15]. 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.

#### **I.4.4 Tension de tenue**

C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive [16].

#### **I.4.5 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 [15].

### **I.4.6 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 [4].

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

Ce courant dépend de plusieurs facteurs tels que:

- la nature de la couche polluante;
- la nature de la tension appliquée et sa polarité;
- la forme des électrodes;
- la longueur de la ligne de fuite.

## **I.5 Constitution de l'isolateur et son fonctionnement**

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique.

Leur importance est reliée directement au fait de :

- 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) [17].

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [17].

Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones formant ainsi trois isolants en parallèle ayant des comportements différents. Ces trois zones sont les suivantes :

- 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) [18].

## I.6 Propriétés des isolants

### I.6.1 Propriétés électriques

Parmi les propriétés électriques essentielles des isolants on rencontre :

- ❖ Rigidité diélectrique  $E_r$  (V/m) ;
- ❖ Permittivité relative  $\epsilon_r$  ;
- ❖ Facteur de pertes diélectriques  $\text{tg } \delta$  ;
- ❖ Résistivité électrique  $\rho$ .

### I.6.2 Propriétés thermiques

Elles caractérisent la résistance à la chaleur qui est donnée par la température nominale que peut supporter un matériau sans subir de transformation interne ou un vieillissement prématuré, elles permettent de préciser le point d'inflammation et de Fusion.

### I.6.3 Propriétés mécaniques

Elles caractérisent la résistance aux différents agents chimiques tel que : les acides, les sels et les bases, la résistance aux agents atmosphériques, l'humidité, aux huiles, aux graisses et aux solvants.

## I.7 Caractéristiques d'un isolateur

Selon la figure (I.1)

**a) Le pas P :** C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.

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

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



Figure I.1 Isolateur de haute tension

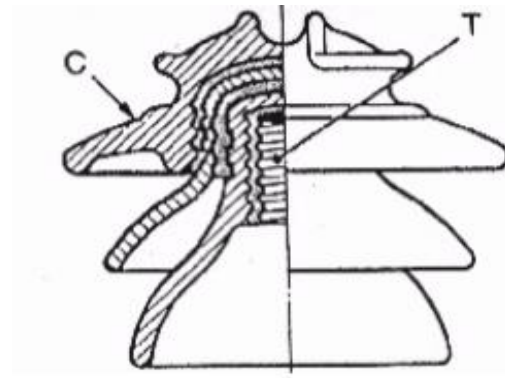
## I.8 Principaux types d'isolateurs

### I.8.1 Isolateurs de type rigide

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'une ou de plusieurs pièces isolantes encastrées et scellées les unes dans les autres. Ces isolateurs sont fixés au pylône par des ferrures de forme diverses. Ils sont principalement utilisés dans les lignes aériennes pour des tensions ne dépassant pas généralement 60 kV. Les isolateurs rigides peuvent être placés en position horizontale, verticale ou oblique [19].

Il existe deux types principaux d'isolateurs rigides : les isolateurs rigides à tige et les isolateurs rigides à socle :

- Isolateur rigide à socle : Isolateur rigide qui comporte une ou plusieurs pièces en céramique ou en matériau synthétique, assemblées de façon permanente sur un socle métallique, et qui est destiné à être monté sur un support au moyen d'une tige centrale ou de boulons solidaires du socle.
- Isolateur rigide à tige : Isolateur rigide qui comporte une ou plusieurs pièces en céramique en forme de cloche, assemblées de façon permanente, et qui est destiné à être monté sur un support au moyen d'une tige à visser à l'intérieur de l'isolateur.



C : Cloche T : Logement de tige

Figure I.2 Isolateur rigide

### I.8.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Ils sont constitués par le matériau isolant et d'une pièce métallique qui sert à réaliser la liaison entre deux isolateurs et à donner une certaine flexibilité à la chaîne d'isolateurs. La chaîne d'isolateurs est montée sur le pylône en suspension soit verticalement (chaîne d'alignement), soit d'une façon horizontale (chaîne d'ancrage) [20].

Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne :

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

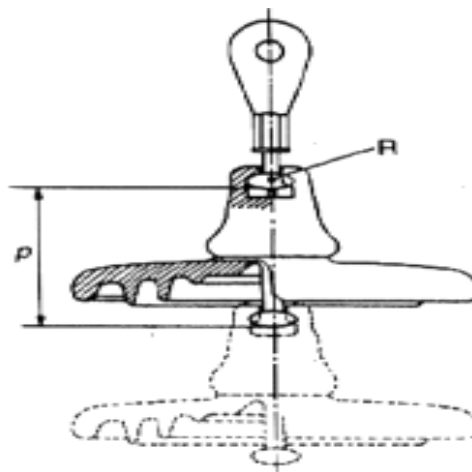


Figure I.3 Assemblage à rotule

**P** : pas

**R** : Rotule

### I.8.3 Isolateur capot et tige

Capot et tige est constitué d'un corps isolant qui porte à l'intérieur une tige en acier, où la tête conique de cette tige est scellée dans le matériau isolant soit le verre soit la porcelaine. L'extrémité supérieure de l'isolateur porte un capot scellé en fonte malléable troué de telle sorte qu'on peut faire entrer l'extrémité inférieure de la tige dans ce trou, et le scellement des éléments de chaîne capot et tige se fait de cette façon en faisant pénétrer la partie inférieure de la tige de l'élément supérieur dans le capot de l'élément inférieur en utilisant du ciment [21].

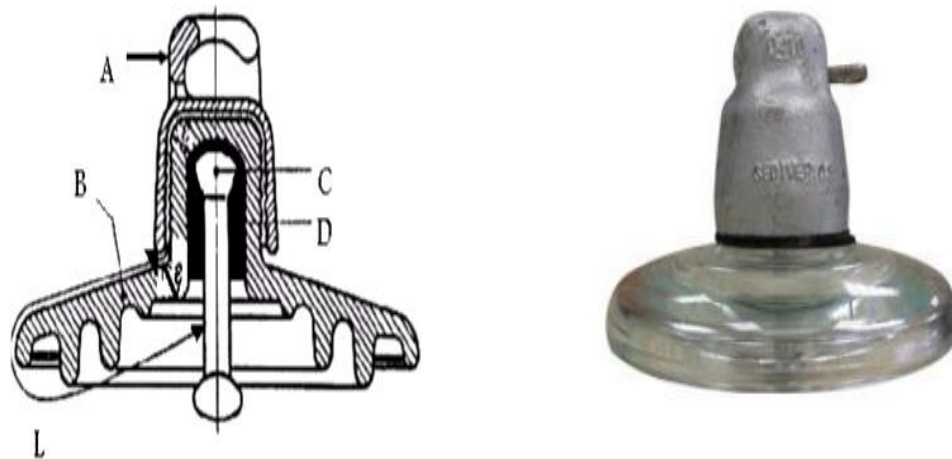


Figure I.4 Isolateur capot tige

A : le capot

B : le diélectrique (verre trempé ou céramique)

D : le ciment de fixation

C : la tige

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

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

Afin d'améliorer le fonctionnement des isolateurs dans les régions polluées, la CEI (comité international d'électrotechnique) [20] a proposé plusieurs profils.

**a) Profil standard**

La faible profondeur, l'espacement entre les anneaux (nervures) et la ligne de fuite moyenne permettent l'utilisation de ce profil dans une zone de pollution modérée.



**Figure I.5** Profil standard

**b) Profil antibrouillard (forme A)**

Il est de conception avec un diamètre plus grand que le type de profil standard muni de deux ou trois rainures à grande profondeur.

Cette conception permet également un lavage manuel facile si c'est nécessaire et empêche le claquage entre rainures voisines quand il y a une pollution sévère et tout le profil intérieur simplifie la maintenance.



**Figure I.6** Profil antibrouillard (forme A)

**c) Profil antibrouillard (forme B)**

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



**Figure I.7** Profil antibrouillard (forme B)

**d) Profil sphérique**

La forme sphérique permet une longueur de fuite équivalente à celle d l'absence de rainures internes permet un lavage manuel facile et efficace.



**Figure I.8** Profil sphérique

**e) Profil plat**

L'élimination complète des rainures internes réduit grandement l'accumulation de pollution sur la surface basse, grâce au courant d'air.

Cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquente par pluie.



**Figure I.9** Profil plat

**I.8.4 L'isolateur long fût****a) en céramique**

Constitué d'un cylindre plein en céramique, ou en porcelaine, muni d'ailettes avec une pièce métallique de liaison à chaque extrémité. 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. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis.



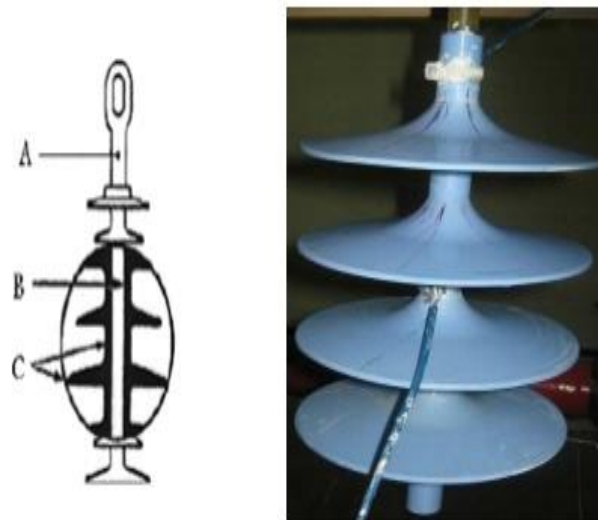
**Figure I.10** Isolateur en céramique

### **b) En matériaux synthétiques**

Constitué d'un matériau synthétique dont la caractéristique principal est la bonne tenue à la pollution, le faible encombrement, la résistance au vandalisme et la légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée.

Ce type d'isolateurs est appelé composite, il est constitué de trois parties selon le rôle :

- Un noyau en fibre de verre, imprégnées de résine, capable d'assurer l'isolement et de supporter les efforts mécaniques générés par les conducteurs.
- Un revêtement en élastomère en EPDM (Ethylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.
- Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques [20].



**Figure I.11** L'isolateur composite

A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques.

## I.9 Choix des isolateurs

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils forment une partie essentielle de laquelle dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [14].

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

## I.10 Vieillessement des matériaux isolants [22]

En génie électrique, le vieillissement électrique est défini comme tout changement des propriétés du matériau qui affecte ses fonctions d'isolation. Il peut donc s'agir d'une modification de nature chimique ou physique induisant une modification des propriétés électriques dans un sens défavorable pour la pérennité des fonctions isolantes.

Généralement on accepte de façon intuitive, et l'expérience le montre souvent, que la durée de vie d'un matériau isolant dépend de l'intensité de la contrainte électrique subie par celui-ci mais également de la durée d'application de cette contrainte.

Sous l'effet des contraintes électrique, climatique et de la pollution, plusieurs phénomènes de dégradation peuvent apparaître au cours du vieillissement des matériels, décrivons les brièvement :

#### **I.10.1 Farinage**

Apparition à la surface du matériau synthétique des particules de charge formant une surface rugueuse ou poudreuse.

#### **I.10.2 Faièncage**

Micro fractures superficielles peu profondes de (0,01 à 0,1mm).

#### **I.10.3 Craquelures**

Fractures superficielles de profondeur supérieure à 0,1 mm.

#### **I.10.4 Erosion**

Dégradation irréversible et non conductrice, qui peut se produire, à la surface de l'isolateur, par perte de matière. Elle peut être uniforme, localisée, ou arborescente. Après des amorçages partiels, il peut se produire sur les isolateurs composites des traces superficielles, en générale arborescentes, comme sur les pièces en porcelaine, tant qu'elles ne sont pas conductrices, ces traces ne sont pas préjudiciables .quand elles sont conductrices, elles se classent dans le phénomène de acheminement.

#### **I.10.5 Acheminement**

Dégradation irréversible, par formation de chemins qui apparaissent et se développent à la surface d'un matériau isolant. Les chemins sont conducteurs même à sec .le acheminement peut se produire sur des surfaces au contact de l'air et aussi aux interfaces entre matériaux isolants différents .il est en général matérialisé par l'apparition d'une trace de matériau carbonisé.

### **I.11 Défauts des isolateurs**

Les isolateurs composites des 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, d'où la nécessité de développer une méthode de diagnostic pour différencier entre un isolateur défectueux et un isolateur sain.

On peut distinguer deux types de défauts : défauts électriques et défauts mécaniques.

Ces deux types de défauts sont mutuellement dépendant [23].

### **I.11.1 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), les gouttelettes se déforment dans la direction du champ.

Les étapes de développement du vieillissement et du processus de contournement ont été établies dans des travaux antérieurs [24]. 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) ; certains isolateurs peuvent réacquérir leurs états hydrophobes après immigration des molécules de faible poids (Low Molar Weight) du centre de l'objet jusqu'à la surface [23].

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 ; celui-ci provoque d'avantage de perte d'hydrophobie, d'érosion de surface et augmente l'amplitude du courant de fuite. Dans le cas d'un isolateur en polymère, le séchage de sa surface lui permet de réacquérir ses propriétés hydrophobes [24].

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 [24].

### **I.11.2 Défauts mécaniques**

Les défauts mécaniques d'un isolateur peuvent mener à des conséquences fatales, la plupart des défauts sont d'ordre mécanique [24].

### **I.11.3 Défauts dus à la manipulation**

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.

Pour prendre en charge ces problèmes, le groupe CIGRE (Conférence International des Grands Réseaux Electriques) prépara un guide de manipulation qui contient des recommandations relatives aux méthodes de manipulation de ce type d'isolateurs, en commençant de l'endroit de fabrication jusqu'à sa mise sous tension [24].

## **I.12 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre un résumé d'une étude bibliographique sur les isolateurs en précisant leur rôle et leurs différents types.

Les isolateurs sont des éléments essentiels dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service. Les isolateurs les mieux adaptées à un environnement donné sont ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

---

## *Chapitre II*

*Phénomène de Contournement et le  
Profil de L'isolateur*

---

## II.1 Introduction

Pour étudier le phénomène de contournement, on passe en revue les différentes étapes et les performances électriques auxquelles doit satisfaire un isolateur soumis à une pollution atmosphérique et l'influence des paramètres géométriques (la ligne fuite, le facteur de forme et le diamètre) sur la tension de contournement.

Une décharge ne peut être générée que si le champ électrique au niveau des électrodes (et donc la tension appliquée) dépasse une certaine valeur dite < le seuil > (respectivement tension d'amorçage). Cette décharge ne peut évoluer que si certaines conditions sont réunies.

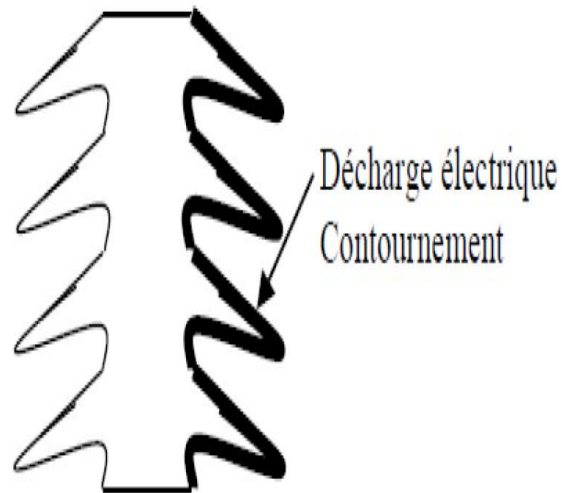
## II.2 Contournement des isolateurs

Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, et suite à l'interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surfaces de celui-ci. Une fois cette couche humidifiée, la tension de tenue peut diminuer considérablement, provoquant des incidents très graves [25].

### II.2.1 Définition

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). Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe (domaines pharmaceutiques, production de véhicules...) 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. Par exemple, aux USA une interruption de 0,25 s dans une usine à papier peut provoquer des pertes de 100 000 dollars [25].



**Figure II.1** Contournement d'isolateur

### II.2.2 Déroulement du contournement

Le contournement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en phases suivantes :

#### **Phase 1 : dépôt de pollution**

La pollution désertique est due principalement par la tempête du sable porté par le vent et déposé à la surface de l'isolateur.

