

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D' INFORMATIQUE  
DEPARTEMENT D' ELECTROTECHNIQUE

## Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseaux électriques

*Présenté par*

**Silya BELLID**

**Katia AMAOUZ**

Thème

# Effet de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative

*Mémoire soutenu publiquement le 28/06/2017. Devant le jury composé de :*

**M Salah HADDAD**

Professeur, UMMTO, Président

**M M'hand MEKIOUS**

MAA, UMMTO, Encadreur

**M Mohammed MEGHERBI**

Professeur, UMMTO, Examineur

**Mme F. BITAM-MEGHERBI**

Professeur, UMMTO, Examinatrice

# *Remerciements*

*Le présent travail est effectué au laboratoire de haute tension de l'Universités Mouloud Mammeri sous la Direction **MEKIOUS M'hand**. Nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude pour sa patience et sa disponibilité, ainsi que pour ses conseils précieux et ses encouragements qui ont permis de mener à terme ce travail.*

*Nous tenons à remercier Monsieur **Hadad Salah**, Professeur à l'UMMTO pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'être président du jury.*

*Nos vifs remerciements vont à Monsieur **Mohammed MEGHERBI**, Professeur à l'UMMTO pour avoir accepté de juger ce travail.*

*Nos remerciements vont également à Mme **BITAM-MEGHERBI Ferroudja**, Professeure à l'UMMTO pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et d'avoir accepté de faire partie de jury.*

*Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel du département de d'électrotechnique et ses étudiants ainsi que ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicaces

## ***Je dédi ce modeste travail:***

*A ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple du sacrifice du dévouement, et de l'honnête.*

*A mon frère Hamid.*

*A mes sœurs Linda, Ouardia, Hassina et ma petite nièce Alycia.*

*A mes oncles Madjid, Djamel, Mourad, Nadir.*

*A mes chers amis, chez lesquels j'ai trouvé réconfort et soutien dans les moments les plus pénibles, Boussad, Djegdjiga.*

*A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.*

*A toutes la promotion d'électrotechnique 2017.*

*Silya*

# Dédicaces

*Je dédi ce modeste travail à :*

*A mes parents qui m'ont toujours soutenu.*

*Mes très chers frères : Salah et Idir,*

*Ma très chère sœur Lynda et son fils Idris,*

*Mon mari Ahmed ainsi que toute sa famille,*

*Tous mes amis*

*A tous ceux qui me sont chers*

*A toutes la promotion d'électrotechnique 2017.*

# *Sommaire*

---

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I Généralités sur les isolateurs</b> .....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Historique.....	3
I.3 Les isolateurs.....	4
I.3.1 Définitions .....	4
I.4 Fonctionnement d'un isolateur .....	5
I.5 Constitution d'un isolateur.....	6
I.6 Caractéristique d'un isolateur .....	6
I.7 Différents types d'isolateurs .....	7
I.7.1 Isolateurs supports .....	7
I.7.2 Isolateurs de traversées .....	8
I.7.3 Isolateurs de lignes aériennes .....	8
I.7.3.1 Isolateurs rigides .....	8
I.7.3.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne .....	9
I.8 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs .....	12
I.8.1 Céramique.....	12
I.8.2 Verre.....	12
I.2.1 Matériaux synthétiques .....	13
I.9 Contraintes subites par l'isolateur .....	13
I.9.1 Contraintes mécaniques .....	14
I.9.2 Contraintes climatique et d'environnement .....	14
I.9.3 Contraintes électriques .....	14
I.10 Choix des isolateurs .....	14
I.11 Classification des isolateurs en Haute Tension.....	15
I.12 Conclusion.....	15

<b>Chapitre II Pollution des isolateurs .....</b>	<b>16</b>
II.1 Introduction .....	16
II.2 L'origine de la pollution.....	17
II.3 Définitions .....	17
II.4 Formation et répartition de la couche de pollution .....	18
II.4.1 Non-uniformité longitudinale par groupe .....	18
II.4.2 Non-uniformité transversale .....	19
II.4.3 Non-uniformité longitudinale périodique .....	19
II.5 Sources de pollution .....	19
II.5.1 Pollution naturelle .....	19
II.5.1.1 Pollution marine .....	20
II.5.1.2 Pollution désertique .....	20
II.5.1.3 La pluie forte .....	20
II.5.1.4 Pollution à l'intérieur des terres .....	21
II.5.2 Pollution industrielle (artificielle) .....	21
II.5.3 Pollution mixte .....	21
II.6 Influence des conditions climatiques sur la distribution de la pollution.....	22
II.7 Les phénomènes climatiques exceptionnels .....	22
II.8 Sévérité de pollution d'un site .....	23
II.9 Méthodes de mesure de la sévérité de pollution .....	23
II.10 Niveaux et types de pollution .....	24
II.11 Techniques de lutte contre la pollution .....	25
II.11.1 Allongement de la ligne de fuite .....	25
II.11.2 Isolateurs plats .....	25
II.11.3 Graissage périodique .....	25
II.11.4 Revêtement silicone .....	25
II.11.5 Les isolateurs composites .....	26
II.11.6 Nettoyage des isolateurs .....	26
II.12 Conséquence de la pollution .....	27
II.12.1 Arc non localisé .....	27
II.12.2 Arc fixe .....	27

II.12.3 Contournement des isolateurs .....	28
II.12.4 Corrosion des isolateurs .....	28
II.13 Contournement des isolateurs pollués .....	30
II.14 Méthode d'essais sous pollution .....	33
II.14.1 Essais sous pollution naturelle .....	33
II.14.2 Essais sous pollution artificielle.....	33
II.14.2.1 Méthode de la couche solide .....	33
II.14.2.2 Méthode du brouillard salin .....	34
II.14.2.3 Méthode de pollution liquide .....	34
II.15 Conclusion.....	34
 <b>Chapitre III Techniques expérimentales et résultats .....</b>	<b>35</b>
III.1 Introduction.....	35
III.2 Dispositif expérimental .....	35
III.3 Prescription générales pour les essais.....	36
III.3.1 Nettoyage de l'isolateur .....	36
III.3.2 Application de la couche de pollution .....	37
III.4 Essais sous pollution artificielle .....	37
III.4.1 Protocole d'essais .....	37
III.4.2.1 Evolution de tension de contournement .....	37
III.4.2.2 Tension de contournement .....	38
III.4.2.3 Mesure de la tension de contournement pour différents niveaux de pollution.....	38
III.5 Isolateurs utilisés .....	38
III.5.1 Isolateur U40 B .....	39
III.5.2 Isolateur U120 B.....	40
III.6 Facteurs de correction atmosphérique. ....	41
III.6.1 Atmosphère normale.....	41
III.6.2 Facteur de correction de densité de l'air $k_1$ .....	42
III.6.3 Facteur de correction de l'humidité $k_2$ .....	42
III.7 Résultats expérimentaux.....	43
III.7.1 Isolateur U40 B.....	43

---

III.7.1.1	Isolateur sec et propre .....	43
III.7.1.2	Niveau de pollution 1 (pollution légère).....	44
III.7.1.3	Niveau de pollution 2 (Salinité moyenne) .....	45
III.7.1.4	Niveau de pollution 3 (Salinité élevée) .....	45
III.7.1.5	Niveau de pollution 4 (Salinité très élevée) .....	46
III.7.2	Isolateur U120B.....	47
III.7.2.2	Isolateur sec et propre .....	47
III.7.2.3	Niveau de pollution 1 (pollution légère).....	48
III.7.2.4	Niveau de pollution 2 (pollution moyenne) .....	48
III.7.2.4	Niveau de pollution 3 (pollution élevée).....	49
III.7.2.5	Niveau de pollution 4 (pollution très élevée) .....	50
III.8	Conclusion .....	51
	<b>Conclusion générale</b> .....	<b>52</b>



## Liste des symboles

**F** : Facteur de forme

**P(l)** : Périmètre de l'isolateur en fonction de la longueur de fuite partielle

**l** : longueur partielle de l'isolateur (m)

**U<sub>a</sub>** : Tension de contournement [ kV<sub>eff</sub>]

**U<sub>a</sub>** : Tension de contournement moyenne [ kV<sub>eff</sub>]

**U<sub>ac</sub>** : Tension de contournement corrigé [ kV<sub>eff</sub>]

**K<sub>1</sub>** : Facteur de correction de la densité de l'air

**K<sub>2</sub>** : Facteur de correction de l'humidité

**K<sub>t</sub>** : Facteurs de correction atmosphérique

**δ** : Densité de l'air

**b** : Pression atmosphérique [hPa]

**t** : température [°C]

**T** : température [K]

**h** : humidité absolue [g/m<sup>3</sup>]

**H** : humidité relative [%]

## Liste des figures

### Chapitre I généralité sur les isolateurs

<b>Figure I.1</b>	Les isolateurs de haute tension.....	3
<b>Figure I.2</b>	Photographie du contournement d'un isolateur.....	4
<b>Figure I.3</b>	Les caractéristiques d'un isolateur.....	7
<b>Figure I.4</b>	Photographie d'un isolateur support.....	7
<b>Figure I.5</b>	Isolateur de traversée.....	8
<b>Figure I.6</b>	Isolateur rigide.....	8
<b>Figure I.7</b>	Assemblage a rotule .....	9
<b>Figure I.8</b>	Isolateur à long fut à extrémités métalliques tronconiques .....	10
<b>Figure I.9</b>	Isolateur à long fut à extrémités métalliques des formes tiges scellées.....	10
<b>Figure I.10</b>	Isolateur à capot et tige.....	10
<b>Figure I.11</b>	Principaux types d'isolateurs à capot et tige .....	11
<b>Figure I.12</b>	Profil d'un isolateur en matériau synthétiques.....	13

### Chapitre II Pollution des isolateurs

<b>Figure II.1</b>	Entretien des isolateurs sous pollution.....	16
<b>Figure II.2</b>	Lavage sous tension d'un isolateur.....	26
<b>Figure II.3</b>	Étape du contournement d'une couche polluée.....	29
<b>Figure II.4</b>	Dépôts et évolution de l'agent polluant.....	30
<b>Figure II.4</b>	Dépôts et évolution de l'agent polluant.....	31
<b>Figure II.6</b>	Arc et bande sèche.....	32
<b>Figure II.7</b>	Régime d'arc sous pollution.....	32

### Chapitre III Techniques expérimentales et résultats

<b>Figure III.1</b>	Photographie du transformateur d'essai.....	35
<b>Figure III.2</b>	Photographie du pupitre de commande.....	36
<b>Figure III.3</b>	Photographie des isolateurs utilisés.....	38
<b>Figure III.4</b>	Principale dimension et forme de l'isolateur U40B.....	39
<b>Figure III.5</b>	Principale dimension et forme de l'isolateur U120B.....	40
<b>Figure III.6</b>	Photographies des différentes étapes de contournement d'un isolateur U40B réalisées au laboratoire haut tension.....	43

<b>Figure III.7</b> Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U40B.....	47
<b>Figure III.8</b> Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U120B.....	51

## Liste des tableaux

### Chapitre II Pollution des isolateurs

<b>Tableau II.1</b> Contaminant et leur source .....	17
<b>Tableau II.2</b> Méthode de mesure et leur dispositif .....	23
<b>Tableau II.3</b> Classification de la pollution selon le type d'environnement .....	24

### Chapitre III Techniques expérimentales et résultats

<b>Tableau III.1</b> Niveaux de pollution et salinités utilisées.....	37
<b>Tableau III.2</b> Caractéristique électrique et mécanique de l'isolateur U40B.....	39
<b>Tableau III.3</b> Caractéristique électrique et mécanique de l'isolateur U120B.....	40
<b>Tableau III.4</b> Essais sur l'isolateur U40B sec et propre .....	44
<b>Tableau III.5</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (2,5 kg/m <sup>3</sup> ).....	44
<b>Tableau III.6</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (5kg/m <sup>3</sup> ).....	44
<b>Tableau III.7</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (10kg/m <sup>3</sup> ) .....	45
<b>Tableau III.8</b> Essai sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (14kg/m <sup>3</sup> ).....	45
<b>Tableau III.9</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (40 kg/m <sup>3</sup> ).....	45
<b>Tableau III.10</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (56kg/m <sup>3</sup> ).....	46
<b>Tableau III.11</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (112kg/m <sup>3</sup> )...	46
<b>Tableau III.12</b> Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (224kg/m <sup>3</sup> ).....	46
<b>Tableau III.13</b> Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U40B	47
<b>Tableau III.14</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution légère (2,5 kg/m <sup>3</sup> ).....	48
<b>Tableau III.15</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution légère (5kg/m <sup>3</sup> ).....	48
<b>Tableau III.16</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (10kg/m <sup>3</sup> )....	48
<b>Tableau III.17</b> Essai sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (14kg/m <sup>3</sup> ).....	49
<b>Tableau III.18</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (40 kg/m <sup>3</sup> )....	49
<b>Tableau III.19</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (56kg/m <sup>3</sup> ).....	49
<b>Tableau III.20</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (112kg/m <sup>3</sup> )..	49
<b>Tableau III.21</b> Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (224kg/m <sup>3</sup> )...	50
<b>Tableau III.22</b> Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U120B.....	50



# *Introduction générale*

## Introduction générale

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 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. Parmi les équipements électriques constituant les réseaux aériens, un intérêt particulier doit être porté aux isolateurs [10].

