

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI 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

BOUFERGUENE Kahina
AKLI Ouardia

Thème

Prédiction de la sévérité de pollution sur un isolateur réel sous tension alternative 50Hz

Mémoire soutenu publiquement le 30/09/2015 devant le jury composé de :

M^r ALLAD Mourad

Maitre de Conférences Classe A, UMMTO, Président

M^r MOULA Belkacem

Maitre Assistante Classe B, UMMTO, Encadreur

M^{elle} KECILI Nadia

Maitre Assistant Classe B, UMMTO, Examinatrice

M^{elle} LOUANCHI Malika

Maitre Assistant Classe A, UMMTO, Examinatrice

Remerciements

Mes remerciements vont tout premièrement, à DIEU le tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce travail.

Je tiens, avant tout, à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur Monsieur B. MOULA, qui a été à l'origine de ce travail, pour sa disponibilité, pour sa confiance qu'il m'a témoignée, ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements qui m'ont beaucoup aidé à mener à bien la réalisation de ces travaux. Qu'ils trouvent ici ma profonde reconnaissance.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur..... qui me fait un grand honneur en acceptant d'aider au long de notre travail et d'examiner ce travail, je lui suis très reconnaissante.

Je remercie les membres de jury, chacun par son nom, qui m'a honoré en acceptant d'examiner ce travail.

Nos humbles remerciements vont également aux résidentes de la résidentes universitaire jeune fille de M'douha

Je remercie également mes enseignants pour leurs efforts durant toutes mes années d'étude à l'université et pour leurs soutiens durant la réalisation de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail:

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

A mon père, symbole de patience et du courage, je leurs souhaite

Une bonne santé, que Dieu me les garde.

A mes très chères frères

A toute la Famille

A Touts mes Amies, chez lesquels j'ai trouvé réconfort et soutien dans les moments les plus pénible.

Que je dédie ce travail

A tous mes collègues de la promotion 2015.

Bouferguene. K

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 les Petits Anges de la Famille, Yasmine,

Melina, Nour El houda, Rayane.

A toute la famille

A tous mes amies...

A tous mes collègues de la promotion 2015.

Akli .O

Sommaire

Introduction général

Chapitre I Généralités sur les isolateurs

I.1. Introduction	01
I.2. Historique	01
I.3. Définition	02
I.4 Remarque	02
I.5 Constitution	02
I.6 Caractéristiques d'un isolateur	02
I.7 le rôle des isolateurs	03
I. 8 Quelques définitions concernant les isolateurs	04
I.9. Principaux types d'isolateurs	05
I.10. Isolateurs suspendus ou élément de chaîne.....	05
I.11 Caractéristiques géométriques principales des isolateurs à assemblage à rotule et logement de rotule.....	06
I.12 Elément de chaîne	06
I.13 Isolateurs supports	08
I.14 Isolateurs de traversées	08
I. 15 Quelques profils des isolateurs à capot et tige	09
I.16 Valeurs des caractéristiques diélectriques et mécaniques de différents isolants.	11
I.17 Défauts des isolateurs	11
I.18 Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués	12
I.19 Contraintes subites par l'isolateur.....	13
I.20 Illustration de l'installation des isolateurs	14
I. 21 Utilisation des isolateurs	15
I.22 Classification des isolateurs en HT	15
I.23 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs	15
I.24. Dimension des isolateurs	16
I.25. Le choix des isolateurs	17
I. 26. Quels isolants pour une bonne isolation en 2015	17

I.27 Conclusion	19
-----------------------	----

Chapitre II

Caractérisation de la pollution

II.1 Introduction	20
II.2 L'origine de la pollution	20
II.3 Définitions	21
II.4 Différents types de pollution	21
II.5. Sources de pollution	22
II.6 Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs	23
II.7 Conséquence de la pollution	24
II.8 Niveau et types de pollution	25
II.9 Techniques de lutte contre la pollution	26
II.10 Effet de la pollution sur la santé humaine et les équipements électriques	27
II.11 Classification de la sévérité de pollution	29
II.12 Sévérité de pollution d'un site	29
II.13 Méthodes de mesure de la sévérité de pollution	29
II.14 Contournement	37
II.15 Causes de contournement	38
II.16 Etapes du Contournement des isolateurs	38
II.17 Contournement des isolateurs pollués	39
II.18 Le contournement des isolateurs sous pollution	40
II.19 Conclusion	41

Chapitre III

Équipements et méthodologies expérimentale

Introduction	42
III-2 Equipements.....	43
III-3 Procédures de test	45
III-4 Circuits de mesures	46
Interprétation des graphes.....	48
Conclusion.....	48

Conclusion générale

Références bibliographiques

Listes des figures :

Chapitre I	page
Fig. I.1 A gauche : Pylône double drapeaux et chaînes d'isolateurs d'ancrage.....	01
A droit : une chaîne d'isolateur	
Fig. I .2.Les caractéristiques d'un isolateur.....	03
Fig. I. 3. Isolateurs rigide.....	04
Fig. I .4. Assemblage à rotule.....	05
Fig. I. 5. Isolateur à capot et tige.....	07
Fig. I. 6. Isolateur à long fut.....	08
Fig. I .7. Isolateur support.....	08
Fig. I. 8. Isolateur capot et tige de profil standard.....	09
Fig. I .9. Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme A).....	09
Fig. I .10. Isolateur capot et tige de profil antibrouillard (forme).....	10
Fig. I .11. Un isolateur capot et tige de profil plat.....	10
Fig. I .12.isolateur capot et tige de profil sphérique.....	11
Fig. I .13. Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre.....	16
Fig. I. 14. a) Dimensions générales de l'isolateur en verre.....	17
b) Dimensions générales de l'isolateur en porcelaine.	
Chapitre II	
Fig. II.1 Exemples de pollution industrielle.	04
Fig. II.2 Photo d'un conductimètre à sonde mobile	11
Fig. II.3.a Photo à électrode linéaire.....	11
II.4.b Sonde à électrode planes avec papier absorbant.....	12
Fig. II .5.essai avec une chaîne d'isolateurs.....	15
Fig. II .6 Contournement d'isolateur.....	18
Fig. II.7 Etapes de contournement.....	
Chapitre III	
Dispositif d'essais et de mesure.....	

Liste des tableaux

Chapitre I

I.9.2 Tableau 1-Isolateurs ou chaînes d'isolateurs couramment utilisées sur les lignes HTA et HTB.....	04
I.11 Tableau 2-Caractéristiques géométriques principales des isolateurs à assemblage à rotule et logement de rotule.....	06
I.16 Tableau 3- Valeurs des caractéristiques diélectriques et mécaniques de différents isolants.....	11

Chapitre II

Tableau. II. 1.contaminants et leurs sources

Tableau II.2 : Classification de la pollution selon le type d'environnement.

Tableau II. 3: Méthodes de mesure et leurs dispositifs

Introduction générale

Introduction générale

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

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

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

La non-homogénéité est due à la présence de différents agents polluants dans une même région, et la non-uniformité de la répartition sur les surfaces des isolateurs est due aux profils des isolateurs, le sens et la direction des vents dans cette région, la pluie, la position de la chaîne d'isolateurs par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), la position de l'isolateur dans la chaîne, le degré de pollution du site où se trouve les isolateurs ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur et de l'effet d'inconnu de l'humidité sur la pollution.

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.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'influence de la pollution sur les chaînes d'isolateurs, pour cette raison, celui-ci est subdivisé en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à des rappels concernant les isolateurs et leurs constitution ainsi que les différents types d'isolateurs existants et leurs domaine d'application.

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

Le troisième chapitre est consacré à étudiée l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement des chaines d'isolateurs, et pour cela nous avons utilisés la technique d'ondelettes afin d'enregistrer les différentes bases de données correspondantes aux trois classes de pollutions différentes (faible, moyenne et forte).

Enfin, on terminera par des conclusions.

Introduction générale

I.1 INTRODUCTION



Fig. I.1 A gauche : Pylône double drapeaux et chaînes d'isolateurs en verre d'ancrage [1]. A droite : une chaîne d'isolateur [2].

Les matériels, destinés à supporter des organes sous tension dans l'air et les isoler entre eux ou par rapport à la terre, ont un comportement particulier en ce sens que la défaillance de l'isolation peut se manifester soit par un arc de contournement dans l'air à la surface de l'isolateur, soit par une perforation du matériau solide constituant l'isolateur et provoquant sa destruction. La distance d'amorçage dans l'air le long de l'isolateur doit être suffisante pour assurer l'isolation souhaitée, compte tenu de l'environnement (pluie, brouillard salin, pollution diverses) qui peut réduire notablement la tension d'amorçages. A cet effet les isolateurs sont munis de jupes destinées à allonger la ligne de fuite dans l'air.

En outre, ils sont conçus pour que la perforation soit impossible. Cette précaution permet aux isolateurs de continuer à assurer leur fonction de support mécanique même lorsque leur fonction d'isolation n'est plus remplie. Cela est très important dans la pratique [3].

I.2 Historique

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

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

Depuis la fin du xx^e siècle, les matériaux composites sont de plus utilisés pour fabriquer des isolateurs : en réalisant un axe central en fibre de verre et en surmoulant par-dessus une matière silicone ou EPDM.

Les isolateurs composites sont plus légers, généralement moins cher et présentant une excellence hydrophobicité. Ils sont surtout prisés pour les zones fortement pollués et dans les zones urbaines où ils résistent mieux au vandalisme [4].

I.3.DEFINITION

Un isolateur est un composant électrotechnique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électriques nus. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques. Ils assurent l'isolation entre les conducteurs et les pylônes. Les isolateurs sont classés en deux catégories qui sont :

- Les isolateurs rigides qui sont constitués d'assiettes colées, ils peuvent être utilisés en position verticale, horizontale ou oblique

- Les isolateurs suspendus où les chaînes d'isolateurs sont constitués d'assiettes emboîtées. Ils offrent l'avantage d'établir une liaison souple entre les conducteurs et leurs supports, permettant de mieux répartir les efforts entre les portées [5].

I.4 Remarque

Il ne faut pas confondre isolant et isolateur : le premier désigne la propriété d'un matériau qui consiste à ne pas conduire l'électricité, le second désigne le composant réalisé à partir d'un matériau isolant [6].

I.5 Constitution

L'isolateur est constitué :

- d'une partie isolante;
- des pièces métalliques;
- d'un scellement qui assure la liaison mécanique entre les parties isolantes entre elles ou aux pièces métalliques.

Le scellement doit être conçu et fabriqué de façon à satisfaire aux essais d'endurance thermo - mécanique [7].

I.6 Caractéristiques d'un isolateur

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

- Le pas P : C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.
- La ligne de fuite Lf : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.
- La ligne de contournement Lc : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices. [8]

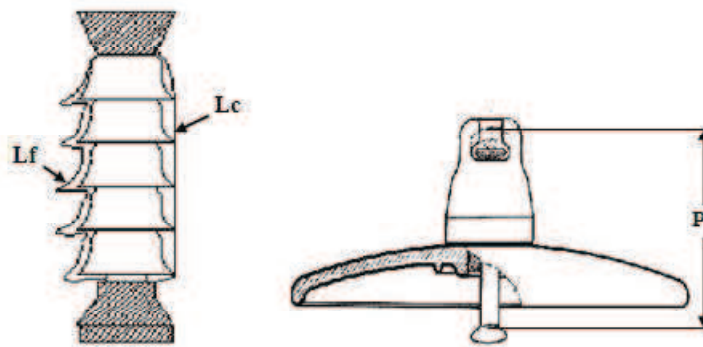


Fig. I .2.Les caractéristiques d'un isolateur [8].

I.7 le rôle des isolateurs

Les isolateurs ont deux fonctions principales :

- Ils empêchent le courant électrique qui circule dans les câbles électriques HT et THT, de passer dans les pylônes.
- Ils accrochent le câble au pylône. Pour cela, ils doivent pouvoir résister aux mouvements des câbles, qui subissent les effets du vent, de la neige ou du givre... [9].

I. 8 Quelques définitions concernant les isolateurs [10]

I.8.1 Contournement : C'est une décharge disruptive accompagnée d'étincelles se déplaçant sur l'interface d'un isolateur d'une électrode vers une autre.

I.8.2 Ligne de contournement : La ligne de contournement est la distance la plus courte dans un gaz entre deux parties conductrices

I.8.3 Tension de contournement : La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes. La tension de contournement dépend :

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

I.8.4 Tension de tenue : C'est le niveau de tension le plus important, que peut supporter une isolation sans provoquer de décharge disruptive.

I.8.6 Courant de fuite : C'est un courant de faible amplitude, circulant à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur, son intensité devient importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement. Il dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la couche polluante et de la longueur de la ligne de fuite.

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

I.8.7 Décharge disruptive : phénomène associé à une défaillance de l'isolation sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de la tension et passage d'un courant (une décharge disruptive dans un diélectrique solide entraîne une perte permanente de la rigidité diélectrique).

I.8.8 Perforation : décharge disruptive à travers un solide.

I.9. Principaux types d'isolateurs : [11]

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

I.9.1. Isolateur du type rigide :

Les isolateurs rigides sont utilisés pour l'isolement des lignes aériennes HT (inférieur à 60KV) .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 à de 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 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.

L'épaisseur de l'isolateur entre la partie haute tension et la masse est telle qu'elle présente un facteur de sécurité contre la perforation supérieur à 10.

L'isolateur est fabriqué de telle sorte qu'un 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.



Fig. I. 3. Isolateurs rigide [12].

I.9.2 Tableau 1-Isolateurs ou chaînes d'isolateurs couramment utilisées sur les lignes HTA et HTB [13].

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).		

I.10. Isolateurs suspendus ou élément de chaîne.

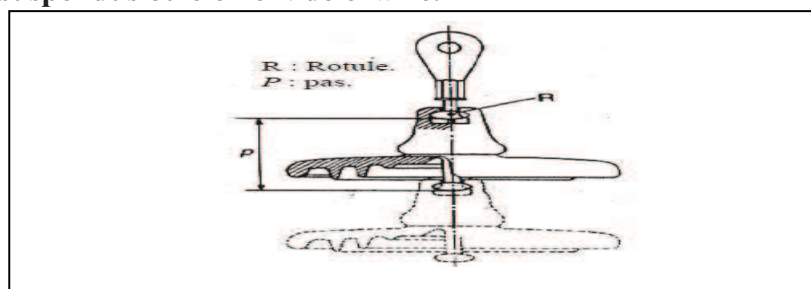


Fig. I .4. Assemblage à rotule [13].

I.11 Tableau 2-Caractéristiques géométriques principales des isolateurs à assemblage à rotule et logement de rotule [14].

Désignation CEI	Charge de rupture (kN)	Norme d'assemblage (1) (CEI 60120)	Diamètre de la partie (mm)	Pas nominal P (mm)	Ligne de fuite Lf (mm)
U 40	40	11	175	100 ou 110	185
U 70	70	16	250	127 ou 146	280
U 100	100	16	250	127	318
			288	146	440 (2)
U 160	160	20	288	146	370
			320	170	540 (2)
U 300	300	24	320	195	480
U 400	400	28	360	206	525
			380	240	550
U 530	530	32	380	240	600
			440	550	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).