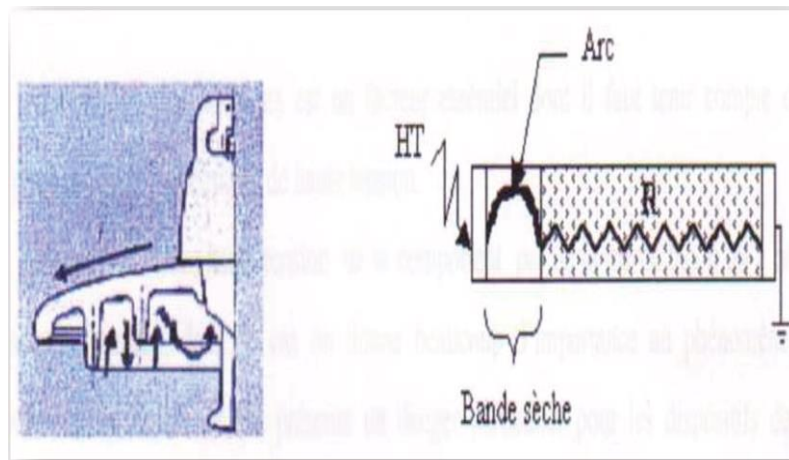
Les particules du dépôt sont apportées par le vent et se concentrent entre les nervures ou autour du capot. Les facteurs d'accumulation sont les suivants : la nature, le poids et la taille des particules polluantes, la distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol, la vitesse du vent et l'orientation de la chaîne.

#### **Phase 2 : Formation d'un électrolyte conducteur**

Le brouillard et la pluie fine humidifient la couche polluante, provoquant la dissolution des sels contenus dans le dépôt. 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  $I_f$  circulant sur la surface de l'isolateur [26].

**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 créer une bande sèche [26].

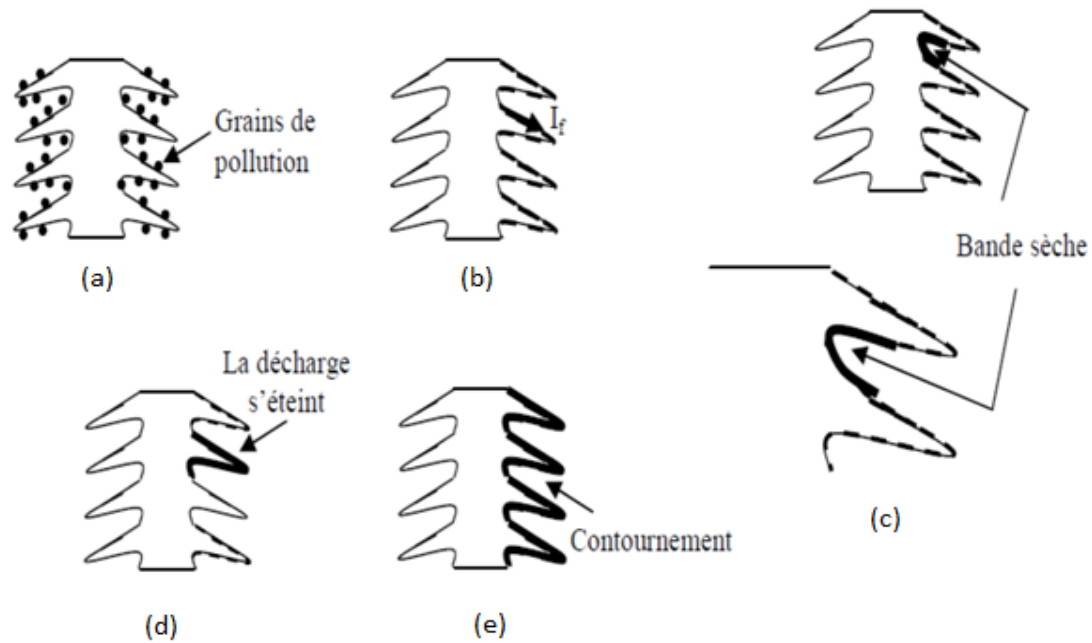


**Figure II.2** Arc et bande sèche

**Phase 4 : contournement**

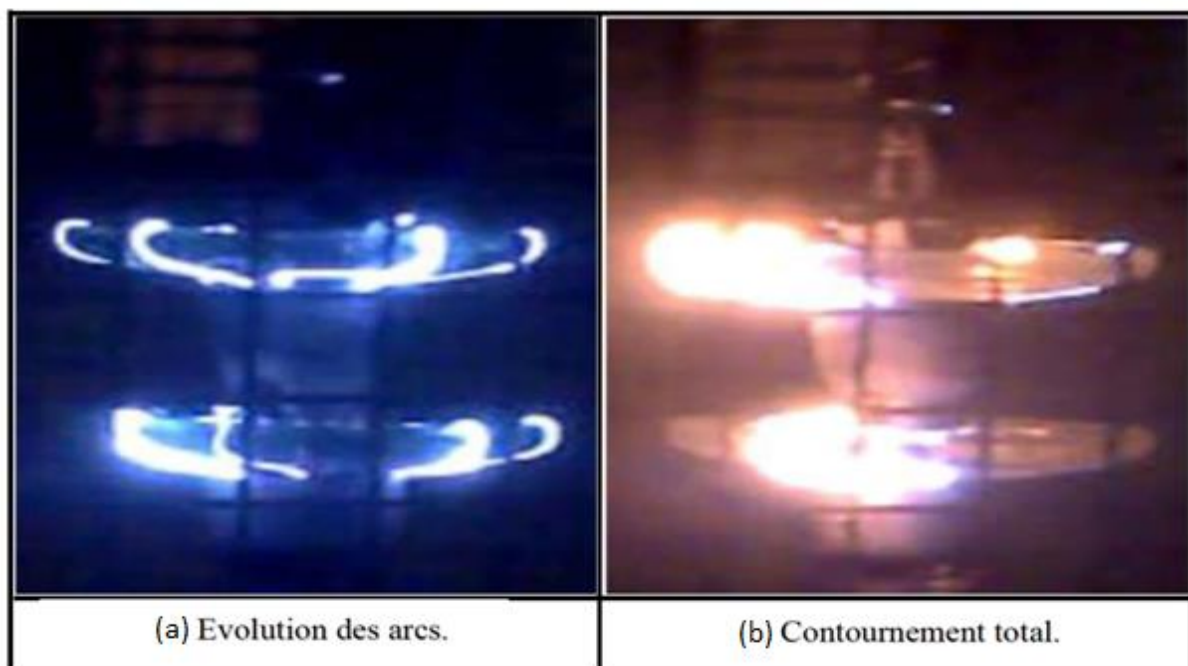
Comme la résistance de la bande sèche est beaucoup plus grande par rapport au reste de l'électrolyte, pratiquement toute la tension aux bornes de l'isolateur est maintenant appliquée aux extrémités de cette zone. Il se produit alors un claquage dans la bande sèche :

- Soit la décharge s'éteint  $\Rightarrow$  pas de contournement (figure II.3.d).
- Soit la décharge progresse sur la surface  $\Rightarrow$  contournement de l'isolateur (figure II.3. e) [27].



**Figure II.3** Déroulement de contournement

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 II.4** Phénomène de contournement (image réel) [28]

### II.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. Elle dépend de : [29, 30]

- \_ La nature de la tension et sa polarité;
- \_ La longueur de l'isolateur;
- \_ La forme des électrodes;
- \_ La résistivité volumique moyenne de la couche polluante;
- \_ La répartition de la couche de pollution;
- \_ Le profil de l'isolateur;
- \_ Les conditions climatiques.

### II.2.4 Ligne de contournement

La ligne de contournement est la distance la plus courte dans un gaz entre les électrodes [31].

### II.2.5 Temps de contournement

Nous définissons le temps total au contournement de l'isolateur comme étant le temps qui s'écoule entre l'instant d'amorçage de l'arc (l'instant où la condition de réallumage et le critère de propagation sont remplis), et l'instant où le contournement total a lieu.

Plusieurs études déjà faites, comme celle de Ghosh et Chatterjee [32], qui ont montré que l'augmentation de la tension a un effet inverse sur le temps au contournement qui décroît considérablement.

### II.2.6 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 [33].

### II.2.7 Tension de tenue

La tension de tenue est la tension disruptive, qui produit une décharge dans l'air, le long de l'isolation externe de l'appareil. Cette tension doit être plus élevée que la tension d'essai. En effet, selon les règles précitées, l'appareil soumis à la tension d'essai ne doit présenter aucun contournement au cours des essais [31].

### II.3 Courant de fuite

C'est le courant qui circule à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur [29,34]. Ce courant est de faible d'amplitude et son intensité devient de plus en plus importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement.

Ce courant dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La nature de la couche polluante;
- La nature de la tension appliquée et sa polarité;
- La forme des électrodes;
- La longueur de la ligne de fuite.

#### II.3.1 Conductance superficielle

C'est le rapport du courant traversant l'isolateur et la tension qui lui est appliquée [27].

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

Tels que :

**I** courant en (A);

**V** tension en (V);

**G** conductance en (S).

En utilisant le facteur de forme  $F$  de l'isolateur donné par :

$$F = \oint_L \frac{dL}{p(L)} \quad (\text{II.2})$$

La conductivité superficielle peut être déterminée selon :

La connaissance de l'épaisseur de la couche de pollution nous permet de déduire la conductance et la conductivité volumique.

Dans le cas d'une couche non 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.

#### II.3.2 Courant de fuite critique

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement sur un isolateur à une tension donnée, sa valeur est obtenue dans la dernière demi période avant le contournement [35]. Il est indépendant de la forme de l'isolateur et du procédé d'essai auquel il est soumis, mais il dépend du rapport entre la tension appliquée et la longueur de la ligne de fuite de l'isolateur.

### II.3.3 Ligne de fuite

La ligne de fuite ( $L_f$ ) est la distance la plus courte le long de la surface d'un isolateur entre les deux électrodes [36, 31].

### II.3.4 Ligne de fuite spécifique ( $L_s$ ) d'un isolateur

La ligne de fuite spécifique peut être obtenue en utilisant [27] :

$$L_s = \frac{L}{\sqrt{3}V_e} \quad (\text{II.3})$$

Avec:

$L$  en mm;

$V_e$  en kV.

### II.3.5 Comptage des impulsions de courant de fuite [37]

La mesure du courant de fuite s'effectue de deux manières : par le comptage du nombre d'impulsions et par l'amplitude des ces dernières.

#### a) Comptages d'impulsions

Le comptage des impulsions consiste à enregistrer, par 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. Généralement, la fréquence et l'amplitude de ces impulsions croissent lorsqu'on s'approche du contournement, la méthode se prête mieux à la détermination des longueurs d'isolateurs dans le cadre de l'extension ou du redimensionnement de l'isolement de réseaux existants. Cependant, elle ne fournit pas une mesure absolue de la performance des isolateurs et exige une aptitude au contrôle permanent.

#### b) Courant de fuite de la plus forte crête ( $I_{fc}$ )

On enregistre, pendant une période relativement longue sur un échantillon ou un isolateur réel, continuellement soumis à sa tension de service, les amplitudes des impulsions de courant de fuite.

La plus forte valeur de crête du courant est exploitée pour la détermination de la sévérité de pollution de site, cette méthode est simple et tient compte de l'effet combiné des conditions atmosphériques et de la tension appliquée. Le coût relativement élevé de l'équipement de mesure contrebalance les avantages de cette méthode.

## **II.4 Etudes de la performance électrique des isolateurs [38 ,39]**

### **II.4.1 Influence de la forme de l'isolateur**

La longueur de fuite est un important paramètre qui influence la tenue des isolateurs. Pour augmenter la performance d'un isolateur, on pourrait être tenté d'augmenter la ligne de fuite.

Cependant, la forme des isolateurs est différente d'un type à l'autre. Un isolateur dont le profil est simple (Figure II.4.a) possède une ligne de fuite plus petite que celui dont le profil comporte de nombreuses nervures comme les isolateurs antipollution (Figure II.4.b) lorsqu'ils sont identiquement pollués. En effet, si la couche de pollution est uniformément répartie, des arcs locaux peuvent se développer sous certaines conditions. Si les arcs locaux restent en contact avec la surface isolante, la ligne de fuite est complètement utilisée (Figure II.4.a). Par contre, si les arcs adoptent un trajet plus court dans l'air, une partie de la ligne de fuite n'est pas utilisée. On admet que dans ce cas, la tension de contournement est inférieure à celle escomptée, Il est presque impossible de prédire l'amorçage des arcs dans l'air. On peut admettre que si la couche polluée est très conductrice, l'arc adopte un trajet préférentiel de la ligne de fuite.

En revanche, une faible conductivité de la couche polluée favorise le claquage dans l'air entre les jupes.

Un critère empirique appelé facteur de profil FP, présenté dans la équation (II.4, II.5) a été introduit comme le rapport de la ligne de fuite simplifiée ( $2P+S$ ) et la ligne de fuite réelle ( $LS$ ) pour un pas d'isolateur, ( $P$ ) étant la profondeur horizontale maximale des ailettes et ( $s$ ) la distance entre deux ailettes.

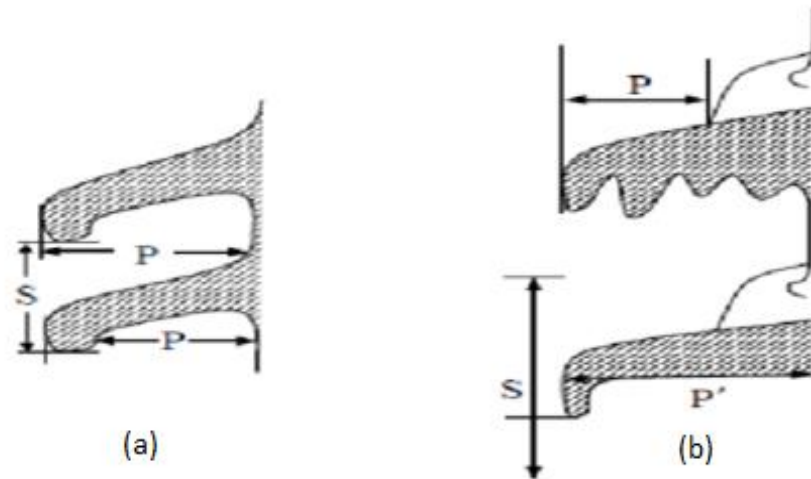


Figure II.5 facteur de profil de l'isolateur

$$FP = \frac{2P+S}{Ls} \tag{II.4}$$

$$FP = \frac{P+P'+S}{Ls} \tag{II.5}$$

Les expériences sur les isolateurs contaminés ont montré que pour un niveau de pollution donné, la tension de contournement des isolateurs est d'autant plus faible que le facteur de forme est plus petit.

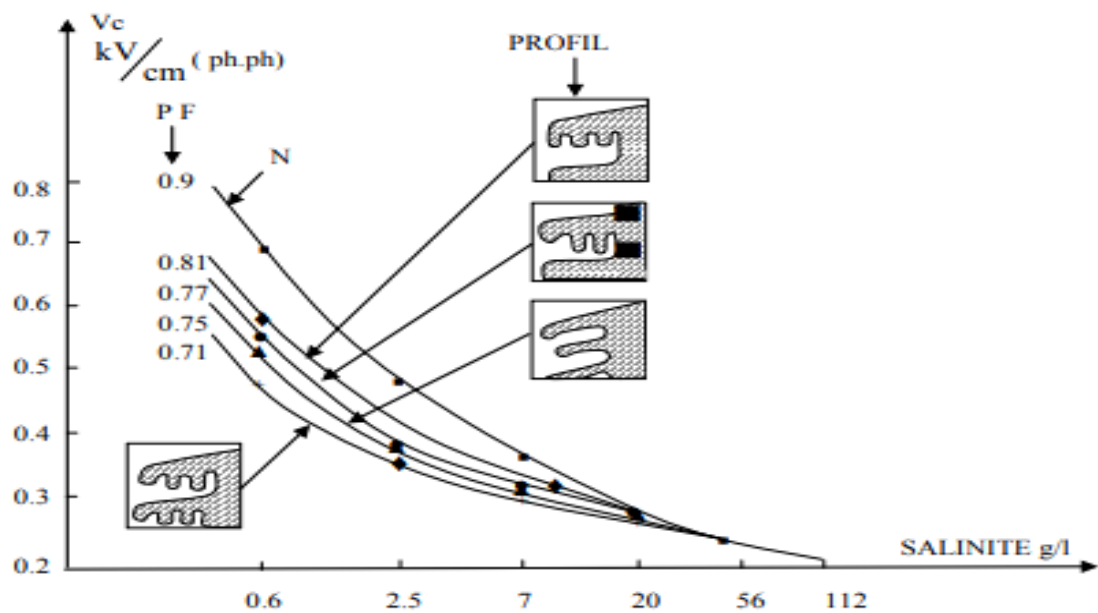


Figure II.6 Influence de la salinité de pollution ... des déférente profiles des isolateurs

### II.4.2 Influence du diamètre

Par définition, le diamètre moyen ( $\emptyset$ ) d'un isolateur réel correspond au diamètre d'un isolateur qui serait cylindrique et qui posséderait la même ligne de fuite ( $L$ ) dans l'air, et la même résistance lorsqu'il est recouvert de la même couche polluante que l'isolateur réel (Figure II.7).