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. 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 [29].

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes telles que la pollution des isolateurs. Celle-ci constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie [4].

La pollution des isolateurs est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs de haute tension et constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement des ouvrages (postes et lignes). Portés par le vent et déposés sur la surface isolante des chaînes des isolateurs, et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus ou moins conducteurs. Ce qui engendre une diminution conséquente de la tension de tenue des isolateurs. Des arcs électriques prennent naissance à la surface isolante et peuvent éventuellement, se développer en provoquant le contournement total des isolateurs.

En général, la distribution de la pollution à la surface des isolateurs n'est pas répartie de façon uniforme. En effet, les conditions électro-géométriques et climatiques jouent un rôle important dans l'accumulation et la distribution de la pollution sur la surface d'un isolateur [8].

Le présent travail porte sur l'étude de l'effet de la pollution sur la tension de contournement d'un isolateur, pour cette raison, celui-ci est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à des rappels concernant les isolateurs utilisés dans les réseaux électriques, et leur constitution ainsi que les différents types d'isolateur existants et leur fonctionnement, sous les contraintes mécaniques et électriques et climatiques, ainsi que les matériaux entrent dans leurs fabrications.

Le deuxième chapitre sera réservé à l'analyse des phénomènes de pollution et les différentes méthodes d'essais d'isolateurs sous pollution naturelle et artificielle, et leurs conséquences, ainsi que les techniques de lutte contre ces phénomènes.

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

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

# *Chapitre I*

## *Généralités sur les isolateurs*

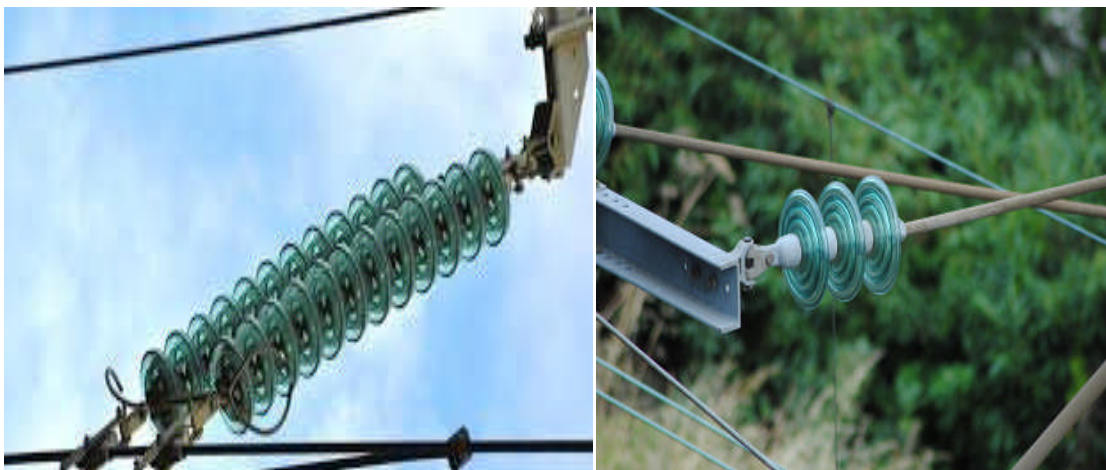


## I.1 Introduction

Les équipements Haute Tension des réseaux aériens de transport de l'énergie électrique sont supposés opérer de façon fiable sous des conditions environnementales spécifiques pour lesquelles ils sont prévus. En particulier, les isolateurs, qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes. Leur rôle est d'assurer l'isolement électrique entre les parties portées à la *H.T* [13].

Les isolateurs sont des éléments indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique, leur fonction est réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents.

Dans ce chapitre nous allons présenter les isolateurs de haute tension, ses types et leurs fonctionnements.



*Figure I.1 Les isolateurs de haute tension*

## I.2 Historique

Les isolateurs étaient réalisés en verre, ou en céramique (dérivés de stéatite par exemple), on en trouve désormais en matériau synthétique.

Les isolateurs en verre ou céramique des lignes à haute tension ont généralement la forme d'une assiette. On les associe entre eux pour former des chaînes d'isolateurs. On trouve aussi des isolateurs sous forme de colonne, avec toujours un profil en ailettes pour allonger la ligne de fuite, c'est à-dire la distance aux limites de l'isolateur, mesurée en suivant le profil de l'isolateur.

Depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle, les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour fabriquer des isolateurs en réalisant un axe central en fibre de verre et en surmoulant par dessus une matière silicone ou EPDM.

Les isolateurs composites sont plus légers, généralement moins chers et présentant une excellence hydrophobicité. Ils sont surtout prisés pour les zones fortement polluées et dans les zones urbaines ou ils résistent mieux au vandalisme [10].

## I.3 Les isolateurs

### I.3.1 Définitions

- **L'isolateur** : est un matériau isolant solide qui présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les courts-circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution [9].

- **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) (figure. I.2).

Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau [29].

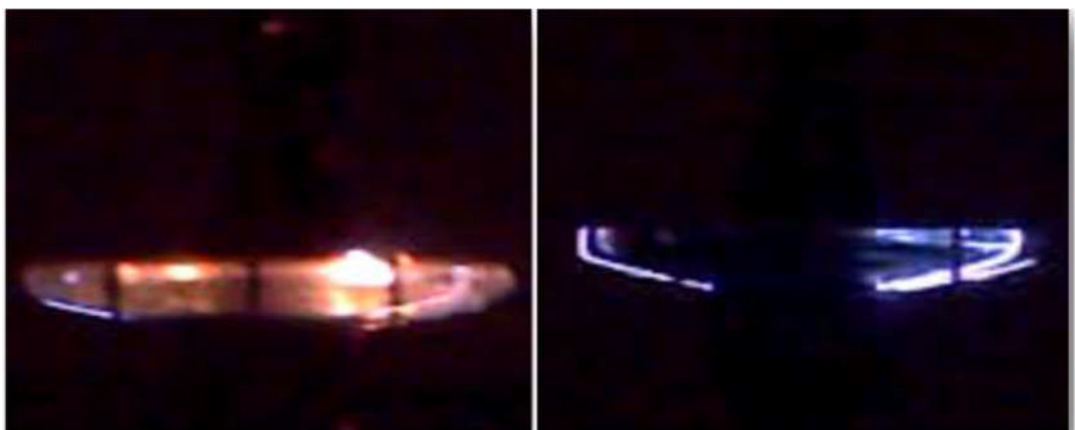


Figure I.2 Photographies du contournement d'un isolateur [29]

- **La tension de contournement** : est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes. La tension de contournement dépend [9] :

- 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.
- **La tension de tenue** : est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive.

- **Le courant de fuite** : 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 [23].

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

- **Le facteur de forme (F) d'un isolateur** : est déterminé par les dimensions de l'isolateur. Pour l'estimation graphique du facteur de forme, on trace la courbe de l'inverse de la circonférence ( $1/p$ ) en fonction de la longueur de la ligne de fuite partielle. Le facteur de forme est donné par l'aire située sous la courbe et calculé suivant la formule : [21]

$$F = \int_0^l \frac{dl}{p(l)} \quad (\text{I. 1})$$

**l** : étant la longueur partielle de l'isolateur (m)

**P(l)** : Périmètre de l'isolateur en fonction de la longueur de fuite partielle

## I.4 Fonctionnement d'un isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes. Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, SF<sub>6</sub>) et l'isolation externe (air atmosphérique). Ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau (traversées de transformateur,

extrémités de câbles) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure) [8].

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

- 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).

## I.5 Constitution d'un isolateur

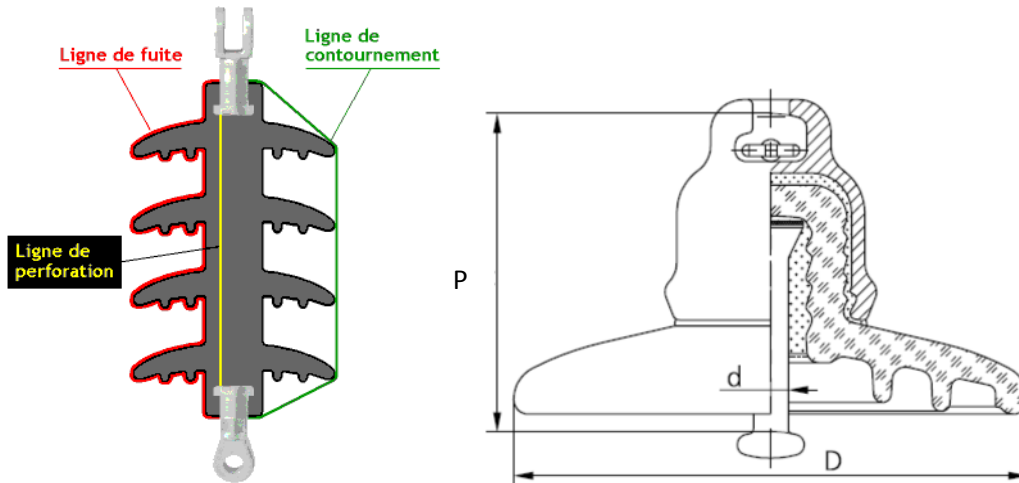
Un isolateur est constitué :

- d'une partie isolante ;
- des pièces métalliques ;
- d'un scellement qui assure la liaison mécanique entre les parties isolantes entre elle ou aux pièces métalliques. Le scellement doit être conçu et fabriqué de façon à satisfaire aux essais d'endurance thermomécanique [31].

## I.6 Caractéristique d'un isolateur

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

- **Le pas  $P$**  : est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.
- **La ligne de fuite  $L_f$**  : est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.
- **La ligne de contournement  $L_c$**  : est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices [22].



## I.7 Différents types d'isolateurs

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes. On les rencontre sous ces différentes formes

### I.7.1 Isolateurs supports

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, en isolant des éléments conducteurs des traversés. Ils sont utilisés par exemple comme support de jeux de barres dans les postes de transformation [18].



## I.7.2 Isolateurs de traversées

Les isolateurs de traversées sont des pièces isolants établies pour permettre le passage d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus au moins conducteur (mur, paroi, etc...), on les trouve aussi aux bornes des transformateurs [6].

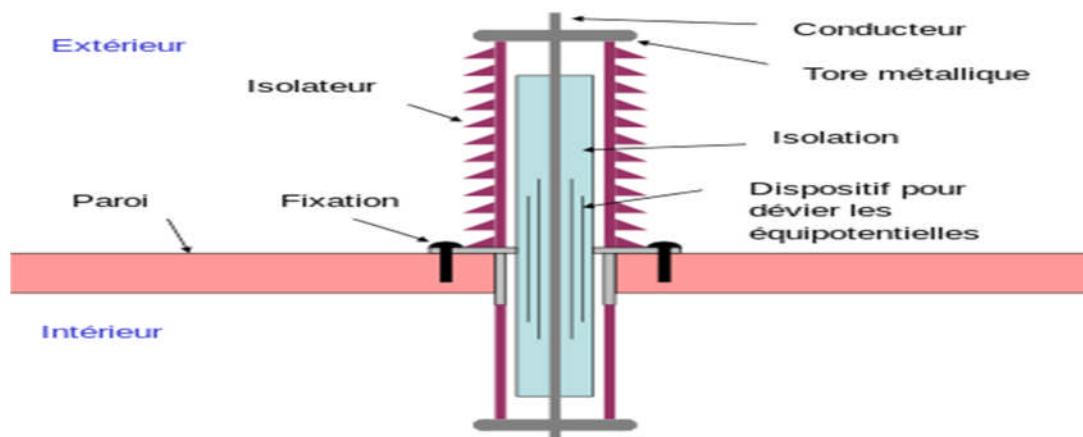
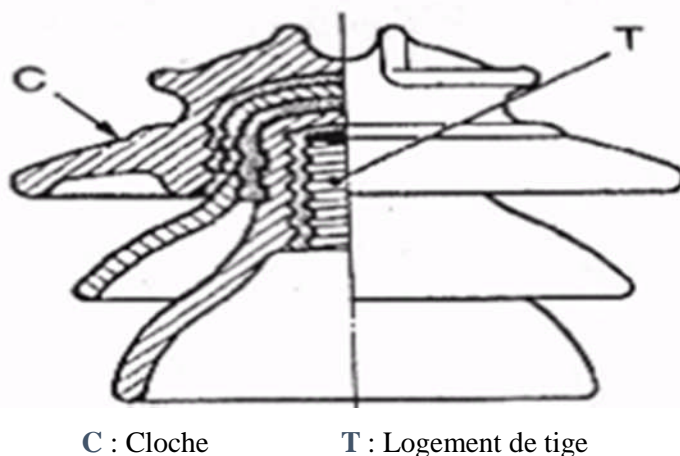


Figure I.5 Isolateur de traversée [30].

## I.7.3 Isolateurs de lignes aériennes

### I.7.3.1 Isolateurs rigides

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'un ou plusieurs isolateurs encastrés et scellés entre eux, ils sont fixés aux pylônes par des ferrures de différentes formes (Figure I.6). Ils sont montés sur pylônes soit d'une façon verticale, horizontale ou oblique (inclinée). Mais ce type d'isolateurs est utilisé pour les lignes aériennes qui ne dépassent pas le niveau de tension de 60 kV [27].