I.12 Élément de chaîne :

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

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

I.12.1 Isolateur à capot tige :

Les isolateurs des lignes aériennes HT et THT sont de types 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. [15]

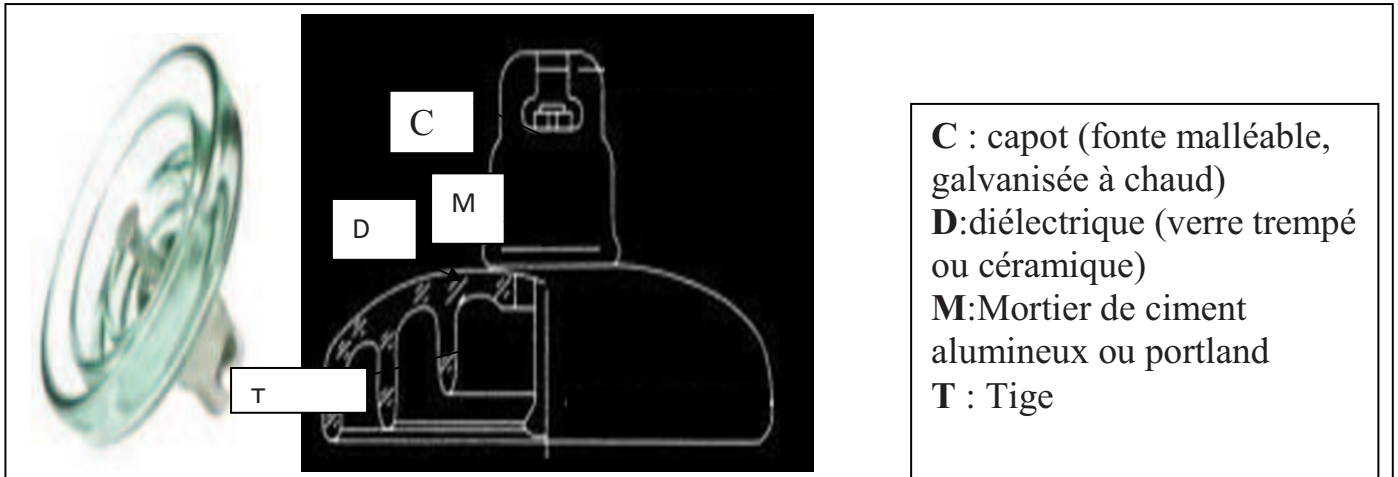


Fig. I. 5. Isolateur à capot et tige [16].

I.12.2 Isolateur à long fut :

Ce type peut être soit:

- Constitué d'un cylindre plein en céramique, ou en porcelaine, muni d'ailettes, avec une pièce métallique de liaison à chaque extrémité. Celle-ci peut être enveloppante en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le cylindre, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. De tels isolateurs peuvent être utilisés unitairement ou en série de plusieurs éléments en fonction de leur longueur et du niveau d'isolement requis.
- Constitué d'un matériau synthétique dont la caractéristique principale est la bonne tenue à la pollution, le faible encombrement, la résistance au vandalisme et la légèreté, en particulier lorsqu'on les compare aux chaînes d'isolateurs pour les lignes de tension électrique élevée.

Ce type d'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 en EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère), vulcanisés à chaud qui donne le profil et précise la ligne de fuite tout en protégeant le noyau contre toute attaque des agents extérieurs en assurant l'étanchéité au raccordement avec les pièces métalliques d'extrémités. Son profil à ailettes alternées permet d'accroître la tenue sous pollution.
- Des pièces métalliques, en fonte malléable ou acier forgé galvanisé à chaud, elles sont nécessaires au montage de l'isolateur et à la transmission des efforts mécaniques [17].

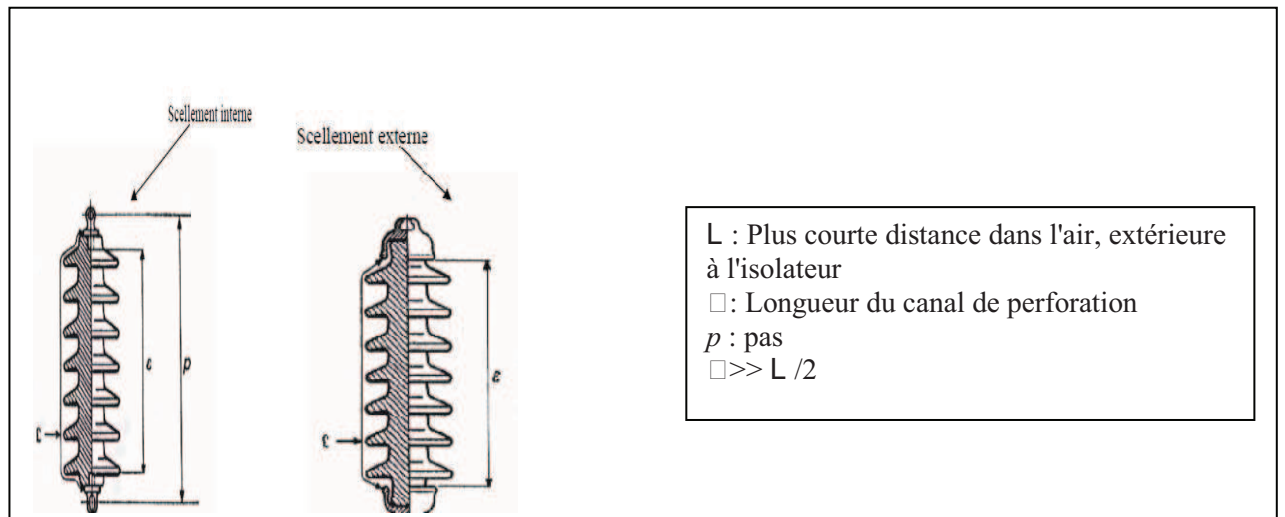


Fig. I. 6. Isolateur à long fut [13].

I.13 Isolateurs supports :

On appelle isolateurs supports, des pièces isolantes destinées à supporter, les éléments conducteurs autres que les lignes.

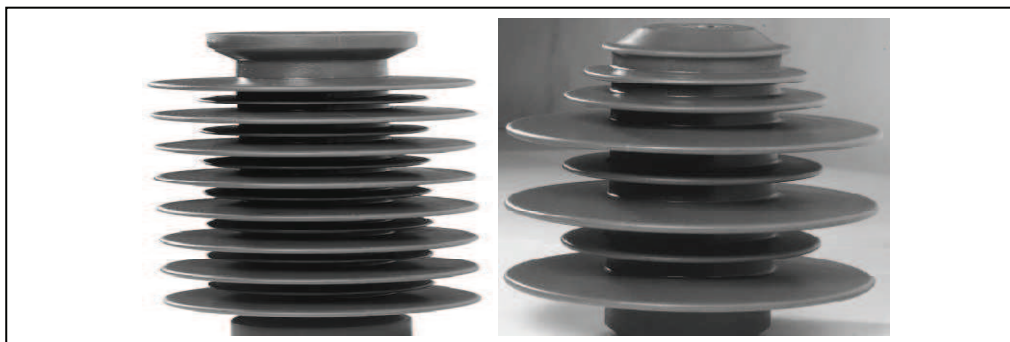


Fig. I .7. Isolateur support [15].

I.14 Isolateurs de traversées :

Les isolateurs de traversées sont des pièces isolantes servant à faciliter le passage d'un câble ou d'un conducteur sous tension à travers un obstacle plus ou moins conducteur : mur, paroi, couvercle d'un bac (transformateur) [18].

Il existe trois types : [19]

Les traversées intérieures

On les utilise dans les endroits fermés où l'atmosphère n'a aucune répercussion sur le fonctionnement. Leur forme est beaucoup plus simple car leur conception ne prend compte que des contraintes électriques.

Les traversées extérieures

On les utilise à l'extérieur où les conditions atmosphériques sont très sévères tel que la pollution, la neige et le brouillard donc leur forme doit être bien faite afin d'avoir un bon fonctionnement.

Ces traversées sont munies de cloches de sorte à augmenter la résistance de la ligne de fuite.

Les traversées d'utilité mixte

Sont des traversées dont les deux extrémités sont destinées à être dans l'air ambiant.

Une extrémité est destinée à être soumise aux conditions atmosphériques extérieures et l'autre n'est pas destinée à y être soumise

I. 15 Quelques profils des isolateurs à capot et tige :**I.15.1 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



Fig. I. 8. Isolateur capot et tige de profil standard [8]

I.15.2. Profil antibrouillard .

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.

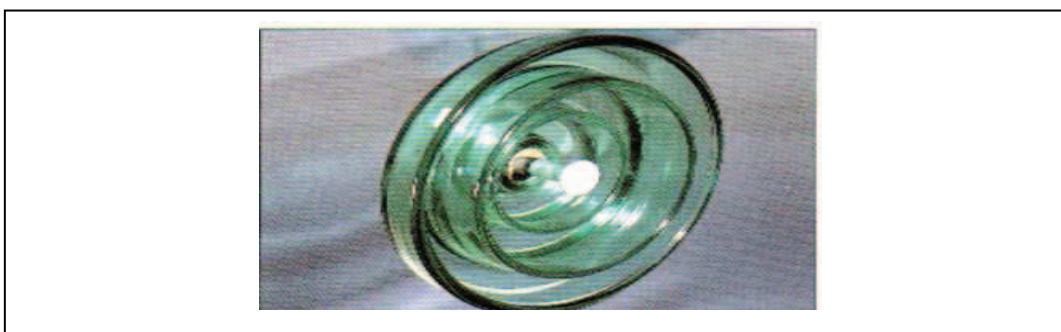


Fig. I. 9. Isolateur capot et tige de profil antibrouillard [8]

I.15.3.Profil plat:

L'élimination complète des rainures internes réduit l'accumulation des agents polluants.

Polluants sur la surface basse, grâce au courant d'air, cette conception est particulièrement efficace dans les zones désertiques où l'auto lavage est peu fréquent par pluie.

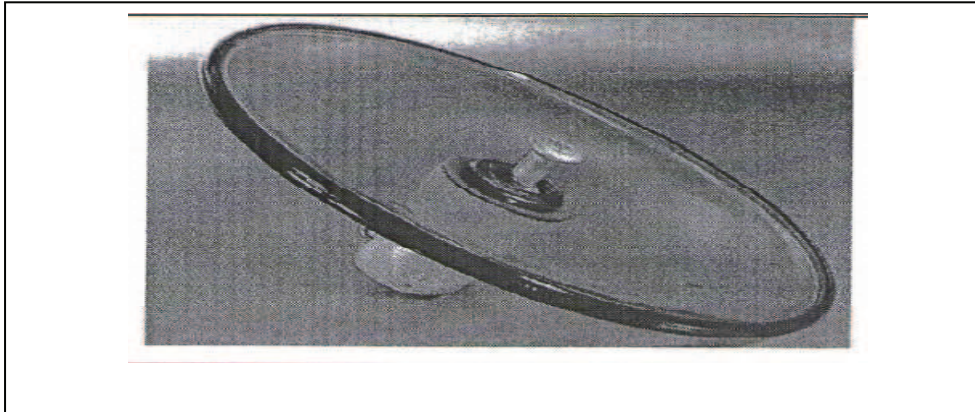


Fig. I .11. Un isolateur capot et tige de profil plat [12]

I.15.4 Profil sphérique

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

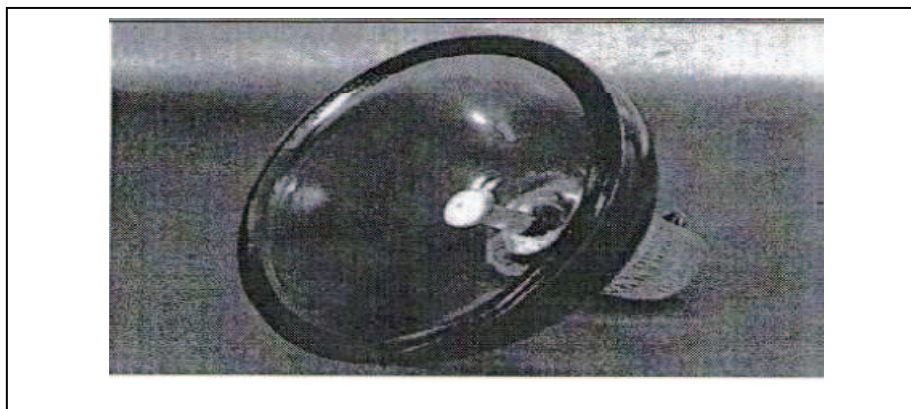


Fig. I .12.isolateur capot et tige de profil sphérique [12].

I.16 Tableau 3– Valeurs des caractéristiques diélectriques et mécaniques de différents isolants. [20]

Caractéristique	Céramiques			Verres		
	Porcelaine électrotechnique traditionnelle	Porcelaine électrotechnique alumineuse	Stéatite	Sodocalcique recuit	Sodocalcique trempé	Borosilicaté
Permittivité relative (20 °C et 50 Hz).	6	7,5	6,1	7,5	7,5	5,3
Rigidité diélectrique (20 °C et 50 Hz). (kV · m ⁻¹)	170	160	180	230	230	290
Masse volumique. (kg m ⁻³)	2,4	2,8	2,8	2,5	2,5	2,2
Contrainte à la rupture en traction. (MPa)	30	60	45	20	150	100
Module d'élasticité. (MPa)	77000	107 000	100 000	74 000	72 000	67 000
Coefficient de dilatation linéique . (en 10 ⁻⁶ K ⁻¹)	5,5	6,5	7,5	9	9,1	3,2

I.17 Défauts des isolateurs [20] :

Les isolateurs composites des générations précédentes ont présenté comme principaux problèmes l'érosion, l'acheminement, la décharge de couronne...etc.

Ces problèmes ont été éliminés par le bon choix des matériaux et le développement de nouvelles techniques de fabrication. L'inconvénient des isolateurs composites est la difficulté d'identifier l'isolateur défectueux de l'isolateur sain, d'où la nécessité de développer une méthode de diagnostic pour différencier entre un isolateur défectueux et un isolateur sain.

On peut distinguer deux types de défauts : défauts électriques et défauts mécaniques .Ces deux types de défauts sont mutuellement dépendants.

I.17.1 Défauts électriques :

Le vieillissement des isolateurs est causé par les conditions climatiques auxquelles l'isolateur est exposé ainsi que son profil. Un profil qui permet l'accumulation des agents polluants favorise l'apparition des décharges locales menant à l'érosion et par la suite au cheminement.

L'effet couronne est considéré comme agent principal de vieillissement des isolateurs. Cet effet se caractérise par la réduction de l'hydrophobie, la décoloration de la surface de l'isolateur ainsi que l'érosion sous l'effet des gaz de décharge.

Les gouttelettes d'eau sur la surface de l'isolateur affectent la distribution du champ sur cette surface (la permittivité relative de l'eau est élevée ce qui augmente l'intensité du champ aux voisinages des gouttelettes), les gouttelettes se déforment dans la direction du champ.