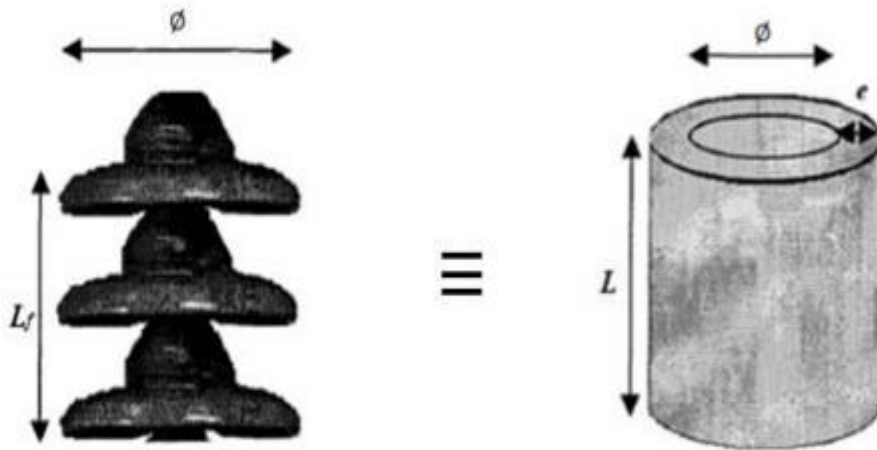


Figure II.7 Assimilation théorique d'un isolateur à un cylindre.

En effet, la longueur d'un cylindre est donné par :

$$L = \frac{S}{\pi \cdot \emptyset} \quad (\text{II.6})$$

Où  $S$  est la surface latérale du cylindre et  $\emptyset$  est le diamètre. D'autre part, si on intègre ( $\Phi$ ) le long du profil de l'isolateur, on aura une approximation de son facteur de forme :

$$f = \int_0^{lf} \frac{dl}{\phi \cdot \pi} \quad (\text{II.7})$$

Où

$dl$  : est l'abscisse curviligne d'un point de l'isolateur mesuré le long de son profil.

$\emptyset$  : est le diamètre correspondant à un point quelconque sur la surface d'isolateur.

En assimilant la couche polluante à un film régulier d'épaisseur  $e$  et de résistivité volumique  $\rho$ , la résistance de l'isolateur sera :

$$f = \rho \int_0^{lf} \frac{dl}{\phi \cdot \pi \cdot e} = \frac{\rho}{e} f \quad (\text{II.8})$$

Où  $f$  est le facteur de forme de l'isolateur.

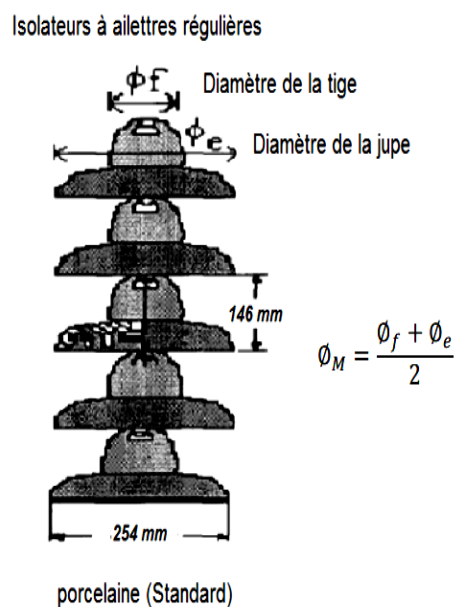
La résistance du cylindre équivalent est :

$$R = \rho \frac{L}{\pi \cdot \Phi \cdot e} \quad (\text{II.9})$$

En conclusion, en assimilant l'isolateur réel à un isolateur cylindrique ayant une même ligne de fuite  $L_f$  et une même couche polluante, le diamètre moyen s'écrit :

$$\Phi = \frac{L_f}{\pi \cdot f} \quad (\text{II.10})$$

Pour les isolateurs de gros diamètre, on peut résumer le diamètre moyen comme suit :



**Figure II.8** Diamètre moyen des isolateurs

Il a été démontré, que pour une certaine densité de contamination, la tension critique de contournement diminue au fur et à mesure que le diamètre augmente et ce, jusqu'à une certaine valeur où la tension de contournement cesse de diminuer.

Ce phénomène s'explique par le fait qu'un large diamètre  $\Phi$  signifie une plus grande exposition de la surface à la pollution, diminuant ainsi la résistance et réduisant par conséquent la tension de contournement. Par contre, une augmentation relative du diamètre peut causer un supplément d'arcs locaux provoquant une baisse de tension aux bornes de l'électrode. Cette baisse de tension compense partiellement la baisse de la tension de contournement. De plus, l'augmentation du diamètre peut impliquer l'augmentation de la distance de fuite qui atténue la diminution de la tension de contournement.

La figure II.9 exprime les résultats d'essais par le rapport entre la tension de contournement mesurée ( $V_c$ ) et la tension de contournement moyenne des isolateurs de petit diamètre ( $V_{c^*}$ ).

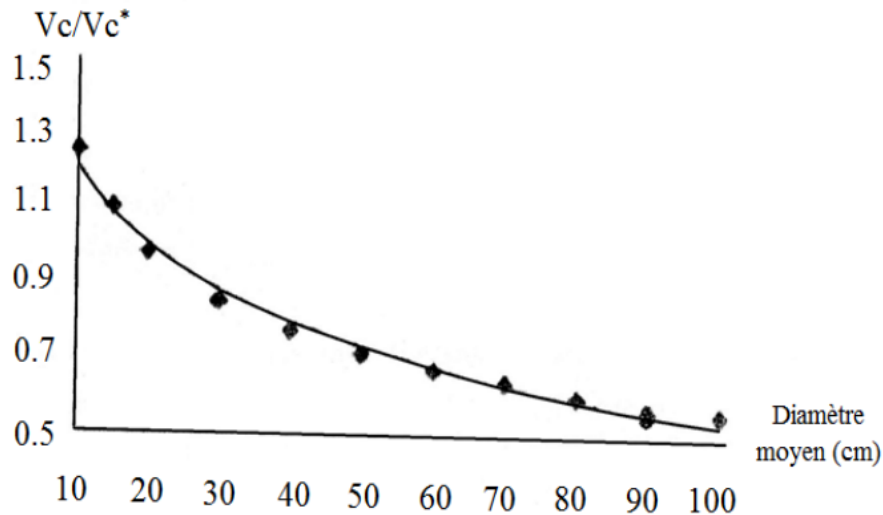


Figure II.9 Performance des isolateurs pollués en fonction du diamètre moyen.

## II.5 Autres paramètres qui caractérisent le profil des isolateurs [40]

### a) Distance minimale entre deux ailettes

la distance minimale  $c$  entre deux ailettes consécutives, est le diamètre mesuré par le rayon d'un arc de cercle centré sur le point le plus bas de la nervure la plus extérieure de l'ailette supérieure et tangent à l'ailette inférieure de même diamètre Figure II.10.

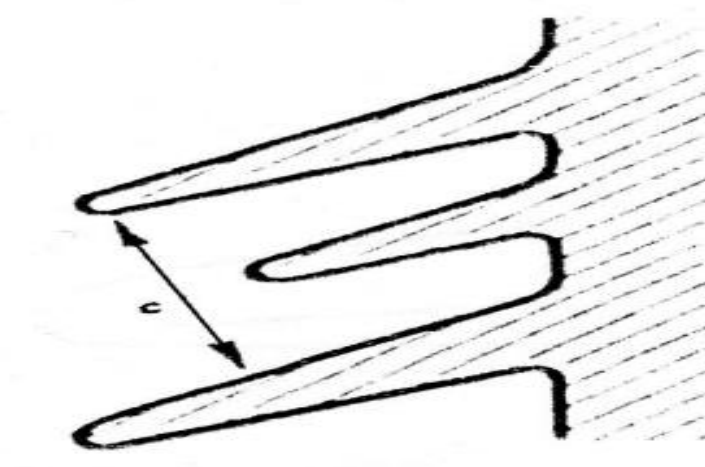


Figure II.10 Distance minimale entre deux ailettes

Cette distance est importante pour éviter le court-circuitage sous pluie de deux ailettes successive. Compte tenu des connaissances actuelles, une valeur de  $c$  de l'ordre 30 mm ou plus, répond à cette exigence.

Pour des isolateurs ayant une longueur totale au plus égale à 550 mm, ou pour les isolateurs avec une faible profondeur d'ailette ( $p \leq 40$  mm), une valeur de  $c$  l'ordre de 20 mm est acceptable.

### b) Rapport $S/p$ entre le pas et la profondeur

Le rapport  $S/p$  montre les limites de la réalisation arbitraire d'une ligne de fuite trop longue soit par un surdimensionnement de la profondeur de l'ailette ( $P$ ), soit par un accroissement injustifié du nombre d'ailettes. Ce rapport est important pour les propriétés d'auto nettoyage des isolateurs.

Ce rapport doit, en principe être supérieur ou égal 0.8. L'expérience en service montre que cette valeur peut être réduite à 0.65 dans le cas d'ailettes simple (sans ondulation).

$S$  : est la distance verticale entre deux points similaires d'ailettes successives (pas).

$P$  : est la profondeur horizontale maximale d'une ailette Figure II.11.(a,b,c,d).

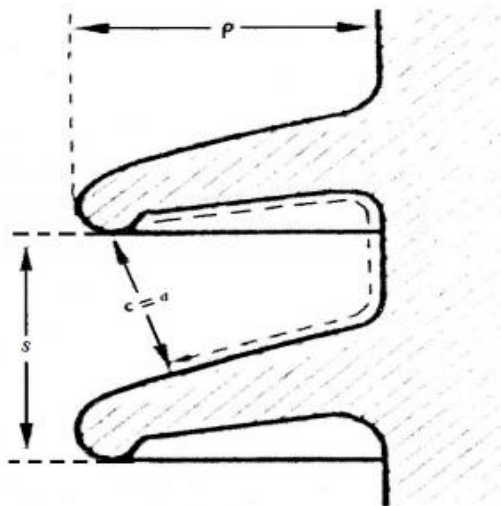


Figure II.11 a Ailettes normales

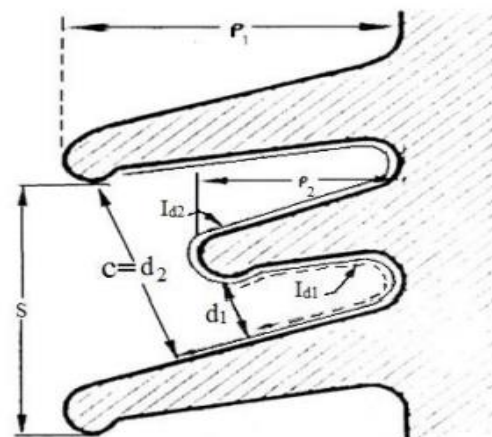


Figure II.11 b Ailettes alternées

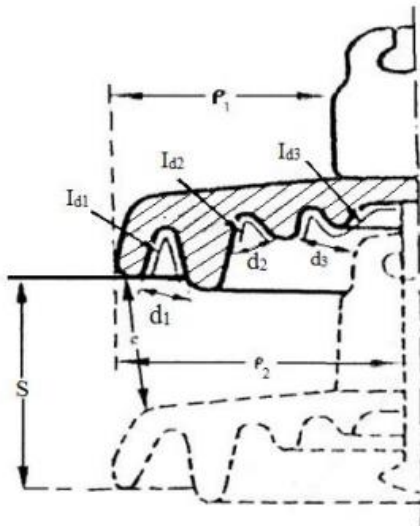


Figure II.11 c Isolateur à capot et tige

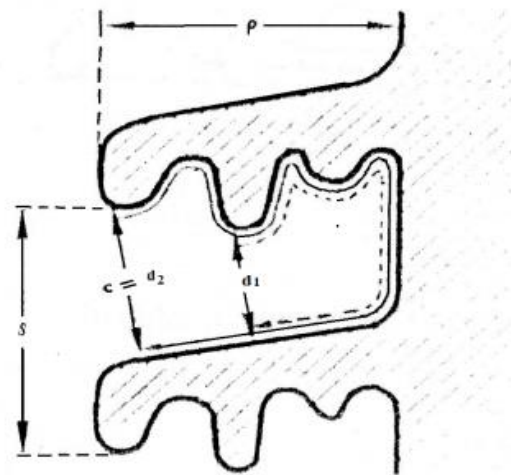


Figure II.11 d Ailettes à ondulation

### c) Rapport ( $ld/d$ ) entre ligne de fuite et la distance dans l'air

Le rapport ( $ld/d$ ) montre l'utilisation de la ligne de fuite pour éviter tout court-circuit local. Il convient que ( $ld/d$ ) soit inférieur à 5.

Il convient que ce rapport soit vérifié dans le cas le plus défavorable sur chaque segment, par exemple de la face inférieure d'un profil d'isolateur antibrouillard.

**d** : est la distance en ligne droite dans l'aire mesurée entre deux points l'un situés sur la partie isolateur ou entre un point situé sur la partie isolante et un autre point situé sur la partie métallique.

**ld** : est la partie de la fuite mesurée entre ces deux points.

### d) Ailette alternées

La différence entre les deux profondeurs horizontales de deux ailettes consécutives ( $p1-p2$ ) est importante sous pluie pour éviter le court-circuit entre ces deux ailettes.

**p1** : est la profondeur horizontale de l'ailette la plus grande.

**p2** : est la profondeur horizontale de la plus petite ailette.

Cette différence ( $p1-p2$ ) est généralement supérieure ou égale à 15 mm (Figure II.11.b).

### e) Inclinaison des ailettes

L'inclinaison des ailettes est importante pour les propriétés d'auto nettoyage. Pour la partie supérieure de l'ailette, l'inclinaison minimale ( $\alpha$ ) est, en principe, supérieur à  $5^\circ$  (Figure II.12) aucune inclinaison minimale n'est sans ondulation, une inclinaison minimale des ailettes de  $2^\circ$  est souhaitable.

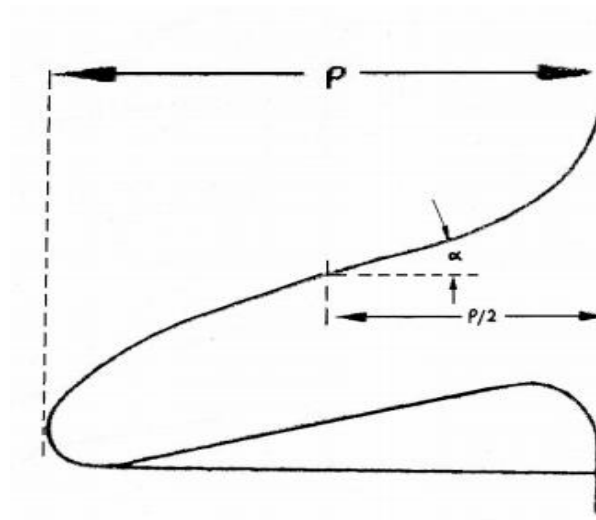


Figure II.12 Inclinaison des ailettes

### f) Paramètre caractérisant l'isolateur dans son ensemble

Les différents paramètres décrits ci-dessus caractérisent localement le profil. Toutefois, il est nécessaire de caractériser l'isolateur dans son ensemble par le facteur de ligne de fuite (CF). Ces deux facteurs dépendant de la sévérité de pollution.