C : Cloche

T : Logement de tige

Figure I.6 Isolateur rigide [27].

### I.7.3.2 Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne.

**Élément de chaîne** : c'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaire pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne, à la pince de suspension du conducteur ou au support, ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Il existe deux types principaux d'éléments de chaîne [32]:

- L'isolateur long fût ;
- L'isolateur à capot et tige.

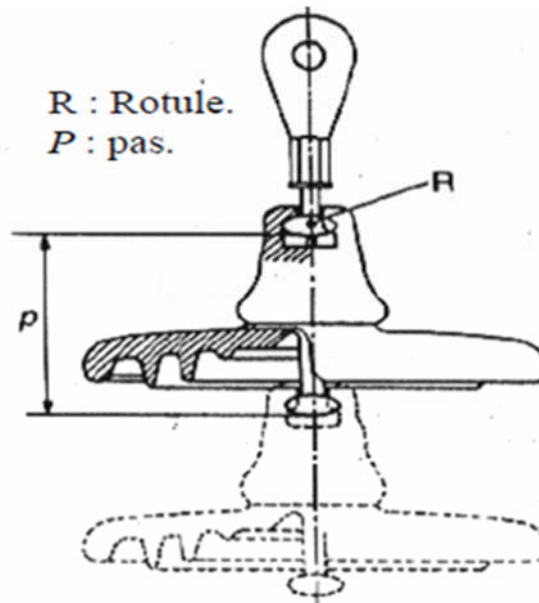
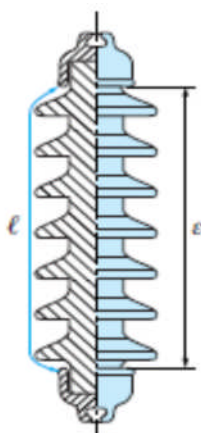
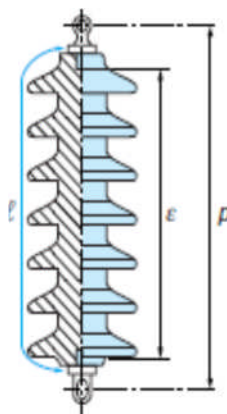


Figure I.7 Assemblage à rotule [32].

**Isolateur long fût** : Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique, en porcelaine ou en matériaux synthétiques, muni d'ailettes. A chaque extrémité, il y a une pièce métallique pour les liaisons. Cette extrémité métallique peut se présenter sous deux formes distinctes, soit elle est à extrémités tronconiques sur le cylindre (Figure I.8.), soit en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet (figure I.9) [14].

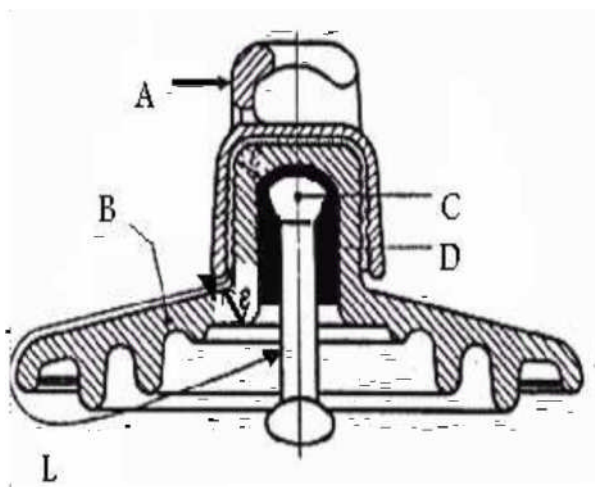


**Figure I.8** Isolateur à long fut à extrémités métalliques tronconiques [9].



**Figure I.9** Isolateur à long fut à extrémités métalliques des formes tiges scellées [9].

**Isolateurs à capot et tige :** La coupe d'un tel isolateur est schématisée sur la (figure I.10). La forme de la tête est dessinée de sorte que les efforts de traction appliqués à l'isolateur se transforment, autant que possible, en compression des diélectriques sur lesquels apparaissent, toutefois, inévitablement certaines contraintes de cisaillement. La forme en contre-dépouille de l'intérieur de la tête, nécessaire à l'accrochage du scellement de la tige, est obtenue soit par le pas d'une vis qui se dégage après le pressage du diélectrique, soit par une déformation ou un usinage postérieur à la formation de la tête, dans le cas d'isolateur en céramique. Cette contre-dépouille peut être évitée pour ces isolateurs par l'application, avant cuisson, de petits morceaux de pâtes précuite qui, après cuisson, feront corps avec pièce et permettront l'accrochage du mortier ; ce procédé connu sous le nom de Sandage est couramment utilisé [17].



- A : Capot (fonte malléable, galvanisée à chaud)*
- B : Diélectrique (verre trempé ou céramique)*
- D : Mortier de ciment alumineux ou portland*
- C : Tige (acier, galvanisé à chaud)*
- L : plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur*
- $\varepsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\varepsilon \ll L/2$*

**Figure I.10** Isolateur à capot et tige [17].

- **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.

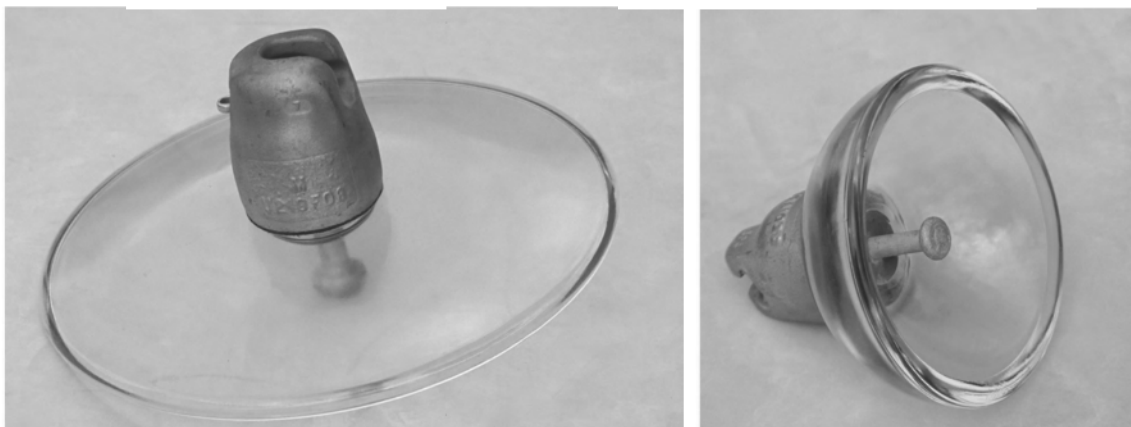
- **Profil antibrouillard**

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



(b) Profil standard

(a) Profil antibrouillard



(d) Profil ouvert

(c) Profil sphérique

**Figure I.11** Principaux types d'isolateurs à capot et tige [19].

- **Profil ouvert**

La suppression complète des anneaux permet de réduire l'accumulation des dépôts polluants. Ce type de profil est particulièrement efficace en régions désertiques où le lavage par pluie est très rare.

- **Profil sphérique**

Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel [28].

## I.8 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs

On trouve plusieurs isolants solides qui peuvent être utilisés pour la fabrication des isolateurs de haute tension comme le verre, la céramique et la porcelaine. Mais durant ces dernières années, la porcelaine est de plus en plus abandonnée à cause de deux inconvénients principaux qui sont : le poids lourd des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages. Ces dernières années on s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [4].

### I.8.1 Céramique

Le développement et la fabrication des céramiques datent depuis longtemps à cause de leurs performances. Pour les isolateurs qui vont être utilisés dans des lieux où il y a des contraintes mécaniques très importantes, on utilise de préférence des céramiques à grains très fins. Souvent, on trouve les céramiques dans les postes: isolateurs supports, couverture isolante des sectionneurs, des disjoncteurs, des transformateurs de potentiel et des bornes de traversées des transformateurs de puissance [29].

### I.8.2 Verre

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

a- **Le 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 la 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.

b- **Le 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.

### I.8.3 Matériaux synthétiques

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques,...) [4].

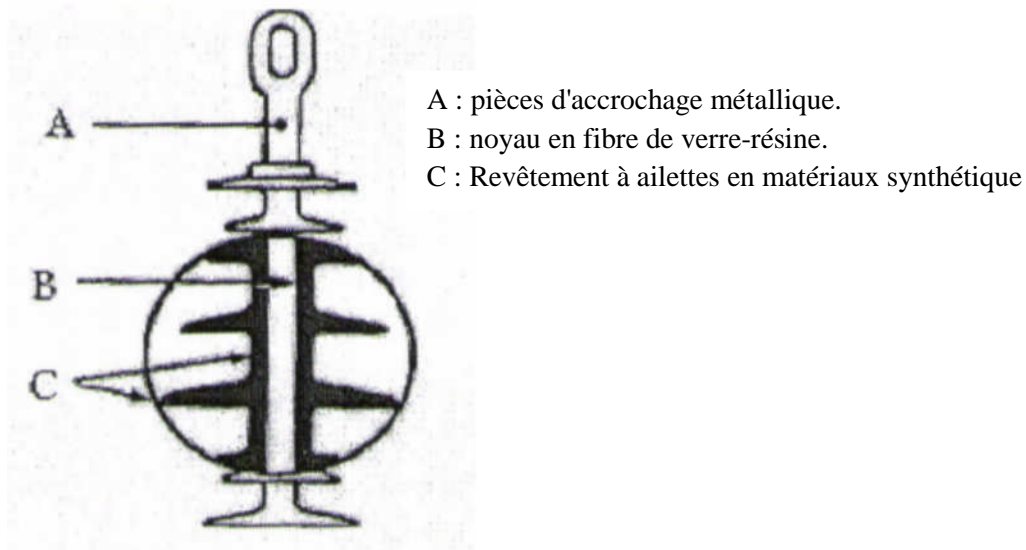


Figure I.12 Profil d'un isolateur en matériaux synthétique [4].

## I.9 Contraintes subites par l'isolateur

L'isolateur est loin d'être épargné des contraintes néfastes réparties en trois classes :

### I.9.1 Contraintes mécaniques

Du fait de leur conception, les chaînes d'isolateurs sont articulées (avec un faible degré de liberté) à chaque isolateur, ce qui permet de les faire travailler exclusivement à la traction :

- Charge permanente appliquée à la chaîne (poids des conducteurs, des accessoires) ;
- Surcharge exceptionnelle due au vent ;
- Les dimensions de chaque élément de l'isolateur dépendent de la charge mécanique qui est supportée ; lorsque la charge augmente les dimensions augmentent aussi.

### I.9.2 Contraintes climatique et d'environnement

Les isolateurs sont spécialement influencés par la contamination de l'environnement, dans les ouvrages (lignes et postes) installés en bordure de mer, les embruns portés par les vents déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel, qui à plus ou moins longue échéance, ensuite recouvre toute la surface de l'isolant y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel humidifiée par les embruns eux-mêmes par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Ce qui donne naissance à un courant de fuite qui s'établit à travers la couche superficielle, et dans certaines conditions des arcs peuvent se développer et provoquer le contournement total de l'isolateur.

### I.9.3 Contraintes électriques

Ce type de contraintes est important, et elles se résument en :

- **Tension de service** : c'est la tension normale que supporte l'isolateur en service ;
- **Décharge disruptive** : phénomène associé à une défaillance de l'isolateur sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de la tension et passage d'un courant entraînant une perte permanente de la rigidité diélectrique ;
- **Tension de contournement** (à sec et sous pluie) : c'est la plus faible tension produisant un amorçage entre un conducteur et la masse ;
- **Surtensions accidentelles** : elles sont de brève durée pouvant être à l'origine d'un orage ou d'un régime transitoire [24].

## I.10. Choix des isolateurs

Le choix d'isolateur se fait en tenant compte :

- De la tension de service de la ligne ;
- Des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis ;

- De leur nature (rigide ou suspendue), en fonction du prix du revient de la ligne et de son importance ;

- De la pollution du site.

Les isolateurs doivent présenter trois qualités principales :

- Une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service sans qu'il se produise ni perçement de l'isolation ni arc de contournement ;

- L'isolation doit être constituée de manière à réduire les fuites de courant ;

- L'isolateur doit avoir les propriétés mécaniques requises pour résister aux sollicitations exercées sur lui par le conducteur [5].

## I. 11 Classification des isolateurs en Haute Tension

Conformément à la publication CEI, les isolateurs de lignes aériennes sont divisés en deux classes selon leur forme.

- **Classe A**

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur " $\epsilon$ " du canal de perforation à travers la matière isolante solide est au moins égale à la moitié de la plus courte distance dans l'air " $L$ " extérieure à l'isolateur. Les isolateurs à long fût font, en général, partie de cette classe.

- **Classe B**

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaînes pour lesquels la plus courte longueur " $\epsilon$ " du canal de perforation à travers la matière isolante est inférieure à la moitié de la plus courte distance dans l'air " $L$ " extérieure à l'isolateur. Les isolateurs à capot et tige appartiennent à cette classe [17].

## I.12 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les caractéristiques et différents types d'isolateurs. Ces derniers assurent les deux fonctions mécaniques et électriques. Fréquemment ces isolateurs sont le siège des phénomènes de pollution qui les contamine en diminuant leur caractéristique diélectrique, que nous verrons en détail dans le prochain chapitre.

