

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

Hayat SI TAYEB
Karim TITOUCHE

Thème

Influence de la pollution sur la tension de contournement des isolateurs sous tension alternative

Mémoire soutenu publiquement le 28/06/ 2016. 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 haute tension de l'Université Mouloud Mammeri sous la Direction de Monsieur **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 nous ont contribué à mener à terme ce travail.

Nous tenons à remercier Monsieur **HADDAD Salah**, Professeur à l'UMMTO pour avoir accepté de présider ce jury.

Nos vifs remerciements vont à Monsieur **MEGHERBI Mohammed**, 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 du jury

Nous tenons également à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail :

Ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple sacrifice, te de l'honnêteté.

A mon père, symbole de patience et du courage, je leur souhaite une bonne santé, que Dieu me les garde.

Ames très chers frères et mes sœurs,

A toute la famille Si tayeb,

A tous mes amies...

H. SI TAYEB

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail :

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

A mes frères et mes sœurs.

A tout la famille

A tous mes amis...

K.TITOUCHE.

Sommaire

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I. généralités sur les isolateurs</i>	
I.1. Introduction	2
I.2. Isolants	2
I.3. Isolateurs.....	3
I.4. Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs.....	5
I.5. Différents types d'isolateur	6
I.6. Quelques profils des isolateurs à capot et tige	11
I.7. Propriétés diélectrique des isolants	12
I.8. Classification.....	16
I.9. Caractéristiques d'un élément de chaîne ou d'un isolateur rigide	16
I.10. Chaînes d'isolateurs	17
I.11. Contraintes subites par l'isolateur.....	18
I.12. Le choix des isolateurs	19
I.13. Conclusion.....	20
<i>Chapitre II. Phénomènes de pollution des isolateurs</i>	
II.1. Introduction.....	21
II. 2. Définitions	21
II.3. Différentes types de polluants	22
II.4. Différentes sources de pollution	23
II.5. Facteurs climatiques d'influence de la pollution	24
II.6. Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs	25
II.7. Conséquences de la pollution	26
II.8. Effets de la pollution sur les équipements électriques	27
II.9. Sévérité de pollution d'un site	29
II.10. Classification de la sévérité de pollution	40

II.11. Techniques de lutte contre la pollution	40
II.12. Contournement.....	42
II.13. Cause de contournement	44
II.14. Etapes du contournement des isolateurs	44
II.15. Contournement des isolateurs pollués	45
II.16. Le contournement des isolateurs sous pollution	46
II.17. Conclusion	47
<i>Chapitre III. Techniques expérimentales et résultats</i>	
III.1. Introduction	49
III.2. Dispositif expérimental	49
III.3. Application de la couche de pollution	50
III.4. Essais sous pollution artificielle	50
III.5. Facteurs de correction atmosphérique	53
III.6. Les résultats expérimentaux	55
III.7. Conclusion	60
<i>Conclusion générale</i>	61

Introduction générale

Introduction générale

La production, le transport et la distribution de l'énergie électrique forment la base de l'économie d'un état industriel moderne. Avec progression de l'industrialisation, naissent des exigences de plus en plus élevées concernant la mise à la disposition de cette énergie. Pour des raisons économiques, le transport et la distribution de l'énergie électrique s'effectuent généralement par des lignes aériennes en haute tension (H.T). Leur fiabilité dépend donc considérablement du comportement mécanique, électrique et diélectrique des différents composants de ces lignes, on note le rôle primordial que jouent les isolateurs. Leur choix est donc plus important.

Les isolateurs qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, mais constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement du réseau aérien. Leur rôle est d'assurer l'isolement électrique entre les parties portées à la H.T ou entre les parties H.T, et les parties mises à la terre.

Une quantité importante d'isolateurs est utilisée sur les lignes aériennes de transport de l'énergie électrique, ces lignes pouvant parcourir des centaines de km et donc traverser des régions très différentes de part leur relief, leur climat (tropical, arctique, côtier), leur industrialisation, etc...

Parmi les conditions météorologiques auxquelles sont soumis les équipements des réseaux électriques, ce sont les accumulations de dépôt de sel de mer, sont les plus dangereuses lorsqu'ils sont secs, cependant humidifiés, les dépôts de pollution deviennent conducteurs. Le courant de fuite qui prend naissance suite à une mise sous tension, conduit à l'échauffement de cette couche provoquant ainsi son assèchement. Une partie importante de la tension appliquée se trouve alors reportée sur cette bande sèche. Sur laquelle une décharge pourra s'amorcer si le champ électrique local (au niveau de cette couche) est suffisant. Selon les conditions électriques, cette décharge s'éteint ou se maintient sur la surface de l'isolateur provoquant l'érosion du diélectrique. Dans le cas extrême, la décharge évolue vers le contournement total de l'isolateur.

Le présent travail porte sur l'étude de l'effet de la pollution artificielle sur le contournement d'un isolateur soumis à une tension alternative. Il comporte trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré aux rappels concernant les isolateurs et leurs caractéristiques ainsi les différents type d'isolateurs existants et leurs domaines d'application.

Le second chapitre est réservé à l'analyse descriptive des phénomènes de pollution et les différentes méthodes d'essais d'isolateurs sous l'effet de pollution naturelle et artificielle.

Dans le troisième chapitre nous avons présente les résultats expérimentaux que nous avons obtenus et leurs interprétations.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I
Généralités sur les isolateurs

I.1. Introduction

Les isolateurs sont l'un des principaux composants des lignes aériennes de haute et moyenne tension (HT et MT), leur fiabilité quelle que soit les conditions environnementales est primordiale, ils constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de réseau électrique. Ils sont conçus pour que la perforation soit impossible, cette précaution permet aux isolateurs la condition à assurer leur fonction de support mécanique même lorsque leur fonction d'isolation n'est plus remplie; Cela est très important dans la pratique.

I.2. Isolants

I.2.1. Définitions

I.2.1.1. Isolant

Un *isolant* est une substance dont la conductivité est nulle ou, en pratique très faible. L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction électrique entre conducteur soumis à des champs électriques. On peut considérer comme isolant, tous les matériaux dont la résistivité est supérieure à $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ [1].

I.2.1.2. Isolation

Une *isolation* est un système constitué par des matériaux isolants ou un assemblage des matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.

I.2.1.3. Diélectrique

Un *diélectrique* est défini comme un milieu matériel dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparées par une énergie supérieure à 5 eV. On le définit aussi comme un milieu dans lequel tout volume de la substance possède un moment dipolaire (polarisation permanente) ou susceptible d'en acquérir sous l'action d'un champ électrique (polarisation induite).

I.2.2. Différents types d'isolants

On distingue trois types d'isolants :

- Isolants gazeux ;
- Isolants liquides ;
- Isolants solides.

I.2.2.1. Isolants gazeux

L'air et les gaz secs sont des bons isolants, ils ont des propriétés particulières [1]:

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature du gaz ;
- Permittivité faible, les gaz sont auto-régénérateurs ;
- Phénomène d'ionisation de gaz ;
- Légers.

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, SF₆, et l'hydrogène.

I.2.2.2. Isolants liquides

Les liquides diélectriques sont souvent utilisés en association avec des solides (transformateurs, condensateurs). Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui sont sources de décharges partielles [1]. Les liquides sont utilisés pour :

- Améliorer le pouvoir de coupure de certains appareils électriques par l'amélioration des conditions d'extinction de l'arc électrique ;
- Assurer une bonne isolation électrique et permettre un bon refroidissement.

I.2.2.3. Isolants solides

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques et résineuses [2]:

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

I.3. Isolateurs

On appelle *isolateur* tout système d'isolation constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de ceux-ci, en liaison avec les parties conductrices associées. Son rôle principal est d'amarrer les conducteurs et à les isoler des supports. On les emploie sous forme de cloches simples et de chaînes d'isolateurs [3]. Les isolateurs sont en porcelaine, verre ou silicone.

I.3.1. Caractéristiques des isolateurs

I.3.1.1. Tension d'essai

C'est la valeur efficace de la tension appliquée à l'isolateur en permanence pendant toute la durée de l'essai [3, 4].

I.3.1.2. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir du quel tous les arcs joignent les deux électrodes

I.3.1.3. Courant de fuite

Le courant de fuite est un courant de faible amplitude à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Son intensité devient considérable lorsque cette couche est humidifiée. En effet, dans les conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans la couche polluante provoque la formation d'une couche électrolytique.

I.3.1.4. Courant de fuite critique

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement, sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement.

I.3.1.5. Ligne de fuite spécifique (I_s) d'un isolateur

C'est la plus courte distance ou somme des plus courtes distances suivant les contours des surfaces extérieures des parties isolantes entre les parties qui sont normalement soumises à la tension de service, généralement exprimées en mm/kV.

I.3.1.6. Facteur de forme (F) d'un isolateur

Le facteur de forme 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 [3, 4].

Le facteur de forme est donné par l'aire située sous la courbe et calculé suivant la formule :

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

Avec :

L : Longueur partielle de l'isolateur (m) ;

$p(l)$: Permittivité d'isolateur en fonction de la longueur de fuite partielle L (m).

I.4. 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. On s'intéresse de plus en plus à l'utilisation des isolateurs en matériaux polymères [5].

I.4.1. 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, des bornes de traversées des transformateurs de puissance etc. . .

I.4.2. 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 est très facile. On trouve deux types de verre pour la fabrication des isolateurs : le verre trempé et le verre recuit.

I.4.2.1. Verres trempés

Ils consistent à porter la pièce à une température voisine de son point de ramollissement $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ et à la refroidir brusquement au moyen de jets d'air froid sous pression, ce traitement améliore les qualités mécaniques du verre ainsi que sa tenue aux chocs thermiques en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter une variation brusque de température pouvant atteindre $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

L'avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ce qui n'est pas le cas des isolateurs à capot et tige en céramique, sous les efforts d'une contrainte électrique trop forte ou même lors d'une défektivité de l'isolateur.

I.4.2. Verres recuits

Ils ont surtout été utilisés pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension. On cite aussi les verres sodiques, borosilicate et les polyamides.

I.4.3. Matériaux synthétique

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 etc. . .).

I.5. Différents types d'isolateur

L'utilisation des diélectriques solides est très répandue dans les lignes aériennes et les postes. On les rencontre sous différentes formes : isolateur support, de traversée et de ligne.

I.5.1. 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 supports de jeux de barres dans les postes de transformation [6].



Figure I.1 *Isolateur support [25]*

I.5.2. Isolateurs de traversées

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

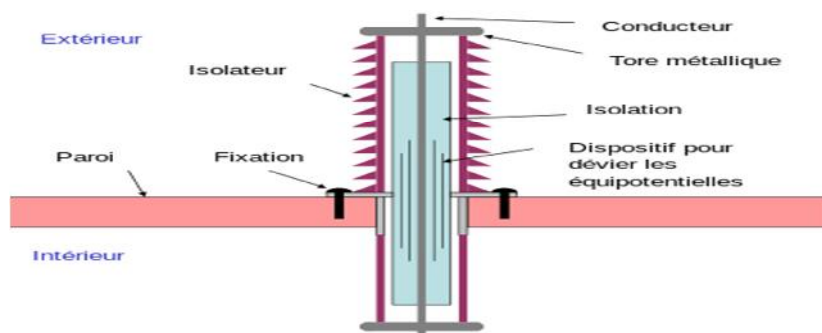


Figure I.2 Isolateur de traversées [25]

I.5.3. Isolateurs de lignes aériennes

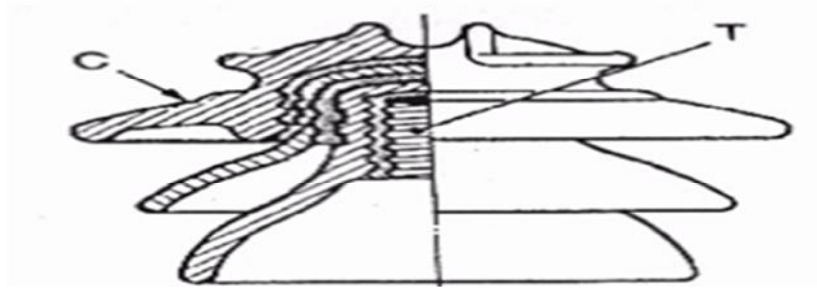
Les conducteurs des lignes aériennes sont fixés aux supports par l'intermédiaire d'isolateurs. Ils sont en porcelaine ou en verre. Les isolateurs doivent présenter deux qualités, l'une est d'ordre électrique et l'autre est d'ordre mécanique, car ils doivent posséder une rigidité diélectrique suffisante pour tenir la tension de service d'un côté et de l'autre côté ils doivent y avoir des propriétés mécaniques pour résister aux sollicitations exercées sur eux. En pratique, on distingue deux types d'isolateurs de lignes aériennes : isolateurs rigides et isolateurs suspendus ou éléments de chaîne.

I.5.3.1. Isolateurs rigides

Les *isolateurs rigides* sont utilisés pour l'isolement des lignes aériennes HT (inférieures à 80 kV). Ils permettent d'obtenir une liaison rigide entre les supports et les câbles, ils sont constitués par plusieurs éléments scellés l'un sur l'autre. Ils sont reliés aux supports par une ferrure fixe ; ces isolateurs sont soumis à des efforts de flexion et de compression, lorsqu'ils sont placés en position verticale. Ils peuvent être aussi en position horizontale. Le conducteur est fixé directement à l'isolateur à l'aide d'un fil d'attache, il existe également des isolateurs à socle constitués d'un ou plusieurs pièces en céramique ou en matériaux synthétiques, assemblés de façon permanente sur un socle métallique [7].