CF a une signification théorique et scientifique, tandis que PE est un paramètre empirique, dérivé de l'expérience. CF peut être utilisé pour caractériser le profil de tous les types d'isolateur, tandis que PF ne s'applique pas aux isolateurs à capot et tige (Figure II.11.c).

Le facteur de ligne de fuite CF est égale à  $lt / st$ .

Où

*lt* : est la ligne de fuite totale d'un isolant.

*st* : est la distance d'arc qui est la plus courte distance dans l'air, expérience à isolateur, sans tenir des cornes de garde, mesurée entre les parties métallique auxquelles est normalement appliquée la tension.

## **II.6 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre une vision générale sur les paramètres qui caractérisé le profil des isolateurs un par un et dans l'ensemble, une revue sur les critères du phénomène de contournement expérimental.

---

## *Chapitre III*

*Résultats Expérimentale  
Et interprétation*

---

### **III.1 Introduction**

Dans le laboratoire de haute tension de l'université d'El Oued, où notre étude expérimentale a été effectuée, existe un transformateur d'essais à fréquence industrielle 50 Hertz.

Afin d'assurer un bon fonctionnement des équipements de haute tension, des essais diélectriques sont nécessaires.

Les essais effectués, au laboratoire de haute tension, concernent les tensions de contournements d'un modèle d'isolateur de labo de haute tension. Ce modèle est utilisé dans les régions désertiques Algériennes.

Nous nous sommes intéressés à la détermination de la tension de contournement en fonction de la position de la barrière.

Dans ce chapitre nous présentons l'équipement de la station d'essais. Nous présentons aussi les différents types d'essais, et le modèle opératoire utilisé pour les essais de haute tension ainsi que les procédés d'essai en suite nous interprétons nos résultats.

### **III.2 Dispositif expérimental**

#### **III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université d'El Oued)**

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université d'El Oued. Notre laboratoire est constitué des trois sources de tensions:

- Une source de tension à fréquence industrielle 50Hz,
- un générateur de tension continue,
- un générateur de tension impulsionnelle.

##### **III.2.1.1 Équipement de la station d'essai**

La station d'essai de notre laboratoire comprend les organes suivants :

- Un transformateur d'essai,
- Un transformateur de réglage,
- Des diviseurs de tension,
- Un pupitre de commande et des appareils de mesure et de protection,
- Un oscilloscope numérique,

### III.2.1.2 Transformateur d'essai

Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de haute tension. Il a un rapport de transformation de 250V / 100kV, avec une puissance de 5 kVA. Ce transformateur permet la variation de la haute tension au secondaire de 0 à pleine tension.

### III.2.1.3 Transformateur de réglage

Nous permettons la variation de la tension aux bornes du transformateur d'essai. Son rapport de transformation est de 220V/250V.

### III.2.1.4 Oscilloscope numérique

C'est un appareil qui permet de donner la forme de l'onde. Les phénomènes enregistrés. (Figure III.1)



Figure III.1 Oscilloscope numérique

### III.2.1.5 Pupitre de commande

Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. Ce pupitre nous permettons la variation automatique de la tension d'essai. Figure (III.2).



**Figure III.2** Photo du pupitre de commande du laboratoire de haute tension de l'université d'El Oued

### III.2.1.6 Appareils de mesure et de protection

L'alimentation du laboratoire se fait à partir d'un pupitre de commande situé dans le laboratoire, mais à l'extérieur de la plate-forme d'essai (la cage de faraday). Le transformateur de haute tension et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique de 250A. Ces protections sont liées avec le circuit de la bobine du contacteur principal, ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit.

Pour les mesures de tension on a :

DSM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension alternatif.

DGM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension continue.

Un voltmètre et ampèremètre pour mesurer de la tension primaire au niveau du transformateur d'essai.

### III.2.1.7 Diviseur de tension

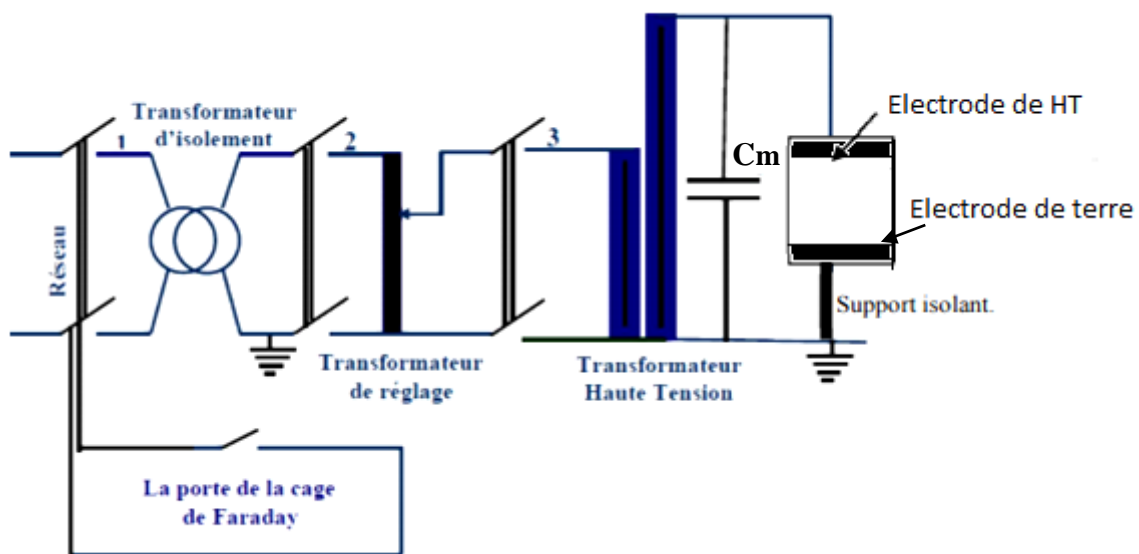
Il existe deux diviseurs de tension :

- Un diviseur de tension capacitif pour la mesure de la tension à fréquence industrielle.
- Un diviseur de tension résistif pour la mesure de la tension continue.

### III.2.1.8 Circuit d'essai à tension alternatif

- Les générateurs de haute tension alternative à fréquence industrielle sont utilisés pour:
- Les essais à haute tension alternative (transformateurs haute tension).
- L'alimentation (transformateurs haute tension) des redresseurs à courant continu, des générateurs à circuit oscillant et des générateurs de choc.

La Figure III.3 représente le circuit d'essai à tension alternatif réalisé au laboratoire de haute tension.



**Figure III.3** Circuit d'essai à fréquence industrielle

$C_m$  : Condensateur de mesure.



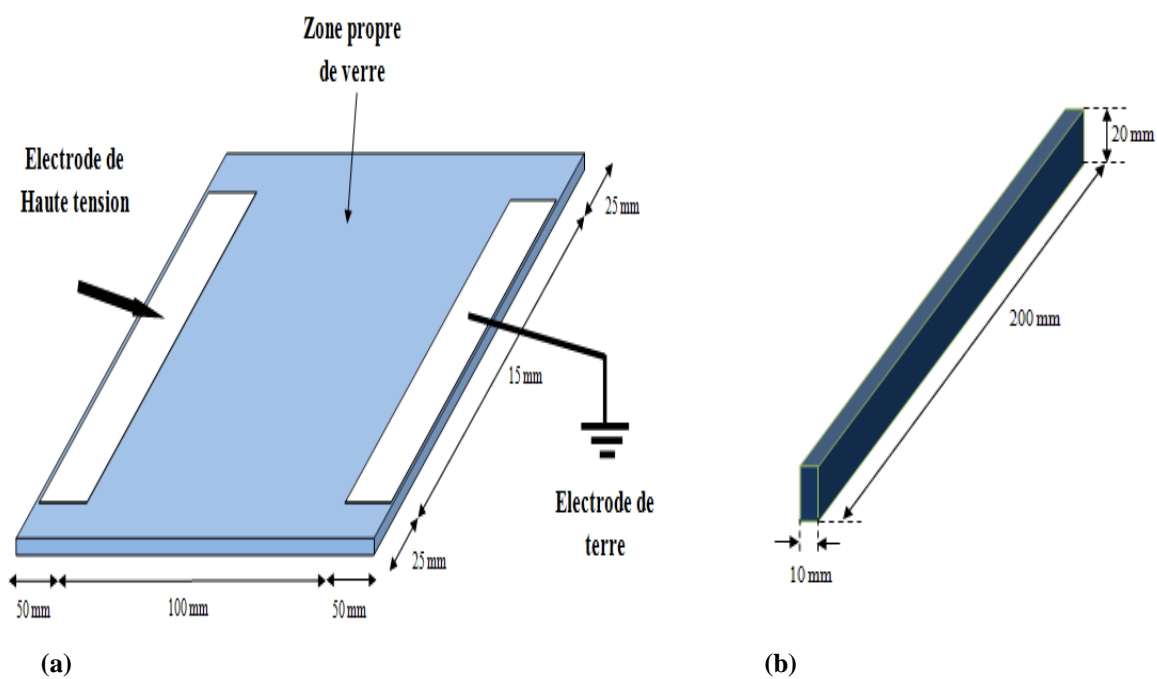
**Figure III.4** Photo du circuit d'essai à fréquence industrielle

### III.3 Mode opératoire

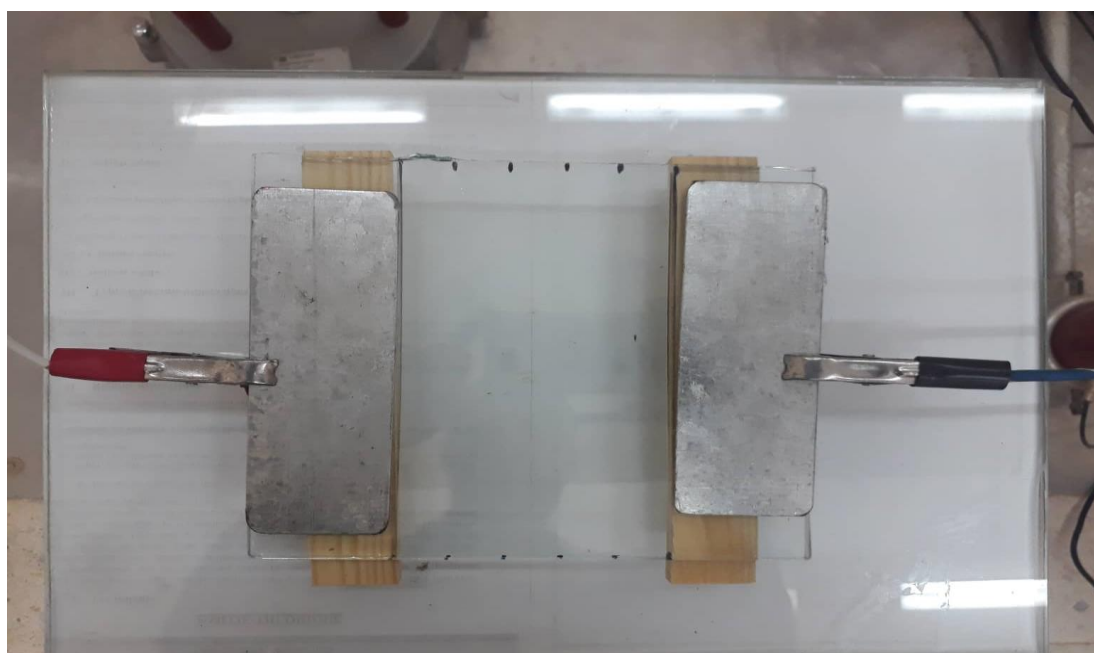
La plupart des travaux considèrent des modèles expérimentaux de géométrie simple et rarement le profil d'un isolateur réel. Cependant, si ces modèles équivalents ne reflètent pas exactement le comportement des isolateurs réels, ils permettent, par contre, une meilleure visualisation du phénomène de décharge électrique.

#### III.3.1 Modèle expérimental

Nous utilisons, dans notre étude, un modèle d'isolateur constitué d'une plaque isolante en verre (200x200x8mm) ayant la propriété de résister à la chaleur due aux décharges électriques. La plaque est munie de deux électrodes rectangulaires galvanisées dont l'épaisseur est de (2 mm) et de dimensions (150x50 mm)(Fig. III.5). La distance inter-électrode du modèle expérimental  $L=100\text{mm}$ . Pour simuler le contournement, nous avons utilisé des barrières en verre de dimensions(200x20x10mm). Cette dernière est placée dans l'intervalle inter-électrodes comme il est montré de la figure III.5.



**Figure III.5** Modèle expérimental (a): plaque en verre avec deux électrodes et (b) : barrière en Verre



**Figure III.6** Photo de modèle d'isolateur

La distance inter électrodes du modèle expérimental ( $d=100$  mm) correspond à la ligne de fuite de l'isolateur.

### III.3.2 Préparation du modèle

Avant chaque série d'essai, la plaque isolante est bien nettoyée, puis imbibée de gaz oïl dans les endroits d'emplacement des électrodes en galvanisé, de manière à ce qu'aucun espace d'air ne reste entre la plaque et les électrodes. La plaque est ensuite essuyée avec du coton imbibé d'alcool pour éliminer toute trace de gaz oïl sur la plaque isolante. Le modèle est disposé horizontalement sur un support isolant.