## *Chapitre II*

### *Pollution des isolateurs*

## II.1 Introduction

Les lignes aériennes qui sont conçues, réalisées, entretenues et exploitées conformément aux normes, prescriptions et directives de sécurité, de même qu'aux règles de l'arc, sont exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de transport et de l'appareillage électrique associé. En effet, les dépôts polluants qui recouvrent les surfaces isolantes peuvent, par temps de pluie, engendrer une diminution considérable de la résistivité superficielle et par conséquent la réduction de la tension de tenue des isolateurs pouvant conduire au contournement des isolateurs, ce qui a pour conséquence grave, la mise hors service de la lignes. La connaissance du degré de pollution constitue donc une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site en vue de dimensionner convenablement l'isolation [16].



*Figure II. 1 Entretien des isolateurs sous pollution.*

## II.2 L'origine de la pollution

Les sources de pollution peuvent être d'origine naturelle. En effet, dans le cas des lignes aériennes et des postes installés au bord de mer, les embruns portés par le vent déposent sur les isolateurs une couche de sel. Lorsque cette couche est humidifiée par un brouillard, elle devient conductrice. De plus, au voisinage des usines polluantes, par exemple les usines métallurgique ou chimique, les isolateurs se recouvrent de particules solides infimes, faiblement conductrice mais hygroscopiques. Dans des conditions de forte humidité, à savoir le brouillard ou la pluie, la dissolution des sels contenus dans ces particules provoque la formation d'un électrolyte. Ces deux concepts constituent les deux cas typiques de pollution ou la contamination des surfaces isolantes est poussée à l'extrême. Il serait pourtant erroné de penser que les régions éloignées de la mer ou des centres industriels sont exemptées de pollution.

Le tableau suivant résume certains contaminants, et leurs sources [21].

Contamination naturelle anthropogénique	Source probable de pollution
$H^+$	Atmosphère
$NO, NO_2, CO_2, NO_3^-, NH_3, SO_2, NH_4^-$	Atmosphère, Fertilisation, combustion
$SO, NO_3^-, NH_4^+, CL^-$	Mer, brouillard, précipitation
$Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}, K^+$	Mer

*Tableau II.1 Contaminants et leurs sources [21]*

## II.3 Définitions

- **Pollution** : est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques.

Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités du milieu ou encore en enlaidissant la nature [1].

- **Salinité** : est définie comme la concentration du sel dans l'eau. Elle correspond à la masse de sel divisée par le volume de la solution, généralement exprimée en Kg/m<sup>3</sup>.
- **Couche de pollution** : C'est une couche conductrice électrolytique mise sur la surface de l'isolateur. Elle est composée du sel et des matériaux inertes.
- **Degré de pollution** : Valeur de quantité (salinité, conductivité de la couche, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée sur l'isolateur en essai [23].

## II.4 Formation et répartition de la couche de pollution

La formation et la répartition de la couche de pollution sur la surface des isolateurs dépendent du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou Inclinée) des chaînes d'isolateurs par rapport au sol et du niveau de tension qui leur est appliqué.

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

La non-uniformité de la pollution peut être classée en trois catégories :

### II.4.1 Non-uniformité longitudinale par groupe

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

Nous retrouvons ce type de pollution dans les cas suivants :

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

### II.4.2 Non-uniformité transversale

Ce type est caractérisé par des secteurs ou bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante. Ces bandes sont réparties transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de la ligne de fuite. Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies [27].

### II.4.3 Non-uniformité longitudinale périodique

Ce type est le plus fréquent. Il est caractérisé par une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire. Ces principales spécifications sont [1] :

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

## II.5 Sources de pollution

Les divers types de pollution atmosphérique les plus fréquemment observés peuvent être regroupés selon leurs origines et classés comme suit :

### II.5.1 Pollution naturelle

La pollution naturelle provient de [6] :

- Sels marins dans les régions côtières ;
- Poussières du sol (notamment lors de chantiers importants) ;
- Sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

### II.5.1.1 Pollution marine

Dans les installations au voisinage de la mer, les embruns portés par le vent se déposent progressivement sur les isolateurs, formant ainsi, une couche de sel qui recouvre toute leur surface. Cette couche, qui humidifiée par les embruns eux-mêmes, devient de plus en plus conductrice. Ce qui donne naissance à des courants de fuite encore plus intenses, et des arcs pouvant se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [29].

### II.5.1.2 Pollution désertique

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

- Le vent en assurant le transport de ces particules arides et finit par les déposer sur l'isolateur en formant une couche qui recouvre toute la surface de l'isolateur ;
- La température, par ces variations entre le jour et la nuit implique le phénomène de condensation donnant au dépôt une certaine conductivité [33].

### II.5.1.3 La pluie forte

La pluie peut être un agent favorable ou défavorable selon son débit au phénomène de contournement [10].

- **Défavorable** Une précipitation moyenne ou moins forte attribuera sûrement au nettoyage de l'isolateur c'est -à-dire cette pluie provoque la dégradation de toute couche de pollution.
- **Favorable** Le rôle nocif d'une pluie faible est l'humidification de la couche polluante et quant elle est intense, le phénomène de ruissellement se produit des files d'eaux peuvent s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de la colonne isolante et comme l'eau est conductrice, le contournement peut se produire .on parlera ainsi du contournement sous pluie.

#### II.5.1.4 Pollution à l'intérieur des terres

Dans les régions qui ne sont pas soumises à la pollution marine, le vent peut transporter des déchets végétaux notamment à proximité des champs de cultures céréalières ou fourragères, et des poussières du sol durant les saisons chaudes, ou de sécheresse.

Dans les contrées à climat désertique, la fréquence des vents chargés de poussières, provoquent occasionnellement des tempêtes de sable qui affecter des tronçons importants du réseau électrique.

La pollution des isolateurs par le sable fin est un processus permanent quel que soit le type de montage, aussi bien intérieur ou extérieur [32].

#### II.5.2 Pollution industrielle (artificielle)

Cette pollution est observée au voisinage des usines métallurgiques, chimiques ou même au bord des centrales thermiques où les isolateurs se recouvrent de poussière faiblement conductrice, mais très hygroscopique. Le dépôt de pollution peut se constituer par la fixation de particules solides telles que les dépôts ferromagnétiques issus des usines métallurgiques et de l'absorption de gaz présent dans les fumées. Dans des conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la poussière provoque la formation d'une couche conductrice [22].

#### II.5.3 Pollution mixte

La pollution mixte est le résultat de la combinaison d'une ou de plusieurs pollutions précitées. Cette forme de pollution est la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Par conséquent, quelle que soit la source de pollution, on observe la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs. Il est important de remarquer que par suite du lavage périodique des dépôts par la pluie, on atteint après une période plus ou moins longue d'exploitation, une « pollution limite » propre à chaque site qui dépend entre autre de l'intensité de la pollution atmosphérique, de l'adhérence des poussières, de la fréquence de la pluie [16].

## II.6 Influence des conditions climatiques sur la distribution de la pollution

- **Humidité** : l'humidification de l'air fait accroître la conductivité des dépôts polluants, ce qui entraîne la diminution de la tenue des isolateurs pollués.
- **Température** : les haute températures provoquent l'assèchement des dépôts polluants et entraînent l'augmentation de leur résistivité et par conséquent l'élévation de la tenue des isolateurs pollués. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.
- **Vent** : il est évident que le vent constitue l'agent qui assure le transport des poussières et des sels marins qui viennent se déposer sur la surface de l'isolateur. Par contre les fortes vitesses de vent peuvent apporter une aide au nettoyage des isolateurs, donc le vent peut se comporter dans ce cas comme agent d'auto-nettoyage.
- **Pluie** : d'une part, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente les risques de contournement. D'autre part, les fortes pluies permettent en général de nettoyer les surfaces polluées des isolateurs [15].

## II.7 Les phénomènes climatiques exceptionnels

- **Le givre** : c'est un dépôt de glace provenant de la congélation de très fines gouttelettes d'eau en surfusion dans le brouillard ou les nuages. Par température fortement négative, le dépôt est granuleux, contient de l'air et adhère peu. A 0°C, de l'eau liquide gèle dans les interstices, rend le dépôt compact et adhérent, avec une densité pouvant atteindre celle de la glace.
- **Le verglas** : il résulte de la congélation d'eau en surfusion provenant de gouttes de bruine (100 à 500 µm). Le dépôt est compact et homogène et il a la densité de la glace (0,9).
- **La pluie verglacante** : elle se produit lorsqu'une masse d'air à température négative, en contact avec le sol et d'épaisseur suffisante pour que les gouttes aient le temps de passer en surfusion.
- **La neige collante** : la neige, qui est un mélange de plusieurs phases (glace, air saturé de vapeur d'eau liquide) se présente sur diverses formes. La neige collante doit l'adhérence qui la caractérise à la capillarité, les cristaux se transforment au moment de

l'impact en grains de glace entourés d'eau. La neige collante est provoquée par une chute de neige intense à une température positive [23].

## II.8 Sévérité de pollution d'un site

Le dimensionnement convenable de l'isolation externe vis-à-vis de la pollution est subordonné à la détermination du degré de pollution du lieu d'utilisation de cette isolation.

La sévérité de pollution d'un site est généralement caractérisée par l'intensité de précipitation ainsi que par la conductivité des dépôts polluants.

L'évaluation de la sévérité de pollution d'un site, devrait fournir toutes les informations nécessaires sur le comportement diélectrique des isolateurs, ainsi que sur la fiabilité des lignes et des postes. La surveillance de l'évolution spatio-temporelle de la pollution est indispensable pour la conception et le choix d'une isolation adéquate, et pour prévoir ainsi, des techniques de lutttes efficaces aux problèmes de contournement sous pollution. Diverses méthodes ont été conçues pour l'évaluation de la sévérité de pollution d'un site [3].

## II.9 Méthodes de mesure de la sévérité de pollution

Une évolution de la sévérité d'un site, devrait fournir toutes les informations nécessaires au calcul de la probabilité du contournement sous pollution d'un isolateur et à son dimensionnement. En effet, on se propose d'établir les différentes méthodes de mesure et les dispositifs nécessaires (Tableau II.2).

Méthode de mesure	Dispositif de mesure
Conductivité électrique de la pollution	Conductimètre à sonde mobile
Densité du dépôt de sel équivalent(DDSE)	Formule empirique
Conductance superficielle	Formule empirique
Comptage des impulsions de courant de fuite	Méthode de connexion d'un compteur d'impulsion à l'isolateur de ligne
Courant de fuite le plus élevé	Circuit de mesure

**Tableau II.2** Méthodes de mesure et leurs dispositifs [3]

## II.10 Niveaux et types de pollution

L'identification des substances de la pollution est impérative pour le choix de l'isolateur d'une ligne électrique. Les quatre niveaux de pollution et leur classement sont regroupés au Tableau II.2.

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

Tableau II.3 Classification de la pollution selon le type d'environnement [25]

## II.11. Techniques de lutte contre la pollution

L'augmentation du degré de pollution représente un risque immense pour les installations électriques. Pour cela, plusieurs techniques de lutte contre celle-ci sont utilisées.

### II.11.1 Allongement de la ligne de fuite

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

- Le changement de type d'isolateur (pour rallonger la ligne de fuite) : c'est une technique très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste ;
- L'utilisation de prolonger de ligne de fuite collés sur la surface des isolateurs existants en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants.

### II.11.2 Isolateurs plats

Les isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto nettoient sous l'effet du vent.

### II.11.3 Graissage périodique

Par mesure économique, seule les isolateurs de postes sont concernés. On utilise des graisses silicones. Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolateurs [7].

### II.11.4 Revêtement silicone

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

### II.11.5 Les isolateurs composites

Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère voient leurs caractéristiques changer au cours du temps ; ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service [23].

### II.11.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans les deux cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et ce afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays, en particulier en Amérique du nord. Cette technique permet le nettoyage des isolateurs recouverts de couche de pollution très adhérente (ciment) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs. Malgré la simplicité de ces dispositifs, le lavage sous tension de la totalité d'un poste reste une opération coûteuse, il est donc conseillé de réaliser le lavage au moment le plus approprié [26].



*Figure II.2 Lavage sous tension d'un isolateur*

## II. 12 Conséquence de la pollution

Lorsque l'isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule à sa surface. Ceci est dû aux très faibles valeurs des conductivités volumiques de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. On obtient ainsi une répartition électrostatique du potentiel électrique. Par contre, lorsque la couche de pollution est humidifiée, elle devient le siège d'un courant de conduction de valeur relativement importante et la répartition du potentiel électrique diffère de la répartition électrostatique.

La rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface isolante entraînant l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur.

### II. 12.1 Arc non localisé

On dit qu'un arc est non localisé, lorsque la surface d'un isolateur est amorcée par un arc et qui s'éteint rapidement pour se réamorcer à un autre endroit. Ce phénomène ne cause pas de dommage pour l'installation, malgré l'apparition de courant de fuite à la surface de l'isolateur [2].