Les étapes de développement du vieillissement et du processus de contournement ont été établies dans des travaux antérieurs. Un excellent isolateur est caractérisé par son hydrophobicité, cette hydrophobie peut être perdue suite à l'accumulation des agents polluants sur la surface de l'isolateur, ou même après avoir subi des chocs électriques (arcs locaux) ; certains isolateurs peuvent réacquérir leurs états hydrophobes après immigration des molécules de faible poids (Low Molar Weight) du centre de l'objet jusqu'à la surface.

Le mouillage de la surface favorise l'apparition de l'effet couronne dans les régions de forte intensité de champ, d'où la perte locale de l'hydrophobie ; une quantité de pollution se dissout et forme une couche plus ou moins conductrice, par conséquent une nouvelle distribution du champ s'établit. Ce processus se poursuit et le chemin conducteur mouillé se développe à travers l'isolateur, par la suite le courant circulant à travers ce chemin cause l'assèchement des régions à forte densité de courant ce qui conduit au développement d'un arc local ; celui-ci provoque d'avantage de perte d'hydrophobie, d'érosion de surface et augmente l'amplitude du courant de fuite. Dans le cas d'un isolateur en polymère, le séchage de sa surface lui permet de réacquérir ses propriétés hydrophobes.

Dans le cas des isolateurs en verre ou en porcelaine, le mécanisme de décharge est différent de celui des isolateurs en polymère, le mouillage de la pollution accumulée sur la surface des isolateurs en verre ou en porcelaine conduit à l'apparition d'un film d'eau continu, donc l'arc peut se développer directement. Le séchage de la partie restante et l'élongation de l'arc causent le contournement de l'isolateur. Les premières étapes sont similaires à celles des SIR. De plus, la couche de pollution développée est souvent mince, ce qui limite l'intensité du courant de fuite et par la suite, la tension de contournement augmente.

I.17.2 Défauts mécaniques :

Les défauts mécaniques d'un isolateur peuvent mener à des conséquences fatales. Dans le cas des isolateurs en SIR, la plupart des défauts sont d'ordre mécanique.

I.18 Influence des facteurs climatiques sur les isolateurs pollués [11]

La tenue électrique d'isolateurs dépend de plusieurs facteurs météorologiques et parmi eux on distingue:

I.18.1 Le Vent

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces des isolateurs électriques, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto-nettoyage lorsque sa vitesse est élevée.

I.18.2 La Pluie

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces polluées des isolateurs, cependant, les fines pluies peuvent mouiller les surfaces polluées, ce qui augmente le risque de contournement.

I.18.3 L'Humidité

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolateurs puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue.

I.18.4 La Température

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolateurs contaminés devient plus important. 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.

I.19 Contraintes subites par l'isolateur.

L'isolateur est loin d'être épargné des contraintes néfastes en trois classes : [21]

I.19.1 Contraintes mécaniques :

Du fait de leur conceptions, les chaînes d'isolateurs sont articulés (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 :

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

I.19.2 Contraintes climatique et d'environnement

Les isolateurs sont spécialement influencés par la contamination de l'environnement aux niveaux des ouvrages (lignes et postes) installés aux bordures de mer, les embruns portés par les vents déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel, qui a plus au moins longue échéance, en suite 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 un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Ce qui donne naissance à un courant de fuite qui s'établit à travers la couche superficielle, ou dans certaines conditions des arcs peuvent se développer et provoquer le contournement total de l'isolateur.

I.19.3 Contraintes électrique

Ce type de contrainte est important, et elles résument en :

- Tension de service : c'est la tension normale que supporte l'isolateur en service.
- Décharge disruptive : phénomène associé à une défaillance de l'isolateur sous l'effet de la contrainte électrique, avec chute de 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.
- Surtension accidentelles : elles sont de brève durée prévenant d'un orage ou d'un transitoire.

I.20 Illustration de l'installation des isolateurs [22].

Les modes de pose des isolateurs sur le réseau dépendent des formats des pylônes.



Fig. I.13 Chaîne d'ancrage.

Les chaînes d'ancrage sont utilisées dans le cas de pylône d'ancrage. Ce type de chaîne se distingue par sa position quasi horizontale.



Fig. I.14 Chaîne en V

Les chaînes d'isolateurs en V sont utilisées pour les pylônes de suspension lorsque que l'on souhaite limiter le balancement latéral des conducteurs.



Fig. I.15 Chaîne droite

Les chaînes de suspension droite sont la solution de base pour les pylônes de suspension. Ce type d'isolation est le plus fréquemment utilisé.

I. 21 Utilisation des isolateurs

Le transport de l'énergie électrique nécessite, pour des raisons techniques et économiques, l'utilisation de tension élevée (ligne HT et THT).

Le rôle des isolateurs est de relier les conducteurs aux supports en assurant leur isolation thermique.

Dans la plus part des lignes électriques de haute tension les isolateurs sont menacés par le phénomène de pollution

En effet, un bon choix de dimensionnement des isolateurs s'avère indispensable pour assurer la fiabilité et la qualité de l'isolement de haute tension

La pollution des isolateurs figure comme un vrai problème néfaste à leur bon fonctionnement. La tension de tenue des isolateurs peut diminuer considérablement à cause des dépôts polluants recouvrant leurs surfaces. Ils peuvent même conduire au contournement des isolateurs dans certains cas critiques [8].

I.22 Classification des isolateurs en HT [8]

Conformément à la publication CEI 383 (Commission Electrotechnique Internationale), les isolateurs de lignes aériennes sont divisés en deux classes selon leur forme.

Classe A

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

Classe B

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

Les isolateurs à capot et tige appartiennent à cette classe.

I.23 Matériaux isolants utilisés pour la fabrication des isolateurs [11]:

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 des isolateurs et la difficulté de détection des amorçages.

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

A / Céramique :

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

B / 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.



Fig. I .16. Vue en coupe d'un isolateur rigide en verre [4].

B .1 .le verre trempé :

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

B .2.Le verre recuit :

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

C. Matériaux synthétiques

Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantage est qu'ils sont légers et présentent une grande résistance mécanique. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères. L'inconvénient de ces isolateurs est le vieillissement sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...) [12].

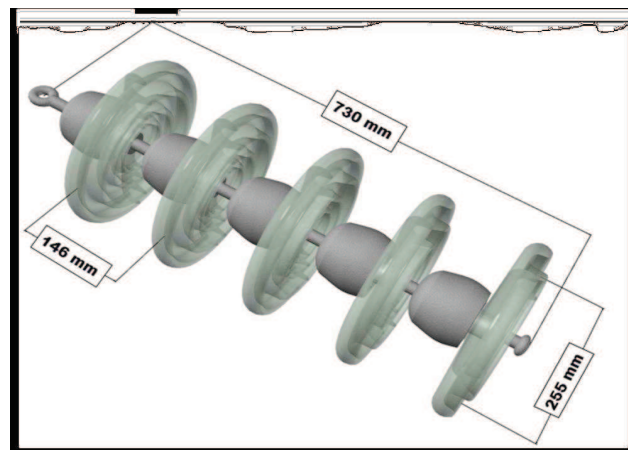
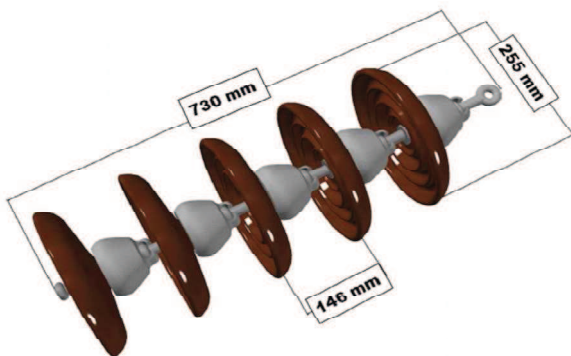
I.24. Dimension des isolateurs. [5]

Fig. I. 17. a) Dimensions générales de l'isolateur en verre
b) Dimensions générales de l'isolateur en porcelaine.

I.25. Le choix des isolateurs : [10]

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).

— en ce qui concerne leur nature (rigides ou suspendus), en fonction du prix de revient de la ligne et de son importance ; en général dans les petites sections ($< 50 \text{ mm}^2$), une ligne sur isolateurs rigides est moins coûteuse qu'une ligne sur isolateurs suspendus, tout au moins dans des régions peu sujettes à des surcharges climatiques importantes, en fonction de la pollution du site.

I.26 Conclusion :

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension.

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire 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
Caractérisation de la
pollution

II.1 INTRODUCTION :

Les lignes aériennes et les postes des réseaux de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs constitue l'un des facteurs de première importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet par temps de pluie ou de brouillard, les dépôts polluants se fixant sur les surfaces isolantes réduisent considérablement la résistivité superficielle et le contournement peut alors survenir.

L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation d'un courant de fuite.

Sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche de pollution. Ainsi, la réparation du potentiel est modifiée d'une façon significative et des arcs partiels peuvent apparaître. Ces derniers peuvent évoluer jusqu'à contournement total de l'isolateur.

Les conséquences du contournement vont de la détérioration de la surface de l'isolateur à la mise hors service de la ligne haute tension. Ainsi, une des caractéristiques principale d'un isolateur haute tension sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé [23].

II.2 L'origine de la pollution :

Les sources de pollution peuvent être d'origine naturelle ou anthropogénique. En effet, dans le cas des lignes aériennes et des postes installés au bord de mer, les embruns portés par le vent déposent sur les isolateurs une couche de sel. Lorsque cette couche est humidifiée par un brouillard, elle devient conductrice. De plus, au voisinage des usines polluantes, par exemple les usines métallurgiques ou chimiques, les isolateurs se recouvrent de particules solides infimes, faiblement conductrices mais hygroscopiques. Dans des conditions de forte humidité, à savoir le brouillard ou la pluie, la dissolution des sels contenus dans ces particules provoque la formation d'un électrolyte.

La pollution domestique produite par les appareils de chauffage des habitations, les véhicules et la pollution agricole sont aussi omniprésents dans notre environnement [21].

Le tableau suivant résume certains contaminants, et leurs sources.

Contamination naturelle et anthropogénique	Sources probables de pollution
H^+	Atmosphérique
$NO, NO_2, CO_2, SO_2, NO_4^-, NH_3^-, NH_4^+$	Atmosphérique, fertilisation, combustion
SO, NO_3^-, NH_4^+, CL^-	Mer brouillard, précipitation
$Na^+, Mg^{++}, Ca^{++}, K^{++}$	Mer

Tableau. II. 1.contaminants et leurs sources

II.3 Définitions [24]

II.3.1 Pollution :

La pollution est une modification du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, à travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique de 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 l'objet physique qu'il détient, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

II.3.2 Salinité

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.3.3 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.3.4 Degré de pollution

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

II.4 Différents types de pollution [25] :

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

II.4.1 polluants naturels

Les polluants d'origine naturels sont principalement de dioxyde de soufre (SO_2) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ils sont dus 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 volcaniques ou des déserts et être transportées sur de 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.4.2 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, gaz 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, plus forte chez les êtres humains, la pollution est plus forte les jours où la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n'y a pas de vent.

II .5. SOURCES DE POLLUTION [13] :

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

5.1. Pollution naturelle

Elle est due au climat, aux facteurs météorologiques qui diffèrent d'une région à une autre, cette pollution provient de la poussière tel que le sable, les débris de planète et les embruns marins portés par le vent dans les régions côtières. On distingue quatre formes de la pollution naturelle :

5. 1.1. Pollution marine

Les installations situées en bord de mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs, formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par le brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance.

5.1.2. La pluie forte :

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

- **Déformable**

Une précipitation moyenne ou moins forte attribuera sûrement au nettoyage de l'isolateur c'est-à-dire cette pluie provoque la dégradation de toutes les couches de pollution.

- **Favorable**

Le rôle nocif d'une pluie faible est l'humidification de la couche polluante et quand elle est intense, le phénomène de ruissellement se produit des files d'eaux peuvent s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne ou de la colonne isolante et comme l'eau est conductrice, le contournement peut se produire. On parlera ainsi du contournement sous pluie.

5. 1.3. Pollution désertique

La pollution désertique est caractérisée surtout par les dépôts de sable se formant à la surface des isolateurs après les vents de sable. Une fois humidifiés, ces dépôts deviennent plus ou moins conducteurs (en fonction des concentrations en sels solubles qu'ils contiennent) et engendrent la circulation d'un courant de fuite qui apparaît brusquement et qui est suivi par l'apparition d'arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur.

5.1.4. La pollution à l'intérieur des terres

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

5.2 Pollution industrielle (artificielle)



Fig. II.1 Exemples de pollution industrielle.

Au voisinage de certaines zones industrielles, la pollution est engendrée par l'évacuation des fumées des usines (raffinerie, cimenterie, minerais etc.). La présence d'éléments conducteurs dans les couches, et/ou la dissolution des sels qu'elles contiennent engendrent la circulation d'un courant de fuite plus ou moins fort selon les concentrations des agents polluants.

Les usines ne sont pas les seules responsables de ce genre de pollution ; les gaz d'échappement des véhicules et les engrais utilisés en agriculture contribuent aussi aux dépôts observés à la surface des isolateurs.

5.3.Pollution mixte

Ce type de pollution est en fait le plus fréquent et le plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre les différents types de pollution, comme par exemple les pollutions marine et industrielle lorsque des installations industrielles sont situées en bord de mer.

II.6 Répartition de la pollution sur la surface des isolateurs [13] :

La répartition d'une couche de pollution dépend du profile, la hauteur et la disposition (verticale, horizontale, inclinés) des chaines des isolateurs part rapport au sol et du niveau de la tension qui leur est appliquées.

L'étude de H. Streubel a montré que le non uniformité peut être classé 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 dont la valeur est constante dans chaque bande de la ligne de fuite d'un isolateur mais 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 pluie fait que cette répartition soit ainsi, c'est-à-dire on trouve des secteurs aux bandes 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 secteur 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 pollution le long de la ligne de fuite de l'isolateur et constante le long du périmètre. Ses principales spécifications sont :

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

Ce type de regroupement concerne une accumulation progressive de la pollution et ne peut pas rendre compte des accumulations aléatoires en cas de conditions atmosphérique a exceptionnelle.

II.7 Conséquence de la pollution [26] :

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

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

II.7.2Arc fixe

Sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en s'y réamorçant au même endroit (courant alternatif). Il peut provoquer une dégradation de l'isolation par son effet thermique.

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 Niveau et types de pollution [27] :

L'identification des substances de la pollution est impérative pour le choix de l'isolateur d'une ligne électrique. La norme CEI 815 [14] donne les quatre niveaux de pollution et leur classement dans le tableau 2.

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

Tableau II.2 : Classification de la pollution selon le type d'environnement.

II.9 Techniques de lutte contre la pollution [12] :

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.9.1. 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.9.2. Isolateurs plats

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

II.9.3 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.9.4 Revêtement silicone

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

II.9.5 Les isolateurs composites

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

II.9.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique hors tension sont fréquemment utilisés à travers le monde. Néanmoins, l'application de ces méthodes pose des problèmes majeurs à cause des interruptions de service, parfois assez longues. Pour éviter ces coupures, un lavage sous tension des isolateurs est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles.