### III.3.3 Les configurations adoptées aux essais

#### Configuration A : Sans Barriere

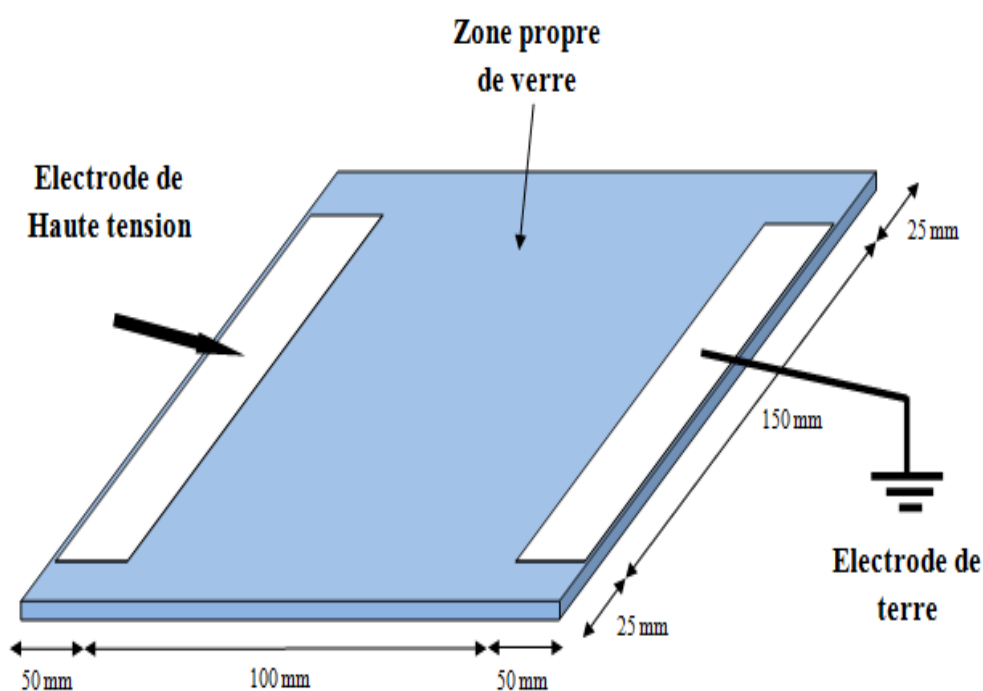


Figure III.7 Profil d'essai Sans Barriere

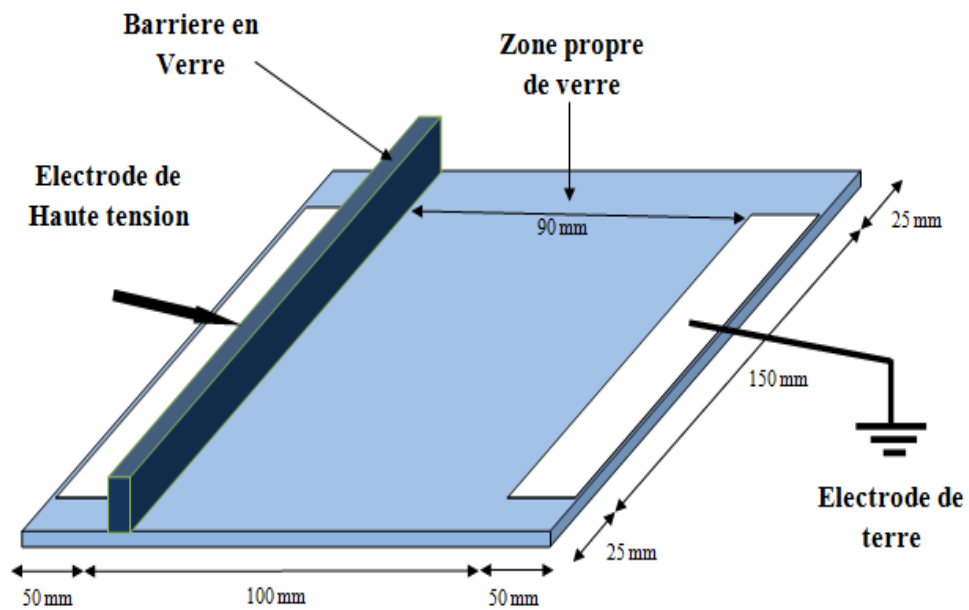
Configuration B : Avec Barrière côté haute tension

Figure III.8 Profile d'essai Avec Barrière côté haute tension

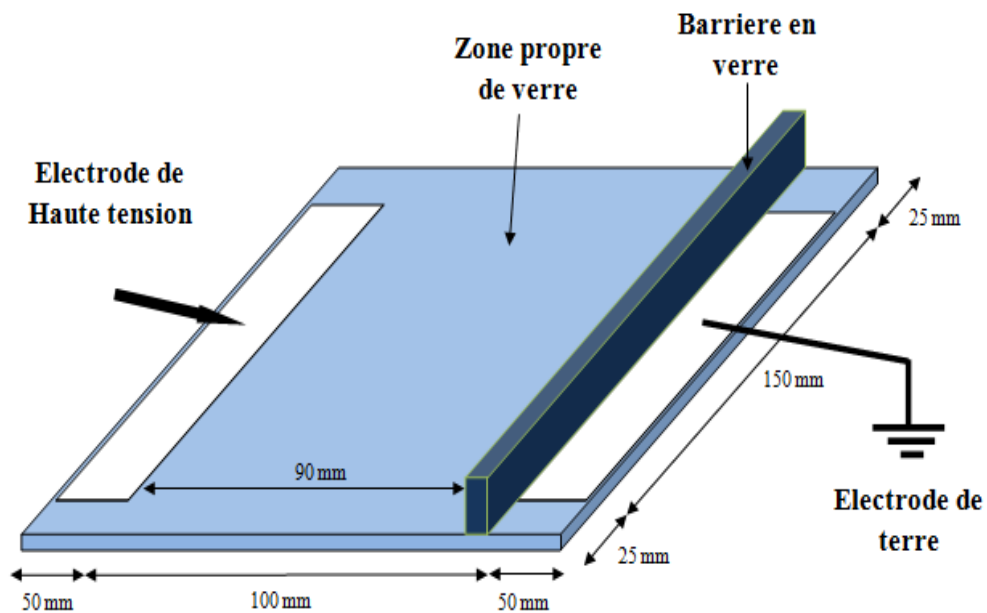
Configuration C : Avec un Barrière côté terre

Figure III.9 Profile d'essai Avec un Barrière côté terre

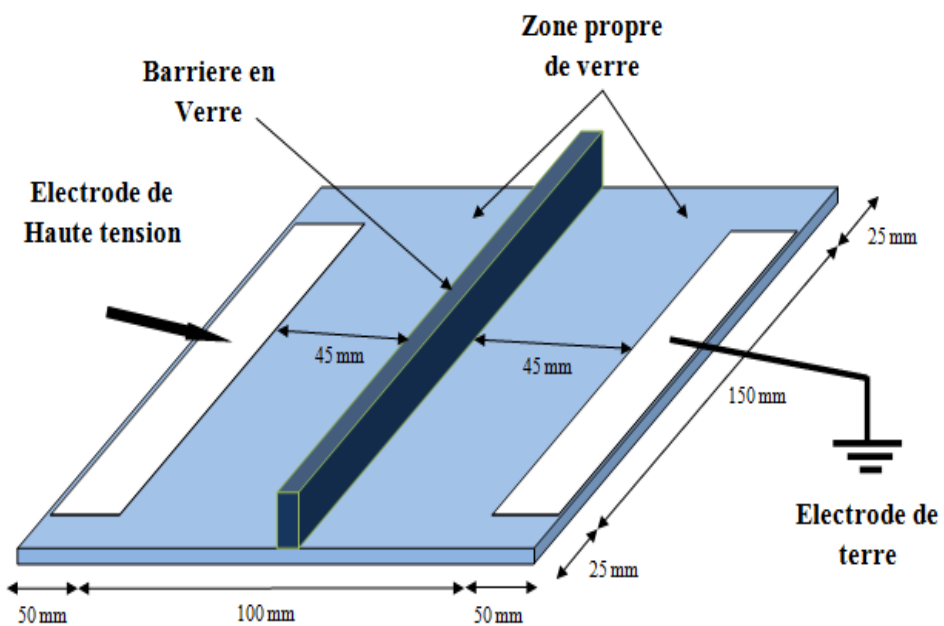
Configuration D : Avec une barrière au milieu

Figure III.10 Profile d'essai Avec une barrière au milieu

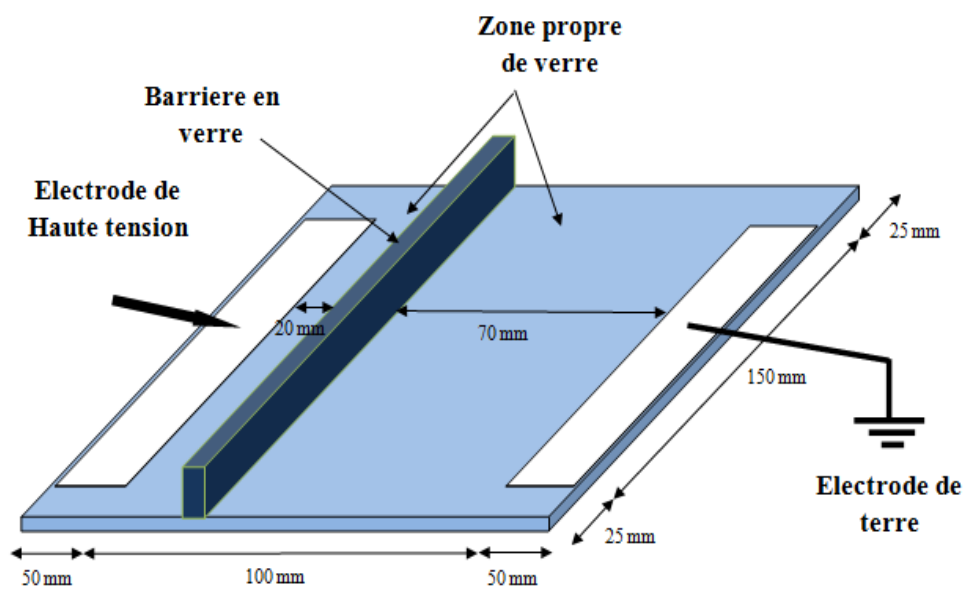
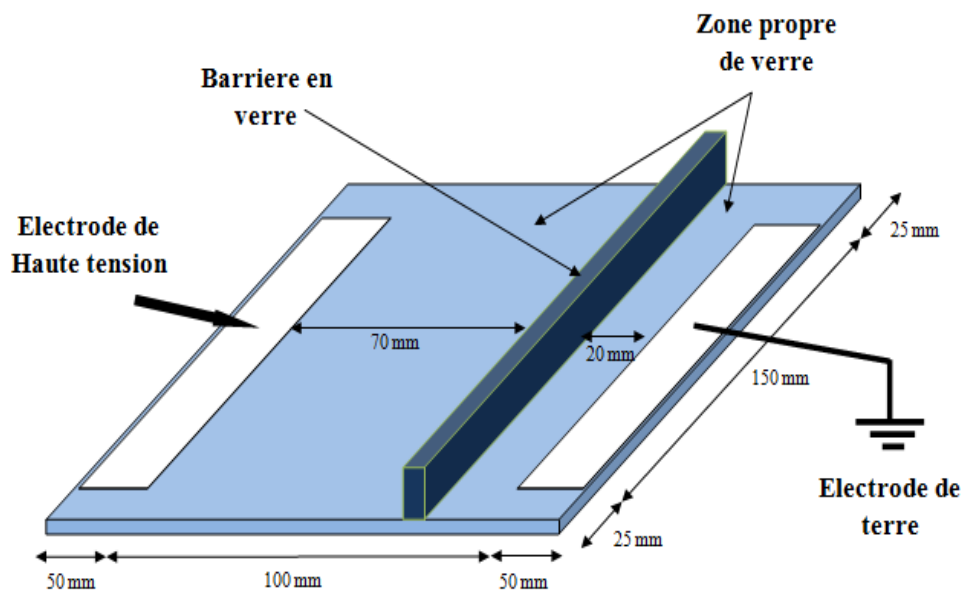
Configuration E : Avec une barrière placée à 20 mm d'électrode HT

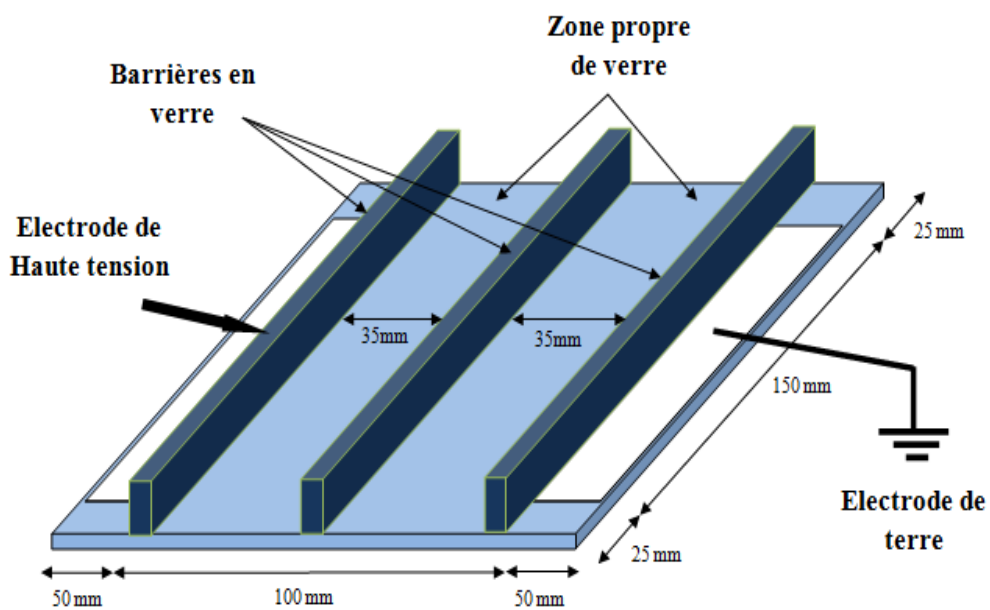
Figure III.11 Profile d'essai Avec une barrière placé à 20 mm d'électrode HT

Configuration F : Avec une barrière placée à 20 mm d'électrode de terre

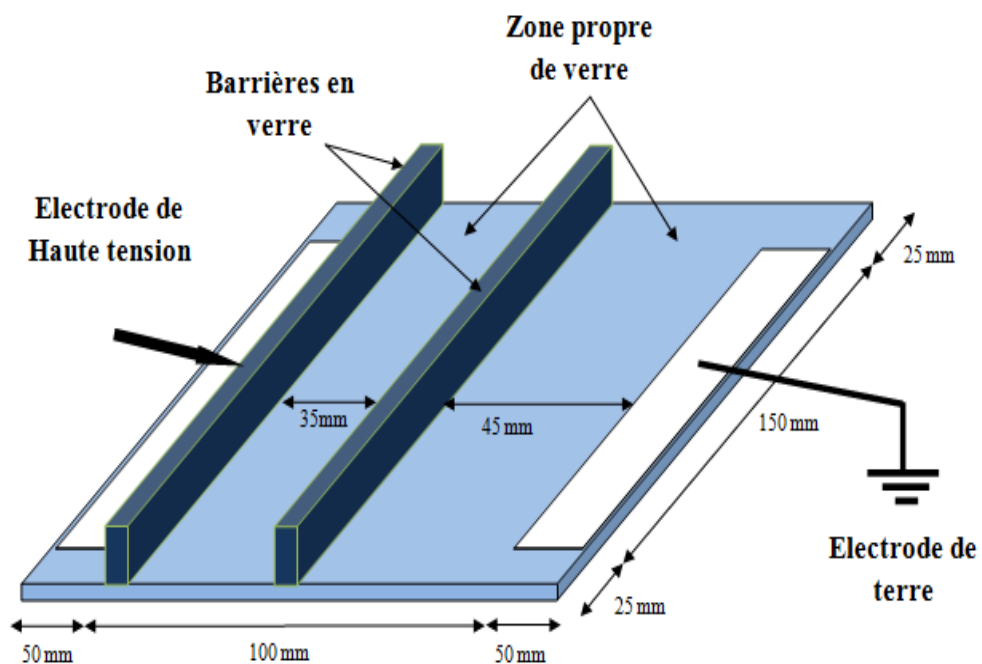


**Figure III.12** Profile d'essai Avec une barrière placé à 20 mm d'électrode de terre

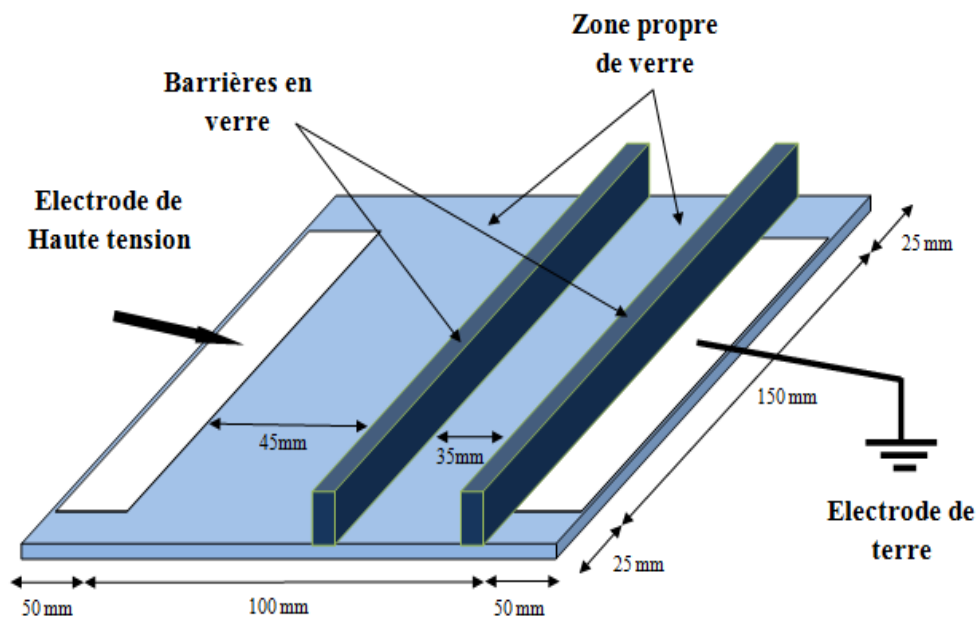
Configuration G : Avec trois(3) barrières