### II. 12.2 Arc fixe

L'arc se fixe sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en s'y réamorçant au même endroit (courant alternatif). Le courant de fuite au travers de diélectrique et les phénomènes de polarisation alternative des molécules représentent une énergie qui se manifeste sous forme de chaleur dans le diélectrique (pertes diélectriques). Ces pertes varient selon la nature du diélectrique ; elles sont proportionnelles à la fréquence et l'importance du champ électrique. Dans le cas d'une basse tension et d'une fréquence industrielle 50 Hz, les pertes diélectriques des matériaux isolants sont très faibles. En revanche, en très haute tension et surtout pour des fréquences élevées, ces pertes deviennent

importantes en période d'humidification longue et sont la cause d'échauffement excessif, destructeurs de l'isolation [2].

### II. 12. 3 Contournement des isolateurs

Le contournement d'une surface polluée et humidifiée est le résultat d'une évolution qui comprend quatre phases principales, schématisées à la (figure II.3). Pour simplifier la présentation, considérons le cas d'une plaque plane rectangulaire avec deux électrodes : Dans une première phase, le courant de fuite s'écoule à travers l'électrolyte qui recouvre l'isolant [8]. Il provoque un échauffement de l'électrolyte qui a pour effet d'accroître la conductivité du milieu et par suite le courant (phase 1).

- L'échauffement croissant par effet joule créé par le courant de fuite, provoque un assèchement de la couche polluante. La zone sèche formée a tendance à s'étendre latéralement jusqu'à l'interruption complète du courant (phase 2) ;

- La tension appliquée se trouve pratiquement totalement reportée aux « bornes » de la zone sèche et des arcs locaux sont susceptibles d'apparaître. Au voisinage de la tête d'un arc local la constriction des lignes de courant conduit à un élargissement de la zone sèche (phase 3) ;

- A partir de ce stade, l'évolution de la décharge peut se faire de différentes façons : L'arc local peut s'éteindre (phase 4), ou bien il peut se déplacer latéralement pour retrouver une position plus stable correspondant à une plus faible longueur d'arc (phase 5), ou encore, il peut s'allonger jusqu'à atteindre l'électrode et provoquer ainsi le contournement. Dans ce cas, l'allongement de l'arc se fait à la surface de l'électrolyte sans formation de zone sèche (phase 6).

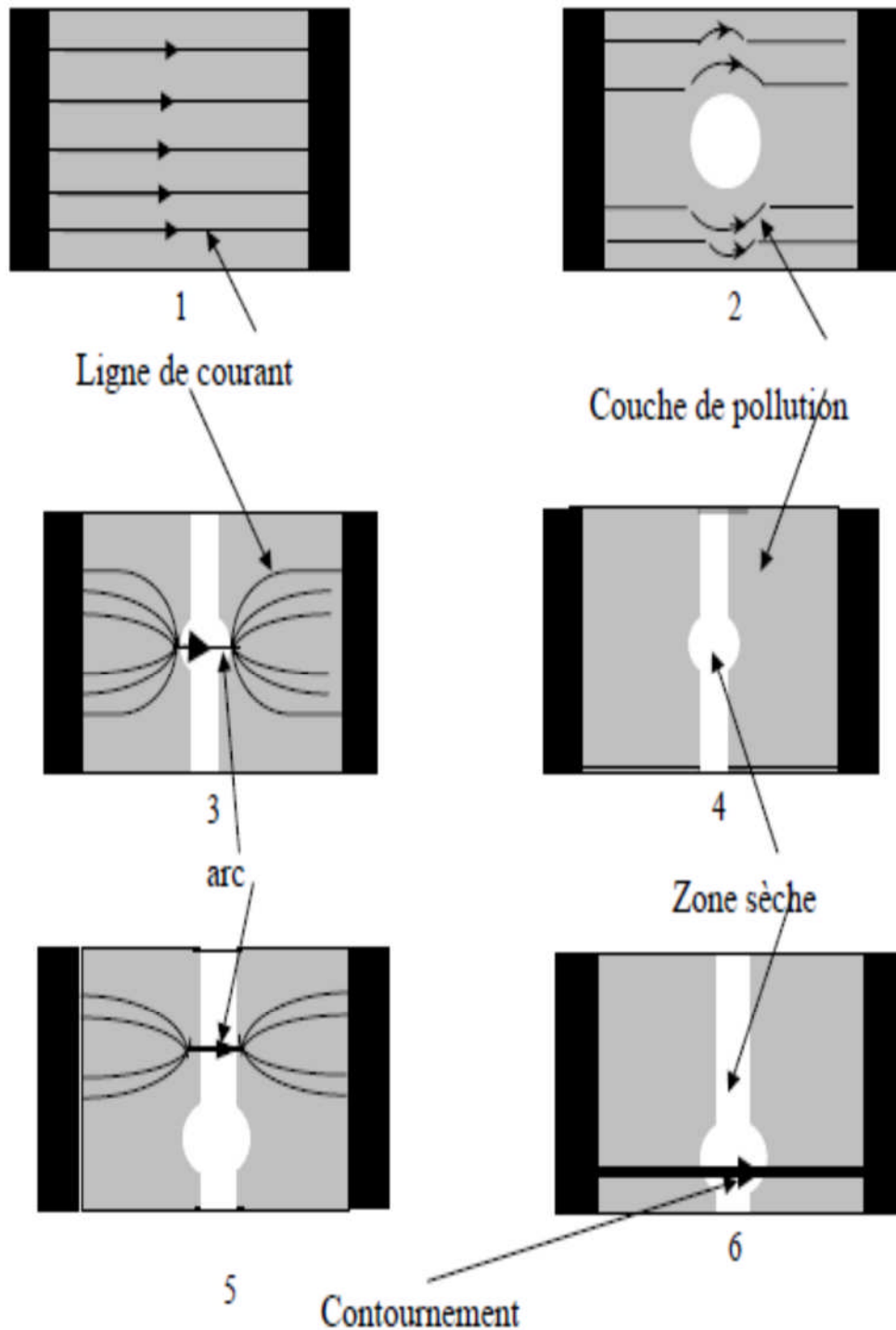


Figure II.3 Étape du contournement d'une couche polluée [8]

## II 12.4 Corrosion des isolateurs

Le phénomène de corrosion ne peut être créé que si la surface des isolateurs est recouverte d'un dépôt conducteur de pollution humide, cette corrosion est plus importante en courant continu qu'en courant alternatif pour un même site du fait que le courant est

unidirectionnel et des phénomènes électrostatiques qui entraînent la formation du dépôt de pollution plus importante. Ce dernier affecte directement :

- La résistance mécanique de l'isolateur, cela s'applique particulièrement aux isolateurs du type capot tige lorsque la section de la partie corrodée devient réduite (Exemple : réduction du diamètre de la tige).
- La tenue électrique du fait de la formation d'un dépôt de rouille sur la surface isolante. En outre, ce dépôt peut entraîner des dommages à la partie isolante du fait d'une concentration du champ électrique autour de cette nouvelle électrode [21].

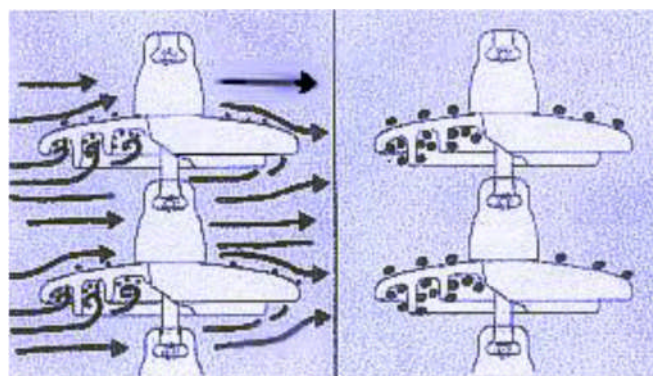
### II.13 Contournement des isolateurs pollués

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

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

#### *Étape 1 : Dépôt de la pollution*

Les particules du dépôt sont apportées par le vent (l'isolateur, par sa présence, modifie le régime laminaire du vent) et se concentrent entre les nervures ou autour du capot (Figure II.4).



*Figure II. 4 Dépôts et évolution de l'agent polluant [27]*

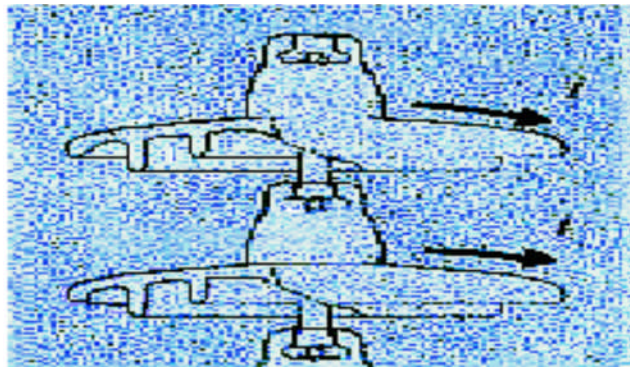
Les facteurs d'accumulation sont les suivants :

- la nature, le poids et la taille des particules polluantes ;

- la distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution et par rapport au sol d'où peut provenir des poussières ;
- la vitesse du vent ;
- l'orientation de la chaîne, et surtout la forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto nettoyage par les fortes pluies et vents.

### **Étape 2 : Humidification de la pollution**

Le brouillard, la condensation de la petite pluie modifient graduellement et pratiquement sans délavage la surface de l'isolateur pollué. Ces conditions correspondent à des conditions dites critiques. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant de fuite prend alors naissance dès qu'un film conducteur se forme sur la surface de l'isolateur (Figure II.5).



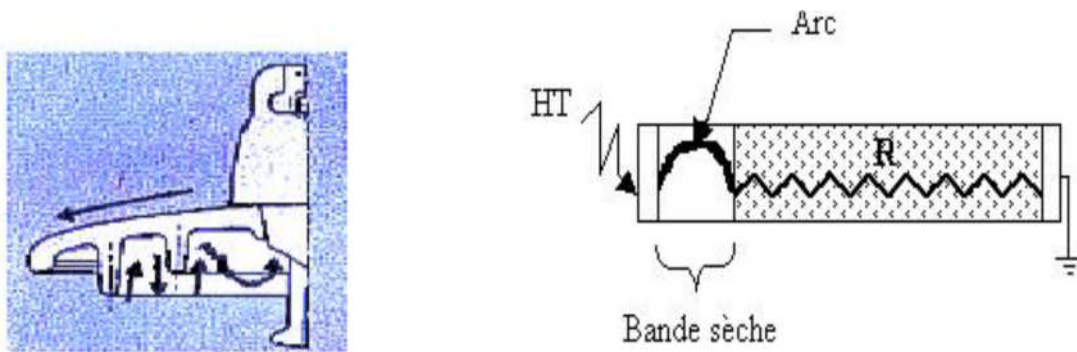
**Figure II.5** Humidification du dépôt polluant et création d'un courant de fuite [27]

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

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

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante près des ferrures de l'isolateur. Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur. Le courant est alors très réduit en amplitude par la présence d'une «bande sèche». La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée aux bornes de cette bande sèche [27]. Si la

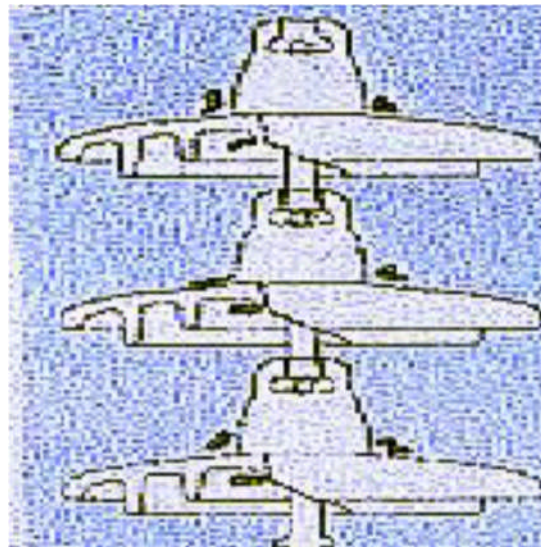
largeur de cette dernière est insuffisante pour supporter le potentiel correspondant, un arc se crée (Figure II.6).



**Figure II.6** Arc et bande sèche [27]

#### **Étape 4 : Comportement des arcs**

La résistance du dépôt humidifié R, en série avec l'arc, limite le courant et la longueur de l'arc (Figure II.7). Si le courant est trop faible, l'arc s'éteindra, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle «courant critique » correspondant à une «longueur critique » de l'arc, cette situation reste stable (Figure II.7). Dans le cas contraire, le contournement de l'isolateur peut survenir [27].



**Figure II 7** Régime d'arcs sous pollution [27]

## II.14 Méthode d'essais sous pollution

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

### II.14.1 Essais sous pollution naturelle

Ils consistent à installer, dans les différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs de longueurs ou de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs, placés sous la même tension, sont appréciées en fonction des temps au contournement de pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle. On peut classer les isolateurs en distinguant ceux qui ont contourné de ceux qui ont tenu, durant deux ou trois ans d'exposition, par exemple. Ces essais ont l'avantage de tenir compte de l'effet de toutes les contraintes.

### II.14.2 Essais sous pollution artificielle

Ils consistent à reproduire en laboratoire les conditions de la pollution naturelle. Ils sont aujourd'hui largement utilisés et ont l'avantage d'être rapides. Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisées sont les méthodes de la couche solide, la méthode du brouillard salin et la méthode de la pollution liquide.