L'isolateur est fabriqué de telle sorte qu'en cas de surtension, il se produit plutôt un contournement qu'une perforation. Le contournement n'entraînant pas de dommage permanent de l'isolateur.

L'isolateur doit résister mécaniquement aux efforts combinés du poids de la ligne, du vent, de la neige et de la force horizontale de traction du conducteur en bout de ligne.



C : Cloche T : Logement de tige

Figure I.3 Isolateur rigide en verre [8]

Tension (kV)	Isolateurs rigides	Isolateurs suspendus à capot et tige
20	Série HT 20 en verre trempé	2 éléments U 40 de 100 mm de pas
	Série HT 22 en verre trempé (1)	3 éléments U 40 de 100 mm de pas
63	non utilisés	5 éléments U 100 de 130 mm de pas
90	non utilisés	6 éléments U 100 de 130 mm de pas
225	non utilisés	14 éléments U 100 de 130 mm de pas ou 13 éléments U 160 de 145 mm de pas
400	non utilisés	19 éléments U 160 de 145 mm de pas
(1) Utilisés aux angles et traversées (augmentation de l'isolement exigé par l'Arrêté interministériel).		

Tableau I.1 Isolateurs ou chaîne d'isolateurs couramment utilisées sur les lignes HTA et HTB [5].

I.5.3.2. Isolateurs suspendus ou éléments de chaîne

Elément 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 :

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

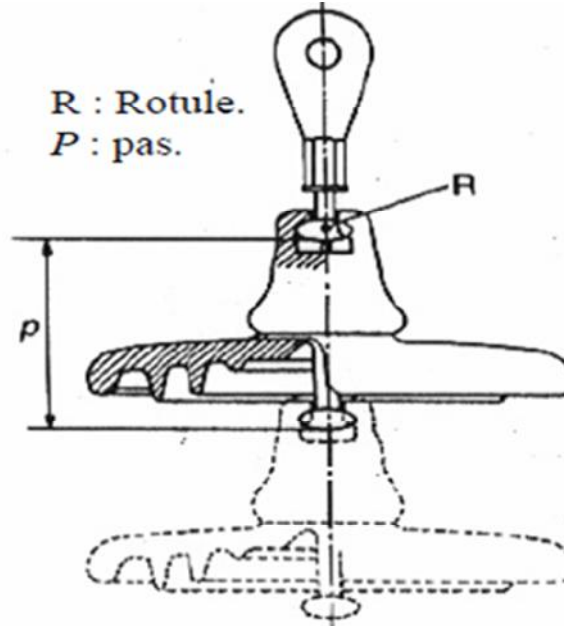


Figure I.4 Assemblage à rotule [8]

I.5.3.2.1. Isolateur à capot et tige

Les isolateurs des lignes aériennes HT sont de type capot et tige. La liaison entre deux éléments successifs est réalisée par des systèmes métalliques soit à rotule et logement à rotule, soit à chape et tenon [8]. Chaque élément est constitué de deux parties, la tête et l'assiette.

- **La tête** : est attachée avec du ciment qui sert à assurer l'isolation entre le capot et la tige, pour résister aux différents efforts et particulièrement à ceux dus à la traction et au poids des conducteurs ;
- **L'assiette** : assure l'isolation externe en forme de jupe et d'une tige, la condensation de l'eau ou de brouillard, ainsi la diminution des courants de fuite superficiels est assurée par la forme sinueuse de l'assiette.

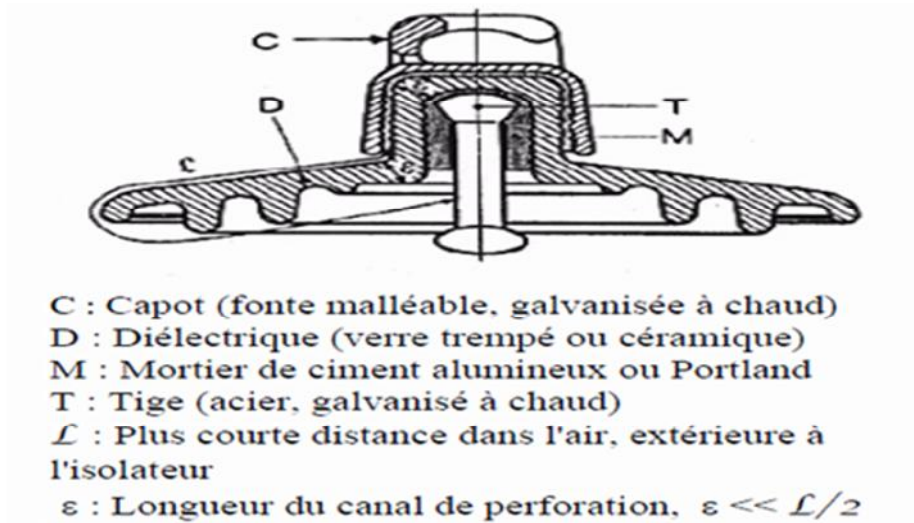


Figure I.5 Isolateur à capot et tige [8]

I.5.3.2.2. Isolateur à long fût

Ce type peut être constitué d'un cylindre plein en céramique, ou en porcelaine, muni d'ailettes, avec une pièce métallique de liaison à chaque extrémité. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellée autour des extrémités tronconiques sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis.

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

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

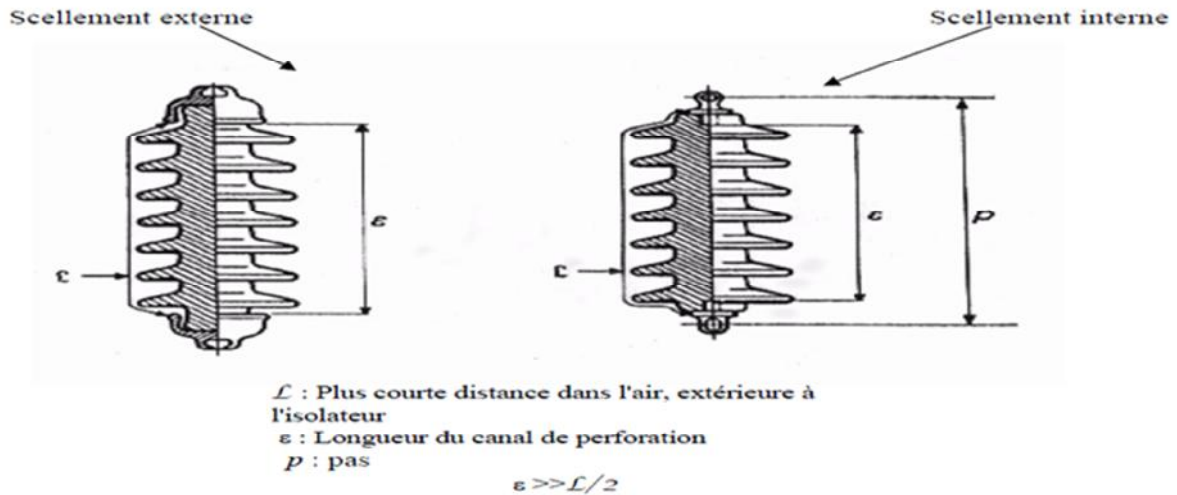


Figure I.6 Isolateur à long fût [8]

I.6. Quelques profils des isolateurs à capot et tige

I.6.1. 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 [8].

I.6.2. Profil antibrouillard

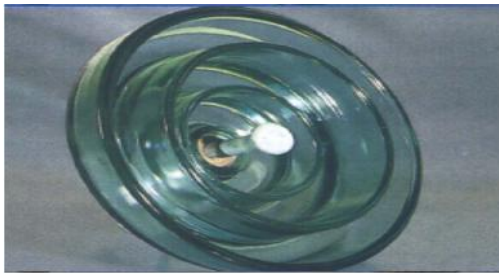
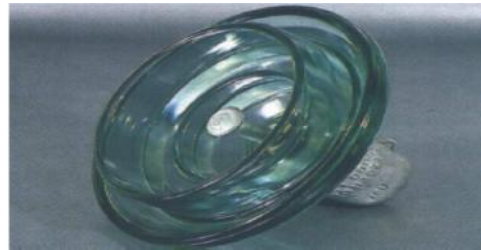
Il est plus large que le profil standard. L'écartement entre les anneaux permet un bon nettoyage par le vent ou la pluie et facilite le lavage manuel si nécessaire. L'espacement prévient également l'apparition d'arcs entre les anneaux adjacents dans des conditions sévères de pollution.

I.6.3. 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.

I.6.4. Profil sphérique

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

*Profil standard**Profil antibrouillard (A)**Profil ouvert**Profil antibrouillard (B)**Profil sphérique***Figure I.7** Différents profils d'isolateurs à capot et tige [8]

I.7. Propriétés diélectrique des isolants

On peut subdiviser les caractéristiques électriques des matériaux en deux grandes familles :

- ❖ la première comprend les propriétés essentielles qui sont :
 - Rigidité diélectrique E ;
 - Permittivité relative ϵ_r ;
 - Facteur de pertes diélectriques $tg\delta$;
 - Résistivité électrique ρ ;
 - Décharge disruptive ou claquage U_C .
- ❖ La seconde famille réunit des caractéristiques plus directement liées à l'emploi de l'isolant dans une catégorie de matériels déterminée, donc en liaison étroite avec

les diverses contraintes subies par le matériau au cours de son service (température, fréquence, etc...).

Dans certains cas, ces dernières caractéristiques peuvent être les éléments déterminants du choix d'un isolant destiné à une certaine fonction [4].

I.7.1. Rigidité diélectrique

La *rigidité diélectrique* d'un matériau isolant est la valeur du champ électrique auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rende inapte à remplir ultérieurement sa fonction. De façon pratique, la rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produit une perforation dans les conditions d'essais spécifiées et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension.

Suivant les positions relatives des conducteurs et de la surface des matériaux on distingue :

- La rigidité diélectrique transversale, pour la quelle le champ électrique appliqué est perpendiculaire aux surfaces principales du matériau ;
- La rigidité diélectrique longitudinale, obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant.

I.7.2 Permittivité

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre E_p à l'intérieur de la substance, s'opposant au champ électrique (E_e) extérieur appliqué. Cette caractéristique des isolants solides et liquides porte le nom de la permittivité relative ϵ_r .

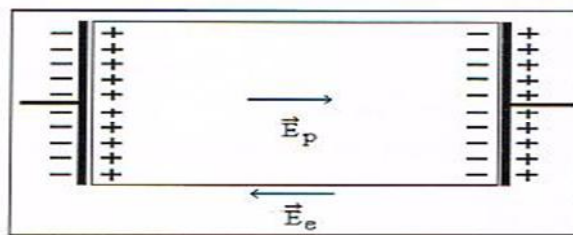


Figure I.8 champ électrique propre à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension [20]

La permittivité relative d'un diélectrique parfait est la capacité C_x entre deux électrodes supposées noyées ce diélectrique, par la capacité C_0 de la configuration d'électrodes dans le vide.

$$\epsilon_r = \frac{C_0}{C_x} \quad (I.2)$$

La permittivité absolue ϵ_a est le produit de la permittivité relative par la constante électrique du vide.

$$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \tag{I.3}$$

$$\epsilon_0 = 10^{-9}/36 \pi = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m.}$$

Dans le cas des diélectriques non parfait, on définit de façon analogue une permittivité complexe relative qui tient compte de la dissipation dans le diélectrique. Elle s'écrit :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \tag{I.4}$$

Où ϵ_r' est la partie réelle de la permittivité complexe, jouant le même rôle que ϵ_r dans le cas des diélectriques parfaits.

$$\epsilon_a^* = \epsilon_r^* \cdot \epsilon_0 \tag{I.5}$$

I.7.3. Angle de pertes et le facteur de dissipation

Tout isolant soumis à un champ électrique alternatif est traversé par des courants de conduction et d'absorption qui donnent lieu à des pertes diélectrique.

Le courant total traversant l'ensemble du circuit est déphasé en avance sur la tension d'un angle $< \pi/2$. Son complément est appelé angle de pertes. La tangente de cet angle est appelée **facteur de dissipation** (ou de pertes) et s'obtient de la façon suivante :

$$\text{tg} \delta = \frac{I_a}{I_r} = \frac{U_a}{U_r} = \frac{P_a}{P_r} \tag{I.6}$$

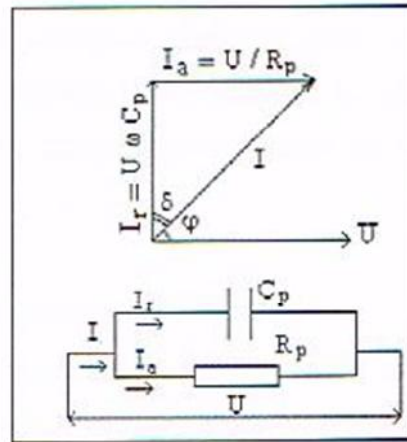
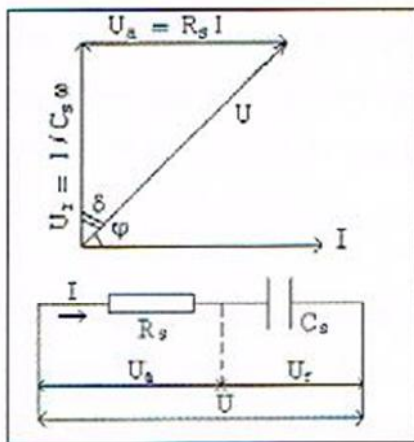


Figure I.9. Circuit électrique équivalent série [20]

Figure I.10. Circuit électrique équivalent parallèle [20]

D'après la formule (I.3), on peut écrire :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (I.7)$$

Le produit $\varepsilon_r'' = \varepsilon_r' \operatorname{tg} \delta$ est dénommé *indice de pertes*, car il caractérise l'énergie dissipée dans le diélectrique.