**Figure III.13** Profile d'essai Avec trois (3) barrières.

Configuration H : Avec 2 barrières (au milieu et côté haute tension)

**Figure III.14** Profile d'essai Avec 2 barrières (au milieu et côté haute tension)

Configuration I : Avec deux (2) barrières (au milieu et côté terre)

**Figure III.15** Profile d'essai Avec deux (2) barrières (au milieu et côté terre)

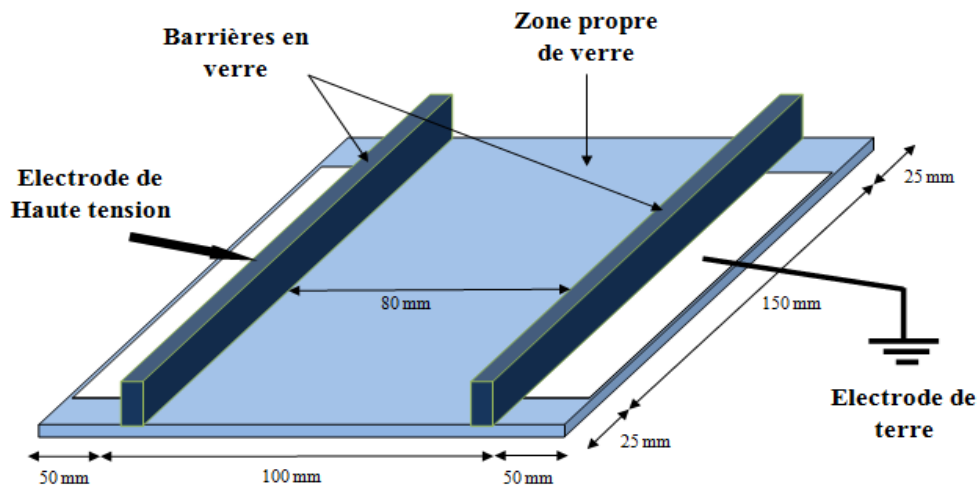
Configuration J: Avec deux (2) barrières au les deux côtés

Figure III.16 Profile d'essai Avec deux (2) barrières au les deux côtés

### III.4 Procédé d'essai

Ces essais consistent à étudier les évolutions du courant de fuite et de la tension de contournement en fonction des paramètres électro géométrique appliqués au modèle de laboratoire.

#### III.4.1 Mesure de la tension de contournement

La détermination de la tension de contournement (représentant la moyenne arithmétique des trois 3 valeurs) a été effectuée en variant la position et les nombre des barrières en verre.

Ces mesures permettent non seulement de déterminer l'influence de la barrière et de sa position sur la tension de contournement mais aussi de déterminer les paliers des tensions limites à appliquer pour la mesure du courant de fuite.

#### III.4.2 Mesure du courant de fuite

Pour différents paliers allant de 10kV à 40kV par pas de 10kVet pour chaque configuration, l'amplitude du courant de fuite est déterminée par l'intermédiaire de la tension captée aux bornes d'une résistance non inductive de  $50\Omega$  insérée dans le retour de terre. Pour cela, nous avons utilisé un oscilloscope à mémoire dont la bande passante est de 25MHZ.

Afin d'éviter toute influence des parasites dans le signal capté, nous introduisons la résistance dans une boite métallique en aluminium mise à la terre, formant ainsi un écran électrostatique.

### III.5 Correction atmosphérique

Pour chaque essai que on effectuée on prenant les conditions atmosphériques par un appareil spécial électronique qui est présenter par la figure III.17.



**Figure III.17** Instrument de mesure pour les conditions atmosphériques (Humidité, température et pression)

#### III.5.1 Influence de la densité relative de l'air

La température et la pression, influent sur la rigidité diélectrique de l'air. Dans la CEI 60 (Commission d'Electrotechnique Internationale), nous trouvons la notion de densité relative qui est définie comme étant le rapport de la densité de l'air dans les conditions de pressions (P) et de température (T), à la densité de l'air dans les conditions atmosphériques de référence dites normales, c'est à dire:

- ❖ Température ambiante  $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$
- ❖ Pression atmosphérique  $P_0 = 1013 \text{ mbar} (= 760 \text{ mm Hg})$

$$\partial = 0.289 \frac{p}{273+T} \quad (\text{III.1})$$

$\partial$ : Facteur de correction de la densité du l'air.

La pression P est en mbar et la température T en  $^{\circ}\text{C}$

Cette équation III.1 est utilisée pour convertir la tension de décharge  $U_m$  mesurée dans les conditions atmosphériques d'essais (température T et pression P) à la valeur  $U_{cr}$  qui aurait été obtenue dans les conditions normales ( $T_0$  et  $P_0$ ) :

$$U_{cr} = \frac{U_m}{(\theta)^n} \quad n \leq 1 \quad (\text{III.2})$$

L'exposant n dépend de la forme d'onde, de la longueur d'intervalle et de la position des électrodes.

### III.5.2 Influence de l'humidité

La tension d'amorçage est particulièrement moins sensible à la variation de l'humidité dans le cas des ondes rapides ou très rapides. C'est le cas pour les chocs de foudre. Ainsi, nous ne tiendrons pas compte de ce facteur. Durant nos essais l'humidité relative variait entre 34% et 56%.

## III.6 Résultats et interprétations

Nous examinons dans ce qui suit l'effet de la barrière en verre sur le comportement du modèle de laboratoire. Les résultats expérimentaux concernent les évolutions de la tension de contournement, du courant de fuite.

Différents paramètres ont été appliqués au modèle expérimental en l'occurrence les nombres de barrières, sa position par rapport aux électrodes de (terre et HT) et le niveau de tension appliqué.

### III.6.1 Tension de contournement

#### III.6.1.1 Visualisations réels des arcs de contournement en laboratoire de haute tension



« A »



« B »



« C »



« D »



« E »



« F »



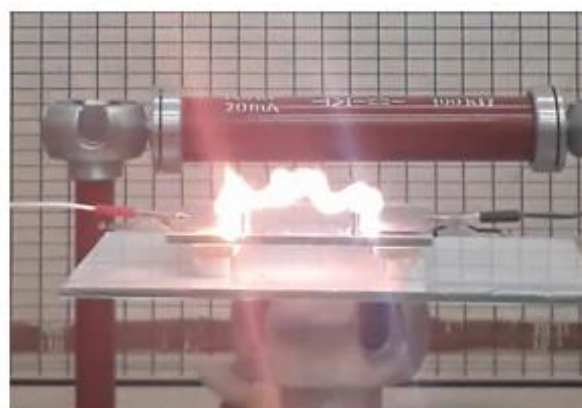
« G »



« H »



« I »



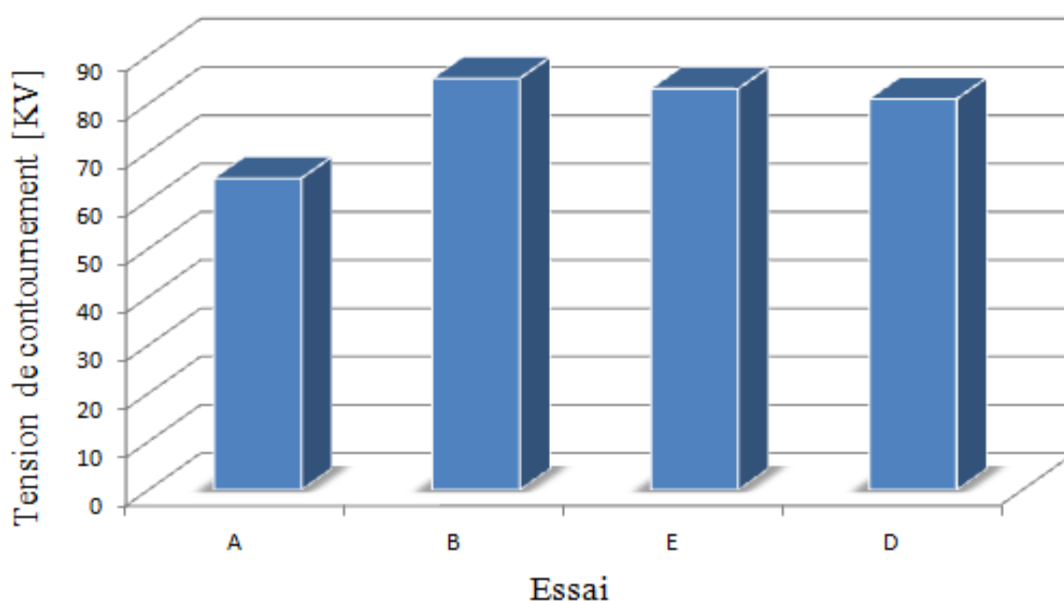
« J »

Figure III.18 Photo réel de contournement des différentes configurations

### III.6.1.2 Un seule barrière cote haute tension

L'histogramme en figure (III.19) représente la variation de la tension de contournement pour chaque position de barrière (côte HT).

La tension de contournement s'accroît avec la diminution de la distance entre la barrière et l'électrode de la haute tension.



**Figure III.19** Histogramme de tension de contournement pour l différentes distance entre la barrière et l'électrode de la Haute Tension Configuration «A, B, E, D»

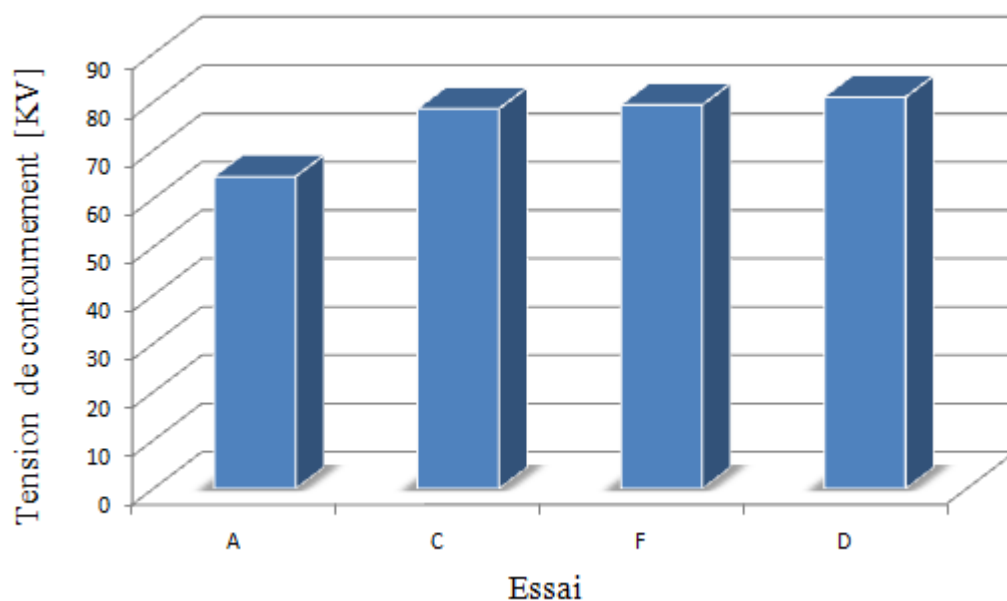
Configuration	A	B	E	D
Distance électrode HT- Barrière [mm]	Sans barrière	0	20	45

**Tableau III.1** Distance barrière-électrode HT

### III.6.1.3 Un seule barrière côte terre

L'histogramme à la figure (III.20) montre la variation de la tension de contournement pour différentes positions de barrière (côte terre).

La tension de contournement augmente légèrement avec l'augmentation de la distance de barrière- électrode de terre.



**Figure III.20** Histogramme de tension de contournement pour différentes distance entre la barrière et l'électrode de terre Configuration «A, C, F, D»

Configuration	A	C	F	D
Distance électrode de terre-Barrière [mm]	Sans barrière	0	20	45

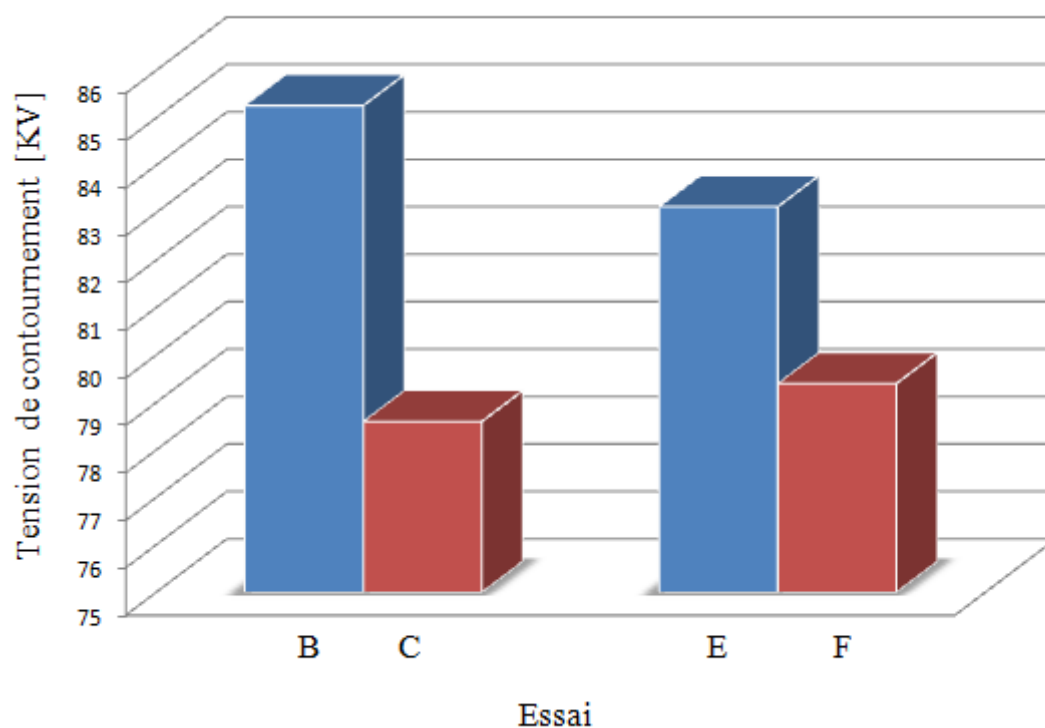
**Tableau III.2** Distance barrière-électrode de terre

#### III.6.1.4 Influence d'électrode avec une seule barrière

L'historgramme en figure (III.21) représente l'influence de nature d'électrode sur la tension de contournement.

La nature d'électrode joue un rôle majeur dans l'influence sur la tension de contournement.

La présence de la barrière côté l'électrode de haute tension très efficacité comparé à côté terre.



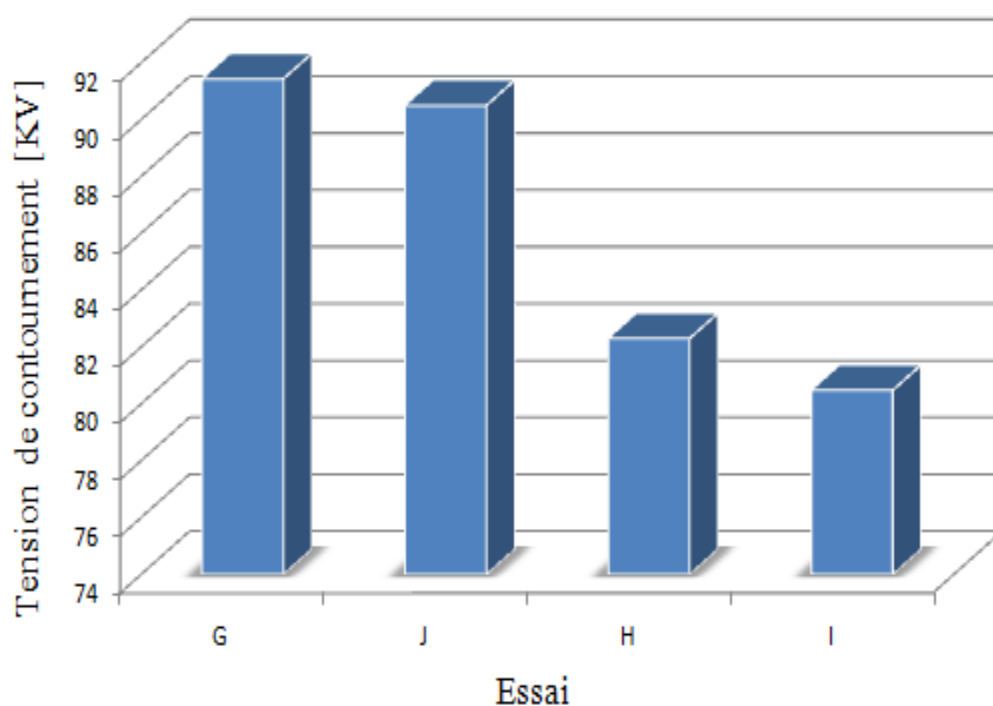
**Figure III.21** Histogramme de Tension de contournement en fonction d'électrode,  
Configuration « B, C, E, F »

### III.6.1.5 Influence du nombre des barrières

L'historgramme de la figure (III.22) montre la variation de la tension de contournement en fonction du nombre des barrières et leurs positions.

