

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERIE de TIZI OUZOU
Faculté de génie électrique et d'informatique
Département d'électrotechnique



MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention
du diplôme d'ingénieur d'état
En électrotechnique
Option
Machines électriques

MESURE DU DEGRÉ DE SÉVÉRITÉ DE POLLUTION EN VUE DU DIMENSIONNEMENT DES ISOLATEURS DE LA RÉGION DE TIGZIRT

Fait par

Mr : GUENFIS Mourad
Mr : GADOUM Samir

Encadré par

Mr : SAHLI.Z
Mr : OURTL.B

Promotion 2008-2009

Remerciement

Nous rendons grâce à dieu de nous avoir donné le courage et la patience afin de mener ce travail à terme.

Arrivé au terme de notre travail, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur : Mr. Z.SAHLI pour l'aide, le suivie et l'intérêt qu'il n'a cessé de nous apporter jusqu'à l'achèvement de notre travail.

Nous remercions, Mr. B.OURTI qui nous a généreusement aide.

Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger notre travail.

Enfin, nos chaleureux remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

II-2 L'ORIGINE DE LA POLLUTION.....	24
II-3 SOURCE DE POLLUTION.....	25
II-3.1 Pollution naturel.....	25
II-3.1.1 Pollution marine.....	26
II-3.1.2 Pollution désertique.....	26
II-3.2 Pollution industrielle.....	26
II-3.3 Pollution mixte.....	27
II-4 POLLUTION DES ISOLATEURS.....	27
II-5 INFLUENCES DES CONDITIONS CLIMATIQUES SUR LA DISTRIBUTION DE LA POLLUTION.....	27
II-6 IMPACT DE LA POLLUTION.....	28
II-6.1 Arc non localisé.....	28
II-6.2 Arc fixe.....	29
II-6.3 Contournement des isolateurs pollué.....	29
II-6.4 Corrosion des isolateurs.....	31
II-7 METHODES DE MESURE DE LA SEVERITE DE POLLUTION.....	31
II-7.1 Dispositif de mesure de la conductivité superficielle à l'aide d'une sonde mobile.....	32
II-7.1.1 Description du dispositif et procédé de mesure.....	32
II-7.2 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE).....	36
II-7.3 Conductance superficielle.....	38
II-7.4 Comptage des impulsions de courant de fuite.....	40
II-7.5 Contrainte de contournement.....	41
II-7.6 Mesure optique.....	42
II-7.7 Densité de dépôt non soluble (DDNS).....	43
II-7.8 Autres méthodes de mesure.....	44
II-8 COIX D'UNE METHODE DE MESURE DE SEVERITE DE POLLUTION D'UN SITE.....	44
II-9 CONCLUSION.....	45

CHAPITRE III SIMULATION ET LUTTE CONTRE LA POLLUTION

III-1 INTRODUCTION.....	47
III-2 SIMULATION DE LA POLLUTION AU LABORATOIRE.....	47
III-2.1 Méthodes de simulation.....	47
III-2.1.1 Brouillard salin.....	47
III-2.1.2 Brouillard équivalent.....	49
III-2.1.3 Brouillard vapeur.....	50
III-2.1.4 Brouillard tenu.....	50
III-2.1.5 Méthylcellulose ou méthode de pollution liquide	51
III-2.1.6 Kieselguhr.....	51
III-2.1.7 Contaminant humide	52
III-2.2 Corrélation entre les méthodes de pollution naturelles et Artificielles.....	52
III-2.3 Caractéristique des méthodes.....	53

III-3 LUTTE CONTRE LA POLLUTION.....	56
III-3.1 Technique de lutte contre la pollution.....	56
III-3.1.1 Allongement de la ligne de fuite.....	56
III-3.1.2 Changement de forme des isolateurs (isolateurs plats).....	57
III-3.1.3 Graissage périodique des isolateurs.....	57
III-3.1.4 Revêtement silicones.....	58
III-3.1.5 Isolateurs composites.....	58
III-3.1.6 Nettoyage des isolateurs.....	58
III-3.1.7 Elagage.....	60
III-3.1.8 Peinture.....	60
III-4 CONCLUSION.....	61

CHAPITRE IV PARTIE EXPERIMENTALE ET DIMENSIONNEMENT

IV-1 INTRODUCTION.....	63
IV-2 LOCALISATION ET CHOIX DE SITE.....	63
IV-3 CHOIX ET DESCRIPTION DE CAPTEURS DE POLLUTION.....	64
IV-4 MESURE DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES DEPOT POLLUANTS PRELEVES.....	65
IV-4.1 Evaluation des facteurs climatiques du site.....	65
IV-4.2 Détermination de la conductivité superficielle des capteurs de pollution par la sonde mobile.....	65
IV-4.3 Mesure de la sévérité de la pollution par la méthode de la DDSE.....	69
IV-5 DIMENSIONNEMENT.....	71
IV-5.1 Introduction.....	71
IV-5.2 Solution au problème de contournement	71
IV-5.3 Critère de base de dimensionnement d'un isolateur.....	74
IV-5.4 Critère de dimensionnement d'isolateur étudié (rigide à tige).....	74
IV-6 CONCLUSION.....	76
CONCLUSION GENERALE.....	78

Bibliographie

Annexe

INTRODUCTION GENERALE

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

L'humidification des couches polluantes facilite en fait, la circulation de courant de fuite sur les surfaces isolantes provoquant des échauffements locaux et par la suite l'assèchement de la couche pollution. Aussi, la répartition du potentiel est modifier 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 l'ensemble de l'installation. Une des caractéristiques principales d'un isolateur sera donc sa tenue au contournement en fonction de l'environnement dans lequel il est utilisé.

De nombreux travaux, aussi bien théorique qu'expérimentaux ont été entrepris dans le domaine de la pollution des isolateurs afin de mieux comprendre le phénomène. La complexité du phénomène et le grand nombre de paramètres qui le caractérisent tels que la nature du dépôt polluant, la conductivité superficielle et le profil de l'isolateur.

Le choix et le dimensionnement des isolateurs pour une région polluée nécessite la connaissance du degré de pollution en déterminant la sévérité de pollution, avec l'utilisation des méthodes de mesure naturelle ou des méthodes artificiels qui simulent le mieux possible la pollution naturelle au laboratoire.