I.7.4. Résistivité et résistance d'isolement

I.7.4.1. Définition et signification

La *résistance transversale* ou volumique est déterminée en appliquant un champ perpendiculaire à la surface d'une éprouvette et en mesurant le courant transversal qui résulte de l'application de ce champ. Elle est relative aux propriétés internes du matériau.

La *résistance superficielle* est celle qui intervient entre deux conducteurs sur une même surface isolante. C'est une notion qui fait intervenir outre la qualité du matériau, le dépôt d'une mince couche conductrice (humidité ou autre) à travers laquelle s'effectue en tout ou en partie la conduction.

La *résistance d'isolement* fait intervenir à la fois résistance transversale et la résistance superficielle d'un matériau, d'une façon représentative des conditions pratiques d'emploi des matériaux.

I.7.4.2. Résistance et résistivité superficielles

Dans les matériels électriques (cartes imprimées) l'isolement principal entre deux conducteurs est assuré par la surface de l'isolant, d'où l'importance pratique de la détermination de la résistance longitudinale. Cette résistance comporte d'une part la résistance purement superficielle, mais aussi une certaine fraction de la résistance interne du matériau. Les valeurs relatives de ces deux composantes de la résistance sont fonction de divers paramètres et notamment de la largeur et de l'écartement entre conducteurs ainsi que de l'état d'humidification respectif des couches superficielle et internes du matériau. Par définition, la résistance superficielle est le quotient de la tension continue appliquée entre les deux électrodes disposées à la surface de l'isolant par le courant qui en résulte. La résistivité superficielle est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur.

I.8. Classification

Conformément à la publication de la *CEI 60383-1*, les isolateurs de lignes aériennes sont divisés en deux classes selon leur forme [5].

Classe A

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

Classe B

Elle comprend tous les isolateurs ou éléments de chaîne pour lesquels la plus courte longueur du canal de perforation à travers la matière isolante est inférieure à la moitié de la plus courte distance dans l'air extérieur à l'isolateur.

Les isolateurs à capot et tige appartiennent à cette classe.

I.9. Caractéristiques d'un élément de chaîne ou d'un isolateur rigide

Le tableau (I. 2) donne les caractéristiques géométriques principales des isolateurs à assemblage à rotule et logement à rotule. Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essai d'isolateurs, il faut retenir les valeurs les plus caractéristiques qui sont :

- ❖ la charge de rupture électromécanique ou mécanique : pour les isolateurs à capot et tige, cette charge de rupture (exprimée en kN) désigne l'isolateur et définit la norme d'assemblage (publication *CEI 60120*) ;
- ❖ les dimensions géométriques suivantes :
 - le pas p qui correspond à la distance séparant dans une chaîne d'isolateurs deux parties homologues de deux éléments de chaîne consécutifs ; ce pas permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs ;
 - la ligne de fuite L_f caractéristique principale qui permet de déterminer la tenue sous pollution d'un isolateur.

Désignation CEI	Charge de rupture (kN)	Norme d'assemblage (1) (CEI 60120)	Diamètre de la partie isolante (mm)	Pas nominal p (mm)	Ligne de fuite L_f (mm)
U 40	40	11	175	100 ou 110	185
U 70	70	16	255	127 ou 146	280
U 100	100	16	255 288	127 146	318 440 (2)
U 160	160	20	280 320	146 170	370 540 (2)
U 300	300	24	320	195	480
U 400 (3)	400	28	360 380	206 220	525 550
U 530 (3)	530	32	380 440	240 255	600 640

(1) La norme d'assemblage pour les isolateurs à capot et tige à assemblage à rotule et logement de rotule correspond au diamètre de la tige.
(2) Ces isolateurs à ligne de fuite allongée sont utilisés en zones polluées.
(3) Ces isolateurs ont des caractéristiques normalisées (publication CEI 60305), mais ils ne sont pas utilisés en France (ils sont utilisés, par exemple, au Japon).

Tableau I. 2 caractéristiques géométriques principales des isolateurs à assemblage à rotule et logement de rotule [5].

I.10. Chaînes d'isolateurs

Les principales chaînes d'isolateurs peuvent être composées d'isolateurs à capot et tige, avec utilisation généralisée du verre trempé, ou d'isolateurs à long fût en céramique. Les chaînes d'isolateurs pour lignes HT sont représentées.

L'avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ce qui n'est pas le cas des isolateurs à capot et tige en céramique. Sous les effets d'une contrainte électrique trop forte, ou même lors d'une défectuosité de l'isolant, la jupe de l'isolateur en verre trempé explose, mais le capot et la tige restent solidaires, ce qui évite la chute du conducteur.

Dans le cas d'isolateur en céramique, si celui-ci présente une perforation à l'intérieur du capot, lors d'un arc électrique, il y a risque d'explosion de l'isolateur, ce qui entraîne la chute du conducteur par vidage du capot.

Les nouveaux isolateurs en céramique comportent soit une partie en céramique plus mince à la base du capot, permettant de localiser une perforation éventuelle tout en évitant une explosion du capot à la suite d'un arc de puissance, soit un point faible dans le capot métallique qui se trouera sous l'effet de la pression des gaz à l'intérieur du capot.

- ❖ Le choix des accessoires de garde pour les isolateurs des lignes HT doit être fait d'après les impératifs suivants :

- maintenir l'arc de puissance suffisamment loin des isolateurs inférieurs, des chaînes et des accessoires de fixation des conducteurs, pour empêcher que ces pièces vitales ne soient détruites ou endommagées ;
- maintenir un niveau radiophonique perturbateur acceptable en agissant sur la répartition du potentiel sur les isolateurs inférieurs. Ces pièces de garde sont constituées :
 - du côté de la masse, par des cornes en rond (ou anneau de protection) d'acier galvanisé à chaud d'un diamètre minimal respectivement de 18 mm si le courant de court-circuit est inférieur ou égal à 20 kA et de 25 mm s'il est supérieur ;
 - du côté du conducteur, par des cornes identiques à celles utilisées du côté de la masse pour les chaînes 63 et 90 kV, par des anneaux de protection AP réalisés soit en rond d'acier de 18 mm de diamètre en forme de raquette pour des courants de court-circuit inférieurs ou égaux à 20 kA, soit en tube d'acier de 60 mm de diamètre et de section nominale de 500 mm² pour des courants supérieurs.
- ❖ La répartition de la tension électrique le long d'une chaîne n'est pas uniforme à sec. Lorsque l'on forme une chaîne de n éléments, la tension de contournement à fréquence industrielle à sec n'est pas égale à n fois la tension de contournement d'un élément. Les éléments proches des extrémités de la chaîne, surtout du côté du conducteur, sont soumis à des différences de potentiel plus élevées que les éléments médians.

I.11. Contraintes subies par l'isolateur

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

I.11.1. Contrainte mécaniques

Du fait de leur conception, les chaîne d'isolateurs sont articulées (avec un faible degré de liberté) à chaque isolateur, ce qui permet de les faire travailler exclusivement à la traction, permis ces contraintes on cite [7]:

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

I.11.2. Contraintes climatiques et d'environnement

Les isolateurs sont spécialement influencés par la contamination de l'environnement aux niveaux des ouvrages (ligne et postes) installés aux bordures 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 ou même par brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice [8]. 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.11.3. Contraintes électriques

Ce type de contrainte est important, et elles se résument en [3, 26]:

- **Tension de service** : c'est la tension normale que support l'isolateur en service ;
- **Décharge disruptive** : phénomène associé à une défaillance de l'isolateur sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de 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 conducteur et la masse ;
- **Surtensions accidentelles** : elles sont de brève durée prévenant être l'origine d'un orage ou d'un transitoire.

I.12. Le choix des isolateurs

Les isolateurs sont choisis généralement :

- En fonction de la tension de service de la ligne ;
- En fonction des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis (poids des conducteurs et du givre, action du vent, tension mécanique des conducteurs éventuellement) ;
- De leur nature (rigide ou suspendue) ;
- Du prix de revient de la ligne et de son importance ;
- Du degré de sévérité de la pollution du site d'utilisation.

I.13. Conclusion

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7% dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Les isolateurs sous haute tension ne se comportent pas de la même façon qu'à basse ou moyenne tension, dans ce cas on donne beaucoup d'importance au phénomène de la pollution des isolateurs qui présente un danger particulier pour les dispositifs de haute tension qui peuvent engendrer des pertes d'énergie majeures.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites et les différents paramètres contribuant à la dégradation de l'état de surface des isolateurs.

Chapitre II
Phénomènes de pollution des
isolateurs

II.1.Introduction

La pollution est introduite par l'homme, directement ou indirectement sous forme de substances ou d'énergie dans l'environnement qui entraîne des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux systèmes écologiques, à porter atteintes aux agréments ou à gêner les autres utilisations légitimes de l'environnement.

Sans oublier que dans le domaine d'électrotechnique la pollution constitue un sérieux problème dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de transport et de l'appareillage haute tension. En effet, les dépôts polluants qui recouvrent les surfaces peuvent engendrer une diminution considérable de la tension de tenue des isolateurs. Ils peuvent dans les cas les plus critiques, conduire à un contournement total des isolateurs, ce qui constitue la situation la plus grave, car conduisant à la mise hors service de la ligne. La connaissance du 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.

II. 2. Définitions

II.2.1. Pollution

La 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.

II.2.2. Salinité (Sa)

La 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^3 .

II.2.3. Couche de pollution

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

II.2.4. Degré de pollution

Valeur de quantité (salinité, conductivité de la couche, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée sur l'isolateur en essai [3].

II.3. Différentes types de polluants

Les polluants de l'air (ou polluants atmosphériques) peuvent être d'origine naturelle ou provenir des activités humaines (industries, transports). Ils sont présents en quantité extrêmement faible.

II. 3.1. Polluants naturels

Les polluants d'origine naturelle sont principalement le dioxyde de soufre (SO_2) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ils sont de aux éruptions volcaniques, aux décompositions de matières organiques (animaux et végétaux morts) et aux feux de forêts.

Des particules en suspension dans l'air (aérosols) peuvent également provenir des éruptions des volcans ou des déserts et être transportée sur des très grandes distances. C'est par exemple le cas des poussières de sable du désert du Sahara (en Afrique), qui sont transportées par les vents jusqu'en Europe. Ces polluants naturels sont peu dangereux car ils ne restent pas très longtemps dans l'atmosphère.

II.3.2. polluants dus aux activités humaines

Les principaux polluants que les hommes rejettent dans l'atmosphère sont : Le dioxyde de carbone (CO_2), le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2), l'ozone (O_3) et des particules en suspension. Ces polluants proviennent de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaze naturel), des industries (usines métallurgiques et sidérurgiques, incinérateurs de déchets, raffineries de pétrole, etc.) et des transports routiers.

Cette pollution a commencé avec l'ère industrielle, au 19^{ème} siècle, elle est présente surtout en zones urbaines et entraîne de graves problèmes de santé chez les être humains, la pollution est plus forte les jours ou la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n y a pas de vent.

II.4. Différentes sources de pollution

Les principales sources de pollution pouvant être rencontrées sont la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte [9].

II.4.1. Pollution naturelle

Ce type de pollution peut être constitué par :

- La pollution naturelle d'origine marine ;
- Les autres pollutions naturelles provenant des dépôts de poussières naturelles, de sable véhiculé par les vents en région désertiques, pluie, . . . etc.

On distingue :

II.4.1.1. Pollutions marines

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

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

II.4.1.2. Pollutions désertiques

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur les isolateurs une couche de pollution contenant des sels humidifiés ; cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur.

II.4.2. Pollution industrielle

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité des raffineries, des cimenteries, des complexes sidérurgiques, chimiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes de fumée, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage, véhicules, automobiles. . .).

Les isolateurs se recouvrent de poussières faiblement conductrices, mais très hygroscopiques, car elles ont tendance à absorber l'humidité de l'air.

Dans les conditions de forte humidité (brouillard, pluie, condensation matinale), la dissolution

des sels contenus dans cette poussière provoque la formation d'une couche électrolytique. Les gaz présents dans les fumées absorbés par la couche liquide, augmentent encore la conductivité superficielle. Comme dans le cas de la pollution marine, un courant de fuite circule alors dans la couche superficielle et le contournement peut survenir.

II.4.3. Pollution mixte

La pollution mixte résulte de la combinaison d'une ou plusieurs pollutions précitées. C'est la forme de pollution 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.