#### II.14.2.1 Méthode de la couche solide

Dans ces méthodes, la surface isolante est recouverte par pulvérisation d'une couche de pollution solide constituée de chlorure de sodium et d'un agent liant inerte. La conductivité de cette suspension est réglée par addition d'une certaine quantité de chlorure de sodium. Si l'humidification s'effectue après application de la tension (méthode du brouillard à vapeur), le paramètre de sévérité est défini par la densité de dépôt de sel en  $\text{mg/cm}^2$ . Par ailleurs, si l'humidification a lieu avant l'application de la tension, le paramètre de sévérité est défini par la conductivité de la couche polluante. Certains chercheurs ont utilisé une couche semi-conductrice comme agent polluant.

### II.14.2.2 Méthode du brouillard salin

La solution saline utilisée dans la méthode du brouillard salin représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble. Dans cette méthode, l'isolateur soumis à la tension d'essai, est placée dans un brouillard salin dont le taux de salinité définit la sévérité. D'après la classification des sites pollués, les valeurs de salinités appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 224 kg/m<sup>3</sup>.

### II.14.2.3 Méthode de pollution liquide

Cette méthode s'apparente à la méthode du brouillard propre dans la mesure où un mélange liquide est appliqué sur l'isolateur avant l'essai. Cependant, dans ce cas la pollution n'est pas séchée avant l'essai. Elle est constituée d'eau, de craie et de méthyle cellulose ou de kaolin. Comme pour la méthode de la couche solide la conductivité est ajustée par addition de chlorure de sodium. Après quelques minutes d'égouttage, la tension d'essai est appliquée à l'isolateur sans humidification supplémentaire [8].

## II.15 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une synthèse des différents aspects des phénomènes de pollutions. La pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. La connaissance du degré de pollution est une condition indispensable, pour prévoir une isolation externe convenable. Nous pouvons retenir que :

- La nature et la sévérité de pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique et de l'industrialisation du site ;
- La meilleure définition de degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente du site.

*Chapitre III*

*Techniques expérimentales et*  
*résultats*

### III.1 Introduction

Dans le but de déterminer l'influence du degré de pollution sur le comportement des isolateurs, nous avons effectué de nombreux essais sur deux types d'isolateurs Haute Tension de suspension en verre. Ces essais ont été réalisés au Laboratoire de Haute Tension et ils concernent la mesure de la tension de contournement.

Dans ce chapitre, nous décrivons en premier lieu les techniques expérimentales utilisées pour étudier les caractéristiques des arcs électriques ainsi que leur développement sur une surface isolante polluée. Pour cela plusieurs essais préliminaires ont été réalisés dans le but de s'assurer du bon fonctionnement du matériel en tenant compte de toutes les contraintes qu'elles soient physiques ou techniques. En second, lieu nous présentons les résultats de mesure obtenus et leur discussion.

### III.2 Dispositif expérimental :

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université de Tizi-Ouzou. La station d'essai de notre laboratoire comprend les organes suivants :

- Un transformateur d'essai ;
- Un pupitre de commande ;
- Les appareils de mesure et de protection ;

*a - Transformateur d'essai* : Il est conçu et isolé pour la génération de la haute tension alternative allant jusqu'à 100 kV au secondaire.



**Figure III.1** Photographie du transformateur d'essai

**b - Pupitre de commande :** Il est alimenté sous une tension de 220 V et permet la variation manuelle de la tension d'essai. Il dispose des organes de protection et de coupure.



*Figure III.2 Photographie du pupitre de commande*

**c - Appareils de mesure :** Notre travail consiste en la mesure de la tension de contournement des isolateurs, pour ce, la mesure de celle s'est faite avec un voltmètre à affichage digital de marque Metrix via un diviseur de tension de rapport 1000 incorporé dans le pupitre de commande.

### III.3 Prescription générales pour les essais

#### III.3.1 Nettoyage de l'isolateur

L'isolateur doit être nettoyé très soigneusement pour supprimer toute trace d'impuretés et de graisse. Après nettoyage, les parties isolantes de l'isolateur ne doivent pas être touchées avec les mains. Il est préférable d'utiliser de l'eau chaude à 50 °C en ajoutant du phosphate trisodique ou autre détergent, après quoi, l'isolateur est rincé minutieusement à l'eau du robinet. On estime que la surface de l'isolateur est suffisamment propre et nette de toute graisse si de grandes surfaces entièrement mouillées sont visibles. Entre chaque essai, l'isolateur doit encore être soigneusement lavé, exclusivement à l'eau du robinet pour enlever toute trace de pollution [12].

### III.3.2 Application de la couche de pollution

La pollution artificielle est préparée selon la norme *CEI 60507*. Les solutions salines sont à base de chlorure de sodium (Na Cl) et de l'eau distillée (deminéralisée).

Selon cette norme, la salinité employée doit avoir l'une des valeurs suivantes : **2,5 – 3,5 – 5 – 7 – 10 – 14 – 20 – 28 – 40 – 56 – 80 – 112 et 224** kg/m<sup>3</sup>.

On distingue quatre (04) niveaux de pollutions représentés comme suite :

- Salinité légère ( $0 \div 7 \text{ kg/m}^3$ ) ;
- Salinité moyenne ( $7 \div 20 \text{ kg/m}^3$ ) ;
- Salinité élevée ( $20 \div 80 \text{ kg/m}^3$ ) ;
- Salinité très élevée ( $\geq 80 \text{ kg/m}^3$ ).

Description	S <sub>a</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	S <sub>a</sub> utilisée (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Légère</i>	0 ÷ 7	2,5 et 5
<i>Moyenne</i>	7 ÷ 20	10 et 14
<i>Élevé</i>	20 ÷ 80	40 et 56
<i>Très élevée</i>	≥80	112 et 224

*Tableau III.1 Niveaux de pollution et salinités utilisées*

S<sub>a</sub> : salinité (kg/m<sup>3</sup>).

La pollution artificielle (eau distillée + Na Cl) est préparée au laboratoire, les doses de sel correspondant ont été pesées avec une balance de précision [12].

## III.4 Essais sous pollution artificielle

Pour notre étude sur l'effet de la pollution artificielle sur le contournement des isolateurs, nous disposons de deux types d'isolateurs (U40 B et U120 B).

### III.4.1 Protocole d'essais

#### III.4.1.1 Évolution de tension de contournement

Le but de cet essai est de déterminer la tension de contournement de l'isolateur en fonction du niveau et de sévérité de la pollution. Pour réaliser cet objectif nous devons appliquer une tension et l'augmenter jusqu'à l'obtention du contournement de l'isolateur.

Nous devons déterminer la tension de contournement à l'état propre et par la suite introduire la pollution par sévérité et par niveau.

#### III.4.1.2 Tension de contournement

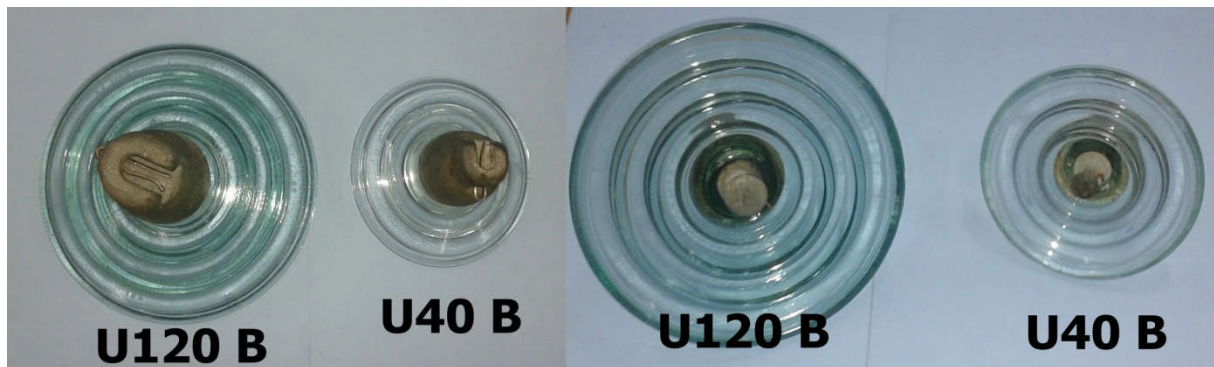
Dans cette étude, nous analysons l'influence des niveaux de pollution sur la tension de contournement.

#### III.4.1.3 Mesure de la tension de contournement pour différents niveaux de pollution

L'essai de contournement est effectué juste après avoir humidifié l'isolateur par la solution saline. L'isolateur est rendu propre et sec comme déjà mentionné, nous répétons l'essai de contournement dix fois pour chaque solution saline selon les recommandations de la *CEI 60507*. La valeur de la tension de contournement sera la valeur moyenne des dix valeurs obtenues.

### III.5 Isolateurs utilisés

Lors des essais, nous avons utilisé deux types d'isolateurs : Isolateurs HT de suspension en verre U40 B et U120 B



*Figure III.3 Photographie des isolateurs utilisés*

### III.5.1 Isolateur U40 B

Il est de type d'assemblage à rotule (Voir figure III.4)

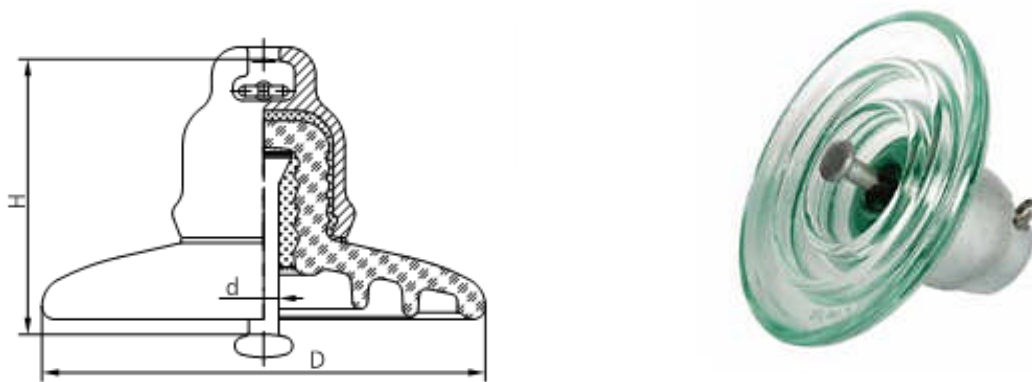


Figure III.4 Principales dimensions et forme de l'isolateur U 40B [20]

Désignation, référence	CEI 60305	U40B
Charge de rupture mécanique minimale	kN	40
Résistance résiduelle mécanique minimale	kN	32
Diamètre de partie isolante, D	mm	175
Pas, H	mm	110
La ligne de fuite nominale	mm	190
Assemblage à rotule ; d, norme (CEI 60120)	mm	11
Tension de perforation dans un milieu isolant	kV	100
Tension de tenue 50 Hz à sec	kV	55
Tension de tenue 50 Hz sous pluie	kV	33
Tension de tenue au choc de foudre à sec 1,2/50 $\mu$ s +/-	kV	70/70
Tension de perforation par choc dans l'air	kV	200...200
Niveau de perforation radioélectrique à 0,5 MHz	dB	60
	kV	20
	dB	34
	kV	10
Poids	Kg	1,7

Tableau III.2 Caractéristiques électriques et mécanique de l'isolateur U 40B [20]

### III.5.2 Isolateur U120 B

Il est de type d'assemblage à rotule (Voir figure III.5)

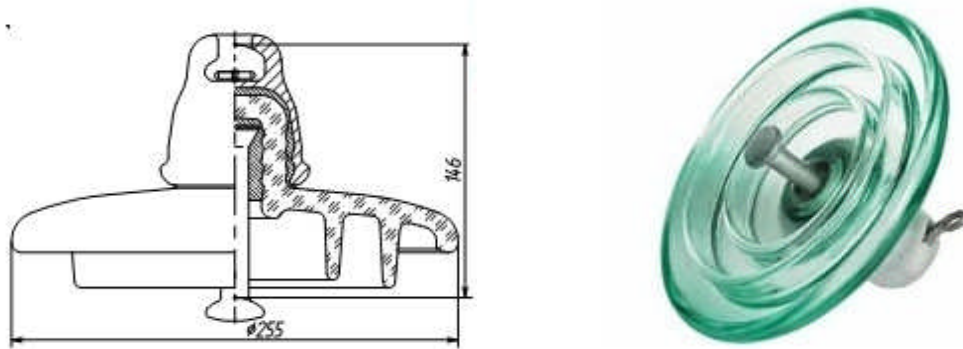


Figure III.5 Principales dimensions et forme de l'isolateur U 120B [20]

Désignation, référence	CEI 60305	U120B
Charge de rupture mécanique minimale	kN	120
Résistance résiduelle mécanique minimale	kN	96
Diamètre de partie isolante, D	mm	255
Pas, H	mm	146
La ligne de fuite nominale	mm	320
Assemblage à rotule ; d, norme (CEI 60120)	mm	16
Tension de perforation dans un milieu isolant	kV	130
Tension de tenue 50 Hz à sec	kV	70
Tension de tenue 50 Hz sous pluie	kV	40
Tension de tenue au choc de foudre à sec 1,2/50 $\mu$ s +/-	kV	100/100
Tension de perforation par choc dans l'air	kV	280...310
Niveau de perforation radioélectrique à 0,5 MHz	dB	60
	kV	20
	dB	34
	kV	10
Poids	Kg	3,9

Tableau III.3 Caractéristiques électriques et mécanique de l'isolateur U 120 B [20]

### III.6 Facteurs de correction atmosphérique

La décharge disruptive d'une isolation externe dépend des conditions atmosphériques régnant dans le laboratoire.