Pour remédier aux problèmes de pollution rencontrés dans les réseaux électriques, différents techniques de lutte sont utilisées telles que: le graissage, le

nettoyage, nouveau types d'isolateurs, les revêtements silicones vulcanisables à la température ambiante.

Afin d'être en mesure de fournir des renseignements concernant les isolations nécessaires, il serait utile de disposer d'une carte de sévérité des principaux sites pollués d'une région. L'acquisition d'une carte de sévérité de pollution fiable d'une région polluée donnée est subordonnée à la collecte d'une banque de données sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de la pollution de la région sur une durée minimale de trois années consécutives.

L'objectif principal de notre travail :

- Mesure du degré de sévérité de pollution.
- Dimensionnement des isolations.

Nous avons jugé utile de repartir notre plan de travail en quatre chapitres essentiels :

Dans le premier chapitre intitulé, « généralités sur les isolateurs », nous présentons d'une manière succincte, les principales notions sur les isolateurs et les matériaux utilisés pour la fabrication de ces derniers, ainsi que les caractéristiques et propriétés diélectriques des isolateurs.

Dans le deuxième chapitre, on étale dans l'étude du phénomène de pollution, ainsi que la description des différentes méthodes de mesure de la sévérité de pollution et leurs dispositifs.

Dans le troisième chapitre, on présente les méthodes de simulation, ainsi que les différentes techniques de lutte contre la pollution.

Le quatrième chapitre sera réservé à la description du site de la région de TIGZIRT, ainsi que l'application de deux méthodes de mesures de la sévérité de pollution (sonde mobile et la DDSE), et ceci dans le but de dimensionner l'isolateur étudié.

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale qui permettra de faire la synthèse du travail réalisé.

CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES ISOLATEURS

I-1 INTRODUCTION

Les équipements de haute tension (HT), présents dans les réseaux aériens de transport de l'énergie électrique, sont supposés opérer de façon fiable quelles que soient les conditions environnementales. En particulier, les isolateurs, qui représentent relativement un faible pourcentage dans le prix des lignes aériennes, constituent un élément essentiel dans le bon fonctionnement de ces lignes.

I-2 DÉFINITION

I-2.1 Isolateur [1]

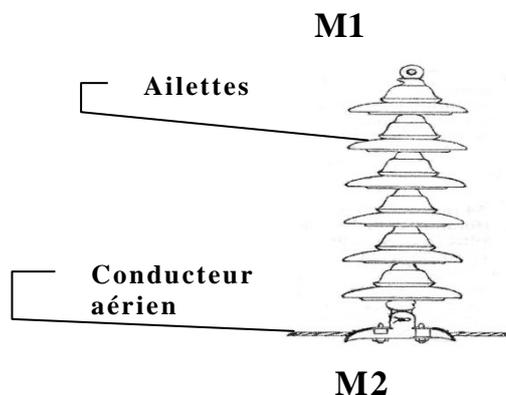
L'isolateur est formé par un isolant auquel sont fixés deux pièces métalliques M1 et M2.

Isolant : Verre, céramique, matériaux synthétiques.

M1 se fixe au pylône ; M2 porte le conducteur.

Rôle : l'isolateur possède un double rôle

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



I-2.2 Isolant [2]

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

I-3 MATÉRIAUX ISOLANTS UTILISÉS POUR LA FABRICATION DES ISOLATEURS [3]

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

I-3.1 Céramique :

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

I-3.2 Verre

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

➔ Le verre trempé :

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

➔ Le verre recuit :

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

I-3.3 Matériaux synthétiques :

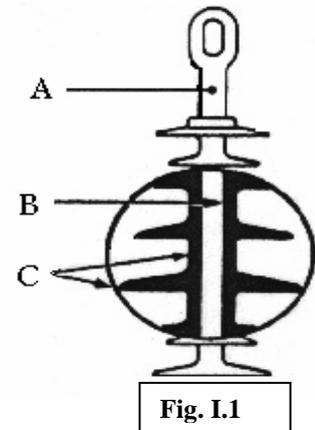
Les isolateurs en matériaux synthétiques sont composés d'un centre en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Leur avantages sont :il sont légers et présentent une grande résistance mécanique (**Fig. I.1**). Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères (**Fig. I.2**). L'inconvénient de ces isolateurs est le

vieillesse sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électriques, mécaniques, atmosphériques...) (**Fig. I.3**).

A : Pièces d'accrochage métallique.

B : noyau en fibre de verre-résine.

C : Revêtement à ailettes en matériaux synthétiques



I-4 FONCTIONNEMENT ET CONSTITUTION D'UN ISOLATEUR [4,5]

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes. Ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne (huile, *SF6*) et l'isolation externe (air atmosphérique), ils permettent de raccorder les matériaux électriques au réseau (traversées de transformateur, extrémités de câbles) et

ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils (disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure).

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

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

- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air - matériau diélectrique (la longueur de l'interface constitue la ligne de fuite le long de laquelle circulerait le courant de fuite).

I-5 CARACTÉRISTIQUES DES ISOLATEURS [6,7]

I-5.1 Tension d'essai :

C'est la valeur efficace de la tension appliquée à l'isolateur en permanence pendant toute la durée de l'essai.

I-5.2 Tension de contournement :

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

I-5.3 Courant de fuite :

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

I-5.4 Courant de fuite critique :

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

I-5.5 Ligne de fuite spécifique (I_s) d'un isolateur :

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

I-5.6 Facteur de forme d'un isolateur(f) :

Le facteur de forme est déterminé par les dimensions de l'isolateur. Pour l'estimation graphique du facteur de forme, on trace la courbe de l'inverse de la circonférence ($\frac{1}{P}$) en fonction de la longueur de la ligne de fuite partielle.

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

$$F = \int_0^L \frac{dl}{P(l)}$$

Avec :

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

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

I-6 PROPRIÉTÉS DIÉLECTRIQUES DES ISOLATEURS [8]

I-6.1 Rigidité diélectrique

La rigidité diélectrique d'un isolateur est la valeur du champ auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rend inapte à remplir ultérieurement sa fonction. En pratique, on la définit comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produisent une perforation et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension, dans des conditions d'essai spécifiées.

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

- La rigidité diélectrique longitudinale obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant.
- La rigidité diélectrique transversale pour laquelle le champ électrique appliqué est perpendiculaire aux surfaces de l'isolant.