La nature et les caractéristiques des agents contaminants sont très variées. Généralement, ils ne provoquent pas à court terme de dégradation de la rigidité diélectrique lorsqu'ils sont secs. Cependant, l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement à la surface des isolateurs, quelle que soit sa nature, provoque la formation d'une couche électrolytique, caractéristique du phénomène de pollution.

II.5. Facteurs climatiques d'influence de la pollution

Parmi les facteurs météorologiques essentiels d'influence des dépôts polluants et par conséquent de la tenue électrique des isolateurs on distingue [10]:

II .5.1. Vent

Il constitue l'agent qui assure le transport des poussières et des sels marins ainsi que la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs. D'autre part, il peut être considéré comme un agent d'auto nettoyage dans le cas où sa vitesse est grande.

II.5.2. Pluie

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

II.5.3. Humidité

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

II.5.4. Température

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

II.6. Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs

La répartition d'une couche de pollution dépend du profil, la hauteur et la disposition (verticale, horizontale, inclinée) des chaînes des isolateurs par rapport au sol et du niveau de la tension qui leur est appliquée [3].

L'étude de H. Streubel a montré que la non uniformité peut être classée en trois catégories :

- Non uniformité longitudinale non périodique ;
- Non uniformité transversale ou par secteurs ;
- Non uniformité longitudinale périodique.

II.6.1. Non uniformité longitudinale non périodique

La cause principale de cette géométrie est le lavage sous tension et l'effet du champ électrique. Elle se présente en bandes de pollution de conductivité différente dont la valeur est constante dans chaque bande le long de la ligne de fuite d'un isolateur mais elle peut être variable le long du périmètre de l'isolateur.

II.6.2. Non uniformité par secteurs

L'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies fait que cette répartition soit ainsi, c'est-à-dire on trouve des secteurs au bande de pollution de différente largeur dont la conductivité superficielle est variable d'un secteur à l'autre le long du périmètre de l'isolateur mais elle reste constante dans le même secteurs le long de la ligne de fuite.

II.6.3. Non uniformité longitudinale périodique

Ce type de pollution est peut fréquent. Il est caractérisé par la variation périodique de la conductivité de la couche de la pollution le long de la ligne de fuite de l'isolateur et constante le long du périmètre. Ses principales spécifications sont :

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

Ce type de regroupement concerne une accumulation progressive de la pollution et ne peut pas rendre compte des accumulations aléatoires en cas de condition atmosphériques exceptionnelle, lorsque 'il s'agit de tempête (par exemple sable).

II.7. Conséquences 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.7.1. 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 dommages pour l'installation, malgré l'apparition de courant de fuite à la surface de l'isolateur.

II.7.2. 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 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 [3].

II.7.3. Court-circuit

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

II.8. Effets de la pollution sur les équipements électriques

Les irrégularités dans la distribution des dépôts polluants sur la surface des isolateurs conduisent évidemment à une diminution des performances des isolateurs sous pollution. Ce problème a toujours entraîné et engendre encore des défauts d'isolation au niveau de ces réseaux électriques, il en résulte parfois des défaillances des équipements, des installations des consommateurs d'énergie électrique, une diminution de la fiabilité des réseaux électriques ainsi qu'un manque à gagner pour les exploitants de ces structures électriques.

Des statistiques établies par les exploitants de réseaux électrique algérien ont montré qu'environ 60% des incidents électriques enregistrés sur les structures électriques sont dus à l'industrialisation de l'Algérie et à l'inexistence d'information à l'échelle nationale sur le niveau de pollution des différentes régions traversées par le réseau électrique de la Sonelgaz et le manque de moyens de lutte contre la pollution[11].

II.8.1. Corrosion des isolateurs

II. 8.1.1. Mécanisme de la corrosion des ferrures des isolateurs

La corrosion des isolateurs ne se produit que si la surface des isolateurs est polluée, et en présence d'humidité. Lorsque la surface des isolateurs est recouverte d'un dépôt conducteur de pollution humide, un courant de fuite prend alors naissance. Son amplitude est fonction du degré de pollution (quantité de sels solubles).

Le passage du courant de fuite sur la surface polluée du diélectrique entre les ferrures crée une corrosion électrolytique de ces pièces métalliques. Les effets du courant de fuite sont d'autant plus nocifs que la fréquence et la durée des périodes humides sont élevées (climat tropical humide) et que la pollution a l'aptitude à être hygroscopique (importance des contaminants inertes qui absorbe ou retiennent l'humidité).

Cette corrosion est plus importante en courant continu qu'en courant alternatif pour un même site, du fait du courant unidirectionnel et des phénomènes électrostatiques qui entraînent la formation de dépôt de pollution plus importants.

Pour les isolateurs aux effets dominants de la corrosion électrolytique, s'ajoutent ceux de la corrosion atmosphérique et ceux dus à la formation d'agents oxydants (exemple O_3 , O) causé par la présence d'arcs près des ferrures. Ces derniers peuvent être initiés et se maintenir pendant les périodes d'humidification et de séchage qui précède et succède aux conditions critiques où l'isolateur est le plus humide. La présence d'accessoires de protection répartiteur de champ peut être bénéfique pour limiter ces phénomènes pendant les périodes d'humidification et de séchage qui sont un facteur d'accélération de la corrosion des ferrures des isolateurs les plus contraints électriquement.

Ces phénomènes de corrosion se traduisent par :

- Une attaque de la galvanisation ;
- Une attaque de la structure interne de l'acier ou de la fonte avec formation d'un dépôt de rouille conductrice qui peut couler sur le diélectrique.

Les cas de corrosion les plus sévères intéressent surtout les zones tropicales très proches de la mer où la pollution marine et la pollution par poussières (latérites provenant de sol, cendres volantes après brûlage des champs) qui s'accumulent pendant des longues périodes sans pluie, s'ajoutent à la forte humidité ambiante.

II.8.1.2. Phénomènes liés à la corrosion des pièces métalliques

La corrosion des ferrures des isolateurs peut avoir pour effets [12] :

- Affecter 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);
- Affecter la tenue électrique du fait de la formation d'un dépôt de rouille sur la surface. 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 ;
- Entraîner la rupture du diélectrique du fait de l'expansion de la tige corrodée. Ce phénomène reste spécifique à l'isolatrice capot tige en porcelaine.

II. 8.2. Altération de la surface des isolateurs

L'observation d'isolateurs en service depuis plusieurs années dans les zones de forte pollution montre en général une altération de surface du diélectrique (partie isolante).

Celle-ci est souvent concentrée au voisinage des électrodes que constituent les ferrures de l'isolateur, c'est-à-dire dans les zones où le champ électrique est plus élevé ou prédominant les zones sèches et arcs qui y sont associés.

Plusieurs étapes successives peuvent être notées sur des isolants de bonne qualité :

- dépoli de la surface qui devient plus mate ;
- traces d'arcs sous forme d'arborescence ;
- érosion de la matière isolant sur plusieurs dixièmes de millimètres avec pertes de masses sans réduction notable de la tenue de l'isolateur.

Les matériaux de moindre qualité peuvent être sujets à un cheminement, c'est-à-dire à la formation irréversible d'un chemin conducteur.

La présence d'une activité électrique sur le revêtement des isolateurs composites est facteur d'augmentation de la dureté de surface et de la rugosité par élimination partielle de la base du revêtement en élastomère chargé.

En conséquence, la formulation du revêtement doit être optimisée, non seulement pour minimiser l'influence du vieillissement UV, mais surtout pour éviter toute dégradation carbonée lors de la fixation des arcs de surface.

Seule une érosion minimale et contrôlée est acceptable pour garantir une tenue à long terme convenable.

Hormis le choix de matériaux faibles et durables, hormis la qualité des interfaces entre tous les matériaux et surtout avec les ferrures d'extrémité, la conception de l'isolateur doit être telle que les contraintes électriques locales soient les plus réduites possibles et en tout cas inférieures au seuil de vieillissement.

II.9. 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 isolations, 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 lutte 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. 9.1. Méthode de mesure des caractéristiques électriques de pollution

II. 9.1.1. Conductivité électrique de la pollution

II.9.1.1.1. Dispositif et procédé de mesure

La méthode est basée sur la mesure de la conductivité d'un dépôt polluant à l'aide d'un conductimètre à sonde mobile (fig. II.1).

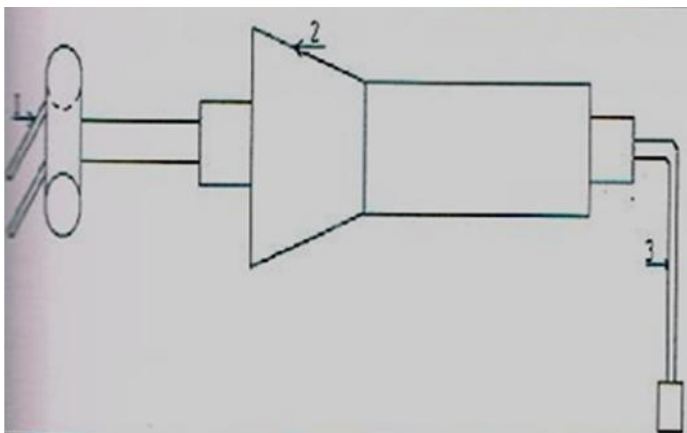


Figure II.1 photo d'un conductimètre à sonde mobile [20]

La sonde est composée essentiellement [12]:

- de la tête qui est constituée de deux électrodes ;
- d'un poignet ;
- du câble de liaison entre la sonde et l'appareil de mesure.

Il existe plusieurs types de sondes qui se distinguent par l'humidification de la pollution et la géométrie des électrodes. Les sondes à électrodes linéaires et planes.



1 : électrodes linéaires à extrémités arrondies ;

2 : poignée de la sonde ;

3 : câble de liaison avec le conductimètre.

Figure II.2 photo d'une sonde à électrode linéaire [20]

Dans le cas de la sonde à électrode linéaires, l'humidification du dépôt polluant est réalisée à l'aide de l'eau distillée. Elle doit être effectuée de tels sorts qu'il n'y ait pas d'écoulement de l'eau pulvérisée sur la surface de l'isolateur pollué. Après humidification de la surface contaminée, des mesures peuvent être effectuées sur différents points de la surface de l'isolateur.

Dans le cas de la sonde à électrodes planes, avant d'effectuer les mesures sur la surface polluée d'un isolateur, il faut :

- Fixer une bande sèche absorbante (papier PH), de dimension (10mm x 10mm), sur la tête de la sonde ;
- Avant chaque essai, la bande absorbante doit être trempée dans l'eau distillée dont la conductivité volumique doit être inférieure ou égale à $10\mu\text{S}/\text{cm}$. Le nettoyage et l'humidification de la bande absorbante nécessitent une quantité d'un litre d'eau distillée.
- Après chaque nettoyage, la tête de la sonde doit être secouée pour éliminer les gouttelettes d'eau distillée non absorbée par le papier ;
- Vérifier que la conductivité superficielle propre de la bande absorbant σ_p ne dépasse pas $2\mu\text{s}$;
- Poser légèrement la tête de la sonde sur un endroit choisi au préalable, sur la couche de pollution de l'isolateur étudié, de telle sorte que la surface de la bande soit en bon contact avec la surface équivalente correspondante à l'isolateur polluée ;
- S'assurer que l'eau absorbée par la bande ne se propage pas au-delà de la surface de contact de l'isolateur. Pendant que le dépôt polluant se trouvant en dessous de la surface de papier absorbant se dépose sur celle-ci, l'eau distillée passe de la bande absorbante vers la pollution, de telle sorte que la conductivité équivalente de la couche de pollution, résulte des conductivités de la pollution humidifiée et de la bande polluée.

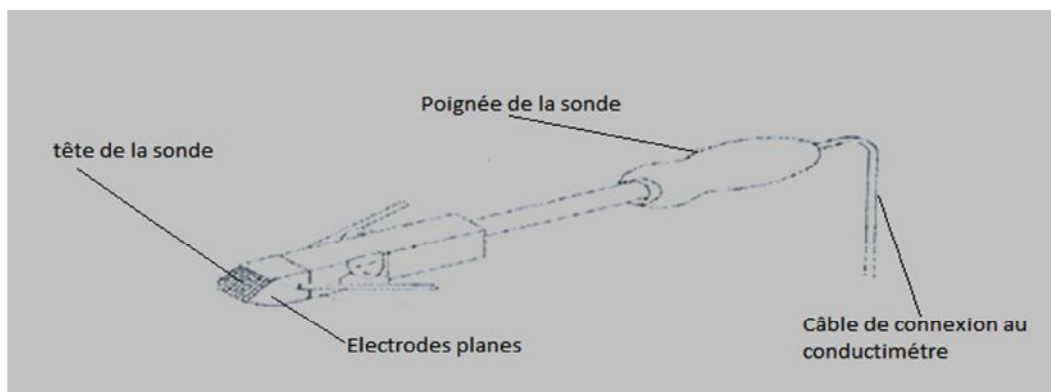


Figure II. 3 .photo d'une sonde à électrode plane [20]

La conductivité d'un dépôt polluant est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_m = \sigma_i \left(\frac{f_s}{f_a} \right) \quad (\text{II. 1})$$

Avec

σ_i : La conductivité superficielle indiquée par l'appareil (μS) ;

f_s : Le facteur de forme de la sonde utilisé ;

f_a : Le facteur de forme de l'appareil (donne généralement par le condensateur).