Dans tout ce qui va suivre, nous adopterons les notations suivantes :

$U_d$  : Tension de contournement ;

$\bar{U}_d$  : Tension de contournement moyenne ;

$U_{dc}$  : Tension de contournement corrigé.

En appliquant les facteurs de correction selon les recommandations de la CEI, une tension de contournement mesurée peut être convertie à la valeur qui aurait été obtenue sous les conditions atmosphériques de référence [11].

Il existe deux facteurs de correction :

- Le facteur de correction de la densité de l'air  $k_1$ ,
- Le facteur de correction de l'humidité  $k_2$ .

On appelle  $K_t$  facteurs de correction atmosphérique donné par :

$$K_t = k_1 \cdot k_2 \quad (III.1)$$

Sauf spécification contraire du comité d'étude intéressé, la tension à appliquer un essai de tenue d'une isolation externe est calculée en multipliant la tenue spécifiée par  $K_t$ . De même les tensions de décharge disruptive sont ramenées aux conditions atmosphériques normales en divisant par  $K_t$ .

$$U_{dc} = \frac{U_d}{K_t} \quad (III.2)$$

#### III.6.1 Atmosphère normale

L'atmosphère normale de référence est donnée par :

- Température  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ou  $T_0 = 293 \text{ K}$

- Pression  $b_0 = 1013 \text{ h Pa}$
- Humidité absolue  $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

### III.6.2 Facteur de correction de densité de l'air $k_1$

La densité de l'air  $\delta$  est donnée par relation suivante :

$$\delta = \frac{b}{b_0} \cdot \frac{273 + t_0}{273 + t} = \frac{b}{b_0} \cdot \frac{T_0}{T} = \frac{293b}{1013T} \quad (\text{III. 3})$$

$b$  : pression atmosphérique [hPa]

$t$  : température [ $^{\circ}\text{C}$ ] ou  $T$  : température [K]

Une correction de la tension d'essai pour la pression de l'air sur la base de cette formule peut être recommandée pour des altitudes jusqu'à 3000 m.

Le facteur de correction densité de l'air  $k_1$  est donné par :

$$k_1 = \delta^m \quad (\text{III. 4})$$

### III.6.3 Facteur de correction de l'humidité $k_2$

L'humidité absolue  $h$  est soit mesurée à l'aide d'un hygromètre composé de deux thermomètre précis et ventilés, l'un étant sec, l'autre humide ou déterminée à partir l'humidité relative  $H$  et la température  $t$  par la formule (CEI 60060-1 :2010) [11].

$$h = \frac{6,11 \cdot H \cdot e^{\frac{17,6t}{243+t}}}{0,4615 \cdot (273 + t)} \quad (\text{III. 5})$$

$h$  : humidité absolue [ $\text{g/m}^3$ ]

$t$  : température [ $^{\circ}\text{C}$ ]

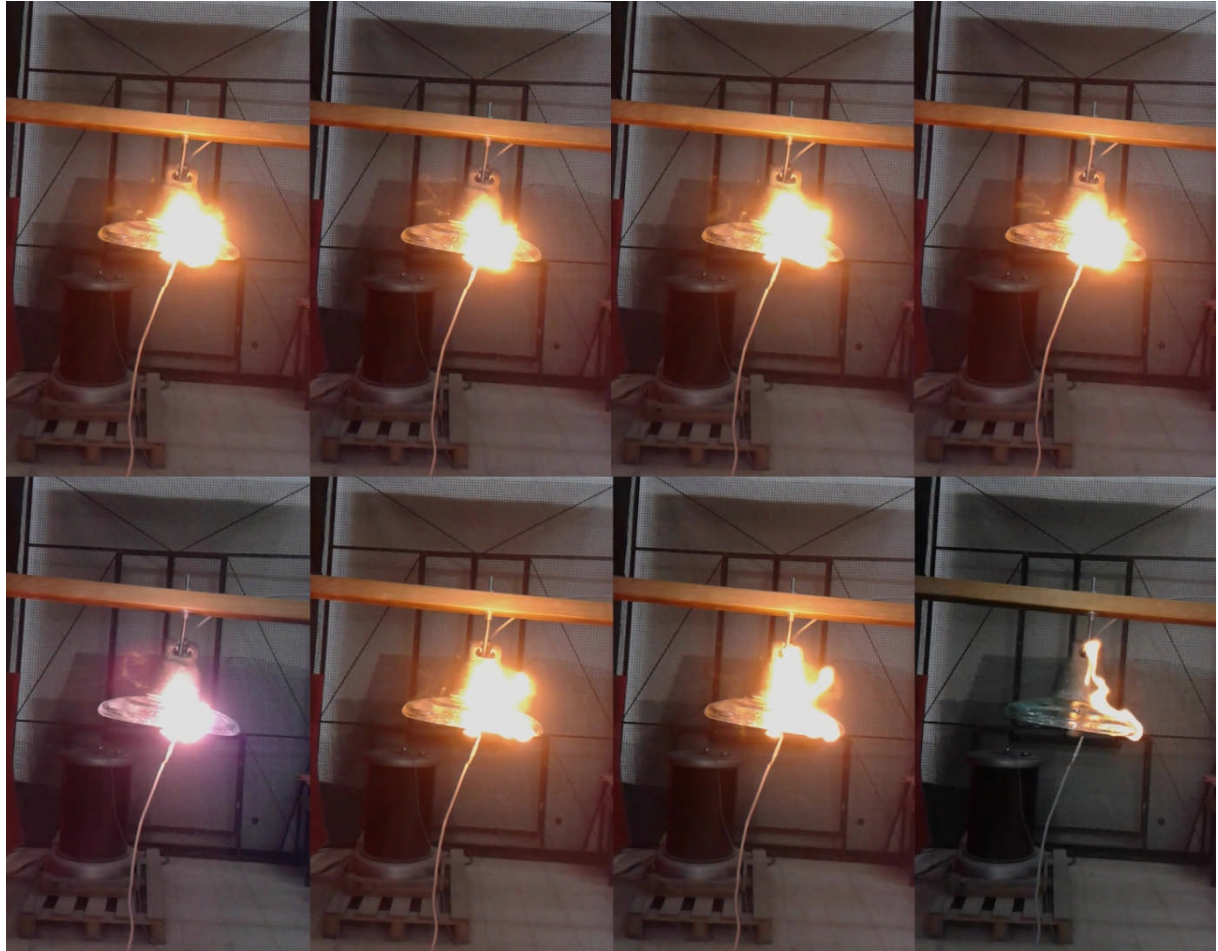
$H$  : humidité relative [%]

Le facteur de correction de l'humidité  $k_2$  est donné par l'expression suivante :

$$k_2 = k^w \quad (\text{III. 6})$$

### III.7 Résultats expérimentaux

La série de photographies suivantes montre le dispositif expérimental et les différentes étapes du contournement de l'isolateur.



*Figure III.6 Photographies des différentes étapes de contournement d'un isolateur U 40B réalisées au laboratoire Haute Tension*

#### III.7.1 Isolateur U40 B

##### III.7.1.1 Isolateur sec et propre

Conditions atmosphériques :

$t = 20,9^{\circ}\text{C}$

$H = 42,2 \%$

$b = 1005 \text{ h Pa.}$

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.4)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d$ (kV <sub>eff</sub> )	57,9	55,8	57,2	59,3	60,6	56,7	57,8	57,9	59,2	59,2	58,1

**Tableau III.4** Essais sur l'isolateur U40B sec et propre

La tension de contournement corrigée  $U_{dc}$  est donnée par :

$$U_{dc} = \frac{\bar{U}_d}{k_t}$$

$$k_t = k_1 \cdot k_2$$

$$U_{dc} = 61,8 \text{ kV}_{eff}$$

### III.7.1.2 Niveau de pollution 1 (pollution légère)

#### a- Salinité (2,5 kg/m<sup>3</sup>)

Conditions atmosphériques :

$$t = 20,7 \text{ °C ;}$$

$$H = 45,1\% ;$$

$$b = 1000 \text{ h Pa.}$$

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.5)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d$ (kV <sub>eff</sub> )	43,75	54,3	57	60,7	49,7	49	57,9	62,9	62	63,7	56,20

**Tableau III.5** Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (2,5 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 59,78 \text{ kV}_{eff}$$

#### b- Salinité (5 kg/m<sup>3</sup>)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d$ (kV <sub>eff</sub> )	44,86	45,86	56,9	56,9	48,9	58,2	60	58,1	57,6	58	54,53

**Tableau III.6** Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (5 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 58,01 \text{ kV}_{eff}$$

**III.7.1.3 Niveau de pollution 2 (Salinité moyenne)****a- Salinité (10 kg/m<sup>3</sup>)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	42,51	48,59	55,9	56,12	48,10	48,2	57,7	62,7	59,7	57,7	53,7

*Tableau III.7 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (10 kg/m<sup>3</sup>)*

$$U_{ac} = 55,93 \text{ kV}_{eff}$$

**b- Salinité (14 kg/m<sup>3</sup>)**

Conditions atmosphériques :

t = 21,7 °C ;

H = 47,7% ;

b = 980 hPa

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.8)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	48,9	56,6	38,86	57,1	60,1	54,2	48,86	48,14	48,86	49,49	51,1

*Tableau III.8 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (14 kg/m<sup>3</sup>)*

$$U_{ac} = 54,36 \text{ kV}_{eff}$$

**III.7.1.4. Niveau de pollution 3 (Salinité élevée)****a- Salinité (40 kg/m<sup>3</sup>)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	38,0	41,29	48,86	57,8	54,8	55,5	58,1	48	47	48,17	49,73

*Tableau III.9 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (40 kg/m<sup>3</sup>)*

$$U_{ac} = 52,90 \text{ kV}_{eff}$$

**b- Salinité (56 kg/m<sup>3</sup>)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	29	32,97	34	43	44,31	47,31	55,2	48,26	48,86	48,15	43,10

**Tableau III.10** Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (56 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 45,85 \text{ kV}_{eff}$$

**III.8.1.5 Niveau de pollution 4 (Salinité très élevée)****a- Salinité (112 kg/m<sup>3</sup>)**

Conditions atmosphériques :

t = 19,9 °C ;

H = 51,5 % ;

b = 1002 hPa.

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	29	33,33	41,06	44,64	55,51	45,64	35	36,94	47,64	47,19	40,76

**Tableau III.11** Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (112 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 42,45 \text{ kV}_{eff}$$

**b- Salinité (224 kg/m<sup>3</sup>)**

Conditions atmosphériques :

t = 20 °C ;

H = 43,3% ;

b = 1003 h Pa.

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	31,47	32,35	38,33	38,21	36,42	38,16	38,9	38,17	37,49	45	37,47

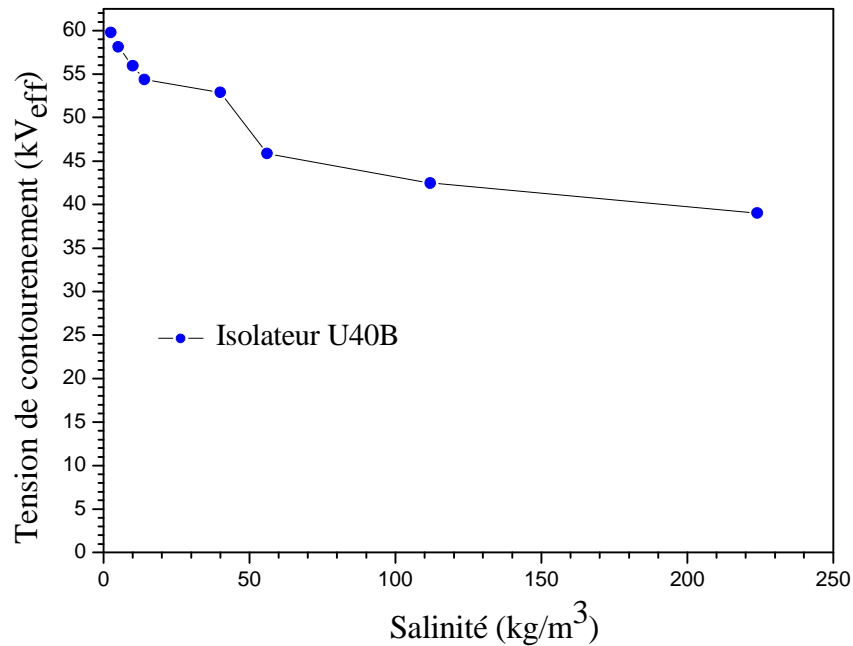
**Tableau III.12** Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (224 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 39,01 \text{ kV}_{eff}$$

Nous pouvons résumer les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Salinité (kg/m <sup>3</sup> )	2,5	5	10	14	40	56	112	224
U <sub>cc</sub> (kV <sub>eff</sub> )	59,78	58,1	55,93	54,36	52,9	45,85	42,45	39,01

**Tableau III.13** Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U40B



**Figure III.7** Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U 40 B

La courbe de la (figure III.7), montre que la tension de contournement de l'isolateur diminue avec l'augmentation de la salinité. En d'autres termes, la salinité influe sur la tension de contournement des isolateurs. Cela peut s'expliquer que la proportion de sel influe beaucoup sur la tension de contournement de l'isolateur.