I-6.2 Résistance transversale

Elle est déterminée en appliquant un champ électrique perpendiculaire à la surface d'une éprouvette et on mesure le courant transversal qui résulte de l'application de ce champ. Elle est relative aux propriétés internes du matériau.

I-6.3 Résistance superficielle

Elle intervient entre deux conducteurs placés sur une même surface isolant, elle est une notion qui fait intervenir outre la qualité du matériau, le dépôt d'une mince couche conductrice (humidité, poussière....) à travers laquelle s'effectue en tout ou en partie la conduction.

I-7 DIFFÉRENT TYPES D'ISOLATEURS [9]

I-7.1 Isolateur support

Ils sont utilisés, particulièrement dans les postes de transformations, comme supports de matériels et d'appareils portés à une haute tension tels que les transformateurs montés en cascade, les disjoncteurs, les transformateurs de mesure, etc.

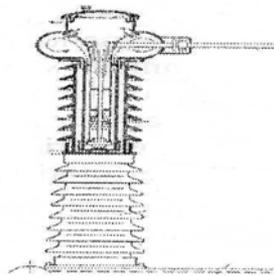


Fig. I.4 Isolateur support

I-7.2 Isolateur de traversée

Ils sont utilisés pour faire traverser à un conducteur à haute tension une paroi mise à la terre. C'est le cas d'une ligne haute tension qui pénètre dans un poste maçonné ou de la conductrice haute tension qui alimente un transformateur. Ces isolateurs sont en général de type extérieur/intérieur, la partie se trouvant à l'extérieur soumise aux intempéries est munie de cloches de sorte à augmenter la résistance de la ligne de fuite et la partie intérieure est constituée d'un simple cylindre.

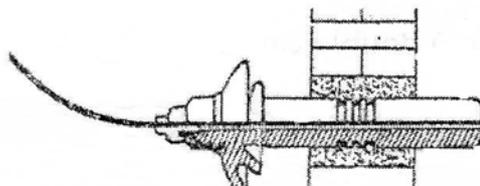


Fig. I.5 Isolateur de traversée

I-7.3 Isolateur de ligne aérienne

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

➔ **Isolateur rigide (fig. I.6) :**

Est relié au support par une ferrure qui, très souvent, est une tige. Le conducteur est fixé directement à l'isolateur à l'aide d'un fil d'attache. Les isolateurs rigides à tige comportent une ou plusieurs cloches assemblées de façon permanente. Il existe également des isolateurs rigides à socle constitués d'une ou de plusieurs pièces en céramique ou en matériau synthétique, assemblées de façon permanente sur un socle métallique. Les isolateurs à tige sont utilisés, en position verticale, horizontale ou oblique, pour les lignes de distribution, de même que pour les lignes télégraphiques et téléphoniques. Ainsi, les poulies (que l'on nomme à tort isolateurs-bobines) sont généralement montées en position horizontale.

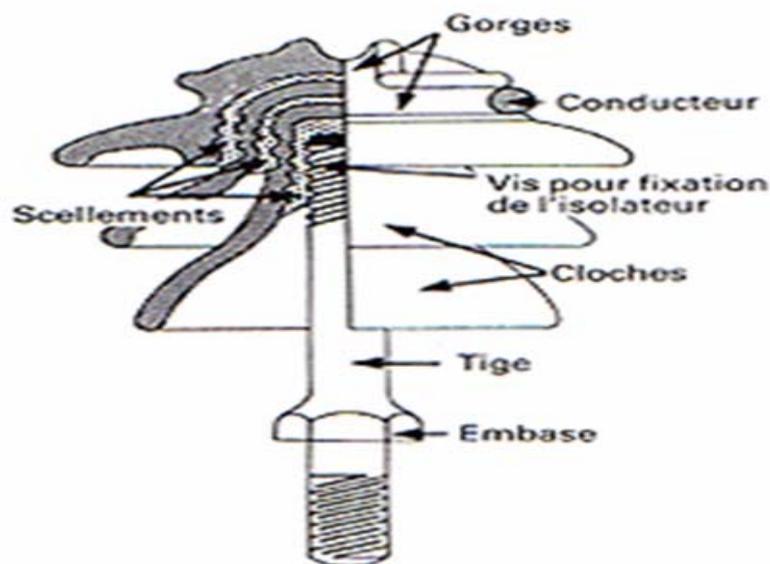


Fig. I.6 Isolateur rigide à tige

➔ Élément de chaîne :

Est relié à d'autres éléments, à la pince de suspension du conducteur ou au support de façon flexible, par un assemblage à rotule et logement de rotule (ball and socket) ou à chape et tenon. Il existe deux principaux types d'isolateurs suspendus : les isolateurs à capot et tige (**fig. I.7**) et les isolateurs à long fût (**fig. I.8**). Dans le cas des isolateurs à capot et tige, chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. L'isolateur à long fût est constitué d'un bâton cylindrique en céramique, muni d'ailettes, à chaque extrémité duquel est fixée une pièce métallique de liaison. Les isolateurs suspendus sont utilisés pour les lignes de transport.

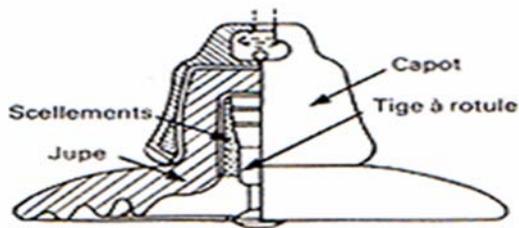


Fig. I.7 Isolateur à capot et tige



Fig. I.8 Isolateur à long fut

Un ensemble de plusieurs éléments de chaîne forme une chaîne d'isolateurs. Les chaînes verticales ou obliques suspendent les conducteurs aux pylônes d'alignement ; on les appelle chaînes de suspension ou chaînes d'alignement (**fig. I.9**). Une chaîne de suspension peut être simple (**9.1**), double (**9.2**), en A (**9.3**) ou en V (**9.4**). Les chaînes horizontales relient les conducteurs aux pylônes d'ancrage ; on les appelle chaînes d'ancrage (**fig. I.10**). Une chaîne d'ancrage peut être simple ou double.