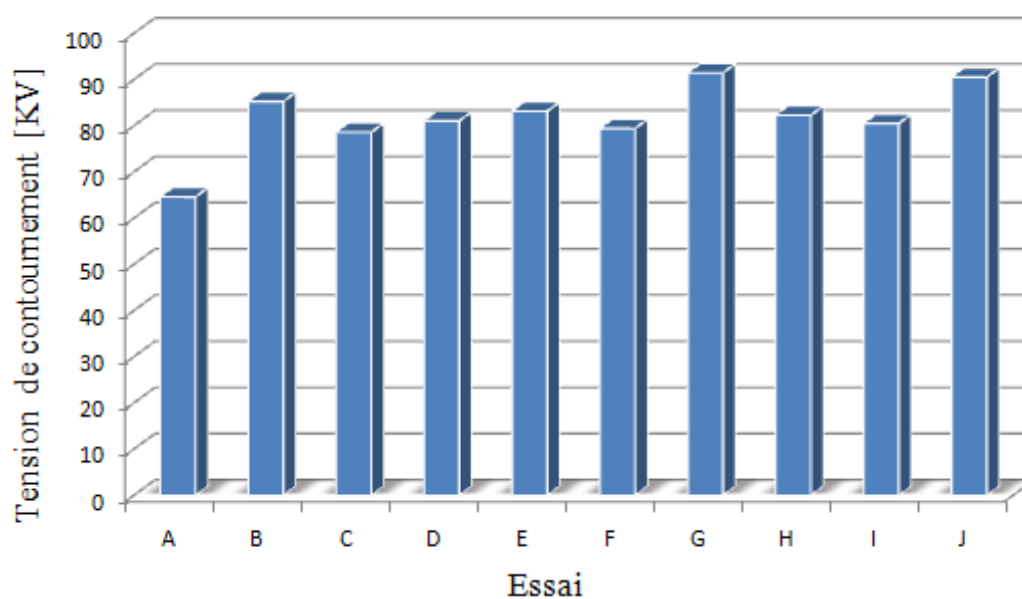
On note que :

- La meilleure tension de contournement est celle de la configuration G.
- La configuration J : après la réduction d'une barrière, la tension de contournement obtenue est presque identique de celle de la configuration G.



**Figure III.22** Histogramme de Tension de contournement en fonction de nombres et positions des barrières,  
Configuration « G, J, H, I »

L'historgramme suivant présente la variation de la tension de contournement du chaque configuration.



**Figure. III.23** Histogramme de Tension de contournement pour toutes configurations  
« À, B, C, D, E, F, G, H, I, J »

Configuration	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tension de contournement [KV]	<b>64.57</b>	<b>85.26</b>	<b>78.6</b>	<b>81.03</b>	<b>83.13</b>	<b>79.4</b>	<b>91.43</b>	<b>82.3</b>	<b>80.48</b>	<b>90.5</b>

**Tableau III.3** Tension de contournement pour toute configuration

- Le meilleur résultat est la tension de contournement de la configuration **G** qui contient trois barrières dont une barrière au niveau de l'électrode HT et l'autre au niveau de l'électrode de terre et le troisième au milieu.
- La configuration **J** : après la réduction d'une barrière, la tension de contournement obtenue est presque identique de celle de la configuration **G**.

### III.6.2 Courant de fuite

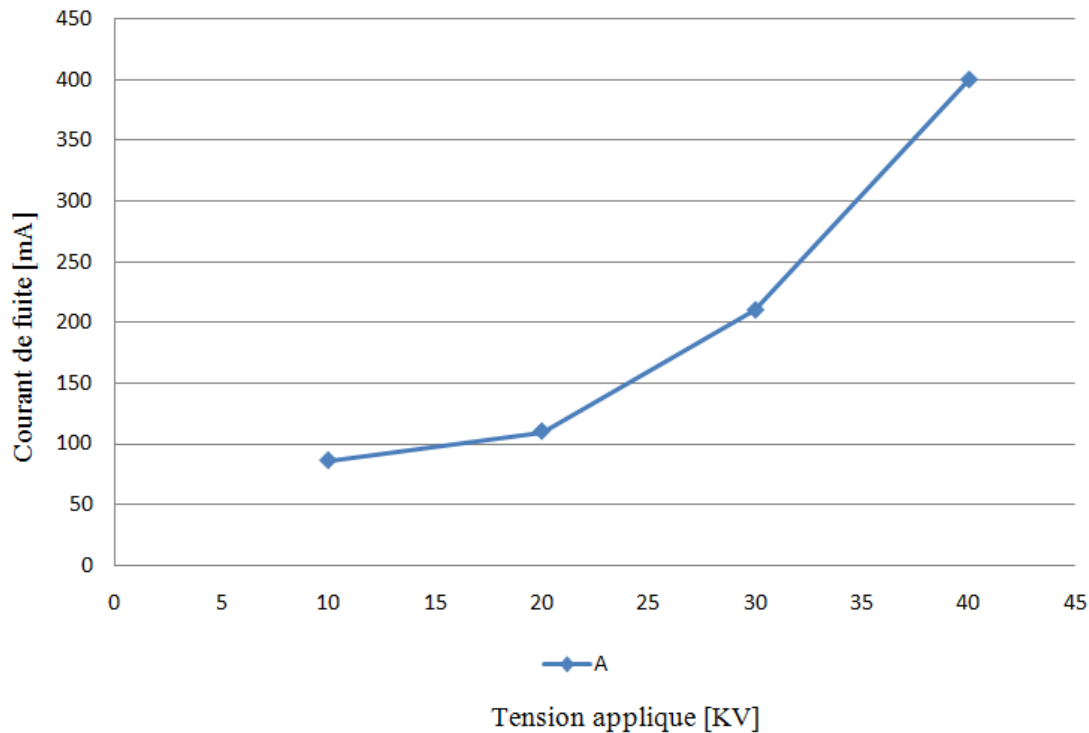
Dans ce qui suit, nous examinons l'effet de la position et de la largeur de la barrière sur l'amplitude du courant de fuite. Pour cela, différents paliers de tension (de 10 à 40kV avec un pas régulier de 10kV) ont été considérés.

#### III.6.2.1 Influence de la tension appliquée

La figure(III.24) présente les variations du courant de fuite en fonction de la tension appliquée, pour modèle sans barrière (configuration A).

Nous remarquons que le courant de fuite augmente avec la tension appliquée.

Ce résultat est prévisible, puisque l'augmentation de la tension appliquée augmente la valeur de courant de fuite.



**Figure III.24** Variation de Courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour la configuration A  
(Sans barrière)

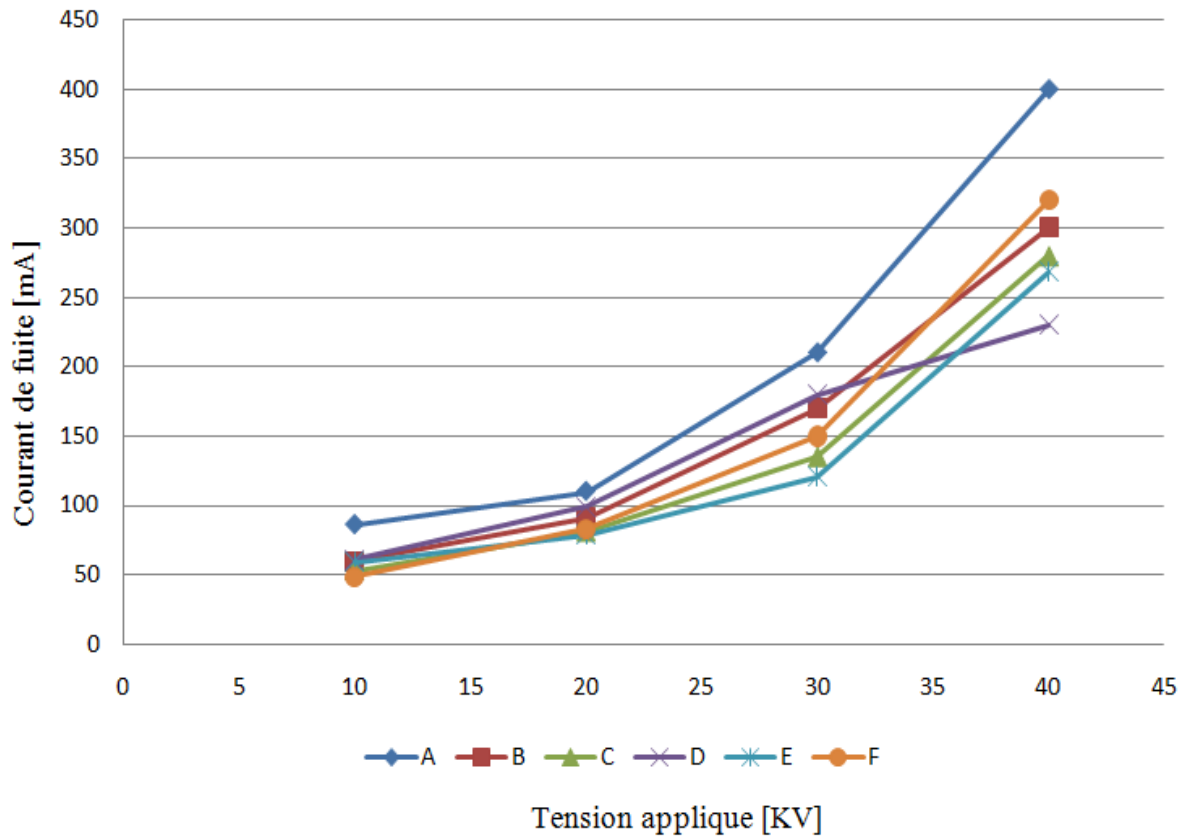
### III.6.2.2 Influence de la position d'une seule barrière

Pour une position donnée de la barrière par rapport l'électrode de haute tension, nous illustrons aux figures (III.25) les variations du courant de fuite en fonction de la tension appliquée, pour différentes distance barrière-électrode HT.

Nous remarquons que le courant de fuite augmente en proportion avec la tension appliquée. Cette augmentation presque identique pour toutes les positions.

Ces résultats est prévisible, puisque l'augmentation de la ligne de fuite augmente la résistance équivalent vue par les deux électrodes de la plaque et augment par conséquent sa tenue diélectrique.

La distance entre la barrière et l'électrode HT ne joue pas un grand rôle dans la variation de courant de fuite, puisque les lignes de fuite sont les même.



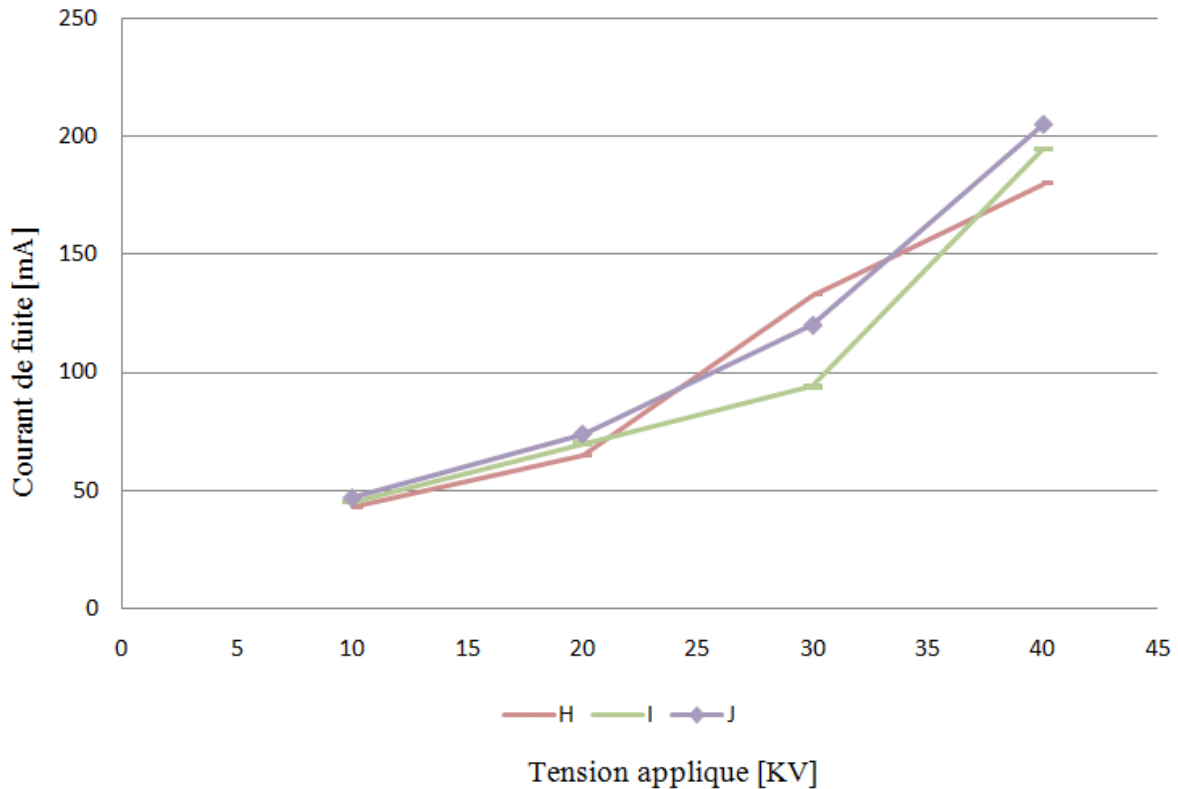
**Figure III.25** Variation du Courant de fuite en fonction de la Tension appliquée, Pour différentes distance barrière-électrode (terre, HT) configuration « B, C, D, E, F »

### III.6.2.3 Influence de nombres des barrières

#### III.6.2.3.1 Cas deux barrières

Pour cas des deux barrières entre les électrodes, nous illustrons aux figures (III.26) les variations du courant de fuite en fonction de la tension appliquée, Nous remarquons que le courant de fuite augmente en proportion avec la tension appliquée, mais la valeur de courant est moins, par rapport les cas d'une seule barrière.