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

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**.

II.10 Effet de la pollution sur la santé humaine et les équipements électriques [28] :

II.10.1 Effets de la pollution sur la santé humaine

La pollution de l'air provoque principalement des irritations des yeux, des problèmes de vision et des difficultés respiratoires. Cette pollution peut aussi entraîner des douleurs de poitrine et des toux. Les personnes les plus fragiles sont les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes sensibles (fumeurs, malades du cœur ou du poumon), des risques de cancer sont possibles. En 1952, le célèbre brouillard « smog » a stagné sur Londres durant plusieurs jours, la mortalité a immédiatement été multipliée par trois. A plus long terme, une révision récente des données donne des pessimistes en estimant à 1200 le nombre de décès attribués à cet épisode de 1952.

En 1990 certains chercheurs citent le chiffre 40 000 morts par année attribuables à la pollution pour l'Autriche, la France et la Suisse réunie. La moitié serait liée directement à la pollution automobile. En 2002, la pollution a été jugée responsable de 6 500 à 9500 décès dus aux gaz d'échappement, dioxine.

II.10.2 Effet 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 entraîne 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'inexistante d'information à l'échelle national sur le niveau de pollution des différentes régions traversées par le réseau électrique de la Sonalgaz et le manque de moyens de lutte contre la pollution.

II.10.2.1 Corrosion des isolateurs

II.10.2.1.1 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 est recouverte d'un dépôt conducteur de pollution humide, un courant de fuite prend alors naissance. Son amplitude est en 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 d'autant plus nocifs que la fréquence et la durée du période humide sont élevées (climat tropical humide).

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

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 intéressant surtout les zones tropicales de la mer ou la pollution marine et la pollution par poussières (latérites provenant du sel, cendres votants après brûlage des champs) qui s'accumulent pendant de longues périodes sans pluie, s'ajoutent à la forte humidité ambiante.

II.10.2.1.2 Phénomènes liées à la corrosion des pièces métalliques [20]

La corrosion des ferrures des isolateurs peut avoir pour effets :

- affecter la résistance mécanique de l'isolateurs : cela s'applique particulièrement aux isolateurs du capot et tige lorsque la section de la partie corrodé 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 isolante. En outre, ce dépôt peut entraîner des dommages à la partie isolants du fait d'une concentration du champ électrique autour de cette nouvelle électrode.
- entraîner la rupture du diélectrique du fait de l'expression de la tige corrodée. Ce phénomène reste spécifique aux isolateurs capot tiges en porcelaine.

II.10.2.2 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 le plus élevé ou prédominent les zones sèches et les arcs qui y sont associés.

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

- traces d'arcs sous forme d'arborescence ;
- érosion de la matière isolante 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 sujet 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 sur 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 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 un contrôle est acceptable pour garantir une tenue à long terme convenable.

Hormis le choix de matériaux fiables 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 inférieurs au seuil de vieillissement.

II.11 Classification de la sévérité de pollution [12] :

On classe la pollution selon sa sévérité en quatre types

a-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.

b-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.

c-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.

d-pollution très forte

On trouve ce type de pollution dans les zones les très proches de la côte et exposées à des vents forts polluants venants de la mer.

II.12 Sévérité de pollution d'un site [11] :

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

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

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

II.13 Méthodes de mesure de la sévérité de pollution [20]

Une évaluation de la sévérité d'un site devrait fournir toutes les informations nécessaires au calcul de la probabilité du contournement sous pollution d'un isolateur et même le dimensionnement. En effet on propose d'étaler les différentes méthodes de mesure et les dispositifs nécessaires qui sont récapitulés dans le tableau II.3.

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

Tableau II. 3: Méthodes de mesure et leurs dispositifs

II.13.1 Dispositif de mesure de la conductivité superficielle à l'aide d'une sonde mobile

II.13.1.1 Description du dispositif et procédé de mesure [21]

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.2).



Fig. II.2 Photo d'un conductimètre à sonde mobile

La sonde est composée essentiellement :

- 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 sont illustrées par les figures (Fig.II.2) et (Fig. II.3).

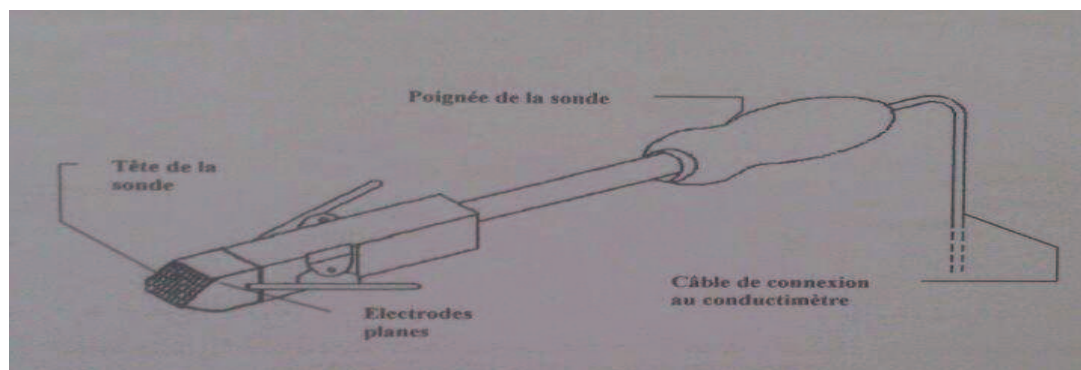
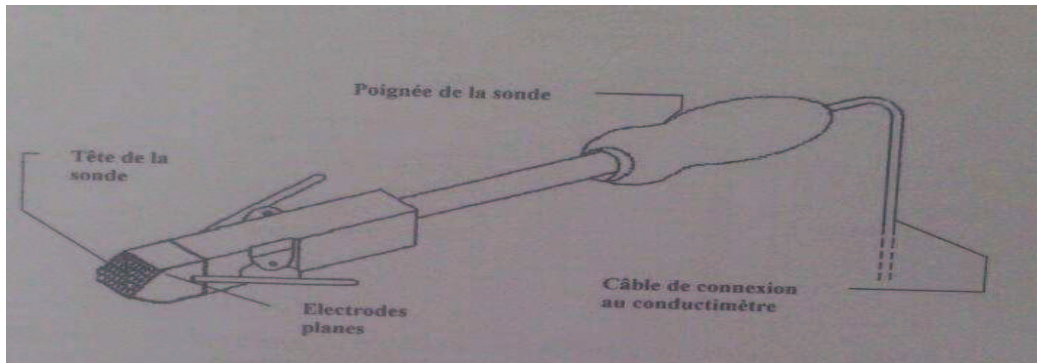


Fig. II.3. Photo à électrode linéaire

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 telle sorte qu'il n'y ait pas d'écoulement de l'eau pulvérisée sur la surface de l'isolateur polluée. 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 (Fig. II.2), avant d'effectuer les mesures sur la surface polluée d'un isolateur, il faut :

- Fixer une bande sèche absorbante (papier PH), de dimension (10mm×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 pollué.
- 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 équivalente de la couche de pollution humidifiée à la bande polluée.



II.4. Sonde à électrode planes avec papier absorbant

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

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

Avec:

σ_m : La conductivité mesurée (μS)

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

f_s : Le facteur de forme de la sonde utilisé (tableau II.4). (Pour une sonde à électrodes planes, le facteur de forme est égal à 1)

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

II.13.1.2 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :

Il s'agit du dépôt de sel de Na Cl en mg/cm^2 sur la surface d'un isolateur dont la conductivité électrique est égale à celle du degré réel, dissous dans un 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 à papier, éponge, brousse) et de l'eau distillée, à moins qu'il soit gratté à sec. Le dépôt est dissous 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 $^\circ\text{C}$

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

$$\Theta_{20} = \sigma_\theta [1-b (\Theta-20)] \quad (\text{II.2})$$

Avec :

Θ : Température de la suspension en $^\circ\text{C}$

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

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

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

$$b = -3.2 \cdot 10^{-8} \Theta^3 + 1,032 \cdot 10^{-5} \Theta^2 - 8,272 \cdot 10^{-4} \Theta + 3,544 \cdot 10^{-2} \quad [\text{II.3}]$$

Lorsque Θ_{20} est à l'intérieur de l'intervalle (0,004 à 0.4) S/m, la salinité d'est déterminée par la relation suivante

$$Sa = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,03} \quad [\text{II.4}]$$

Avec :

Sa : en Kg/m³ et σ_{20} en S/m.

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

$$DDSE = Sa \cdot V/S \quad [\text{II.5}]$$

Avec

V : volume de la suspension en m³.

S : Surface nettoyée en m².

DDSE en Kg /m².

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 sûr, les prélèvements 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 pollution et le processus d'amorçage des arcs.

II.13.1.3 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 isolante (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche) lequel détermine la performance de l'isolateur.

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

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

$$G = I/V \quad [\text{II.6}]$$

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 :

$$\sigma = f \cdot G \quad [\text{II.7}]$$

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 avantageuse 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 faibles tensions permet d'utiliser des transformateurs moins chers et d'automatiser les équipements de mesures puisque le risque d'amorçage est faible.

II.13.1.4 Comptage des impulsions de courant de fuite

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

L'existence d'impulsion de courant de fuite précède l'étape finale du processus de contournement sous pollution et leurs amplitudes et fréquences augmentent en s'approchant de cette dernière. Les premiers compteurs étaient des compteurs téléphoniques, électromagnétiques, régler mécaniquement pour ne fonctionner que leurs bobines étaient traversées par un courant supérieur à une valeur donnée, les enroulements étaient directement en série avec l'isolateur en essai (Figure II .5).

Les compteurs sont généralement réglés pour fonctionner à des niveaux de courant crête de 20, 50, 100, et 2500mA.

Le nombre d'impulsions enregistrées avant un contournement pour différents isolants dans les mêmes conditions de pollution peut varier considérablement. Le comptage d'impulsion ne peut donc fournir une mesure absolue de la performance des isolateurs, l'utilisation du comptage d'impulsion pour évaluer la sévérité des sites dépend de la comparaison du comptage sur le site avec les données accumulées sur les performances d'isolateurs similaires. La méthode se prête mieux à la détermination des longueurs d'isolateurs dans le cadre de l'extension de réseau existant ainsi qu'à la mise en évidence du besoin de lavage ou de graissage des isolateurs.

Les avantages de la méthode résident dans un coût faible et une amplitude aux contrôles continus d'un grand nombre d'isolateurs dans les conditions de service normal.

L'utilisation du compteur d'impulsion nécessite l'accès à une ligne ou à un poste existant ou une installation d'essai spéciale dans la région étudiée. Les données sont relatives et

doivent donc être utilisées par comparaison avec des données similaires collectées ailleurs par essai sur site pendant une longue période.

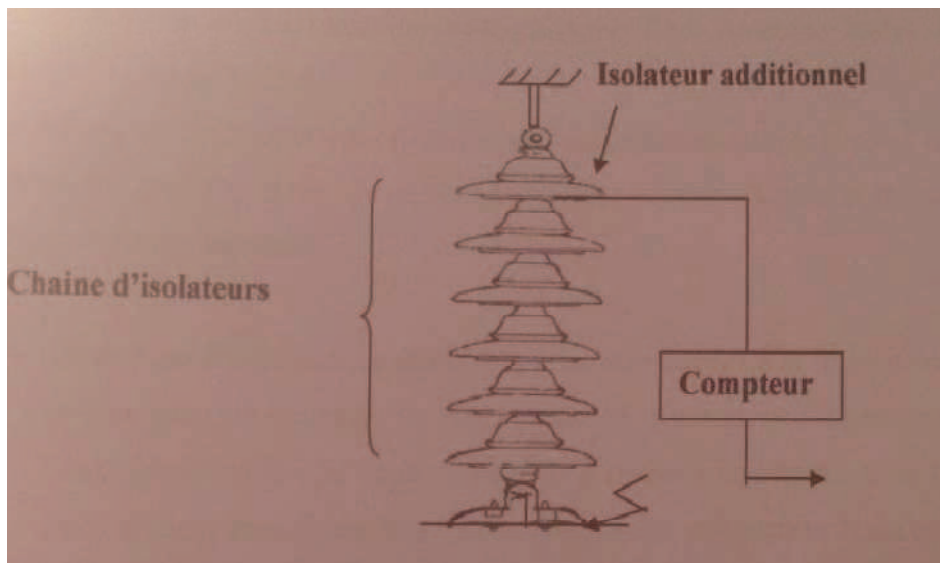


Fig. II .5.Méthode de connexion d'un compteur d'impulsion à un isolateur de ligne.

II.13.1.6 Contrainte de contournement :

La contrainte de contournement d'un isolateur est la tension de contournement à fréquence industrielle divisée par la longueur totale 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 le processus de contournement.

La mesure de cette contrainte donne toutes les informations nécessaires au calcul de la longueur des isolateurs pour une meilleure fiabilité. Sur site on peut la mesurer à l'aide de l'une des variantes suivantes :

- 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 augmenter sa longueur (cela conduit à définir la longueur minimale tenant la contrainte).Ce processus doit être renouvelée afin d'obtenir des résultats statiquement utilisables.

- La deuxième variante donne plus d'information sur les isolateurs, est placée sur chaque chaîne d'isolateur des fusibles permettant d'allonger sa longueur effective jusqu'à ce que le niveau tenant la contrainte soit atteint.
- Plusieurs isolateurs sont dotés de fusible et soumis à une tension constante. 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.13.1.7 Mesure optique :

Le but de cette méthode consiste à évaluer l'épaisseur de la couche de pollution déposée à la surface d'un isolateur. Un dispositif de prédiction par sonde laser effectue les mesures en se basant sur une technique elliptométrique. Un rayon à polarisation rectiligne traverse un analyseur et aboutit à une photo détecteur. Une analyse avancée des caractéristiques du rayon réfléchi (amplitude, décharge,.....) 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.

II.13.1.8 Densité de dépôt non soluble(DDNS)

La densité de dépôt non soluble correspond à la quantité de produits polluants non solubles présents dans une couche de pollution. La détermination de la DDNS s'effectue comme suit, 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 sèche puis pesé.

La DDNS peut être calculée par la formule :

$$DDNS = 1000(mf - mi)/A \quad [II.8]$$

Avec :

DDNS : la densité de dépôt non soluble e mg/cm²

mf: La densité du papier filtre contenant la pollution après séchage en g

mi: La masse initiale du papier filtre en g

A : La surface lavée de l'isolateur en cm²

II.13.2 Choix d'une méthode de mesure de sévérité de pollution d'un site

Parmi les méthodes d'évaluation de la sévérité de pollution déjà mentionnés, 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 elle ne nécessite pas d'installation 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 tout les cas, le choix d'une méthode dépend essentiellement des paramètres suivant :

- équipement de mesure (couts 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 sévérités de pollution sont introduites dans le calcul du niveau d'isolement.
-

II.14 Contournement

II.14.1 Introductions

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

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

II.14.2. Définitions :

a- 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 processeur.



Fig. II .6 Contournement d'isolateur [12].

b- Contrainte de contournement :

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

c-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 conductivités volumiques aux conductance et conductivités superficielles.

d-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.

e-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.
- du profil de l'isolateur.
- de la longueur de l'isolateur .

f-Tension de tenue :

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

II.15 Causes de 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.