## III.7.2 Isolateur U120B

### III.7.1.1 Isolateur sec et propre

Dans ce cas ; nous n'avons pas pu mesurer la tension de contournement parce que cette tension est supérieure 70,71 kV<sub>eff</sub> (Le transformateur d'essai délivre au maximum 100 kV<sub>max</sub>)

**III.7.2.2 Niveau de pollution 1 (pollution légère)****a- Salinité 2.5 (kg/m<sup>3</sup>)**

Conditions atmosphériques :

$t = 23.1^{\circ}\text{C}$

$H = 40.1\%$

$b = 1001 \text{ hPa}$

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.14)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d(kV_{eff})$	63,2	49,06	62,3	66,4	62,9	66,9	67,4	64,5	63,8	65,9	63,23

**Tableau III.14** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution légère (2.5 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 67,26 kV_{eff}$$

**b- Salinité 5 (kg/m<sup>3</sup>)**

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.15)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d(kV_{eff})$	68,8	45,17	66,2	48,26	65,3	44,9	66,6	67,9	67,1	69,5	60,97

**Tableau III.15** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution léger (5 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 64,86 kV_{eff}$$

**III.7.2.3 Niveau de pollution 2 (Salinité moyenne)****a- Salinité (10 kg/m<sup>3</sup>)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d(kV_{eff})$	66	56,6	61,80	49,17	63,8	67,6	64,8	43,19	64,9	49,05	58,69

**Tableau III.16** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (10 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 62,43 kV_{eff}$$

**b-Salinité (14 kg/m<sup>3</sup>)**

Les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau (III.17)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	46,17	64	59	44,57	48,35	47,19	49,63	58,6	63,4	64,2	54,51

**Tableau III.17** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (14 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 56,78 \text{ kV}_{eff}$$

**III.7.1.4. Niveau de pollution 3 (Salinité élevée)****a- Salinité (40 g/l)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	42,19	43,95	44,09	45,08	49,30	46	57,3	48	65,3	66,5	50,77

**Tableau III.18** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (40 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 52,88 \text{ kV}_{eff}$$

**b- Salinité (56 kg/m<sup>3</sup>)**

Conditions atmosphériques :

$$t = 24,7^\circ\text{C}$$

$$H = 42,2\%$$

$$b = 1002\text{hPa}$$

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
U <sub>d</sub> (kV <sub>eff</sub> )	35,51	42	42,28	49	46,47	48,15	54,6	55,8	56,8	61,6	49,22

**Tableau III.19** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (56 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 50,74 \text{ kV}_{eff}$$

### III.7.1.5 Niveau de pollution 4 (Salinité très élevée)

#### a- Salinité (112 g/l)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d(kV_{eff})$	33,19	40,33	45,20	47,78	48,25	47,90	49,32	42,78	55,2	56	46,5

**Tableau III.20** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (112 kg/m<sup>3</sup>)

$$U_{dc} = 47.93 kV_{eff}$$

#### b- Salinité (224 kg/m<sup>3</sup>)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{U}_d$
$U_d(kV_{eff})$	21,13	28,15	34,22	37,21	41,02	48	47,06	48,15	58,9	62,6	42,64

**Tableau III.21** Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (224 kg/m<sup>3</sup>)

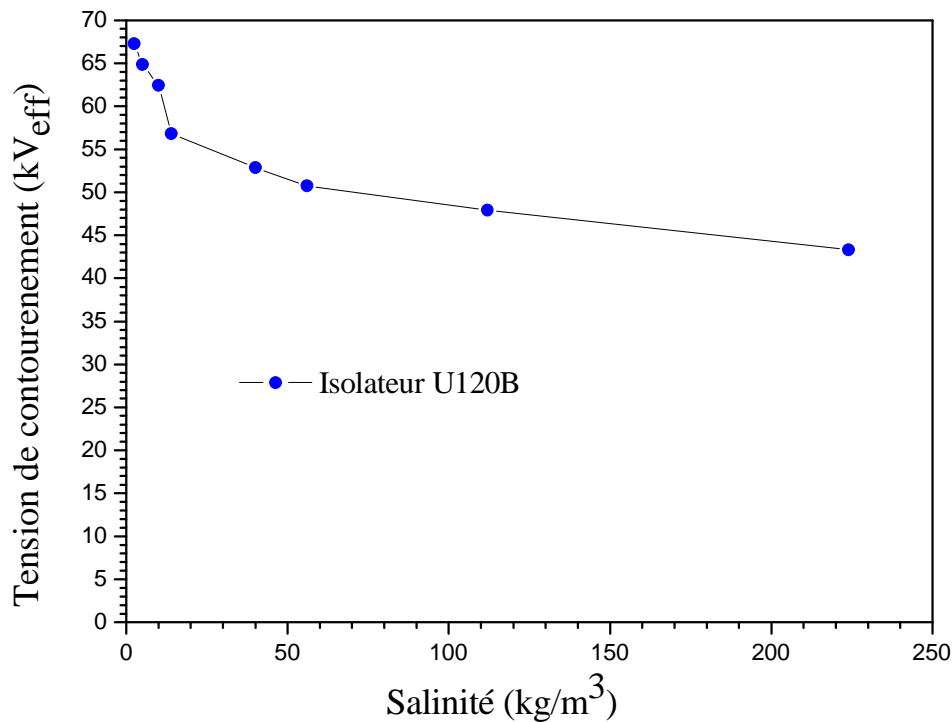
$$U_{dc} = 43.32 kV_{eff}$$

Nous pouvons résumer les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Salinité (kg/m <sup>3</sup> )	2,5	5	10	14	40	56	112	224
$U_{cc} (kV_{eff})$	67,26	64,86	62,43	56,78	52,88	50,74	47,93	43,32

**Tableau III.22** Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U120B

Comme pour figure III.7, la tension de contournement pour l'isolateur U120B (figure III.8) diminue avec l'augmentation de la salinité.



*Figure III.8 Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U 120 B*

### III.8 Conclusion

L'étude expérimentale sur la tension de contournement d'un isolateur sous pollution, nous a conduits aux résultats suivants :

- La tension de contournement est plus importante dans le cas de l'état sec que dans le cas pollué.
- L'isolateur propre et sec est plus rigide que l'isolateur pollué.
- Le niveau de pollution influe directement sur la tension de contournement des isolateurs. En effet, l'augmentation du degré de pollution diminue énormément la tension de contournement.
- La tension de contournement des isolateurs U40B et U120B diminue d'une manière significative.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

Ce travail a pour objectif de voir et montrer l'influence de la pollution des isolateurs sur la tension de contournement. Il est consacré à l'étude expérimentale de la tension de comportement des isolateurs HT suspension en verre U40B et U120B exposés aux différentes pollution de salinités réalisées au laboratoire Haute Tension.

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la salinité du dépôt polluant ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation. La pollution pose généralement peu de problèmes. Cependant, quand il fait humide, elle cause la dissolution des sels et la formation d'une couche électrolytique sur la surface des isolateurs, réduisant de ce fait leur rigidité diélectrique.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure sur la base des résultats des essais sur les isolateurs utilisés que le degré de pollution (salinité) influe directement sur la tension de contournement. En effet, l'augmentation du degré de pollution des isolateurs diminue énormément la tension de contournement.

Nous nous sommes limités seulement à l'étude de l'effet de la salinité sur la tension de contournement des isolateurs U40B et U120B. L'étude serait plus complète avec la méthode des couches solides (préparation de la couche contaminante) avec la composition à base de Kieseiguhr ou de Tonoko.

## *Références bibliographiques*

## Références Bibliographiques

- [1] **A.ADEL KARA**, « *Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué* », Mémoire de Magister de l'U.F.A SETIF, 2013.
- [2] **A.AHCENE**, « *Mesure de la distribution du potentiel électrique sur la surface d'un isolateur en verre pollué et soumis à une haute tension* », Mémoire de DEUA de l'UMMTO, 2010.
- [3] **N.AIT ALIOUA, M.DJABER, D.CHIKHI**, « *Comportement électrique de deux isolateurs parallèles contaminés et soumis à une tension alternative 50 Hz* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2009.
- [4] **F.AOUABED**, « *Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP* », Mémoire de Magister de l'université Ferhat Abbas, Sétif,
- [5] **L.AOUIMEUR, N.BERKANI**, « *Comportement des isolateurs de traversées 10 et 30 Kv sous pollution artificielle* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2006.
- [6] **L.BEGTACHE**, « *Étude du comportement d'un isolateur silicone dans un environnement désertique* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2012.
- [7] **L.BEKDACHE, S.BELHAMICHE**, « *Étude du contournement des isolateurs sous pollution marine* », Mémoire de Master de l'UMMTO, 2014.
- [8] **S.BOUCOUKH, B.SAYEH LAMBARK**, « *Influence de la pollution artificielle sur la tension de contournement d'une chaîne d'isolateur MT* », Mémoire de Master de l'université Kasdi Merbah, 2014.
- [9] **A.BOUDJAMMAA, R.SEBTI**, « *Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension* », Mémoire de Master de l'université Kasdi Merbah, Ouargla, 2012.
- [10] **K.BOUFERGANE, O.AKLI**, « *Prédiction de la sévérité de pollution sur un isolateur réel sous tension alternative 50 Hz* », Mémoire de Master de l'UMMTO, 2015.

- [11] **CEI 60060-1**, « *Technique d'essais à haute tension. Partie 1 : Définition et prescription relative aux essais* », 2010.
- [12] **CEI 60507**, « *Essais sous pollution artificielle des isolateurs destinés aux réseaux à courant alternatif* », 1991.
- [13] **R.CHAARANI**, « *Étude de l'influence des caractéristiques des isolateurs sur leurs performances électriques dans des condition de givrage* », Thèse de Doctorat de l'université du Québec, 2003.
- [14] **A.CHAKOU, M.DJEMMAA**, « *Élaboration d'un modèle dynamique du contournement d'un isolateur pollué sous une tension impulsionnel* », Mémoire de Master de l'université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.
- [15] **P.CLAVERIE, Y.PORCHERON**, « *Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en région polluées* », RGE N 3 mars 1973.
- [16] **S.DIAMPENI KIMBAKALA**, « *Modélisation dynamique des décharges se propageant sur des surfaces isolantes polluées avec des dépôts discontinus sous différentes forme de tension* », Thèse de Doctorat de l'École Centrale de LYON, 2007.
- [17] **X.DUCOURET**, « *Ligne aériennes : Matériels* », Technique de l'ingénieur, D4423, 2008.
- [18] **D.DUMORA**, « *Matériaux isolants céramiques en électrotechnique* », Technique de l'ingénieur, D275, 1982.
- [19] **M.FARZANEH, W.A.CHISHOLM**, « *Insulators for icing and polluted environments* », Edition John Wiley and Sons, 2009.
- [20] **Global insulator group**, « *Isolateur pour lignes de transmission et station de distribution à tension de 0,4 à 1150 kV* », catalogue des produits, 2012.
- [21] **M.GUENIFIS, S.GADOUM**, « *Mesure du degré de sévérité des pollution en vue du dimensionnement des isolateurs de la région de Tizgirt* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2009.
- [22] **A.HAMZA SLAMET**, « *Contribution à l'étude du modèle développé d'un isolateur pollué* », Mémoire de Magister de l'USTO, 2013.

- [23] **T.KACEL, M.AMRANI**, « *Étude de l'évolution temporelle de la sévérité de pollution d'un site* », Mémoire de DEUA de l'UMMTO, 2005.
- [24] **A.KRIB, L.ABBASSEN**, « *Étude du comportement électrique d'un isolateur à ailettes en porcelaine pollué et soumis une tension continue* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2007.
- [25] **G.LE ROY, C.GARY, B.HUTZLER, J.LALOT, et C.DUBANTON**, « *Les propriétés diélectrique de l'air et les très hautes tensions* », Edition EYROLLES, 1984.
- [26] **A.MEKHALDI**, « *Étude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz* », Thèse de Doctorat, ENP Alger, 1999.
- [27] **T.MERAGNI, I.GUIA**, « *L'effet de la pollution désertique sur l'isolateur de haute tension* », Mémoire de Master de l'Université d'El Oued, 2015.
- [28] **H.MEZZIANI**, « *Détermination du degré de sévérité de la pollution d'un site application à la région de Bouira* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2002.
- [29] **S.MOATEZ BELLAH**, « *Prédiction du contournement d'une chaîne d'isolateur MT 175 CTV Sonalgaz pollué artificiellement par la logique floue* », Mémoire de Master de l'université Mohamed Khider de Biskra, 2014.
- [30] **H.SITAYEB, K.TITOUCHE**, « *Influence de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative* », Mémoire de Master de l'UMMTO, 2016.
- [31] **Spécification technique STN C64 L6**, « *Isolateur en verre* », Office National d'Électricité, Maroc, 2003.
- [32] **A.YACOUBI, S.CHAKHMAM, M.BAGHDADI**, « *Détermination du degré de pollution d'un site* », Mémoire d'Ingénieur d'état de l'UMMTO, 2001.
- [33] **D.ZIANI**, « *Influence de la forme des électrodes sur le contournement des isolateurs propres* », Mémoire de Magister de l'USTO.