La conductivité superficielle réelle est donnée par la relation suivante :

$$\sigma_r = \sigma_m - \sigma_p \quad (\text{II. 2})$$

Où

σ_m : Conductivité mesurée (μS), donnée par la formule (II. 1) ;

σ_p : Conductivité propre de la bande absorbante (μS).

La conductivité d'un dépôt polluant dépend de la température. La température de ce dépôt peut être lue directement sur l'appareil de mesure considéré. La conductivité correspondant à 20°C ($\sigma_{r20^\circ\text{C}}$) est de la formule suivante :

$$\sigma_{r20^\circ\text{C}} = \left(\frac{\sigma_{rT}}{\alpha} \right) \quad (\text{II. 3})$$

Avec

σ_{rT} : Conductivité de la couche de pollution à la température T (μS) ;

α : Facteur de correction donné par le tableau II.1

Température T ($^\circ\text{C}$)	0	9	10	15	20	25	30	35	40
Facteur de correction α	0,6	0,68	0,77	0,89	1,00	1,12	1,23	1,34	1,45

Tableau II.1 Facteur de correction α en fonction de la température [20]

II. 9.1.2. Densité du dépôt de sel équivalent(DDSE)

Il s'agit de l'équivalent, en milligrammes de Na Cl/cm² de la surface d'un isolateur dont la conductivité électrique est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau.

Pour calculer la DDSE, il faut prélever les dépôts polluants à la surface des isolateurs sélectionnés. Les dépôts sont récupérés par lavage à l'aide d'un matériau absorbant (coton,

mouchoir en papier, éponge, bosse) et de l'eau distillée, a moins qu'il soit gratté à sec. Le dépôt est dissout dans l'eau distillée, la suspension obtenue est constamment agitée au moins pendant deux minutes avant de procéder à la mesure de la conductivité volumique σ_θ de la suspension à température θ en °C [15].

La conductivité à la température ambiante ($\theta=20^\circ\text{C}$) est donnée par la relation :

$$\sigma_{20} = \sigma_\theta [1 - b(\theta - 20)] \quad (\text{II. 4})$$

Où

: Température de la suspension en °C ;

σ_θ : Conductivité volumique à la température de $\theta^\circ\text{C}$ en (S/m) ;

σ_{20} : Conductivité volumique à la température de 20°C en (S/m) ;

b: Facture dépendant de la température $\theta^\circ\text{C}$, qui est donné par la relation suivante :

$$b = -3,2 \cdot 10^{-8} \theta^3 + 1,032 \cdot 10^{-5} \theta^{-2} - 8,272 \cdot 10^{-4} \theta + 3,544 \cdot 10^{-2} \quad (\text{II. 5})$$

Lorsque θ_{20} est à l'intérieur de l'intervalle (0,004 à 0,4) S/m, la salinité est déterminée par la relation suivante :

$$Sa = (5,7 \cdot \theta_{20})^{1,03} \quad (\text{II. 6})$$

Avec

Sa : en kg/m^3 et θ_{20} en S/m.

La densité du dépôt de sel équivalent est donnée par la formule suivante :

$$DDSE = Sa \frac{V}{S} \quad (\text{II. 7})$$

Avec

V : Volume de la suspension en m^3 ;

S : Surface nettoyée en m^2 ;

DDSE en kg/m^2 .

Pour la détermination de la sévérité du site, les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante pour obtenir les niveaux entre périodes de lavages naturels. En conséquence, plusieurs isolateurs ou collecteurs doivent être exposés pendant toute la période d'essai. Si le lavage naturel est rare, des intervalles entre prélèvements d'un mois ou plus peuvent être suffisants pour acquérir l'information sur l'accumulation en fonction du temps. D'autre part, si la pollution se dépose plus rapidement, il sera nécessaire de raccourcir l'intervalle entre prélèvements, pour

obtenir un résultat plus sur, le prélèvement sont habituellement effectués sur plusieurs isolateurs ou collecteurs.

La DDSE ne dépend pas seulement de la forme de l'isolateur mais aussi de la position dans laquelle il est installé, c'est-à-dire l'angle qu'il fait avec la verticale et son orientation.

Cette méthode mesure l'équivalent du composant actif du contaminant sans tenir compte de certains facteurs à savoir l'humidification de la couche de pollution et le processus d'amorçage des arcs.

II.9.1.3. Conductance superficielle

Elle est définie comme le rapport du courant à fréquence industrielle qui traverse l'isolateur à la tension appliquée. La conductance superficielle d'un isolateur est un paramètre qui caractérise l'état global de la surface isolant (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche) lequel détermine la perforation de l'isolateur.

Ainsi la méthode de la conductance superficielle est satisfaisante pour mesurer et évaluer la sévérité de pollution d'un site [18].

La conductance superficielle G est obtenue pendant 2 à 5 périodes une tension, alternative (50Hz) donnée V , en mesurant le courant de fuite maximum I traversant la couche de pollution.

La conductance est donnée par la formule :

$$G = \frac{I}{V} \quad (II.8)$$

Avec

I : Le courant en (A) ;

V : La tension en (V) ;

G : La conductance en (S).

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

$$\sigma = f \cdot G \quad (II.9)$$

Avec

f : Le facteur de forme ;

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

L'expression a montré que la tension ne doit pas être appliquée pendant plus de deux à cinq périodes et le courant pendant le régime transitoire n'est pas pris en considération.

Lors de la méthode d'essai artificielle, il est préférable d'utiliser des isolateurs de différentes formes pour contrôler la validité de cette méthode, qui n'est valable que si tous les isolateurs donnant des valeurs voisines de la sévérité, même si la conductance ou la conductivité superficielle sont différentes.

L'utilisation d'une tension d'essai inférieure à la tension de service est avantageux puisqu'elle réduit le risque de contournement superficiel dans la gamme des valeurs critiques, qui sont d'un intérêt fondamental pour l'évaluation du risque de défaillance. De plus, l'utilisation de faible tension permet d'utiliser des transformateurs moins chers et d'automatiser les équipements de mesures puisque le risque d'amorçage est faible.

II.9.1.4. Comptage des impulsions de courant de fuite

Cette méthode consiste à enregistrer pendant une période donnée le nombre d'impulsions du courant de fuite, dépassant une certaine amplitude pour un isolateur soumis à la tension de service.

L'existence d'impulsions de courant de fuite précède la phase finale du processus de contournement sous pollution et leurs amplitudes et fréquences augmentent tout en s'approchant de cette dernière. Les premiers compteurs étaient des compteurs téléphoniques, électromagnétiques, réglés mécaniquement pour ne fonctionner que lorsque leurs bobines étaient traversées par un courant supérieur à une valeur donnée, les enroulements étaient directement en série avec l'isolateur en essai (fig. II.4).

Plus récemment des circuits électroniques relativement sophistiqués ont été utilisés, mais ces modèles nécessitent des batteries, contrairement aux premiers modèles qui ne demandent pas une source d'énergie auxiliaire. Les compteurs sont généralement réglés pour fonctionner à des niveaux de courant de crête de 20, 50, 100 et 250 mA [17].

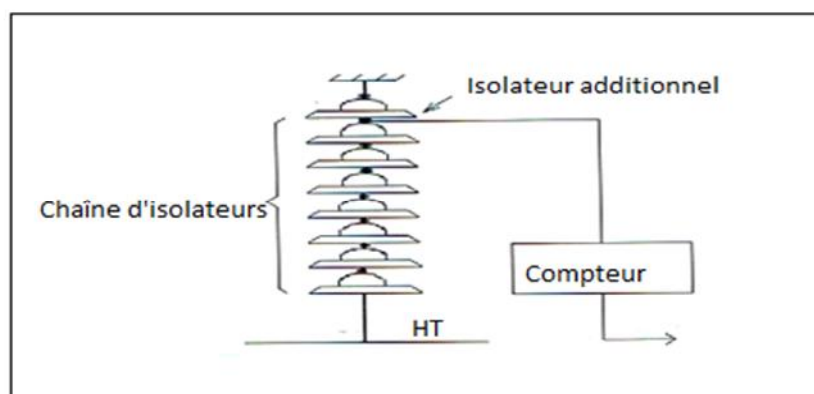


Figure II.4 Méthode de connexion d'un compteur d'impulsion à un isolateur de ligne [20]

Le comptage d'impulsions ne peut pas fournir une mesure absolue des performances d'un isolateur donné, car pour les mêmes conditions de pollution, le nombre d'impulsions enregistrées avant un contournement peut varier considérablement. Cette méthode est intéressante car elle permet de :

- Déterminer les longueurs d'isolateurs dans le cadre de l'extension ou du réisolement du réseau existant ;
- La mise en évidence du besoin de lavage ou de graissage des isolateurs.

Les avantages que présente cette méthode sont :

- Le coût faible ;
- Une aptitude au contrôle continu dans les conditions de service normal.

La mesure de courant de fuite se fait soit par l'intermédiaire d'une dérivation soit vis un transformateur de courant. Certains dispositifs de surveillance ont été construits pour pouvoir être installés sur des isolateurs alimentés par le réseau, d'autres comportent une source d'alimentation propre qui leur permet d'alimenter leurs isolateurs d'essai.

II. 9.1.5. Courant de fuite le plus élevé (I_h)

I_h est plus forte crête du courant de fuite enregistrée pendant une période donnée sur un échantillon ou un isolateur réel soumis continuellement à sa tension de service V_w . Ceci concerne toutes les phases du processus de contournement.

La plus forte valeur de crête des impulsions de courant de fuite est considérée comme un paramètre satisfaisant pour caractériser, par rapport au contournement, l'état dans lequel l'isolateur se trouve et par conséquent pour mesurer la sévérité de pollution des sites. Pour un isolateur donnée, il est possible de mesurer au laboratoire le plus fort courant de fuite I_h , en fonction de la sévérité de pollution S_e , pour une tension appliquée donnée V .

On peut aussi déterminer I_h en fonction de la tension appliquée pour une sévérité donnée S_e dans les deux cas I_h croît jusqu'au courant critique I_c , au dessus duquel a lieu le contournement. La valeur correspondante de la tension appliquée est V_c . Des études ont pu montrer que la limite inférieure de la valeur de crête du courant de fuite pendant la demi-période qui précède le contournement I_{max} est une bonne approximation de la valeur critique théorique I_c si bien que cette valeur critique peut être déterminée expérimentalement. La figure II.5 donne le schéma du circuit de mesure de I_h . Afin d'éviter la détérioration de l'équipement de mesure en cas de contournement, divers systèmes de protection ont été mis au point [16].

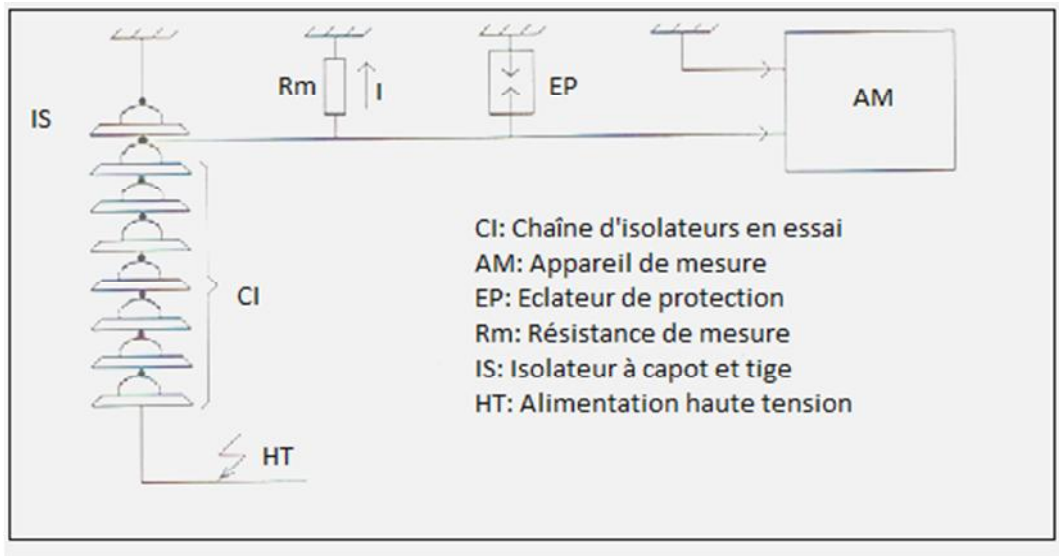


Figure II.5 Circuit de mesure de courant de fuite est élevé [20]

II. 9.1.6. Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'un isolateur est la tension de contournement à fréquence industrielle divisée par la longueur total de l'isolateur. Pendant une période donnée, on détermine soit la contrainte de contournement soit la relation entre contrainte de contournement et la fréquence de contournement. Ceci concerne toutes les phases du processus de contournement.

La mesure de contrainte donne toutes les informations nécessaires au calcul de la longueur des isolateurs utilisée qui donnera une fiabilité meilleure.