L'objet de notre travail est le troisième cas.

II. 16 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 créé par le courant de fuite, provoque un assèchement de la couche polluante. La zone sèche formée a tendance à s'étendre latéralement jusqu'à l'interruption complète du courant (phase 2).
- La tension appliquée se trouve pratiquement totalement reportée aux « bornes » de la zone sèche et des arcs locaux sont susceptibles d'apparaître. Au voisinage de la tête d'un arc local la constriction des lignes de courant conduit à un élargissement de la zone sèche (phase 3).
- A partir de ce stade, l'évolution de la décharge peut se faire de différentes façons : l'arc local peut s'éteindre (phase 4), ou bien il peut se déplacer latéralement pour retrouver une position plus stable correspondant à une plus faible longueur d'arc (phase 5), ou encore, il peut s'allonger jusqu'à atteindre l'électrode et provoquer ainsi le contournement. Dans ce cas, l'allongement de l'arc se fait à la surface de l'électrolyte sans formation de zone sèche (phase 6).

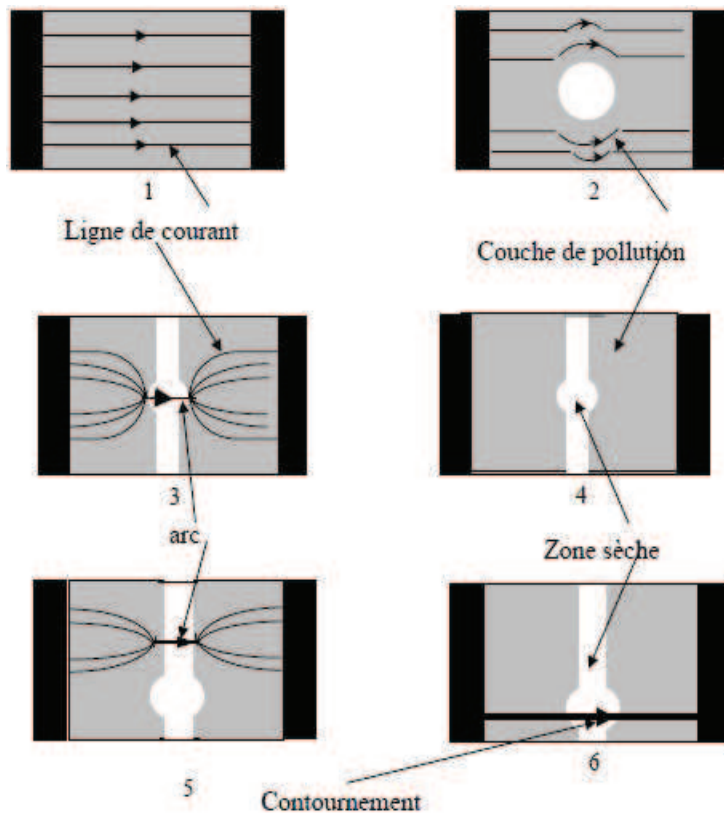


Fig. II 6 Etapes du contournement d'une couche [11]

II.17 Contournement des isolateurs pollués [12]

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.

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 de fuite 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 alors très 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 supporter le potentiel correspondant, un arc est créé.

Etape4 : Contournement

Comme la résistance de la bande sèche est 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 \Rightarrow pas de contournement.
- Soit la décharge progresse sur la surface \Rightarrow contournement de l'isolateur.

II.18 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 ya une formation d'un liquide électrolytique sur la surface de l'isolateur.
- Le courant de fuite se propage sur la surface de l'isolateur polluées et humidifié, provoquant ainsi des assèchements qui ne sont pas uniforme 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'isolateurs dans la cas où la partie humidifiée à 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.19 conclusion :

Dans ce chapitre introductif, une synthèse des différents aspects des phénomènes de pollutions 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 de degré de pollution est une condition indispensable, pour prévoir une isolation externe convenable.

La nature et la sévérité de pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique et de l'industrialisation du site.

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

Les techniques de lutte contre la pollution actuellement connues (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, revêtements hydrophobes) permettent de disposer aujourd'hui de solutions curatives 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 isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement la pollution rencontrés par les exploitants sur le réseau.

Chapitre III
**Prédiction de la sévérité de
pollution sur un isolateur
réel**

III.1 Introduction

Dans le but de déterminer l'influence de la sévérité de la couche de pollution sur le comportement diélectrique des chaînes d'isolateurs haute tension, nous avons utilisé une base de données récupérée au niveau du laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. Ces essais ont été effectués sur une chaîne d'isolateur réel U120B.

Dans ce chapitre on décrit en premier lieu les techniques expérimentales utilisées pour récupérer les signaux du courant de fuite. Pour cela plusieurs essais préliminaires ont été réalisés dans le but de s'assurer le bon fonctionnement du matériel en tenant compte de toutes les contraintes qu'elles soient physiques ou techniques. En deuxième lieu, nous présentons des notions théoriques permettant la décomposition des signaux du courant de fuite en se basant sur la transformée en ondelettes. En fin, nous présentons et discutons les résultats concernant la prédiction du degré de sévérité de pollution déposée sur la surface isolante de la chaîne en se basant sur l'analyse du signal du courant de fuite correspondant à chaque cas de pollution.

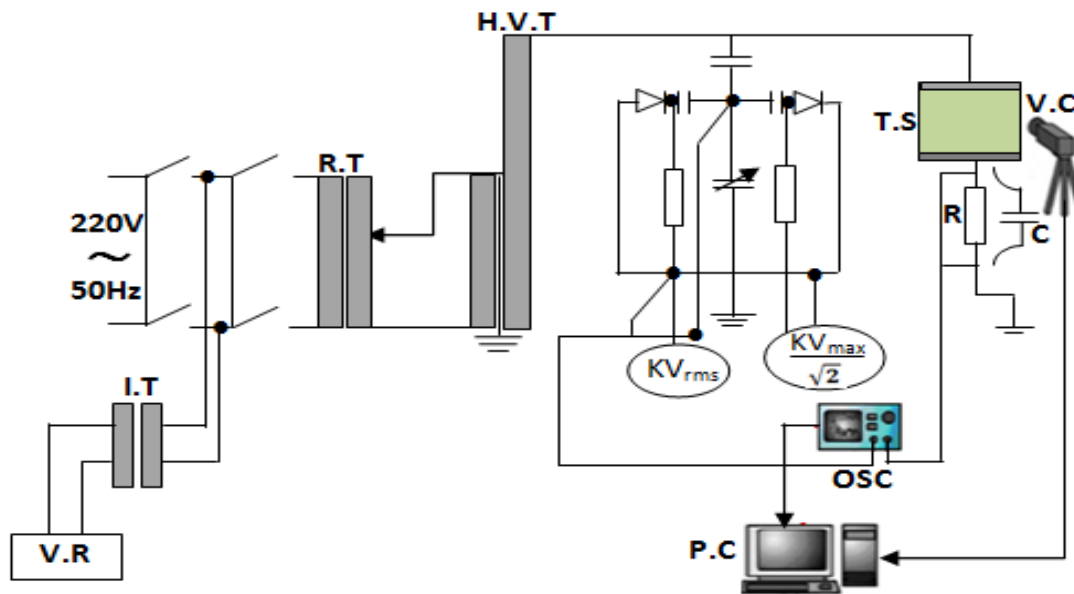
III.1.2 Enregistrement du signal du courant de fuite

Nous montrons dans cette partie l'équipement et la chaîne d'isolateur utilisée ainsi que les différentes techniques expérimentales permettant l'enregistrement du signal du courant de fuite.

Le laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger est muni d'une station d'essai à fréquence industrielle (50 Hz) de marque HEAFELY composée par les équipements suivants :

- Un transformateur d'essai : 500V/300kV, 50kVA, 50Hz.
- Un transformateur de réglage : 0/220V à 500V, 50kVA, 50Hz.
- Un diviseur de tension capacitif qui est relié au secondaire du transformateur d'essai pour réduire la tension aux bornes du voltmètre, situé près du pupitre de commande. Il est composé d'une capacité $C_1=400 \mu\text{F}$ et d'une capacité variable qui permet de régler la tension de sortie.
- Des appareils de mesures et de protection.
- Un oscilloscope numérique « TEKTRONIX » de bande passante 500 MHz.
- Une caméra numérique SONY DCR-SR45 pour suivre l'évolution des décharges électriques en fonction de la tension appliquée et de la distribution de la pollution sur l'isolateur étudié.
- Un ordinateur pour l'acquisition des données des signaux du courant de fuite, de la tension appliquée ainsi que la charge cumulée.

Le circuit d'essai ainsi que le dispositif expérimental sont donnés dans la figure suivante.



H.V.T: High Voltage Transformer - R.T: Regulating Transformer - I.T: Isolating Transformer - V.R: Voltage Regulator - V.C: Video Camera - T.S: Test Sample

Figure III.1 : Dispositif d'essais et de mesure

III.1.3 Isolateurs testés

- a) l'U 120 B caractérisé par une résistance mécanique de 120 kN, un diamètre de 25.5 cm et une ligne de fuite de 30 cm par élément. Les tensions de tenue à fréquence industrielle à sec et sous pluie sont respectivement 60 et 45 kV. Le choix de cet isolateur est justifié par la forme qu'il présente. Cette dernière nous permet aisément d'appliquer la pollution d'une façon uniforme. La chaîne d'isolateurs réels U120B sur laquelle les expériences ont été effectuées est montrée sur la figure (III.2).



Figure III.2 : Chaîne d'isolateurs U120B étudiée

III.2 Procédures de test

III.2.1 Préparation des chaînes d'isolateurs et des modèles plans étudiés

Le nettoyage des chaînes d'isolateurs ainsi que des modèles plans étudiés a été effectué après chaque essai. En premier lieu, l'eau de robinet est utilisée pour éliminer le maximum d'impuretés, puis l'isolateur est séché avec des serviettes en papier. Un deuxième nettoyage est effectué à l'aide d'un bout de coton imbibé d'alcool chirurgical à 70° afin d'assurer une propreté quasi-totale de l'isolateur. Ce dernier est laissé sécher naturellement dans le laboratoire.

III.2.2 Préparation des solutions polluantes

Les solutions polluantes ont été préparées au laboratoire du Génie de l'Environnement. Celles-ci sont composées de différentes quantités de kaolin et NaCl diluées dans un litre d'eau distillée. La préparation des solutions polluantes ainsi que le choix de leurs conductivités volumiques sont fait en se basant sur les recommandations de la CEI 60060-1.

Selon le profil de l'isolateur étudié, nous choisissons les solutions polluantes ainsi que leurs conductivités volumiques.

Les solutions polluantes sont composées de 100 g de kaolin dilué dans un litre d'eau distillée pour lesquelles on rajoute des quantités pesées de NaCl. Les quantités de NaCl rajoutées sont 5, 10, 20, 30 et 40 g. celles-ci ont été pesées à l'aide d'une balance dont la précision est de 10^{-4} g.

III.2.3 Méthode d'application de la pollution

La couche de pollution est déposée sur la surface de l'isolateur réel par le procédé de pollution liquide pré-déposée. Pour cela, un pinceau de largeur égale à 8 cm est utilisé afin que la couche de pollution soit déposée le plus uniformément possible sur la surface de l'isolateur.

La figure suivante montre les deux surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur.



Figure III.3 : Surfaces interne et externe d'un élément de la chaîne d'isolateur.

III.3 Circuits de mesure

III.3.1 Mesure de la tension de contournement

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour chaque configuration de pollution à l'aide du voltmètre électrostatique, donnant la valeur de la tension en kilovolts efficace. Cette mesure permet non seulement de déterminer l'impact de la configuration de la pollution sur la tension de contournement, mais aussi de déterminer les paliers des tensions à appliquer, pour l'enregistrement du courant de fuite.

III.3.2 Mesure du courant de fuite

Pour toutes les configurations de pollution étudiées, les mesures du courant de fuite ont été réalisées via un oscilloscope numérique. Pour évaluer le courant de fuite, on récupère le signal de la tension aux bornes d'une résistance insérée en série entre l'objet d'essai et le retour de la terre. Le signal ainsi récupéré représente l'image du courant de fuite. Tous les signaux ont été enregistrés avec une fréquence d'échantillonnage de 100 kHz et les données sont stockées dans un ordinateur pour une exploitation ultérieure. Chaque test est répété entre six et dix fois pour vérifier la reproductibilité des conditions initiales.

III.4 Théories sur la transformée en ondelettes

III.4.1 Introduction

Il est bien connu que la transformée de Fourier donnée comme étant une généralisation de la série de Fourier caractérisant les signaux périodiques a l'inconvénient majeure d'ignorer complètement la contribution temporelle exacte d'une fréquence dans un signal. En pensant à résoudre ce problème, GABOR en 1946 a introduit la transformée de Fourier à court terme. Cette dernière se base sur le fenêtrage (Windowing). Il s'agit de segmenter en tranche de temps fixes le signal à analyser pour appliquer par la suite la TF à chaque tranche. Cette manière d'analyse à mener à un compromis difficile à satisfaire. Ce critère a mené aux constatations suivantes [1]:

- Fenêtre de temps longue \implies une bonne résolution fréquentielle contre une résolution temporelle pauvre.
- Dans le cas inverse, une fenêtre de temps courte \implies une résolution fréquentielle pauvre contre une résolution temporelle plus ou moins précise.

La suite logique qui devrait résoudre ce problème a été l'élaboration d'un outil puissant dénommé transformée en ondelettes (wavelets).

Les domaines d'applications qui ne cessent de s'accroître, depuis la télécommunication à la médecine en passant par l'analyse des divers phénomènes physiques tels que : les signaux sismiques, l'océanographie, la prospection géologique, démontrent d'une manière concluante la puissance de cet outil.

Dans ce qui suit, des définitions mathématiques essentielles seront présentées.

III.4.2 Intérêt du diagnostic par la transformée en ondelettes

Pour des signaux de nature non-stationnaire, la transformée de Fourier semble inapte à fournir une représentation fréquentielle locale satisfaisante à cause du compromis temps-fréquence (Figure II.1) imposé par le principe d'incertitude de Heisenberg. L'analyse par la technique des ondelettes fournit de meilleurs résultats pour le traitement local qui a pour objectif de détecter les points de discontinuités ou les zones déformées du signal, qui sont souvent de hautes fréquences [2].