Les isolateurs sont munis de différents accessoires tels que les dispositifs de fixation des isolateurs aux pylônes, les pinces, les pièces de garde et contrepoids.

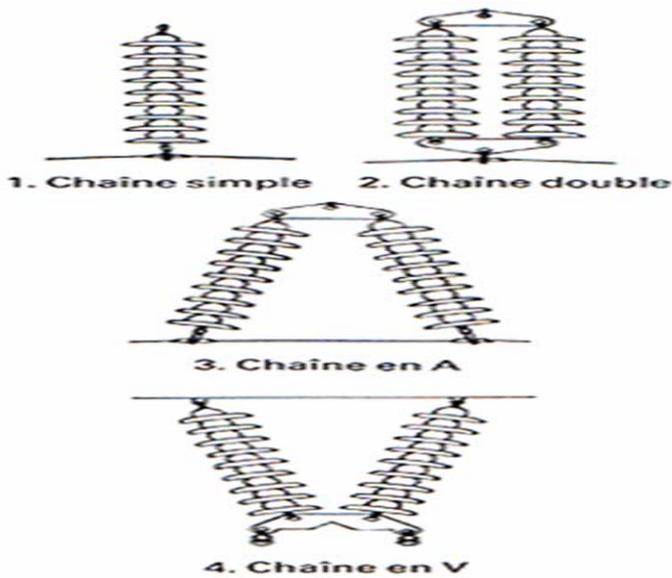


Fig. I.9 Chaînes de suspension

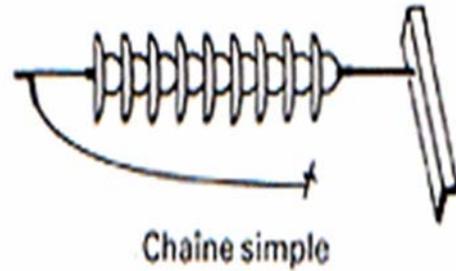


Fig. I.10 Chaîne d'ancrage (simple)

Examinons l'agencement d'une chaîne de suspension simple constituée d'isolateurs à capot et tige. On trouve d'abord les organes de liaison entre les isolateurs et la charpente du pylône. Ils comprennent deux éléments : l'étrier de fixation (**fig. I.11**), qui peut être remplacé par une chape, et la rotule à œil qui, elle, fait la liaison entre l'étrier et le premier isolateur. À la suite du dernier isolateur, on trouve la pince de suspension ou pince d'alignement (**fig. I.12**). Cette pièce, destinée à supporter un conducteur, comporte essentiellement une gouttière métallique plus ou moins évasée et s'accroche au moyen d'accessoires de fixation sous la chaîne d'isolateurs. On trouve enfin les pièces de garde qui ont pour rôle principal d'éloigner l'arc de contournement de la chaîne. Ces pièces de garde comprennent les cornes de garde (**fig. I.12**) et les anneaux de garde ou anneaux pare-effluve(s) (**fig. I.13**), dont l'usage est plutôt limité aux lignes à très haute tension.

Dans le cas des chaînes doubles, on place un palonnier (**fig. I.14**) entre les pylônes et les files d'isolateurs ou entre les files d'isolateurs et les conducteurs. Le palonnier est une pièce métallique, généralement de forme triangulaire, permettant d'attacher plusieurs files d'isolateurs ou plusieurs conducteurs en un seul point de fixation. La disposition des pièces de garde est la même que sur les chaînes simple.

Dans le cas des chaînes d'ancrage (simple ou double), on utilise une pince d'ancrage pour supporter le conducteur. Il s'agit d'un dispositif destiné à soutenir la tension mécanique du conducteur. Un autre accessoire, le contrepoids (**Fig. I.12**), est une masse constituée d'un ou de plusieurs éléments ayant la forme de galettes et servant à diminuer le soulèvement de la chaîne de suspension et, par conséquent, à limiter l'amplitude du balancement.

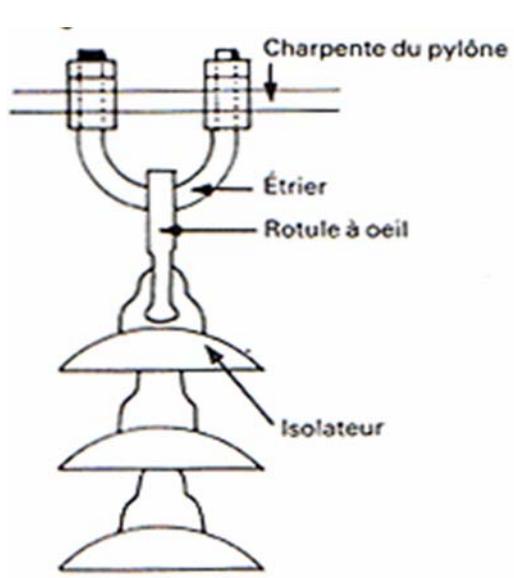


Fig. I.11

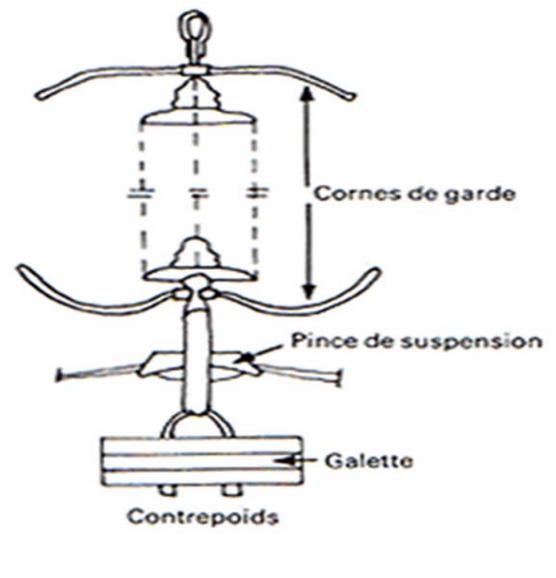


Fig. I.12

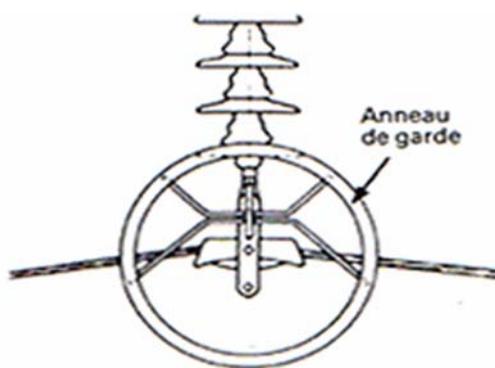


Fig. I.13

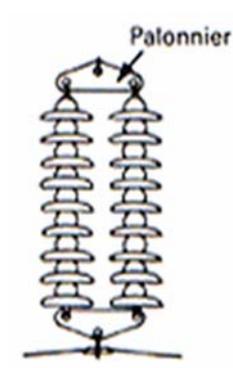


Fig. I.14

I-7.4 Isolateur utilisé par SONELGAZ [10]

Pour l'isolement des lignes haute tension, différents types d'isolateurs sont utilisés par la SONELGAZ (**Fig. I.15**). Les plus utilisés sont de type capot et tige à ligne de fuite renforcée, en verre, de couleur verte.