La mesure de la contrainte de contournement sur site peut être effectuée à l'aide de l'une des variantes suivantes [19] :

- On dispose d'isolateurs de différentes longueurs soumis à la tension constante qui est interrompue généralement et rétablie par un disjoncteur à fermeture automatique. Donc l'isolateur le plus court contourne. Il sera mis soit hors circuit au moyen d'un fusible pour l'isoler complètement soit augment sa longueur (cela conduit à définir la longueur minimale tenant la contrainte). Ce processus doit être renouvelé afin d'obtenir des résultats statistiquement utilisables.
- La deuxième variante donne plus d'informations sur les isolateurs, elle consiste à placer sur chaque chaîne d'isolateur des fusibles permettant d'allonger sa effective jusqu'à ce que le niveau tenant la contrainte soit atteint.
- Plusieurs isolateurs sont dotés de fusibles et soumis à une tension constant. Lorsque les conditions atmosphériques sont telles que le contournement a lieu, la tension à réappliquer sera diminuée afin d'examiner la possibilité de contournement à contrainte réduite. Le processus sera répété jusqu'à obtenir la contrainte minimale de

contournement. On doit disposer d'une source de tension très élevée afin de provoquer le contournement d'un assez grand nombre d'isolateurs élémentaires. L'impédance de la source doit être assez faible pour ne pas modifier la contrainte de contournement. La variante nécessite une régulation automatique de la tension.

II.9.1.7. Mesure optique

Le but de cette méthode consiste à évaluer l'épaisseur de la couche déposée à la surface d'un isolateur. Un dispositif de prédiction par sonde laser effectue les mesures en se fondant sur une technique ellipométrique. Un rayon à polarisation rectiligne traverse un analyseur et aboutit à une photo détectrice. Une analyse avancée des caractéristiques du rayon réfléchi (amplitude, décalage de phase) permet de calculer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut ainsi se faire sans toucher à cette couche [13].

II.9.1.8. Densité de dépôt non soluble (DDNS)

La densité de dépôt non soluble correspond à la quantité de produits non solubles présents dans une couche de pollution. La détermination de la DDNS s'effectue comme suite :

La solution obtenue par la méthode de la DDSE est filtrée à l'aide d'un papier filtre. Le dépôt non soluble restant après filtrage est séché puis pesé. La DDNS peut être calculée par la formule suivante [15]:

$$DDNS = \frac{1000 (m_f - m_i)}{A} \quad (II. 10)$$

Avec

DDNS : Densité de dépôt non soluble en mg/cm² ;

m_f : Masse du papier filtre contenant la pollution après séchage en g ;

m_i : Masse initiale du papier filtre en g ;

A : Surface lavée de l'isolateur en cm².

II.9.1.9. Autre méthode de mesure

Bien que l'on ait tenté de décrire les méthodes les plus utilisées, il existe d'autres méthodes qui ont été écartées telle que [18]:

- L'analyse d'échantillons d'air pour la recherche du sel, des solides et du SO₂ ; les mesures météorologiques, comme quantité de pluie, humidité, brouillard, vitesse et direction du vent peuvent être utilisées pour évaluer la sévérité des sites.
- L'utilisation de jauges de dépôt de types météorologiques ou directionnels ; il existe des dispositifs de surveillance se basant sur d'autres paramètres en particulier sur les mesures de pollution atmosphérique.

En Pologne, un mesurage régulier de la conductivité d'échantillon d'eau distillée placés dans des jauges est effectuée. Les résultats des mesures sont exprimés en augmentation quotidienne de la conductivité et servent de références pour l'exposition continue et prolongée (habituellement une année).

Un autre système consiste à insuffler des bulles d'air en continu dans une solution absorbante, à évaluer les modifications immédiates de conductivité, puis à exprimer la quantité de pollution soluble en équivalent de NaCl.

Un interféromètre à laser vient également d'être présenté, il est utilisé pour mesurer avec précision la température des surfaces d'isolateurs pollués. Le passage du courant de fuite dans la couche de pollution induit une longueur de chemin différente.

On visualise la couche, les enregistrements permettent de localiser avec précision une zone sèche et la température maximale qu'atteint un isolateur pollué juste avant de contourner.

II.9.2. Choix d'une méthode de mesure de sévérité de pollution d'un site

Parmi les méthodes d'évaluation de la sévérité de pollution déjà mentionnées, il est impossible de définir une méthode universelle. Les trois méthodes les plus utilisées dans le monde sont : la mesure de la DDSE, le courant de fuite, et la conductance superficielle, car elles ne nécessitent pas d'installations complexes et coûteuses, puis elles donnent des résultats satisfaisants.

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

Dans tous les cas, le choix d'une méthode dépend essentiellement des paramètres suivants [10] :

- Equipement de mesure (coûts des appareils et de la réalisation des mesures, disponibilité de mesures électriques, fiabilité statique, et fiabilité d'application des données fournies) ;
- Réseau du transport (étendues, situation géographique, gamme de sources polluantes, degrés de fiabilités demandés) ;
- Le choix de la technique de mesure dépend aussi de la manière dont les mesures de sévérité de pollution sont introduites dans le calcul du niveau d'isolement.

II.10. Classification de la sévérité de pollution

On classe la pollution selon sa sévérité en quatre types.

II.10.1. Pollution légère

C'est une pollution localisée dans des régions situées loin de la mer de 10 à 20 Km ou en haute altitude et ne doivent pas être exposées aux vents venant de la mer par exemple :

- Les zones sans industrie ;
- Les zones avec une faible densité d'industrie mais soumises à des vents ou des pluies fréquentes ;
- Toutes les régions agricoles.

II.10.2. Pollution moyenne

La pollution moyenne se trouve dans :

- Les zones où l'industrie ne produit pas de fumée polluante ;
- Les zones exposées aux vents de la mer, mais pas trop proches de la côte à une distance environ 1 Km.

II.10.3. Pollution forte

La pollution forte est localisée dans :

- Les zones à forte densité d'industries ;
- Les zones proches de la mer, ou celles exposées à des vents relativement forts venant de la mer.

II.10.4. Pollution très forte

On trouve ce type de pollution dans les zones les plus proches de la côte et exposées à des vents forts polluants venant de la mer [19].

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

II.11.2. Isolateurs plants

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.

II.11.4. Revêtements silicone

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

II.11.5. Les isolateurs composites

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

II.11.6. Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension 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.

Selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau du lavage, le processus du lavage et les distances de sécurité, et afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

Isolateurs spéciaux : dans les zones à forte pollution, l'allongement de la ligne de fuite des isolateurs conduit à l'utilisation de ces isolateurs appelés généralement isolateurs antipollution [19].

II.12. Contournement

II.12.1. Introduction

Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, et suite à l'interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surface de celui-ci.

Une fois cette couche humidifiée, la tension de tenue peut diminuer considérablement, provoquant des incidents très graves.

II.12.2. Définitions

II.12.2.1. Le contournement

On dit que le *contournement* se produit sur la surface de l'isolateur lorsqu'une décharge électrique s'établit entre ses extrémités et contourne la surface de l'isolateur.

Le contournement provoque l'ouverture du disjoncteur, car il établit un court-circuit entre le conducteur et le pylône (défaut monophasé à la terre).

Le contournement cause habituellement l'interruption momentanée de l'écoulement de l'énergie dans le réseau. De telles interruptions, bien qu'étant nocives, peuvent être tolérées dans des endroits ruraux. Dans des secteurs urbains avec les industries de pointe (domaines pharmaceutiques, production de véhicules...) les interruptions ne sont pas acceptables parce qu'elles mènent à d'énormes pertes financières de production, de machines bloquées et des pertes de contrôle du cycle du processus.

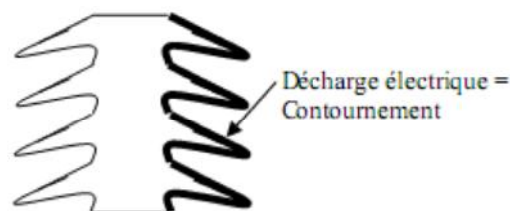


Figure II.6 Contournement d'isolateur [21]

II.12.2.2. Contrainte de contournement

La *contrainte de contournement* d'un isolateur est la tension de contournement divisée par la longueur totale de l'isolateur.

II.12.2.3. Conductance superficielle

La *conductance superficielle* est le rapport du courant qui traverse l'isolateur à la tension appliquée.

La conductivité superficielle de l'isolateur peut être également obtenue en multipliant la conductance superficielle par le facteur de forme de l'isolateur. La connaissance de l'épaisseur de la couche de la pollution, nous permet le passage des conductances et conductivité volumiques aux conductance et conductivités superficielles.

II.12.2.4. Courant de fuite

C'est un courant de nature impulsionnelle associé à l'extérieur d'un régime d'arc partiel à la surface de l'isolateur. Il est de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Il est donc à caractère électrolytique et de type résistif, il devient important lorsqu'on s'approche de la tension de contournement.

II.12.2.5. Tension de contournement

La *tension de contournement* est le niveau le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes, elle dépend :

- De la résistivité volumique moyenne de la pollution ;
- De la répartition de la couche de pollution ;
- De profil de l'isolateur ;
- De la longueur de l'isolateur.

II.12.2.6. Tension de tenue

C'est la tension la plus importante que peut supporter un isolateur sans provoquer de décharge disruptive.

II.13. Causes du contournement

Le contournement des isolateurs ont trois causes possibles, ils sont provoqués par :

- Des surtensions dues aux décharges électriques atmosphériques ;
- Des surtensions de manœuvre dans les réseaux ;
- L'apparition d'un chemin de conduction dans le système d'isolation causé par une contamination de surface.

II.14. Etapes du 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.7). 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. 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 crée 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).

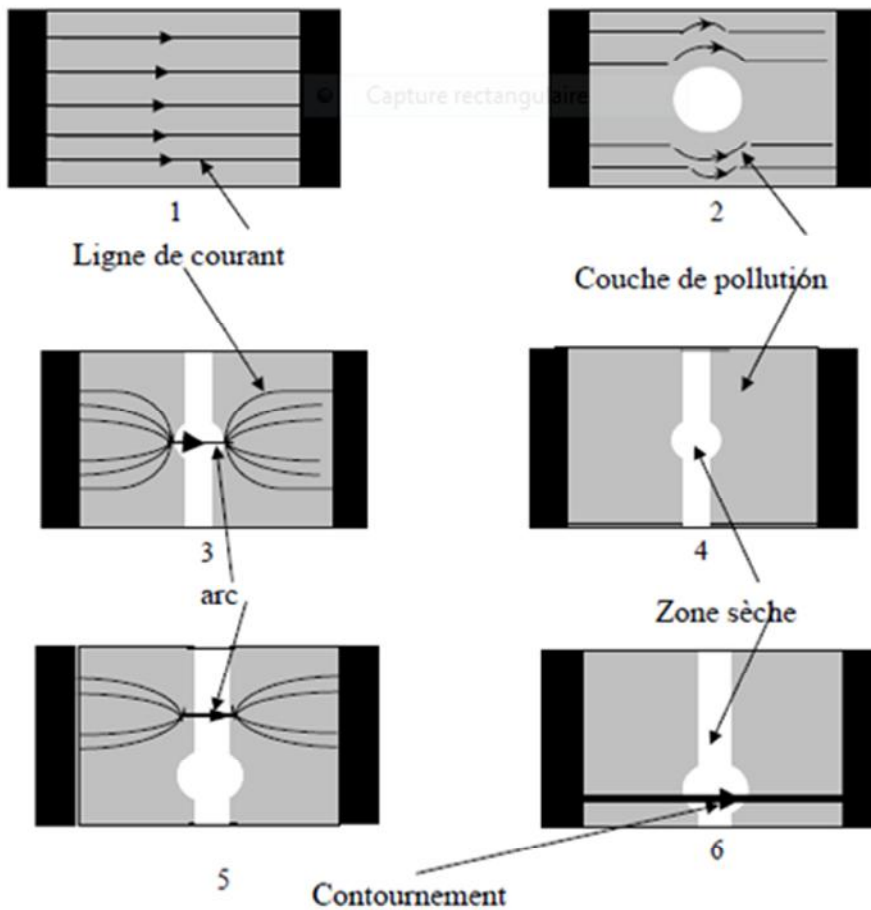


Figure II.7 Etapes du contournement d'une couche [8]

II.15. Contournement des isolateurs pollués

Généralement, les principaux phénomènes conduisant au contournement d'un isolateur pollué, soumis à la tension de service, comprenant la formation d'une couche électrolytique conductrice par humidification du dépôt de pollution sur la surface de l'isolateur, ce qui entraîne l'apparition d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arcs partiels, et la propagation de l'arc qui peut couvrir tout l'isolateur.

Le contournement des isolateurs sous pollution peut être décomposé en quatre étapes distinctes [19].

Etape 1 : Dépôt de la pollution

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

- La nature, le poids et la taille des particules polluantes ;
- La vitesse du vent ;
- L'orientation de la chaîne. La forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto-nettoyage par les fortes pluies et vents.

Etape 2 : Humidification de la pollution

Le brouillard et la pluie fine humidifient la couche polluante, provoquant la dissolution des sels contenus dans le dépôt et créant un électrolyte conducteur sur la surface de l'isolateur. Un courant prend naissance.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale, mais diminue s'il y a assèchement. Le niveau du courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels.

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

Par effet joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt devient moins conducteur. Le courant de fuite est réduit en amplitude par la présence d'une bande sèche. La répartition du potentiel sur l'isolateur est modifiée par cette bande sèche, car la plus grande portion du potentiel électrique se trouve reportée à ses bornes. Si cette bande sèche est insuffisante pour le potentiel correspondant, un arc est créé.