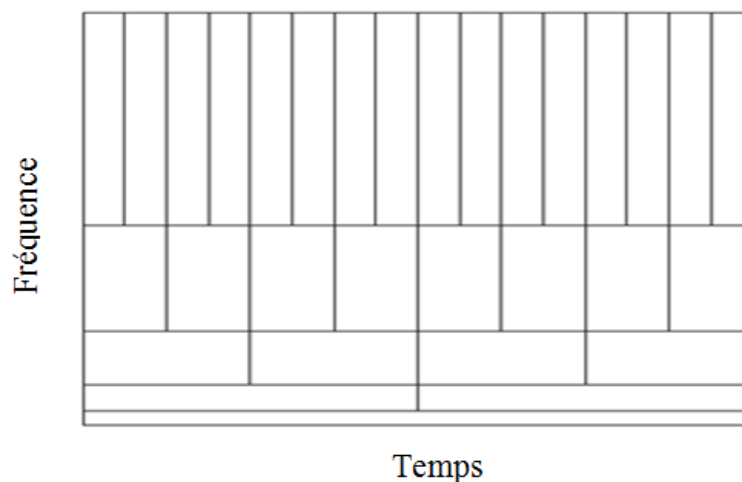


Figure III.4: Représentation de la multi-résolution temps-fréquence pour la transformée de Fourier Rapide

On constate d'après la représentation temps-fréquence (Figure II.1) que les composantes de faibles fréquences (en bas) ont une longue évolution temporelle alors que celles de hautes fréquences apparaissent pendant un très court instant ; cela signifie que la résolution fréquentielle d'un signal de grande durée est meilleure pour les faibles fréquences. Par contre, si la durée du signal est relativement courte, la résolution fréquentielle sera affectée, ce qui constitue un compromis temps-fréquence.

Le traitement du signal par la technique d'ondelettes permet d'élargir les intervalles de temps lorsque l'on recherche plus de précision sur les composantes de basses fréquences. Il permet également de rétrécir les zones pour l'extraction d'informations sur les hautes fréquences. Cela démontre la capacité des ondelettes à garder une bonne résolution temporelle et fréquentielle. L'analyse par la méthode des ondelettes nous permet aussi de partitionner l'énergie du signal en différentes bandes de fréquences pour séparer toutes ses composantes.

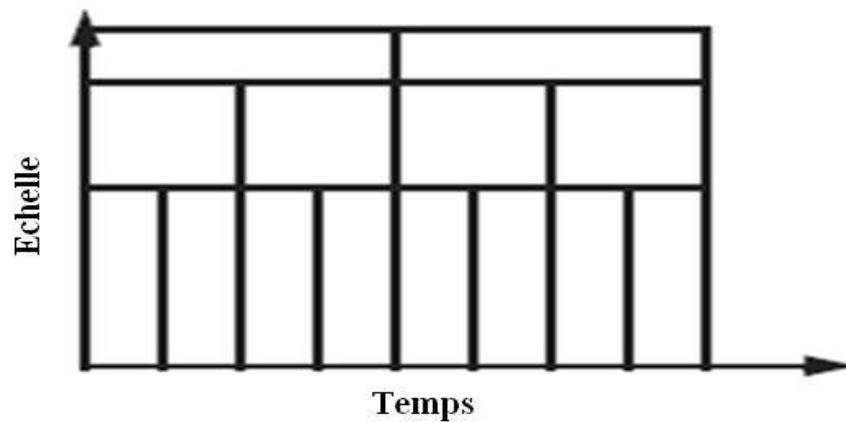


Figure III.5: Représentation de la multi-résolution temps-échelle pour l'analyse par les ondelettes

III.5 Transformée en ondelette continue

III.5.1 Définition

Les ondelettes (wavelets) sont issues de ce qu'on appelle onde mère (mother wave). On aboutira à représenter n'importe quel signal par une base d'ondelettes qui ne sont que des versions dilatées et translatées de l'onde mère. La représentation d'un signal continu $x(t)$ par une base d'ondelettes est donnée par [3, 4] :

$$X(t) = \sum W(a, b) \cdot \Psi_{a,b}(t) \quad \text{II.1}$$

Où $W(a, b)$ est la pondération (le poids) de la contribution de l'ondelette $\Psi_{a,b}$ liée à l'onde mère par :

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad \text{II.2}$$

Ψ représente l'ondelette mère et les paramètres a et b désignent respectivement l'échelle et la translation de l'ondelette. La pondération de chaque ondelette est décrite par :

$$W(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \Psi_{a,b}^*(t) dt$$

II.3

III.5.2 Illustration du changement d'échelle et de la translation

Le changement d'échelle sert à compresser ou dilater l'onde mère, ce qui mène à analyser les hautes fréquences ou les basses respectivement contenues dans un signal [50].

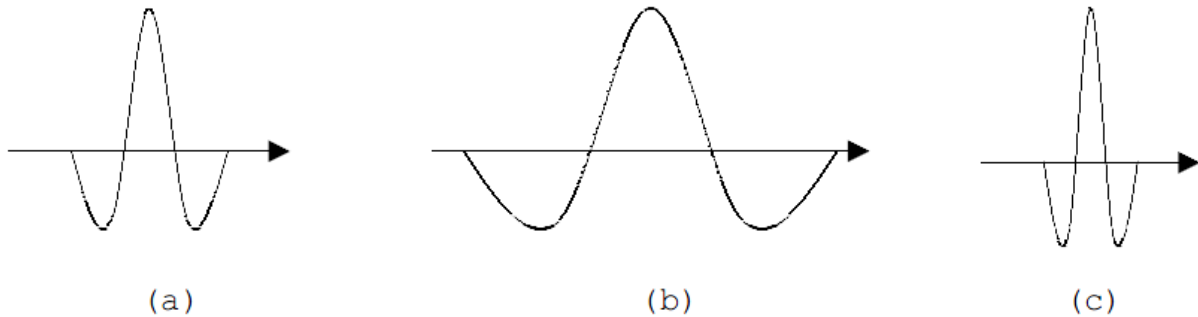


Figure III.6: Illustration de la variation du facteur d'échelle. (a) l'onde mère ; (b) l'ondelette pour $a > 1$; (c) l'ondelette pour $0 < a < 1$.

Le facteur d'échelle est lié à la fenêtre analysante de l'ondelette. Une longue fenêtre veut dire une vue globale tandis qu'une courte veut dire une vue de détails.

La translation est l'opération de glissement de l'ondelette tout au long du signal.

III.5.3 Calcul des coefficients de la CWT

La procédure de calcul des coefficients s'effectue en multipliant le signal par l'ondelette analysante puis en calculant l'intégrale du produit. Ce processus est accompli en quatre étapes [5].

- Dès le départ, on compare l'ondelette à une portion du signal (en débutant par le premier segment du signal).

- On calcule le coefficient $W(a, b)$ qui étudie le degré de similitude entre la portion du signal et l'ondelette analysante ; celles-ci sont similaires lorsque la valeur numérique du coefficient W est élevée. Plus précisément, lorsque l'énergie du signal et celle de l'ondelette sont relativement proches, le coefficient W peut être interprété comme un facteur de corrélation.

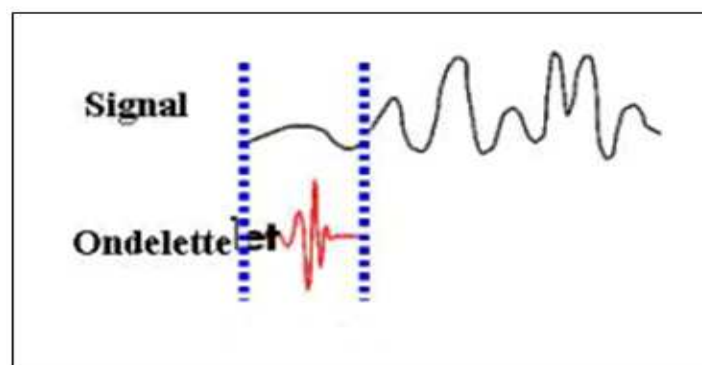


Figure III.7: Comparaison de l'ondelette à une portion du signal.

- On translate l'ondelette vers la droite jusqu'au balayage total du signal.

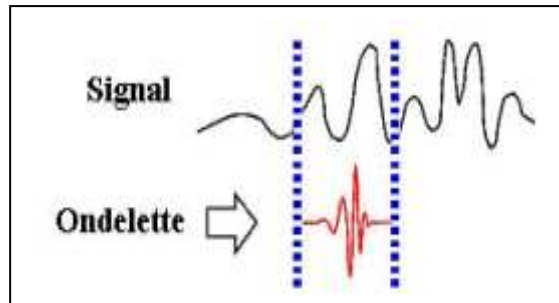


Figure III.8: Balayage du signal par l'ondelette.

- On passe ensuite à une échelle plus élevée qui induit une dilatation temporelle de l'ondelette analysante. Cela a pour effet d'augmenter la portion de comparaison.

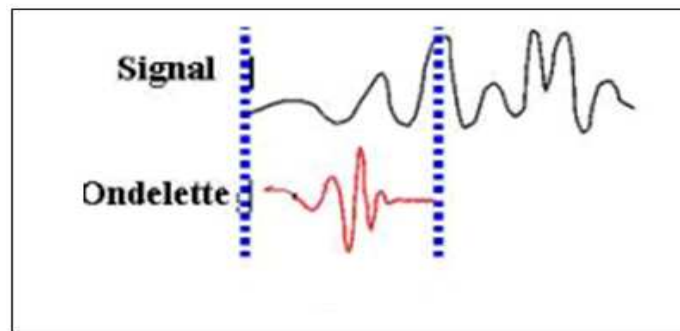


Figure III.9: Dilatation de l'ondelette et balayage du signal.

Cette opération est répétée pour chaque échelle jusqu'au calcul des coefficients pour toutes les échelles et pour différentes portions du signal. Les coefficients constituent le résultat d'une régression effectuée sur le signal original.

III.6 Transformée en ondelette discrète (DWT)

III.6.1 Définition

La transformée en ondelette discrète est basée sur la décomposition d'un signal en sous-bandes de fréquences ; elle permet un gain de calcul et une facilité d'implémentation grâce à l'analyse multi-résolution [6, 7].

III.6.2 Expression mathématique

La transformée en ondelette discrète a pour expression mathématique :

$$\text{DWT}_{\square} f(m, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \sum_n x(n) \square \left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right)$$

(II.4)

Ψ est l'ondelette mère dilatée par le paramètre a_0^m et translatée via le paramètre n, b_0, a_0^m, a_0 et b_0 sont des valeurs fixées tel que $a_0 > 1$ et $b_0 > 0$; m et n sont des entiers naturels.

III.6.3 Algorithme de décomposition pyramidale

La structure pyramidale constitue une propriété intéressante à exploiter pour la transformée en ondelette discrète qui est plus connue sous le nom de chaîne de filtre logarithmique ; celle-ci est composée d'une paire de filtres, l'un étant passe-bas et l'autre passe-haut. Lorsqu'un signal est décomposé avec la DWT, il passe obligatoirement par ces deux filtres LF et HF en subissant un algorithme de sous échantillonnage ; ceci induit une séparation des composantes de basses fréquences appelées approximations et des composantes de hautes fréquences appelées détails. L'approximation est à son tour décomposée lors de son passage par la paire de filtres LF et HF. La reconstruction du signal s'effectue grâce à l'algorithme de sur-échantillonnage nommé transformée en ondelette inverse (IDWT).

Comme montré dans la figure II.10, le résultat de la DWT est constitué de plusieurs détails et d'une approximation pour un niveau de décomposition donné.

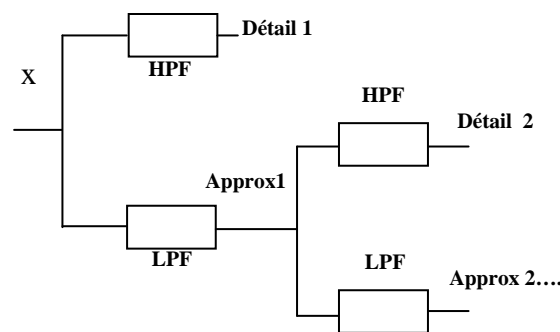


Figure III.10: Principe de l'analyse multi-résolution

III.6.4 Choix de l'ondelette analysante

Le choix de l'ondelette analysante joue un rôle primordial pour la compréhension des phénomènes transitoires comme les impulsions dues aux décharges électriques observées sur le signal du courant de fuite durant le phénomène de pollution. Il est cependant connu que l'ondelette Daubechies 4 'db4' est plus appropriée pour la détection des perturbations de haute fréquences [8].

L'ondelette mère complexe de Daubechies 4 à comme expression mathématique :

$$\Psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2}} * (e^{-j\omega t} - e^{-\frac{\omega^2}{2}}) \quad (\text{II-5})$$

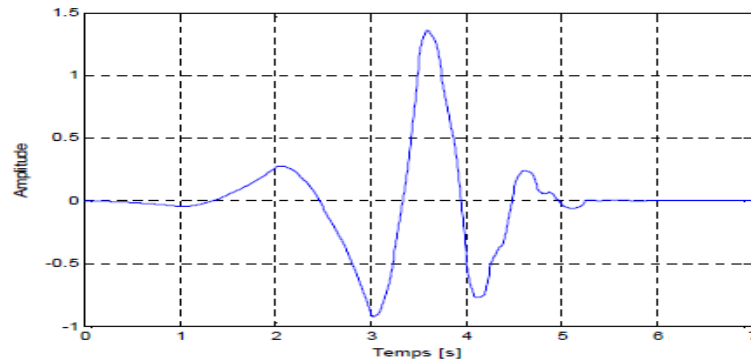


Figure III.11: Représentation de l'ondelette de Daubechies 4

L'ondelette de Daubechies 4 est choisie pour appliquer la DWT sur le signal du courant de fuite qui affiche des pics de hautes fréquences à partir d'un certain niveau de tension. Cette ondelette semble adéquate pour la détermination des bandes fréquentielles qui caractérisent les perturbations de hautes fréquences via l'analyse multi-résolution.

III.6.5 Application de la technique d'ondelette pour la prédiction de la sévérité de pollution déposée sur un isolateur réel.

Nous nous intéressons dans cette section à prédire le degré de sévérité de pollution déposé sur un isolateur haute tension. Pour se faire, nous procédons à la décomposition du signal du courant de fuite par la technique d'ondelette.

Les signaux du courant de fuite ont été enregistrés pour trois cas de pollution distincts à savoir un niveau de pollution faible, moyen et fort. Ces signaux sont montrés sur les figures ci-dessous.

La figure(12) représente le signal correspondant à la faible pollution. Nous remarquons aussi que ce signal a pratiquement une forme sinusoïdale du fait que la surface isolante est faiblement polluée.

L'analyse de ces résultats indique que le courant décroît ($I=0,2A$) ensuite il augmente à une valeur maximale ($I=0,2A$) en fonction de temps et sur chaque sommet des deux alternances, nous observons de très faibles pointes. Le scalogramme correspondant à ce courant montre que les perturbations causées sont de faibles fréquences à cause de la forte corrélation entre la transformée en ondelette du signal du courant et l'ondelette analysante pour les grandes échelles.