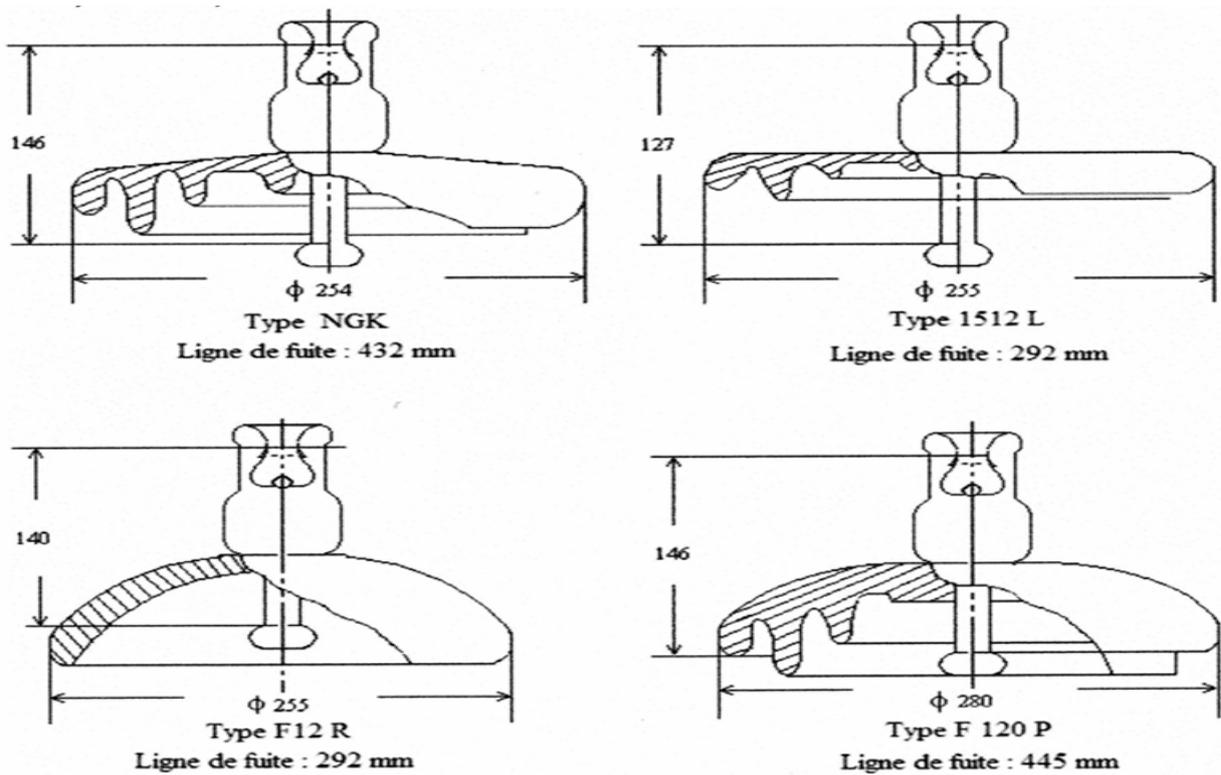


Fig. I.15

I-8 CONTRAINTES SUBITES PAR L'ISOLATEUR

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

I-8.1 Contraintes mécaniques [11]

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

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

I-8.2 Contraintes électriques [12,13]

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

- ➔ **Tension de service** : C'est la tension normale que supporte l'isolateur ;
- ➔ **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 entraînent une perte permanente de la rigidité diélectrique ;
- ➔ **Tension de contournement (à sec et sous pluies)** : C'est la plus faible tension produisant un amorçage entre conducteurs et la masse ;
- ➔ **Surtension accidentelles** : Elles sont de brève durée pouvant être à l'origine d'un orage ou d'un régime transitoire.

I-8.3 Contraintes climatiques et d'environnement [11]

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

I-9 CHOIX D'ISOLATEUR [3]

Les isolateurs les mieux adaptés sont ceux qui retiennent le taux de dépôt polluants le moins élevé, c'est-à-dire ceux qui possèdent les meilleures propriétés d'auto nettoyage. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin, ou un événement météorologique exceptionnel peuvent changer la sévérité de pollution d'un site, ce qui peut provoquer des incident qui influent directement sur l'isolation, pour cela il faut prévoir une protection pour les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution ; et le choix des isolateurs se fait en fonction :

- de la tension de service de la ligne ;
- des efforts mécaniques auxquels ils sont soumis ;
- du prix de revient (rigide ou suspendue) ;
- du degré de sévérité de la pollution du site d'utilisation.

I-10 CONCLUSION

Les matériaux isolants utilisés dans chaque type d'isolateurs sont choisis sur la base de leurs propriétés diélectriques et les contraintes mécaniques supportées. Les isolateurs en porcelaine ou en verre assurent les deux fonctions mécaniques et électriques. Fréquemment ces isolateurs sont le siège des phénomènes de pollution qui les contamine en diminuant leurs caractéristiques diélectriques. Par conséquent le choix des isolateurs se fait essentiellement à partir de la tension de service de la ligne, sur la base des efforts mécaniques supportés et enfin en fonction du niveau du degré de pollution du site d'utilisation.