Etape 4 : Contournement

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

- Soit la décharge s'éteint \longrightarrow pas de contournement.
- Soit la décharge progresse sur la surface ~~contournement de l'isolateur.~~

II.16. Le contournement des isolateurs sous pollution

Le contournement d'un isolateur pollué est précédé de l'apparition brutale d'un courant de fuite qui provoque une formation de bandes sèches et d'arcs partiels. Ces derniers peuvent se propager jusqu'au contournement total de l'isolateur qui passe par deux étapes :

- Une couche de pollution composée de sels solides, d'acide ou de bases diluées sur un isolateur à l'état sec avec une conductivité presque nulle. En présence d'un humidificateur (pluie, brouillard...), il y a une formation d'un électrolyte sur la surface de l'isolateur ;
- Le courant de fuite se propage sur la surface de l'isolateur polluée et humidifiée, provoquant ainsi des assèchements qui ne sont pas uniformes à cause de l'inhomogénéité du courant de fuite.

Une partie importante de la tension appliquée se trouve alors rapportée sur cette bande sèche, de quelques centimètres de largeur, engendrant ainsi un claquage dans l'air, quand le champ électrique a une intensité suffisante. Les zones sèches sont court-circuitées par des arcs électriquement en série avec la résistance de la partie humide restante de la couche polluante. Il en résulte une impulsion de courant de fuite chaque fois qu'une zone sèche s'amorce, et finalement le contournement total est toujours possible et cela dépend des conditions électriques dans lesquelles il se trouve. En effet, les arcs brûlent continuellement le long de l'isolateur dans le cas où la partie humidifiée a une faible résistance ce qui mène au court-circuit d'une partie plus en plus grande de sa surface entraînant évidemment une réduction de la résistance en série avec les arcs engendrant ainsi un accroissement total soit atteint, mais le cas contraire, les arcs peuvent s'éteindre avec l'élargissement de la zone sèche, la tension appliquée dans ce cas peut plus maintenir la décharge qui va alors s'éteindre.

II.17. Conclusion

Dans ce chapitre, une synthèse des différents aspects des phénomènes de pollution est présentée. Les principales conclusions que l'on peut tirer de cette synthèse sont :

La pollution reste un facteur déterminant pour le dimensionnement des isolateurs dans les ouvrages de haute tension.

La connaissance du degré de pollution est une condition indispensable, pour prévoir une isolation externe convenable. La nature et la sévérité de la pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique et de l'industrialisation du site.

La meilleure définition du degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente du site.

Les techniques de lutte contre la pollution actuellement connues (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, revêtements hydrophobes) permettent de disposer aujourd'hui de solution curative à la plupart des problèmes de pollution.

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant (degré de pollution) ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolant. 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 la pollution rencontrée par les exploitants sur le réseau.

Chapitre III

Techniques expérimentales et
résultats

III.1.Introduction

L'étude du comportement des isolateurs recouverts de pollution en laboratoire rend la tâche plus facile aux chercheurs. Ainsi, il est possible d'étudier en tout temps l'impact de l'accumulation de la pollution sur l'isolation, et cela sous conditions environnementales et expérimentales identiques.

III.2. Dispositif expérimental

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

- Un transformateur d'essai ;
- Un diviseur de tension ;
- un pupitre de commande et des appareils de mesure et de protection.

a- Transformateur d'essai : Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de la haute tension. Ce transformateur permet de délivrer une tension au secondaire de 100 kV.

b- Pupitre de commande : Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. L'autotransformateur permet la variation manuelle de la tension d'essai.

c- Diviseur de tension : Dans le pupitre de commande ; un diviseur de tension capacitif, de rapport 1000 y est inséré permettant ainsi la mesure de la tension appliquée à l'aide d'un voltmètre.

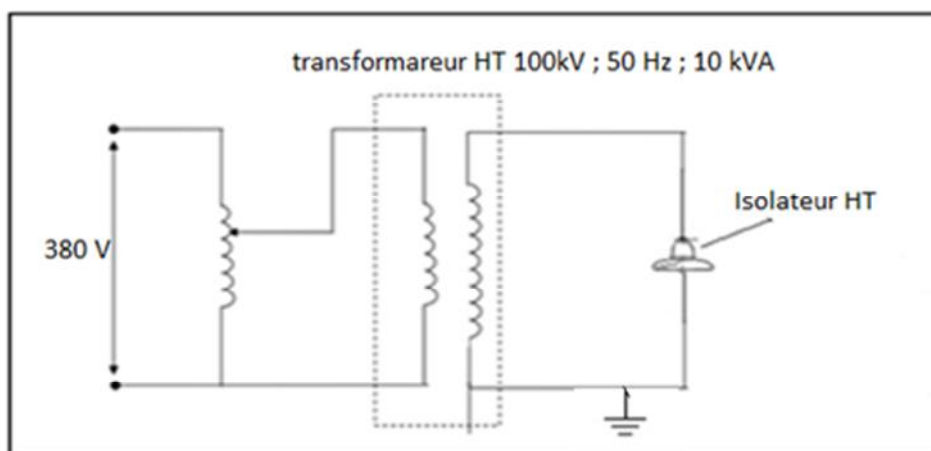


Figure III.1 Schéma principale du montage

III.3. 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 [23].

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/m³**.

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

Tableau III.1 Niveaux de pollution et salinités utilisées

S_a : salinité (kg/m³).

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

III.4. Essais sous pollution artificielle

Pour notre étude sur l'effet de la pollution artificielle sur le contournement des isolateurs, on a choisi de travailler avec deux types d'isolateurs (U40 B et U120 B).

III.4.1. Protocole d'essais

III.4.1.1. Evolution 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 huit fois pour chaque solution saline selon les recommandations de la **CEI 60507**. La valeur de la tension de contournement sera la valeur moyenne des huit valeurs obtenues [23].

III.4.2. Isolateurs utilisés

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

III.4.2.1. Isolateur U40 B

Il est de type d'assemblage à rotule (Voir figure III.2)

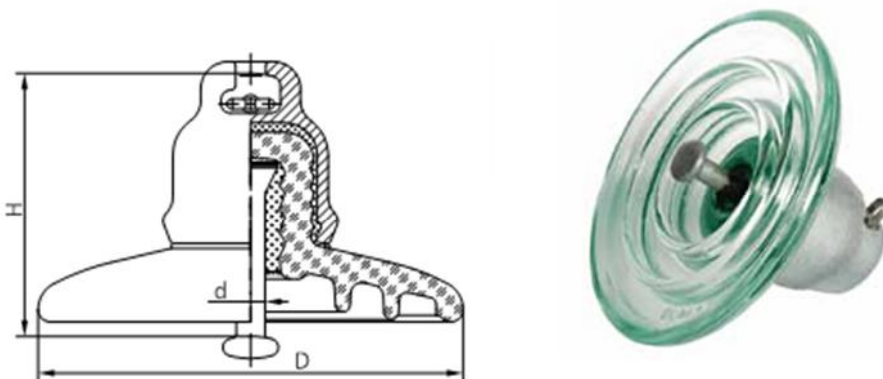


Figure III.2 Principales dimensions et forme de l'isolateur U 40B [22].

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 [22].

Remarque : Toutes les exigences techniques et les essais sont conformes à la CEI 60383

III.4.2.2. Isolateur U120 B

Il est de type d'assemblage à rotule (Voir figure III.3)

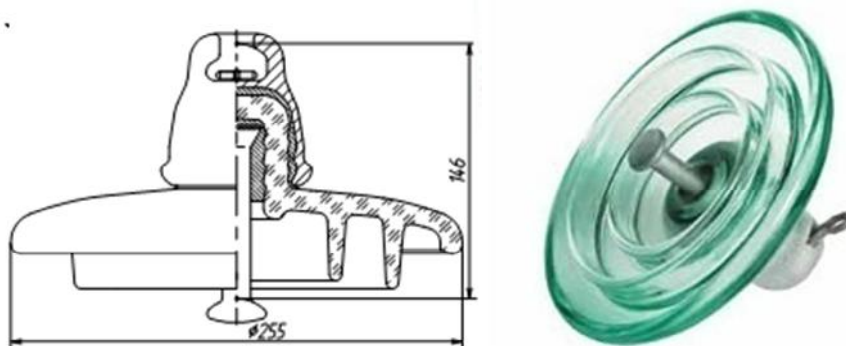


Figure III. 3 Principales dimensions et forme de l'isolateur U 120B [22]

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 [22].

III.5. Facteurs de correction atmosphérique

Lors des essais, nous relevons systématiquement les conditions atmosphériques afin d'effectuer des corrections selon les recommandations de la **CEI 60060-1(2010)** [24].

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

U_c : Tension de contournement

\bar{U}_c : Tension de contournement moyenne

U_{cc} : Tension de contournement corrigée.

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

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 facteur de correction atmosphérique donné par :

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

Sauf spécification contraire du comité d'études intéressé, la tension à appliquer pendant 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 .

La tension corrigée U_{cc} est alors donnée par :

$$U_{cc} = \frac{\bar{U}_c}{k_t} \quad (III. 2)$$

III.5.1. Atmosphère normale

L'atmosphère normale de référence est donnée par :

Température : $t_0 = 20 \text{ °C}$ ou $T_0 = 293 \text{ K}$

Pression : $b_0 = 1013 \text{ hPa}$

Humidité absolue : $h_0 = 11 \text{ g / m}^3$

III.5.2. Facteur de correction de densité de l'air k_1

La densité de l'air δ est donnée par relation suivante :

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

b : Pression atmosphérique (hPa)

t : température (°C) ou T : Température (°K)

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

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

III.5.3. Facteur de correction de l'humidité k_2

L'humidité absolue h est soit mesurée à l'aide d'un **hygromètre** composé de deux thermomètres 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):

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

h : Humidité absolue (g/m^3)

t : Température (°C)

H : Humidité relative (%)

$$K = 1 + 0,012 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right) \quad (III. 6)$$

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

$$k_2 = k^w \quad (\text{III. 7})$$

III.6. Résultats expérimentaux

III.6.1. Isolateur U40 B

III.6.1.1. Isolateur sec et propre

Conditions atmosphériques :

$t = 21^\circ\text{C}$

$H = 48\%$

$b = 992\text{hPa}$.

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

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U_c (kV _{eff})	50,70	50,00	51,00	48,20	49,10	49,70	46,40	41,80	41,80

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

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

$$U_{CC} = \frac{\bar{U}_c}{k_t}$$

$$k_t = k_1 \cdot k_2$$

$$U_{CC} = 51,44 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.1.2. Niveau de pollution1 (pollution légère)

a- Salinité (2,5 kg/m³)

$t = 21,6^\circ\text{C}$; $H = 52\%$; $b = 1004\text{hPa}$

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U_c (kV _{eff})	40,30	42,20	43,30	41,40	40,80	40,70	41,20	40,30	41,40

Tableau III.5 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (2,5 kg/m³)

$$U_{CC} = 42,24 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité (5kg/m³)

$t = 21^\circ\text{C}$; $H = 48\%$; $b = 992\text{hPa}$.

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U_c (kV _{eff})	43,50	42,70	39,80	39,40	36,30	38,80	38,90	41,90	40,16

Tableau III.6 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution légère (5 kg/m³)

$$U_{CC} = 41,83 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.1.3. Niveau de pollution 2 (Salinité moyenne)

a- Salinité (10 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	38,70	37,30	34,80	38,80	38,10	37,40	39,80	37,80	37,83

Tableau III.7 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (10 kg/m³)

$$U_{CC} = 39,40 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité (14 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	31,90	32,40	33,80	35,40	35,10	37,70	39,60	39,40	35,66

Tableau III.8 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution moyenne (14 kg/m³)

$$U_{CC} = 37,14 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.1.4. Niveau de pollution 3 (Salinité élevée)

a- Salinité (40 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	32,21	34,74	36,70	32,53	33,34	32,15	36,19	37,40	34,40

Tableau III.9 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (40 kg/m³)

$$U_{CC} = 35,10 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité (56 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	32,49	31,95	30,98	32,25	31,50	32,74	34,24	32,32	32,30

Tableau III.10 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution élevée (56 kg/m³)

$$U_{CC} = 32,95 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.1.5. Niveau de pollution 4 (Salinité très élevée)

a- Salinité (112 kg/m³)

t=21,6 °C ; H=52 % ; b= 1004hPa.

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	31,10	31,30	30,80	31,90	31,40	31,50	30,70	31,00	31,21

Tableau III.11 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (112 kg/m³)

$$U_{CC} = 31,84 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité (224kg/m³)

t=20°C ; H=50% ; b=1000hPa.