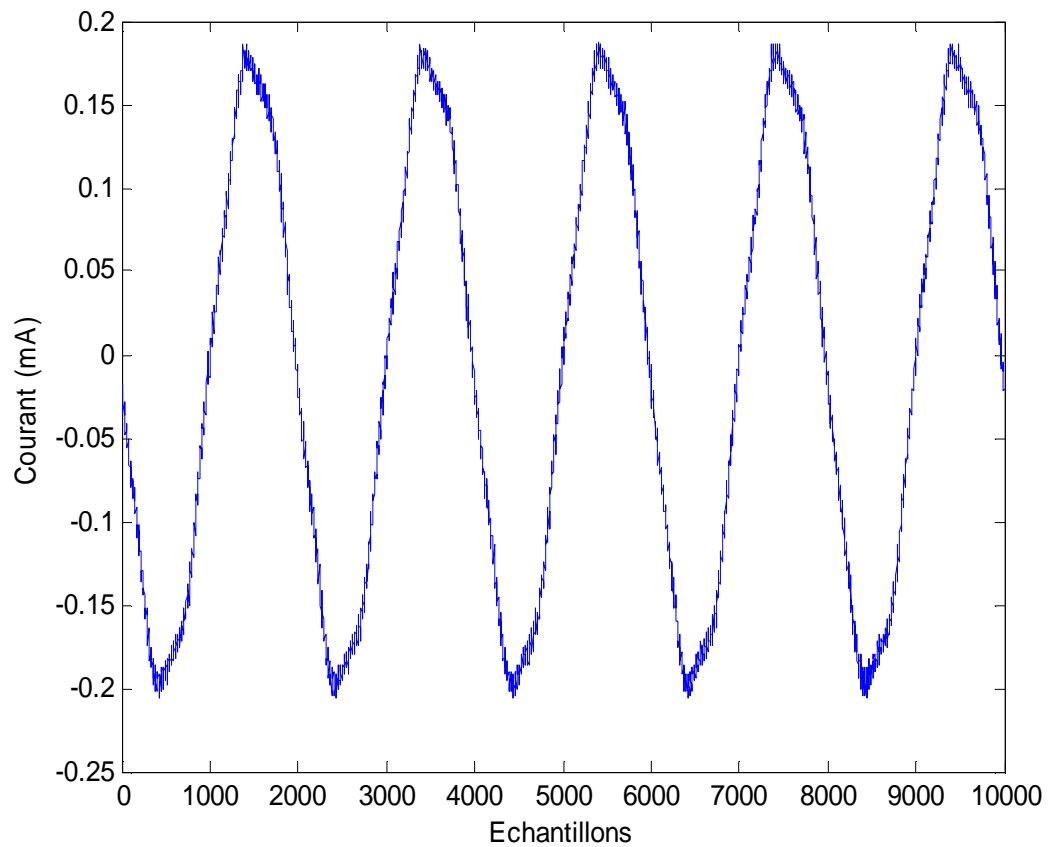


Fig.12. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur faiblement Pollué.

La figure 13 montre un Scallogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette et correspondant au cas de pollution le plus faible.

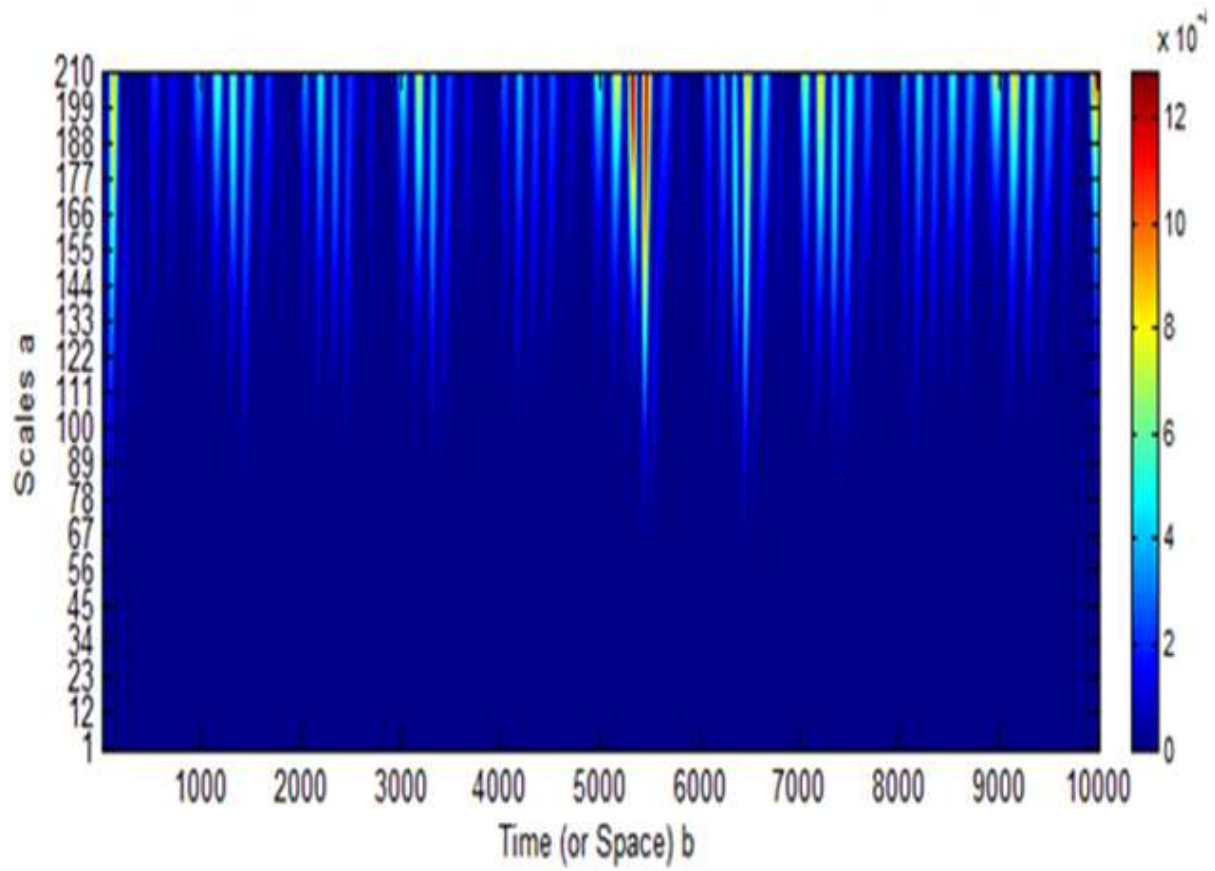


Fig.13. Scallogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette correspondant au cas de pollution le plus faible.

La figure (14) montre la forme d'onde du signal du courant de fuite correspondant à un niveau moyen de pollution déposé sur la surface de l'isolateur. Nous notons que cette forme commence à perdre sa forme sinusoïdale. L'analyse attentive de ce signal montre que le courant passe d'une valeur négative ($I=-0,6A$) à une valeur positive ($I=0,6A$) et nous constatons aussi en plus des pointes observées sur le signal précédent, des pics de différentes amplitudes. Ces derniers sont bel et bien visibles sur l'alternance positive et négative du signal. Ces distorsions sont dues à l'activité des décharges sur la surface de l'isolateur. Le scalogramme correspondant à ce courant montre que les perturbations causées par ces décharges sont de moyennes fréquences à cause de la corrélation existante entre la transformée en ondelette du signal du courant et l'ondelette analysante pour les échelles intermédiaires.

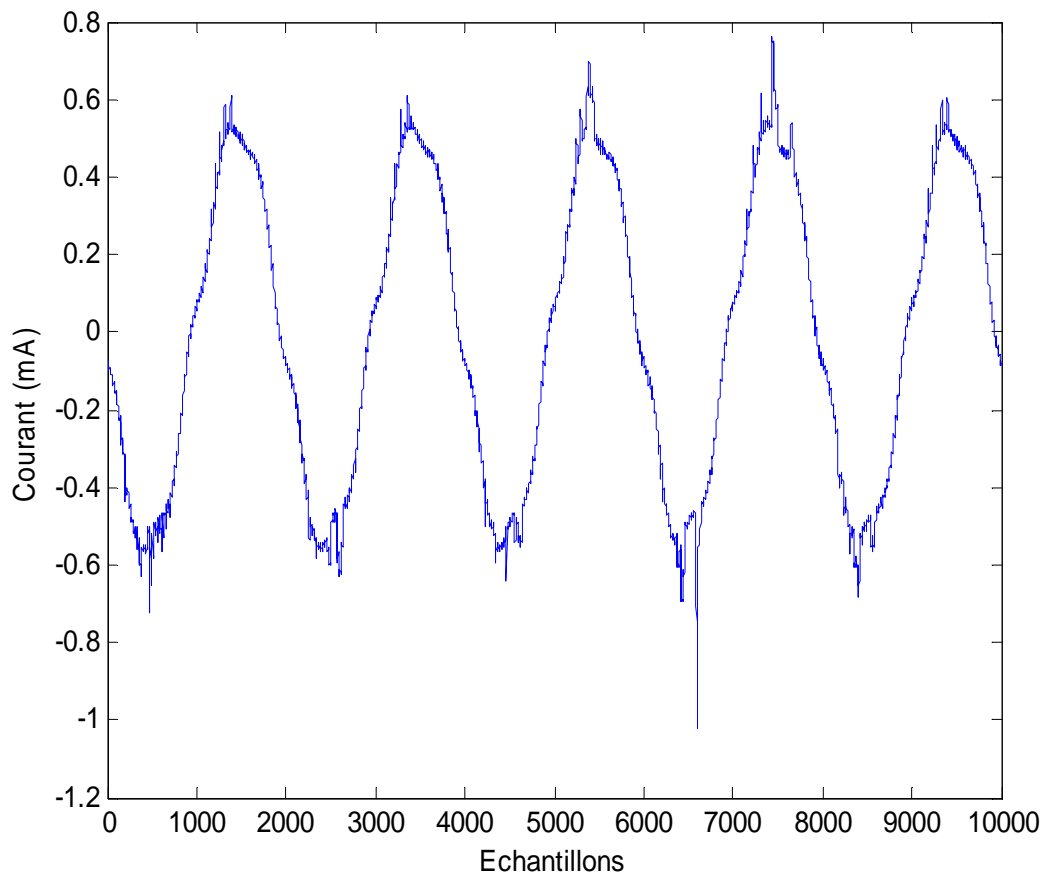


Fig.14. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur moyennement pollué.

La figure 15 montre un Scallogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette et correspondant au cas de pollution intermédiaire.

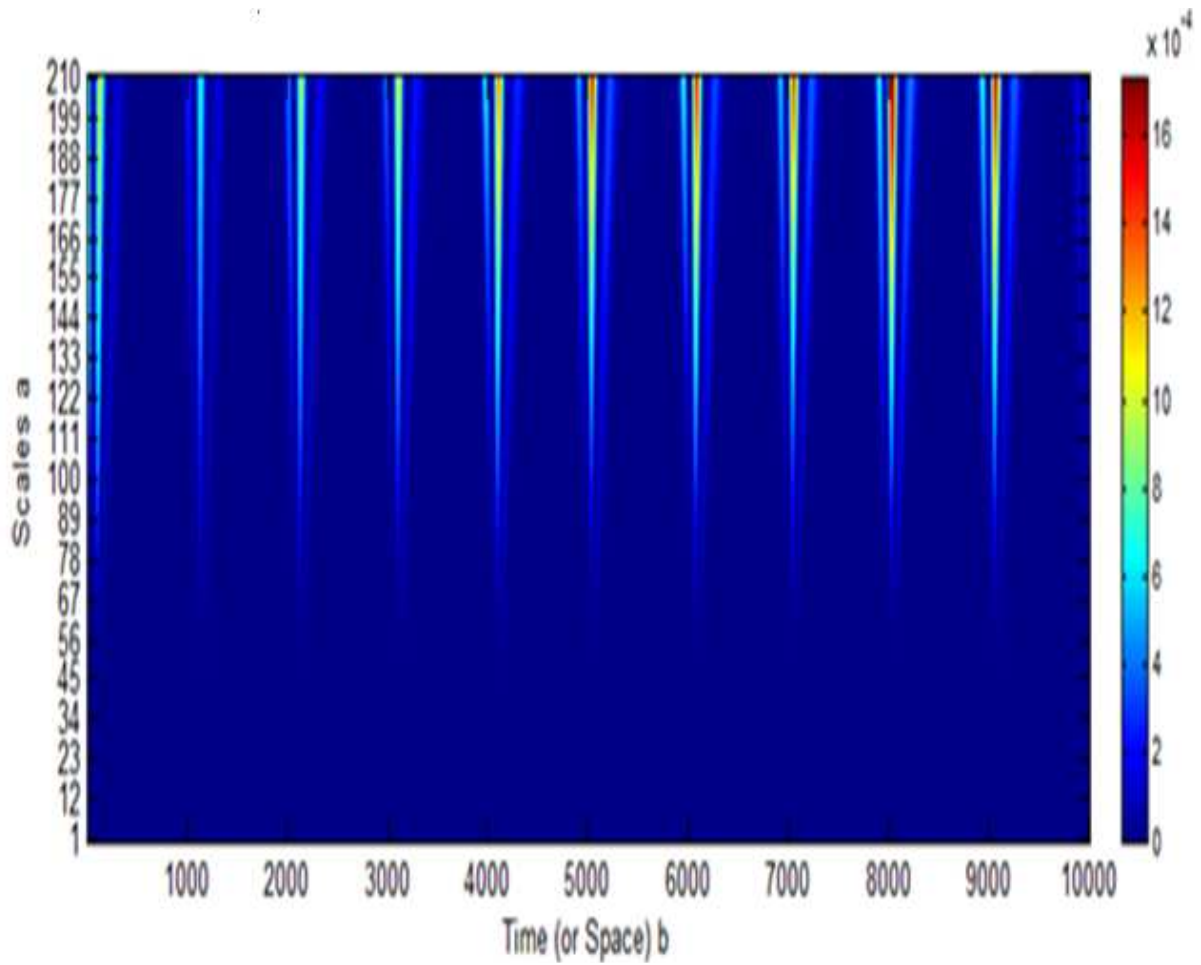


Fig.15. Scalogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette correspondant au cas de pollution intermédiaire.

Sur la figure (16), nous présentons le signal du courant de fuite relatif au cas le plus défavorable de pollution. C'est le cas de pollution le plus fort. Nous remarquons que ce signal est complètement déformé, sa forme se ressemble à peine à celle d'une sinusoïde. Le signal obtenu indique que le courant passe d'une valeur inférieure ($I = -8A$) à une valeur supérieure ($I = 8A$), on observe aussi la présence de fortes distorsions au niveau des deux alternances positive et négative du signal. Nous remarquons aussi spécialement pour ce cas de figure des distorsions sur les bases des deux alternances. Le scalogramme correspondant indique que des perturbations de hautes fréquences, dues à l'activité des arcs partiels, apparaissent en plus de celles à faibles fréquences. D'après l'analyse faite par la CWT sur l'onde du courant de fuite, la prédiction de la sévérité de pollution peut se faire par l'intermédiaire du scalogramme.