CHAPITRE II POLLUTION ET METHODES DE MESURE DE LA SEVERITE DE POLLUTION

II-1 INTRODUCTION

Les isolateurs dans les lignes aériennes et les postes de réseaux de transport d'énergie électrique sont sujet à différents incidents dus, dans la majorité des cas, au dépôt de la pollution suite à une interaction entre le vent et les poussières diverses ; une couche de pollution se dépose sur la surface de l'isolateur. Cette couche de pollution, plus ou moins conductrice, donne naissance à un courant de fuite circulant à travers la surface de l'isolateur. Le passage de ce courant provoque des assèchements locaux sur cette surface ; des arcs électriques prennent naissance et peuvent se développer le long de la surface isolante jusqu'au contournement de l'isolateur et la mise hors service de l'ouvrage. Par conséquent différentes méthodes sont disponibles pour mesurer la sévérité de pollution.

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. Ces deux concepts constituent les deux cas typiques de pollution où la contamination des surfaces isolantes est poussée à l'extrême. Il serait pourtant erroné de penser que les régions éloignées de la mer ou des centres industriels sont exemptées de pollution.

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

Le tableau suivant résume certains contaminants, et leurs sources.

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

Tableau II-1 : Contaminants et leurs sources

II-3 Sources de pollution [13]

Du fait de la variété des origines de la pollution, la nature de celle-ci peut être classée en trois catégories, à savoir la pollution naturelle, industrielle et la pollution mixte.

II-3.1 Pollution naturelle

La pollution naturelle provient:

- Des sels marins dans les régions côtières.
- Des poussières du sol (notamment lors de chantiers importants ou des régions agricoles).
- Des sables véhiculés par le vent en régions désertiques.

II-3.1.1 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 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. Dans certaines conditions, ils se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur.

II-3.1.2 Pollution désertique

Parmi les phénomènes qui caractérisent la nature désertique, figure le vent de sable.

Celui-ci induit des dépôts de sable sur les surfaces des isolateurs. De la même façon que précédemment, lorsque ces dépôts sont humidifiés, les couches de sable deviennent plus au moins conductrices à cause de l'existence de sels dans le sable. Après, nous assistons aux mêmes phénomènes constatés dans le cas précédant.

II-3.2 Pollution industrielle

Le problème de la pollution industrielle concerne les lignes qui passent près des zones industrielles (les fumées dégagées par des usines, raffineries, cimenteries, minerais etc.), près des grandes villes (les gaz d'échappement des véhicules) ou près des terrains agricoles (les engrais utilisés en agriculture).

II-3.3 Pollution mixte

Ce type de pollution est le plus dangereux ; c'est la résultante de l'existence de différents types de pollution dans la même zone, comme dans le cas des zones industrielles se trouvant en régions côtières.

II-4 Pollution des isolateurs

La pollution est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs de haute tension. C'est un paramètre important à prendre en considération lors du choix et du dimensionnement des chaînes d'isolateurs.

La pollution provoque la formation d'une couche sur la surface des isolateurs. Ces couches de pollution, quand elles sont humidifiées, réduisent considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue.

Notons que cette couche de pollution n'est pas homogène et sa distribution n'est pas uniforme. 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 trouvent les isolateurs ainsi que la surface inférieure ou supérieure de l'isolateur.

II-5 Influences des conditions climatiques sur la distribution de la pollution [14]

- ➔ **Humidité :** L'humidification de l'air fait accroître la conductivité des dépôts polluants, ce qui entraîne la diminution de la tenue des isolateurs pollués.

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

II-6 Impact de la pollution [15 ,16]

Les couches polluantes qui s'accumulent à la surface des isolateurs engendrent une conductivité électrique superficielle. Celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite. La tension de 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.

II-6.1 Arc non localisé

L'arc électrique s'éteint rapidement puis, se réamorçage à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courants de fuites entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par le réseau de distribution.

II-6.2 Arc fixe

L'arc électrique se fixe sur la surface de l'isolateur, soit en s'y maintenant (courant continu) soit, en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner par effet thermique une dégradation du support isolant de l'élément défaillant.

II-6.3 Contournement des isolateurs pollués [1]

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.

➤ **Étape 1 : dépôt de pollution**

Des grains de pollution se déposent sur la surface de l'isolateur (**Fig. I.1**).

➤ **Étape 2 : Formation d'un électrolyte conducteur**

A sec, la résistance superficielle reste élevée malgré le dépôt de pollution. Quand la couche de pollution devient humide (brouillard, humidité, rosée du matin, pluie fine...), elle se transforme en électrolyte conducteur et donne naissance à un courant de fuite superficiel I_f circulant sur la surface de l'isolateur (**Fig. I.2**).

➔ Etape 3 : formation d'une bande sèche

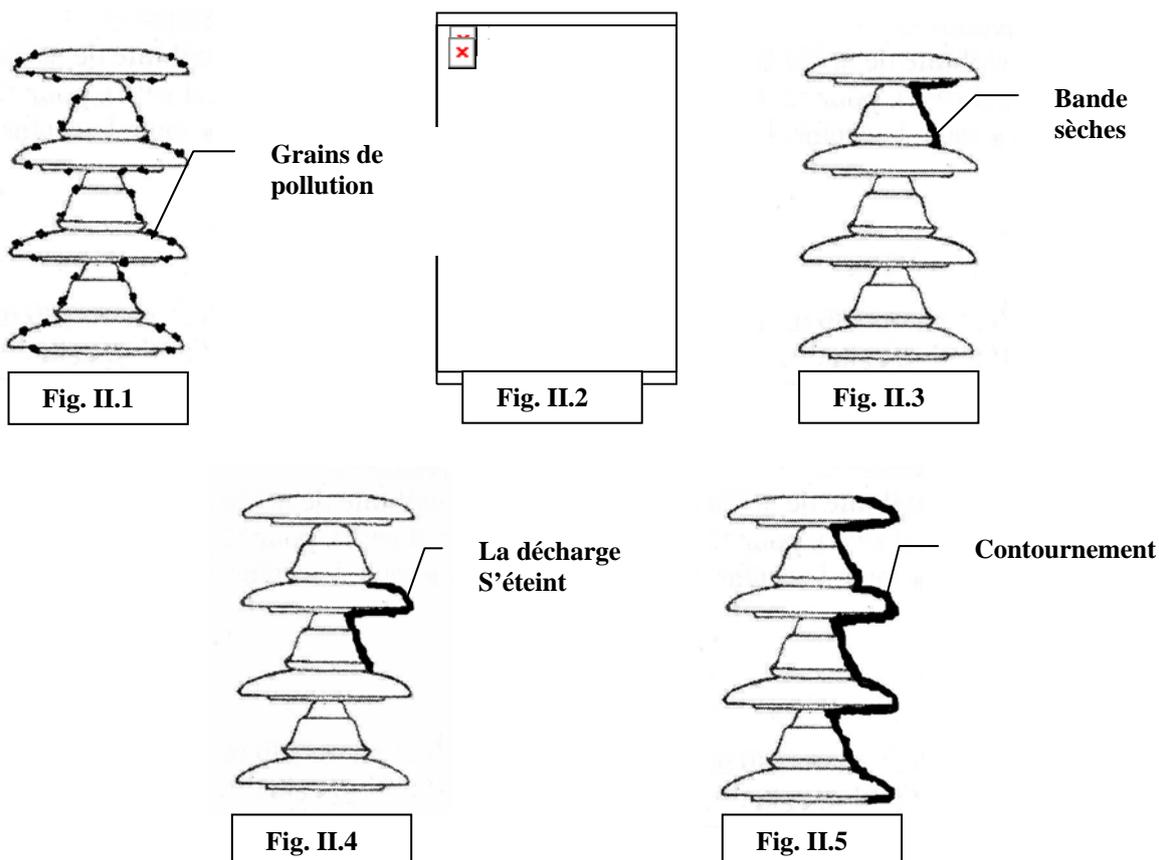
Dans les régions étroites de l'isolateur, où la densité de courant est élevée, une partie de l'électrolyte s'évapore et crée une bande sèche (**Fig. I.3**).