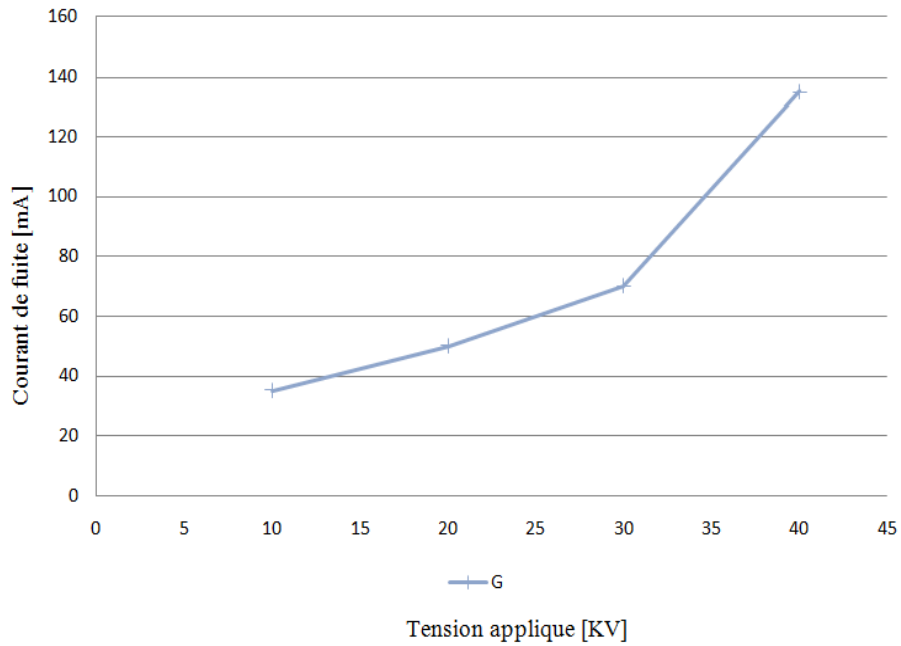
Ces résultats est prévisible, puisque l'augmentation de la ligne de fuite augmente la résistance équivalent de la plaque et augment par conséquent sa tenue diélectrique. La ligne de fuite est plus longue par rapport le cas à une seule barrière.



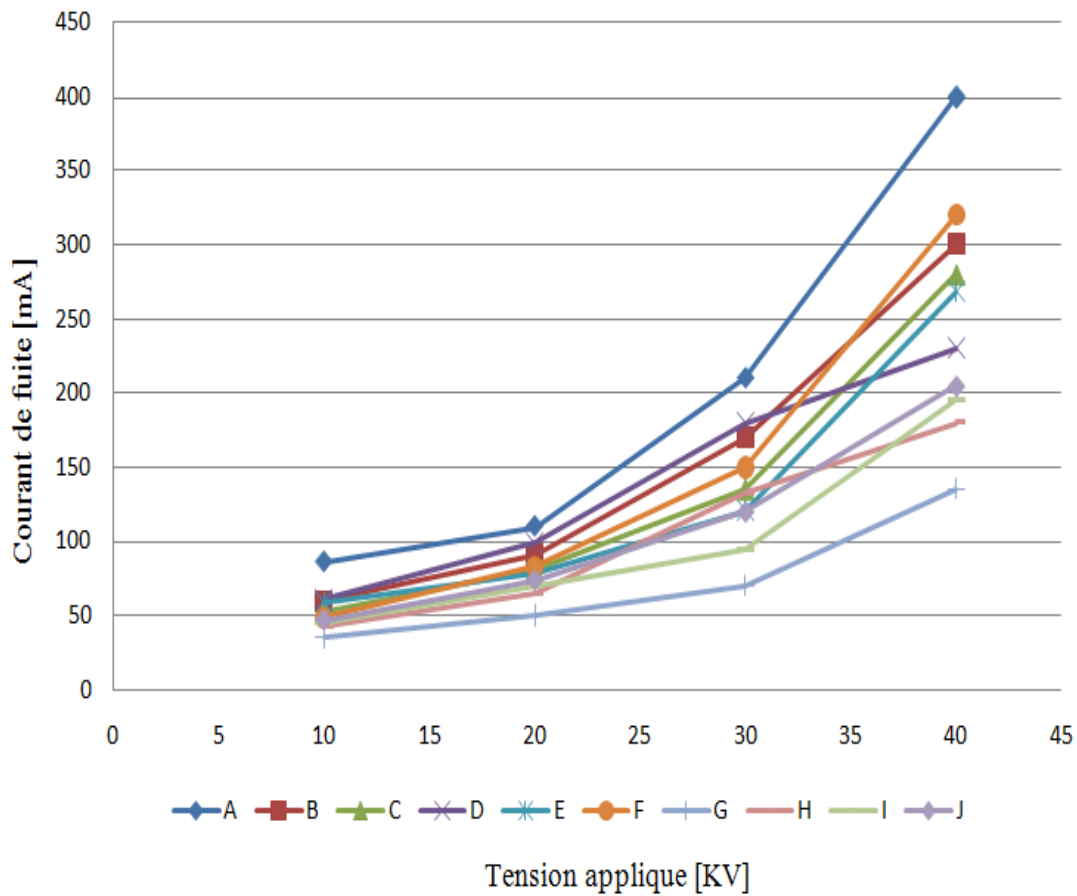
**Figure III.26** Variation du Courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour deux barrières, Configuration « H, I, J »

### III.6.2.3.2 Cas de trois (03) barrières

Pour trois barrières entre le deux électrodes, nous illustrons aux figures (III.27) la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée. Nous remarquons que le courant de fuite augmente en proportion avec la tension appliquée, toute augmentation en nombre de barrières, implique une augmentation à ligne de fuite, la résistance équivalente du modèle, alors la rigidité d'isolateur examinée.



**Figure III.27** Variation du Courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour trois barrières, configuration (G)



**Figure III.28** Variation du courant de fuite en fonction Tension appliquée, Pour toutes les configurations (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)

Le bon configuration obtenu dans ce travail, non remontant qui telle configuration avois (G) a une rigidité diélectrique, aussi une grande résistance au passage de courant.

	Tension Applique [kV]	10	20	30	40
Courante de fuite [mA]	A	86.3	110.4	209	399.89
	B	69.9	91.3	169.14	300.40
	C	53.33	80.5	134.2	279.8
	D	61.63	99.8	180	230.1
	E	59.5	79.3	119.8	268.4
	F	49.18	83	149.2	319.93
	G	35.66	50.5	69.7	135.3
	H	43.25	65.14	133	178.96
	I	45.6	70.3	94.4	195
	J	47.2	74.45	119	204.5

**Tableau III.4** courant de fuite en fonction de tension applique pour toutes configurations

### III.7 Conclusion

Le travail expérimental, que nous avons effectué, a un objectif d'étudier le comportement d'un modèle expérimental par l'ajout des barrières en nombres et positions différentes, lorsque une tension alternative lui est appliquée. A travers de cette étude, nous avons retenu les conclusions suivantes :

- La présence d'une barrière isolante dans une surface de modèle améliore la tenue diélectrique du système.
- La position et les nombres des barrières jouent un rôle sur la tension de contournement.
- En fonction de la distance barrière-électrode de HT, la tension de contournement augmente avec la diminution de la distance.
- La nature d'électrode joue un rôle majeur sur la tension de contournement.
- Le courant de fuite augmente en proportion avec l'augmentation de la tension appliquée. Cette évolution est quasi-linéaire pour les tensions que nous avons considérées.
- Le courant de fuite diminue avec l'augmentation des nombres de barrières, (ligne de fuite augmente).
- La position de la barrière n'a pas d'influence sur le courant de fuite (la ligne de fuite est reste constante donc l'inductance transversale constante).

---

## *Conclusion Générale*

---

## Conclusion générale

Dans le cadre de notre étude, les essais effectués au Laboratoire de haute tension de l'université d'el oued, a pour objectif d'étudier le comportement d'un modèle expérimental par l'ajout des barrières isolant en verre en nombres et positions déferents sur la surface de ce modèle, lorsque une tension alternative lui est appliquée.

Lors des essais expérimentaux, nous avons suivi l'influence de barrière isolante sur la rigidité diélectrique de la surface d'isolateur.

Les résultats essentiels émanant de ce travail peuvent être résumés comme suit :

- ❖ Le système avec barrière est plus rigide que celui sans celle-ci quelle que soit la configuration considérée. la tension de contournement augmente, quelle que soit la position et les nombre de la barrière;
- ❖ La rigidité diélectrique du système est maximale lorsque en ajoute trois barrières (une barrière au milieu et deux sur les deux côtes), mais après la réduction de la barrière de milieu, la tension de contournement obtenue est presque identique ;
- ❖ Cas d'une barrière : La rigidité diélectrique du système est maximale lorsque la barrière est située à (0%) de la distance entre la barrière et l'électrode de la haute tension, la tension de contournement diminue par l'augmentation de la distance entre la barrière et l'électrode de la haute tension. (l'emplacement de la barrière côte électrode haute tension est très efficace comparée au côte terre) ;
- ❖ La nature de l'électrode à une influence significative sur la tension de contournement ;
- ❖ Le courant de fuite est proportionnel à l'augmentation de la tension appliquée. Cette évolution est quasi-linéaire pour les tensions que nous avons considérées ;
- ❖ Le courant de fuite diminue avec l'augmentation du nombre de barrières, (ligne de fuite augmente) ;
- ❖ La position de la barrière n'a pas d'influence sur le courant de fuite (la ligne de fuite reste constante donc l'inductance transversale constante) ;

---

## *Références Bibliographiques*

---

- [1] S. Bouazabia, T. Chikhaoui, « Méthodes d'Essais sur des Isolateurs Pollués dans les Conditions Désertiques », Projet de Fin d'Etudes, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juin 1988.
- [2] P. Claverie, Y.Porcheron, « Les Phénomènes de Pollution des Isolateurs et l'Isolément des Ouvrages En Régions Polluées », RGE, Tome 82, No. 3, pp. 166-194, Mars 1973, Paris, France.
- [3] H. Zhang, R. Hackam, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in PVC", IEEE Trans. on Elect. Insul, Vol. 6, N°. 1, pp. 73 - 83, February 1999.
- [4] C. LEROY, 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.
- [5] S. VITET, «La pollution des isolateurs,» EDF-Epure, Juillet 1990.
- [6] Tlidjane Aissa, Mekhalfia Riadh et Kebaili hamza « Etude du phénomène de contournement des isolateurs pollues sous tension continue » mémoire d'ingénieur d'état en génie électrique, université de M'sila 2009/2010.
- [7] Abdelouahab Mekhaldi « Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz » Thèse de doctorat d'Etat en Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger 1999.
- [8] Adel Abimouloud « Comportement d'une surface isolante partiellement polluée sous tension alternative 50Hz » thèse de magister en génie électrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger décembre 1999.
- [9] S. Medjhed, M. Eblaiden, « Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de la pollution d'un site», mémoire fin d'étude DEUA en électrotechnique promotion 2005, Univ de Bejaia.
- [10] A. Chabloz, «Technologie des matériaux à l'usage des professions de l'électricité, 1986».
- [11] A. Anton et J. L. Steinles, "Micas et produits micacés", Techniques de l'Ingénieur, référence D2360, Toulouse, Mai 1997.
- [12] Carette L., Pouchol J.M., Silicones, dans : Traité de plastiques et composites: Techniques de l'ingénieur, 2001, A3475, pp.1-18.
- [13] Hardman B., Torkelson A., Silicones, in: Encyclopedia of polymer science and engineering, New-York: John Wiley & Sons, 1989, pp.204-308.

- [14] K. OUERDANE, Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en régions littorales, Alger: projet de fin d'études, département d'électrotechnique, université des sciences et technologies houari boumediene, bab Ezzouar, juin 1998.
- [15] D.DUMORA, «Matériaux isolants cramiques en électrotechnique,» *Techniques de l'ingénieur*, p. D275, 1975.
- [16] «Insulation co-ordination,» *IEC*, pp. 71-1, 1993.
- [17] J. DUNLAP, «Performances des isolateurs pollués pour les lignes de haut tension,» chez *CIGRE, Rapport 33-05*, France, 1996.
- [18] S. GENBERG, «Isolateur en céramique et en synthétique,» EDF-EPURE, avril 1998.
- [19] Abdelouahab MEKHALDI «Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz» Thèse de doctorat d'Etat en Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique Alger 1999.
- [20] Souleiman BOUCHOUKH Badraeddine SAYEH LAMBARK "Influence de la Pollution Artificielle sur la Tension de Contournement d'une Chaîne d'Isolateurs MT" Le : 08 /06/2014.
- [21] J.P. Detrie et P. Jarrault : « La pollution atmosphérique. », Dunod, Paris, France, 1969.
- [22] F. ROBERT, *Les isolateurs en électrochimie*
- [23] S. Gubanski, «Diagnostic Methods for Outdoor Polymeric Insulators,» *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 14, n° 15, October 2007.
- [24] A. S. BOUHADJAR, Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes et modélisation, alger: Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger, Juin 2008.
- [25]. A.Tilmatine, « Isolateurs des lignes aérienne haute tension », cours chapitre 6, juin 2002.
- [26] B. Hammoum, A. Kerbouche "Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien" Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2007
- [27] X. Ducouret " lignes aériennes : matériels" techniques de l'ingénieur D4423
- [28]. BENKHELI Mohammed El- Maâmoun, « Élaboration d'un Modèle Dynamique de Contournement d'un Isolateur Pollué sous une Tension Impulsionnelle», mémoire

- de fin d'étude vue de l'obtention de diplôme de master en génie électrique, promotion 2016, Université M'sila.
- [29] R. Bouzeroura « Etude du développement d'arcs électriques parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue », Mémoire de magister, promotion 2009, Université de Bejaia.
  - [30] LeRoy et Cie, «Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions», Collection de la direction des études et recherches d'électricité de France, Paris 1984.
  - [31] R. Coello, B. Aladenize : "Les diélectriques", livre, Edition Hermès, Paris.1986
  - [32] S. DIAMPENI KIMBAKALA « modélisation dynamique des décharges se propageant sur des surfaces isolantes polluées avec des pots discontinus sous différentes formes de tension » Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale de Lyon, France, 2007.
  - [33] A. S. Bouhadjar, M. Amokrane Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur par technique d'ondelettes et modélisation Mémoire du projet de fin d'études laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger. Juin 2008
  - [34] M. Ben alia « modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents » mémoire de magister en génie électrique 2008, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger.
  - [35] A. Mekhaldi, « Etude des phénomènes de conduction et de décharges électriques sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz », Thèses de Doctorat, ENP, Département de Génie Electrique, Laboratoire de haute tension, Septembre 1999
  - [36] M. Slama « contribution a 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 THT a courant alternatif » .mémoire de magister ; promotion 2002, université Mohamed Boudiaf, Oran.
  - [37] H, Matsuo, T. Fujishima and K. Hatase «Relation between leakage impedance and equivalent salt deposit density on an insulator under a saltwater spray" IEEE Trqns. On Elect, Vol. 6, nr. 1, pp 117-121, February 1999.
  - [38] R. Chaarani, << Etude de l'influence des caractéristiques des isolateurs sur les performances électriques dans des conditions de givrage >>, Thèse de doctorat, hiver 2003, Québec, Canada.

- **[39]** C. Gray : les propriétés diélectriques de l'air et des THT, collection de la direction des études et des recherches d'EDF, Eyrolles 1984.
- **[40]** CEI 815 << Guide pour le choix des isolateurs sous pollution >>1986.

## Résumé :

Dans ce travail expérimental, nous étudions l'effet d'une barrière isolant en verre, placée dans le trajet d'une décharge électrique sur le comportement d'un modèle de laboratoire, sous tension alternative à fréquence industrielle. Les résultats d'essais concernent la tension de contournement, le courant de fuite. Le modèle expérimental est soumis à divers paramètres électro-géométrique à savoir le niveau de tension appliqué, les nombres des barrières ainsi que leur position par rapport aux électrodes.

**Mots clés :** barrières, isolateur, contournement, courant de fuite.

---

## Abstract:

In this experimental work, we study the effect of insulation vitreous barrier, placed in the electrical discharge path in the laboratory plan model behavior, under alternative voltage at industrial frequency. The test results concern the flashover voltage, the leakage current. The model is submitted to different electro-geometrical parameters such as the level of the applied voltage, and number of barrier as well as its position with regard to the electrodes.

**Key words:** barrier, insulator, workaround, leakage current.

---

## ملخص:

في هذا العمل التجريبي ندرس تأثير حاجز زجاجي على سلوك نموذج مخبري للعازل، هذا الحاجز موضوع في طريق التفريغ الكهربائي تحت توتر متناوب ذي تردد صناعي، تخص النتائج التجريبية توتر الإحاطة و تيار التسرب. يخضع النموذج المخبري إلى عدة عوامل كهر وهندسية تتمثل في مستوي التوتر و عدد الحواجز وكذا وضعيتها بالنسبة للأقطاب.

**كلمات مفتاحية:** حاجز، عازل، إحاطة، تيار التسرب.