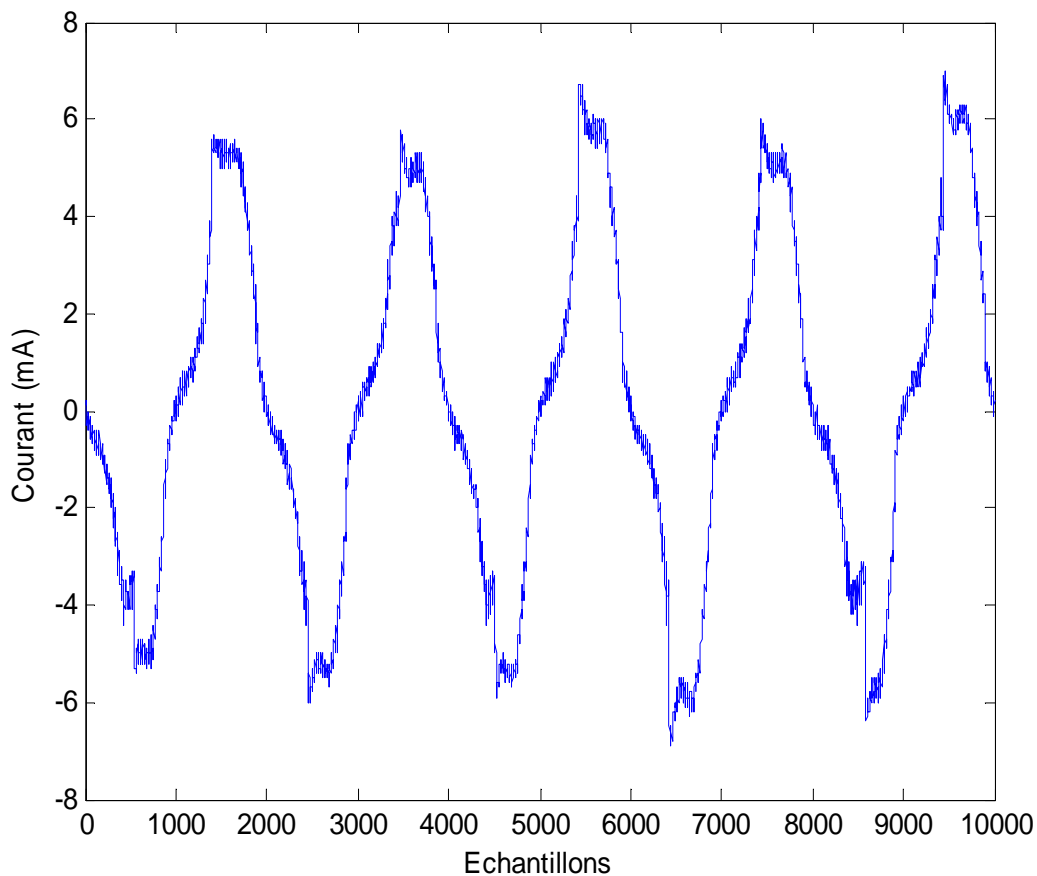


Fig.16. Evolution du signal du courant de fuite en fonction du temps à la surface d'un isolateur fortement pollué.

La figure 17 montre un Scallogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette et correspondant au cas de pollution le plus défavorable.

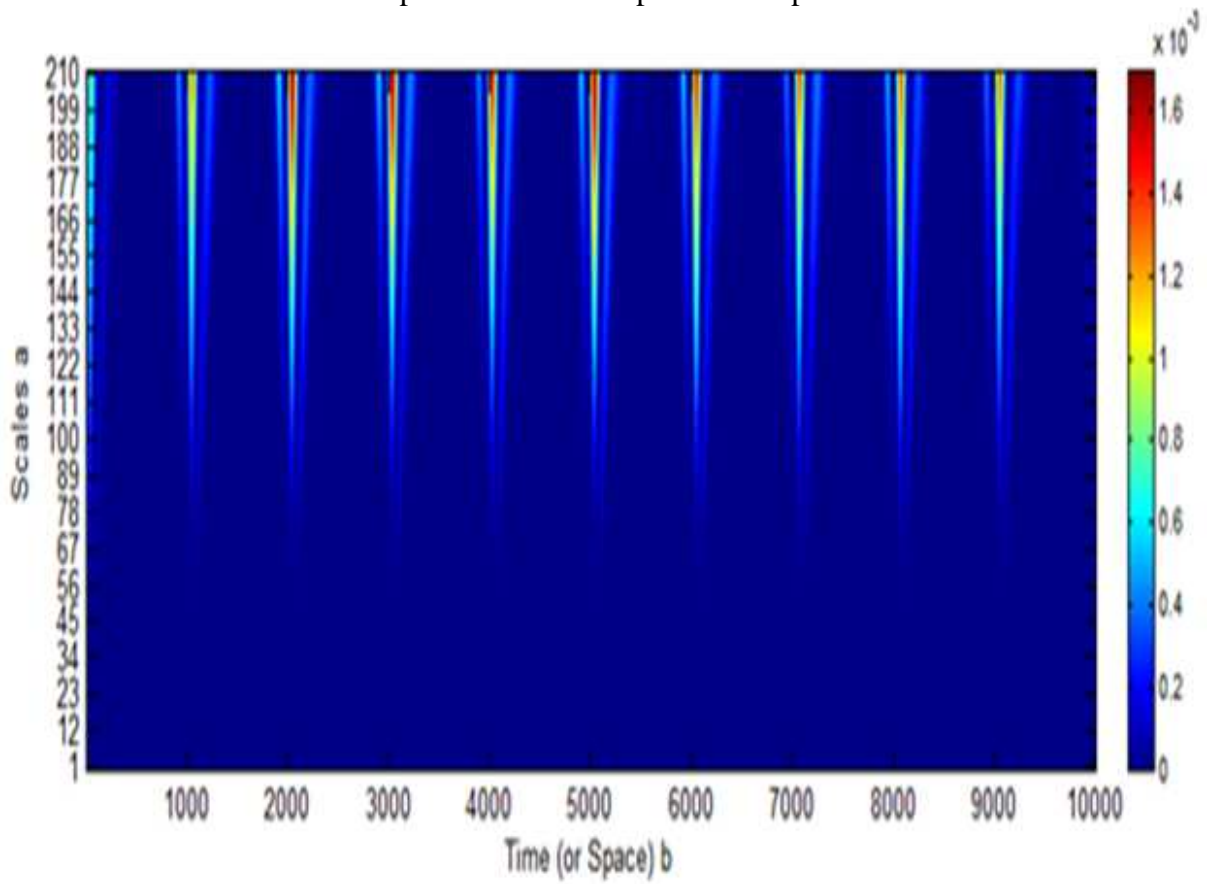


Fig.17. Scalogramme représentant le pourcentage d'énergie pour chaque coefficient d'ondelette correspondant au cas de pollution le plus défavorable.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les techniques expérimentales adéquates utilisées au laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger afin d'enregistrer les différentes bases de données correspondantes aux trois classes de pollutions différentes (faible, moyenne et forte). Un tour d'horizon sur les différentes notions théoriques sur la décomposition en transformée d'ondelette est établie.

Nous avons représenté aussi dans le même chapitre la forme d'onde des signaux correspondants à ces classes de pollution.

Les résultats obtenus concernant l'application de la technique d'ondelette basée sur la représentation en scalogrammes du signal du courant de fuite, cette technique qui étudie la nature fractale de l'onde du courant paraît être un excellent outil pour le diagnostic des isolateurs pollués.

Conclusion générale

Conclusion générale

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

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

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant ainsi que de la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

Il résulte la partie expérimentale que le courant de fuite des isolateurs électriques est très influencée par le mode de répartition de la pollution (uniforme, non uniforme).

Les courants de fuite les plus fortes donc les plus dangereux sont enregistrés en pollution uniforme, bien que cette dernière soit loin d'être uniforme car, le vent, la pluie et le champ électrique donne une répartition non uniforme de la pollution.

Le présent travail nous a permis de voir l'impact de la configuration et de la sévérité de pollution sur le comportement d'un isolateur haute tension. Pour cela, nous avons procédé en premier lieu à l'exploitation de bases de données relatives aux mesures du courant de fuite

d'après l'analyse faite par la transformée en ondelette sur l'onde de courant de fuite appliqué, le diagnostic de la sévérité de pollution peut se faire par l'intermédiaire du scalogramme. Ce dernier qui est une projection des coefficients d'ondelettes calculés pour des échelles données sur un plan orthogonal peut nous fournir des informations capitales sur l'onde du signal et ainsi sur le degré de sévérité de pollution.

Références bibliographiques

Bibliographie

[1] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Isolateur>

[2] [fr .wikipedia.org/wiki/isolateurs](http://fr.wikipedia.org/wiki/isolateurs)

[3] N.Ait Alioua, M. Djaber, D, Chikhi, « Comportement électrique de deux isolateurs parallèles contaminés et soumis à une tension alternative 50 Hz » mémoire de fin d'étude, en vue d'obtention de diplôme d'ingénieur d'Etat en électrotechnique, option réseaux électriques, université MMTO.

[4] [www.google.dz/isolateur suspendu des chaines d'isolateur](http://www.google.dz/isolateur+suspendu+des+chaines+d'isolateur).

[5] F. Amir, KH .Namoui, « Etude de comportement d'un isolateurs pollué soumis a une tension alternative » mémoire d'ingénieur U .de Bejaia, juin 2004.

[6] C. Huraux, A.M.Rahal, « Le comportement des isolateurs hautes tensions approché à l'aide d'un model de laboratoire » juin 1975.

[7] Spécification Technique, ST N° C64 – L64, Isolateurs en verre, Edition décembre

[8] S. Bouchoukh, B. Sayeh Lambark, «Influence de la Pollution Artificielle sur la Tension de Contournement d'une Chaîne d'Isolateurs MT», mémoire master académique.Université Kasdi Merbah Ouargla.

[9] [www.google.dz/isolateur suspendu des chaines d'isolateur](http://www.google.dz/isolateur+suspendu+des+chaines+d'isolateur).

[10] M. Adel Kara « Contribution à l'étude d'un modèle dynamique de contournement d'un isolateur pollué » .Université de Sétif 1.2013

[11] F. Aouabed « Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP », pour l'obtention du Diplôme de Magister en électrotechnique, option réseaux électriques, université Ferhat Abbas – Sétif.

[12] R. Sebti, A. Boudjamaa « Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension » projet de fin d'étude en vue d'obtention diplôme de master en électrotechnique industriel ».

[13] Guia. Talal « Comportement d'un modèle d'isolateur sous tension impulsionnelle », Ingénieur d'Etat en Génie Electrique (Electrotechnique) à l'ENP, Alger.

[15] M.A. Boudjamma, R.Sebti « Modélisation des phénomènes de pollution des isolateurs de haute tension », Universite Merbah- Ouargla, Master 2011-2012.

[16] F. Aouabed « Contribution à l'étude d'un circuit équivalent des isolateurs synthétiques sous pollution en utilisant l'EMTP » U, Ferhat Abbas-Sétif, Magister en électrotechnique.

- [18] S. Medjahed, M. Iblaiden, mémoire de fin d'étude DEUA, en électrotechnique, « Etude de l'évolution temporelle de la sévérité de pollution d'un site » U, Bejaia, promotion 2005.
- [19] M. Ben alia « modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents » mémoire de magister en génie électrique 2008, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger.
- [20] N. Ait Aloua, M. Djaber, D. Chikhi, « Comportement électrique de deux isolateurs parallèles contaminés et soumis à une tension alternative 50Hz » .U . MMTO, option, réseaux électrique .promotion 2008-2009.
- [21] Z. Salhi « étude du comportement d'un isolateur silicone dans un environnement désertique » U, MMTO, option machines électrique, promotion 2011-2012.
- [22] F. Zedam, A. Bouchoucha, mémoire d'ingénieur, « étude comparative de la distribution du potentiel électrique dans l'isolateur chaîne par voie numérique et expérimentale » U. Ferhat Abbas – Sétif, promotion 2011.
- [23] Isolateurs de ligne, cours de A. Tilmatine. ETL437-chapitre 6. PDF.
- [24] R. Boudissa, « cours de module matériaux en électrotechnique », promotion 2005.
- [25] M. Ben alia, « modélisation d'un isolateur naturellement pollue sous tension impulsionnelle utilisant des circuits électriques Equivalents », mémoire de magister en génie électrique 2008, laboratoire de haute tension, école nationale polytechnique d'Alger.
- [26] N. Feddag, S. Houcine, « Modélisation des différents paramètres de dimensionnement des isolateurs sous pollution », Université MMTO, Ingénieur 2008.
- [27] Technique d'ingénieurs .IS. D4, partie I.
- [28] Z. Salhi, mémoire de magister « étude de non uniforme de la pollution sur les caractéristiques de contournement des isolateurs réels pollués sous tension continue », U .Bejaia, promotion 2003.
- [29] R. Benzid, "Ondelettes et Statistiques d'Ordre Supérieur Appliquées aux Signaux Uni et Bidimensionnels", Thèse de doctorat, Université de Batna, Algérie, 2005.
- [30] M. Misiti, Y. Misiti, G. Oppenheim, J. M. Poggi, « Wavelets Toolbox Users Guide ». Wavelet Toolbox for use with MATLAB®, 2000.
- [31] A. D. Poularikas, "The handbook of formulas and tables for signal processing", Chap. 42, CRC Press LLC, 1999.
- [32] I. Daubechies, "Ten lectures on wavelets", SIAM publishing, 1992.
- [33] F. Cottet, « aide mémoire traitement de signal », pp 13-31, 149-167, Dunod, France, 2005.

- [34] Rais El'hadi BEKKA, « fondements du traitement du signal », Office des Publications Universitaires, 3^{ème} édition, 2005.
- [35] X. Zhou, C. Zhou, and I. J. Kemp, « An Improved Methodology for Application of wavelet transform to partial discharge measurement denoising », IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.12, pp. 586-594, 2005.
- [36] K. Diesh , S. Ashwin, V. Harish, E.VarathKanth, C.Venkataseshaiah, R. Sarathi, «Understanding the surface condition of Insulation Material Using Wavelets », CBIP – International Conference in Maintenance Technologies of EHV Transmission Lines, New Delhi, India, April 2002.

RESUME

Un isolateur est un composant électrotechnique destiné à fixer, maintenir ou soutenir les conducteurs électriques nus. On trouve des isolateurs en particulier sur les lignes à haute tension, mais aussi sur les lignes télégraphiques ou dans les postes électriques. Ils assurent l'isolation entre les conducteurs et les pylônes. Les isolateurs sont classés en deux catégories qui sont :

- Les isolateurs rigides qui sont constitués d'assiettes colées, ils peuvent être utilisés en position verticale, horizontale ou oblique
- Les isolateurs suspendus où les chaînes d'isolateurs sont constitués d'assiettes emboîtées. Ils offrent l'avantage d'établir une liaison souple entre les conducteurs et leurs supports, permettant de mieux répartir les efforts entre les portées.

La pollution est une modification du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, à travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique de 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 l'objet physique qu'il détient, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

Le présent travail nous a permis de voir l'impact de la configuration et de la sévérité de pollution sur le comportement d'un isolateur haute tension. Pour cela, nous avons procédé en premier lieu à l'exploitation de bases de données relatives aux mesures du courant de fuite d'après l'analyse faite par la transformée en ondelette sur l'onde de courant de fuite appliqué, le diagnostic de la sévérité de pollution peut se faire par l'intermédiaire du scalogramme. Ce dernier qui est une projection des coefficients d'ondelettes calculés pour des échelles données sur un plan orthogonal peut nous fournir des informations capitales sur l'onde du signal et ainsi sur le degré de sévérité de pollution.