➔ Etape 4 : contournement

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

-Soit la décharge s'éteint ⇒ pas de contournement (**Fig. I.4**).

-Soit la décharge progresse sur la surface ⇒ contournement de l'isolateur (**Fig. I.5**).



II-6.4 Corrosion des isolateurs

Le phénomène de corrosion ne peut être créé que si la surface des isolateurs est recouverte d'un dépôt conducteur de pollution humide, Cette corrosion est plus importante en courant continu qu'en courant alternatif pour un même site du fait que le courant est unidirectionnel et des phénomènes électrostatiques qui entraînent la formation du dépôt de pollution plus importante. Ce dernier infecte directement :

-La résistance mécanique de l'isolateur ; cela s'applique particulièrement aux isolateurs du type capot tige lorsque la section de la partie corrodée devient réduite (exemple : réduction du diamètre de la tige).

-La tenue électrique du fait de la formation d'un dépôt de rouille sur la surface isolante. En outre, ce dépôt peut entraîner des dommages à la partie isolante du fait d'une concentration du champ électrique autour de cette nouvelle électrode.

II-7 Méthodes de mesure de la sévérité de pollution

Une évolution de la sévérité d'un site devrait fournir toutes les informations nécessaires au calcul de la probabilité de contournement sous pollution d'un isolateur et même le dimensionnement. On cet effet on propose d'étaler les différentes méthodes de mesure et les dispositifs nécessaires qui sont récapitulés dans le tableau suivant :

Méthode de mesure	Dispositif de mesure
Conductivité électrique de la pollution	Conductimètre à sonde mobile
Densité du dépôt de sel équivalent(DDSE)	Formule empirique
Conductance superficielle	Formule empirique
Contage des impulsions de courant de fuite	Méthode de connexion d'un compteur d'impulsion à 1 isolateur de ligne
Courant de fuite le plus élevé	Circuit de mesure

Tableau II-2 : Méthodes de mesure et leurs dispositifs

II.7.1 Dispositif de mesure de la conductivité superficielle à l'aide d'une sonde mobile

II.7.1.1 Description du dispositif et procédé de mesure [16 ,17]

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



Fig. II.1 : Photo d'un conductimètre à sonde mobile

La sonde est composée essentiellement :

- de la tête qui est constituée de deux électrodes ;
- du 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 (**II-2a**) et (**II-2b**).

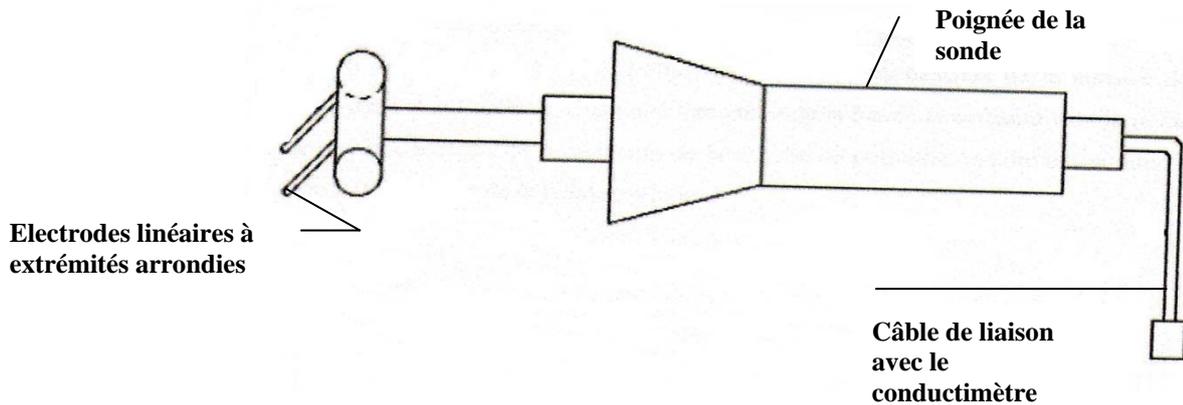


Fig. II-2a Sonde à électrode linéaire

Dans le cas de la sonde à électrodes linéaires (**Fig. II-2a**), 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 pollué. Après humidification de la surface contaminée, des mesures peuvent être effectuées sur différents points de la surface de l'isolateur.

Dans le cas de la sonde à électrodes planes (**Fig. II-2b**), avant d'effectuer les mesures sur une surface polluée d'un isolateur, il faut :

- Fixer une bande sèche absorbante (papier PH), de dimensions (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 μ S/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 absorbante σ_p ne dépasse pas 2 μ 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 de 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 du papier absorbant se dépose sur celle-ci, l'eau distillée passe de la bande absorbante vers la pollution, de telle sorte que la conductivité équivalente de la couche de pollution humidifiée et de la bande polluée.