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	28,05	29,97	29,05	29,93	30,12	30,72	33,68	34,24	30,72

Tableau III.12 Essais sur l'isolateur U40B pour une pollution très élevée (224 kg/m³)

$$U_{CC} = 31,13 \text{ kV}_{eff}$$

Nous pouvons résumer les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Salinité (kg/m ³)	0	2,5	5	10	14	40	56	112	224
U _{cc} (kV _{eff})	51,44	42,24	41,83	39,4	37,14	35,10	32,95	31,84	31,13

Tableau III.13 Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U40B g/m³)

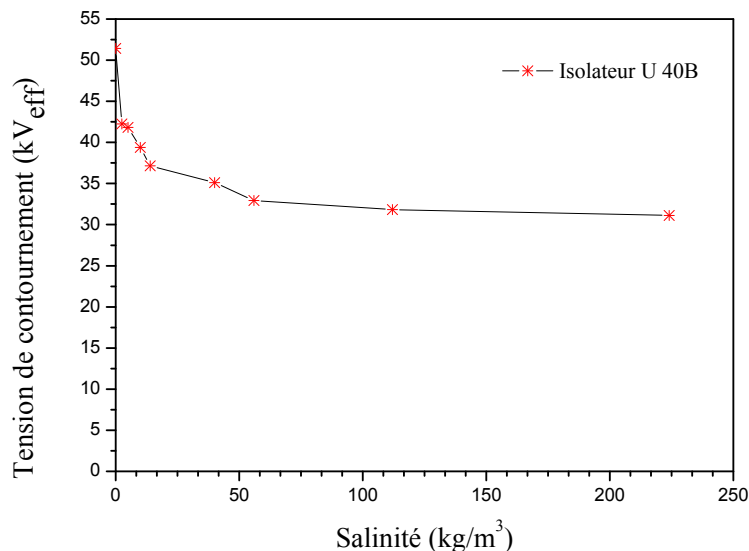


Figure III.3 Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U 40 B

De l'examen de ces résultats, il apparaît clairement 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. Nous remarquons que la tension de contournement reste pratiquement inchangée pour la pollution de niveau 4 (salinité très élevée), c'est-à-dire pour 112 kg/m^3 et 224 kg/m^3 . Cela peut s'expliquer par le fait qu'à partir de 80 kg/m^3 , la proportion de sel n'influe pas beaucoup sur la tension de contournement.

III.6.2. Isolateur U120B

III.6.2.1. Isolateur sec et propre

$t=21,6 \text{ }^\circ\text{C}$; $H=52\%$; $b=1004\text{hPa}$

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
$U_c (\text{kV}_{\text{eff}})$	54,10	53,40	54,60	53,80	54,60	53,20	54,70	55,30	54,21

Tableau III.14 Essais sur l'isolateur U120B sec et propre

$$U_{CC} = 56,46 \text{ kV}_{\text{eff}}$$

III.6.2.2. Niveau de pollution 1 (pollution légère)

a- Salinité ($2,5 \text{ kg/m}^3$)

$t=20 \text{ }^\circ\text{C}$; $H=62\%$; $b=1007\text{hPa}$

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
$U_c (\text{kV}_{\text{eff}})$	53,38	49,14	47,36	47,89	46,75	49,06	49,70	49,36	49,08

Tableau III.15 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution légère ($2,5 \text{ kg/m}^3$)

$$U_{CC} = 50,08 \text{ kV}_{\text{eff}}$$

b- Salinité (5 kg/m^3)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
$U_c (\text{kV}_{\text{eff}})$	47,77	47,67	47,21	46,71	48,36	46,01	48,09	48,42	47,53

Tableau III.16 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution légère (5 kg/m^3)

$$U_{CC} = 48,50 \text{ kV}_{\text{eff}}$$

III.6.2.3. Niveau de pollution 2 (Salinité moyenne)

a- Salinité : (10 kg/m^3)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
$U_c (\text{kV}_{\text{eff}})$	44,93	44,18	48,15	47,64	46,68	46,03	48,03	46,51	46,62

Tableau III.17 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (10 kg/m^3)

$$U_{CC} = 47,57 \text{ kV}_{\text{eff}}$$

b- Salinité (14 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	43,37	42,67	43,01	43,11	47,00	47,70	46,60	45,89	44,66

Tableau III.18 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution moyenne (14 kg/m³)

$$U_{CC} = 45,57 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.2.4. Niveau de pollution 3 (Salinité élevée)**a- Salinité (40 kg/m³)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	41,25	42,11	44,72	43,27	41,63	42,96	44,73	39,50	42,50

Tableau III.19 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (40 kg/m³)

$$U_{CC} = 43,38 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité : (56 kg/m³)

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	43,31	43,81	42,77	40,25	41,18	43,73	42,63	40,90	42,32

Tableau III.20 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution élevée (56 kg/m³)

$$U_{CC} = 43,18 \text{ kV}_{eff}$$

III.6.2.5. Niveau de pollution 4 (Salinité très élevée)**a- Salinité (112 kg/m³)**

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	39,12	38,47	41,10	43,12	43,26	42,96	44,17	43,75	41,98

Tableau III.21 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (112 kg/m³)

$$U_{CC} = 42,84 \text{ kV}_{eff}$$

b- Salinité (224 kg/m³)

t=18,7 °C ; H= 36,7% ; b=1001hPa

Essai N°	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{U}_c
U _c (kV _{eff})	41,02	40,90	39,90	40,13	41,19	41,40	43,20	41,9	41,10

Tableau III.22 Essais sur l'isolateur U120B pour une pollution très élevée (224 kg/m³)

$$U_{CC} = 42,81 \text{ kV}_{eff}$$

Nous pouvons résumer les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Salinité (kg/m ³)	0	2,5	5	10	14	40	56	112	224
U _{cc} (kV _{eff})	56,46	50,08	48,5	47,6	45,57	43,38	43,18	42,84	42,81

Tableau III.23 Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U120B (g/m³)

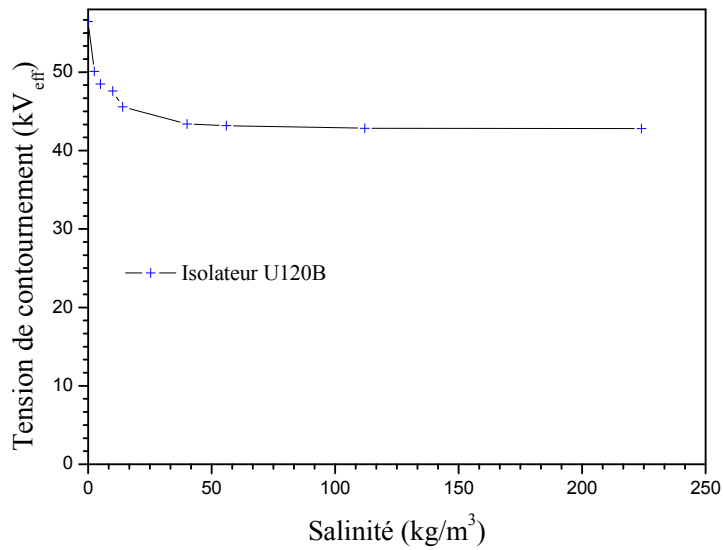


Figure III.4 Tension de contournement en fonction de la salinité pour l'isolateur U 120 B

Comme pour l'isolateur U40B, la tension de contournement pour l'isolateur U 120B diminue avec l'augmentation de la salinité. La seule différence est que dans ce cas, la diminution n'est pas significative.

III.7.Conclusion

Dans ce chapitre on étudier l'influence de pollution sur la tension de contournement d'un isolateur, et nous avons présenté les résultats des différents essais effectués au laboratoire

Pour obtenir des résultats performants des essais de haute tension sur les isolateurs, il faut bien nettoyer l'isolateur avant chaque essai pour ne pas modifier la couche de la solution saline.

D'après les essais effectués, on à abouti aux résultats suivant :

- Le niveau de pollution influe directement sur la tension de contournement des isolateurs, en effet l'augmentation du niveau de pollution des isolateurs diminue énormément la tension de contournement.
- La tension de contournement de l'isolateur U40B diminue d'une manier significative par apport à l'isolateur U120B.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de mieux comprendre l'influence de la tension de contournement des isolateurs HT de suspension en verre U40B et U120B dans un environnement marin.

La pollution des isolateurs est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques de haute tension de transport d'énergie électrique. Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation.

Nous pouvons conclure sur la base des essais effectués sur les deux types des isolateurs que:

- Le niveau de pollution influe directement sur la tension de contournement des isolateurs. En effet, l'augmentation du niveau de pollution des isolateurs diminue énormément la tension de contournement.
- Lorsque la pollution est supérieure à 112 kg/m^3 la tension de contournement diminue relativement moins vite.

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes limités juste à l'étude de l'effet de la salinité sur la tension de contournement des isolateurs U 40B et U 120B. Nous aimerions que ce travail se poursuive en utilisant la méthode des couches solide, avec la préparation de la couche contaminante et la mesure de la conductivité

Références bibliographiques

- [1] **M. NEMAMCHA**, "*Claquage des isolants haute tension*", polycopié de cours, Université de Guelma, 2001.
- [2] **A. CHABLOZ**, « *Technologie à l'usage des professions de l'électricité* », 5^{ème} édition, 1986.
- [3] **F. AMIR, K. NAMAOUI**, "*Etude du comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative*", Mémoire d'ingénieur, U.A.M. de Bejaia, juin 2004.
- [4] **P.ROBERT**, "*Matériaux de l'électrotechnique*", édition Géorgie, 1979.
- [5] **X. DUCOURET**, "*Ligne aériennes : Matériels*", Techniques de l'ingénieur, D4423, 2008.
- [6] **S.MEDJAHED, M.IBLAIDEN**, "*Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de pollution d'un site*", Mémoire de DEUA, U.A.M de Bejaia, 2005.
- [7] **F.ZEDAM, A.BOUCHOUCHA**, "*Etude comparative de la distribution du potentiels électrique dans l'isolateur chaîne par voie numérique et expérimentale*", Mémoire d'Ingénieur, Université Ferhat ABBAS, Sétif, 2001.
- [8] **S.BOUCOUKH, B. SAYEH LAMBARK**, "*Influence de la pollution artificielle sur la tension de contournement d'une chaîne d'isolateurs MT*", Mémoire Master académique, U.K.M Ouargla, 2014.
- [9] **Z. SAHLI**, "*Etude de la non uniformité de la pollution sur les caractéristiques de contournement des isolateurs réels pollués sous tension continue*", Mémoire de magister, U.A.M de Bejaia, 2003.
- [10] **M. TEGUAR**, "*Modélisation d'isolateurs pollués soumis à divers électro-géométriques*", Thèse de doctorat, ENP Alger, 2003.
- [11] **G.TALAL**, "*Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle*", Mémoire de Magister, ENP Alger, 2003.
- [12] **A. TLIDJANE ; R.MEKHALFIA**, "*Etude de phénomène de contournement des isolateur polluent sous tension continu*», Mémoire d'ingénieur, Université de M'sila, 2010.
- [13] **Z.SALHI**, "*Etude du comportement d'un isolateur silicone dans un environnement désertique*", Mémoire d'ingénieur, UMMTO, 2012.
- [14] **A.ABIMOULOUD**, "*Comportement d'une surface isolante partiellement polluées sous tension alternative 50Hz*", Mémoire d'ingénieur, ENP Alger, 1999.
- [15] **R.BOUZEROURA**, "*Etude du développement d'arcs électrique parallèles sur une surface isolante non uniformément polluée sous tension continue*", Mémoire de magister, U.A.M de Bejaia, 2009.

- [16] **F.AMID, M. OUERDANE**, "*Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30 kV en régions littorales*", Mémoire d'ingénieur, USTH, Bab-Ezzouar, 1998.
- [17] **A. ABIMOULOUD**, "*Comportement d'une surface isolante partiellement polluée sous tension alternative 50 Hz*", Mémoire de Magister, ENP Alger, 1999.
- [18] **A. MEKHALDI**, "*Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50Hz*", Thèse de Doctorat, ENP Alger, 1999.
- [19] **R.SEBTI, A.BOUDJAMMAA**, "*Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension*", Mémoire de Master en électrotechnique industrielle, U.K.M de Ouargla, 2012.
- [20] **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 UMMTO, 2010.
- [21] **M.SLAMA**, "*Contribution à l'étude de l'influence de la non uniformité de la pollution basée sur la méthode de la D.D.S.E pour le dimensionnement des isolateur des lignes THT a courant alternatif*", Mémoire de Magister, U.M.B de Oran, 2002.
- [22] **Global Insulator group**, "*Isolateurs pour lignes de transmission et station de distribution à tension de 0,4 à 1150 kV*", catalogue des produits, 2012.
- [23] **CEI 60507**, "*Essais sous pollution artificielle des isolateurs destinés aux réseaux à courant alternatif*", 1991
- [24] **CEI 60060-1**, "*Techniques d'essais à haute tension. Partie 1 : Définitions et prescriptions relatives aux essais*", 2010.
- [25] Site internet [<http://www.rsisolsec.com>] 2016.
- [26] Documentation de Internet [<http://www.hydro québec.com>].

Résumé :

Un isolateur est un composant électronique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électrique nus. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension , mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électrique. Ils assurent l'isolation les conducteurs et les pylônes.

La pollution est une modification du milieu naturel qui apparait en totalité ou en partie comme les sous- produit de l'action humaine, à travers d'effest directs ou indirects altérant les modalités de répartition des fus d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique de milieu naturel et de l'abondance des espères.

Ce travail porte sur l'influence de la pollution sur la tension de contournement sur les deux différent type des isolateure HT de suspension en verre U40 B et U120 B. Cette étude est réalisée à travers des essais expérimentaux faite au laboratoire de la haute tension à l'université de Tizi-Ouzou.

Les essais du contournement sont réalisés pour différents niveau de pollution pour chaque isolateur.

Mont clés :

Isolateur, Contounement, Pollution artificielle, Niveau de pollution, Salinité, Isolation, Tenue diélectrique, Décharge électrique, Courant de fuite, Arc, Conductivité superficelle.