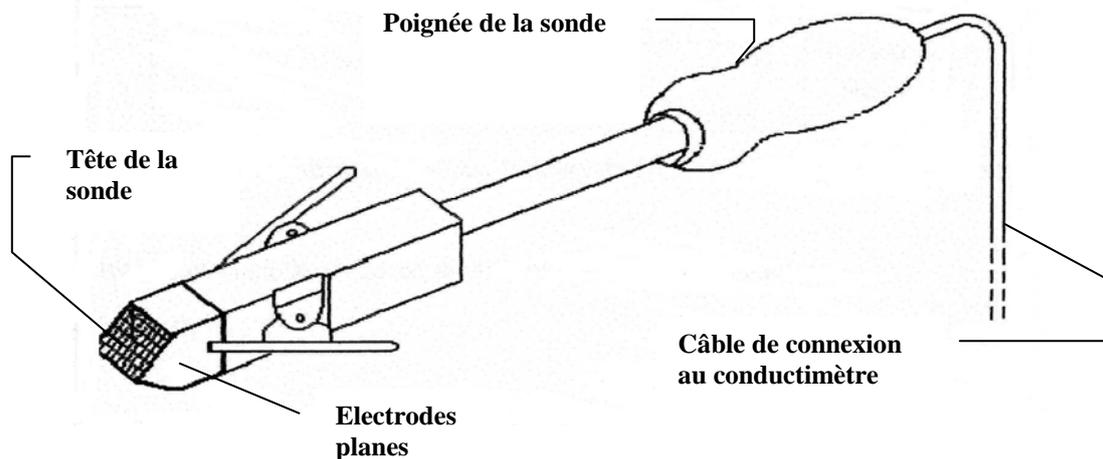


Fig. II-2b : Sonde à électrode planes avec papier absorbant

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

$$\sigma_m = \sigma_i (f_s / f_a) \quad (\text{II-1})$$

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 utilisée (**tableau II-3**). (Pour une sonde à électrodes planes, le facteur de forme est égal à 1).

f_a : Le facteur de forme de l'appareil (donné généralement par le constructeur).

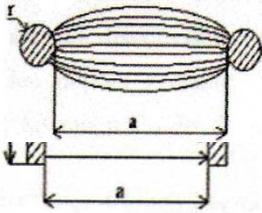
Nature de la sonde	Procédé d'humidification		Facteur de forme
Sonde à électrode linéaire	Humidification de la couche de pollution à l'aide d'un pulvérisateur à eau distillée		$f_s = \ln \frac{a}{3.14r}$ $(a \gg r)$
Sonde à électrodes planes	Pose d'une bande à papier absorbant humidifiée sur la couche de pollution		$f_s = \frac{a}{h}$ (Champ négligeable au voisinage des électrodes)

Tableau II-3 : Tableau récapitulatif des facteurs de forme pour chaque type de sonde et du procédés d'humidification de la couche de pollution

La conductivité superficielle réelle est donnée par la relation suivante :

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

Avec :

σ_m : La conductivité mesurée (μS), donnée par la formule (II-1)

σ_p : La conductivité propre de la bande absorbante (μS).

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

$$\sigma_{r20^{\circ}\text{C}} = (\sigma_{rT}/\alpha) \quad (\text{II-3})$$

Avec :

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

α : Facteur de correction donné par le tableau II-4 :

Température T (°C)	0	9	10	15	20	25	30	35	40
Facteur de correction α	0.6	0.68	0.77	0.89	1.00	1.12	1.23	1.34	1.45

Tableau II-4 : Facteur de correction en fonction de la température

II-7.2 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) [18,19]

Il s'agit du dépôt de sel de NaCl en mg/cm^2 de la surface d'un isolateur dont la conductivité électrique est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau. Pour calculer la DDSE il faut prélever les dépôts polluants à la surface des isolateurs sélectionnée. Les dépôts sont récupérés par lavage à l'aide d'un matériau absorbant (coton, mouchoir en papier, éponge, brosse) et de l'eau distillée, a 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 °C.

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

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

Avec :

θ : Température de la suspension en °C ;

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

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

b: le facteur dépendant de la température θ °C, qui est donnée par la relation suivante :

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

Lorsque σ_{20} est à l'intérieure de l'intervalle (0,004 à 0,4) S/m, la salinité de la suspension est déterminée par la formule suivante :

$$Sa = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,02} \quad (\text{II-6})$$

Avec :

Sa : en kg/m³ et σ_{20} en S/m.

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

$$\text{DDSE} = Sa \cdot V/S \quad (\text{II-7})$$

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 les périodes de lavage naturel.

En conséquence, plusieurs isolateurs ou collecteurs doivent être exposés pendant toute la période d'essais. 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 couche de pollution et le processus d'amorçage des arcs.

II-7.3 Conductance superficielle [20,21]

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 en appliquant pendant 2 à 5 périodes une tension, alternative (50Hz) donnée V , en mesurant le courant de fuite maximum I traversant la couche de pollution. La conductance est donnée par la formule (II-8) :

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

Avec :

I : le courant en(A)

V : la tension en (V)

G : la conductance en (S)

La conductivité superficielle σ des isolateurs est obtenues en multipliant la conductance superficielle G par le facteur de forme f , définie par la formule (II-9) :

$$\sigma = f.G \quad (\text{II-9})$$

Avec :

f : le facteur de forme.

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

L'expérience 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 donnent des valeurs voisines de la sévérité, même si la conductance ou la conductivité superficielle sont différentes.

Les enregistrements à long terme de la conductance superficielle, peuvent être utilisés pour obtenir des distributions statistiques de la sévérité équivalentes associées aux courbes donnant la probabilité de contournement de l'isolateur donné sur le site considéré. Le dépôt sur les isolateurs peut être légèrement différent de ce qu'il est à sa surface non contrainte. Cependant, cette différence est probablement faible et peut être estimée en faisant des comparaisons au laboratoire sur des isolateurs non contraints de façon analogue.

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-7.4 Comptage des impulsions de courant de fuite [22]

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, réglés mécaniquement pour ne fonctionner que lorsque leurs bobines étaient traversées par un courant supérieur à une valeur donnée, les enroulements étaient directement en série avec l'isolateur en essai (figure II.3).

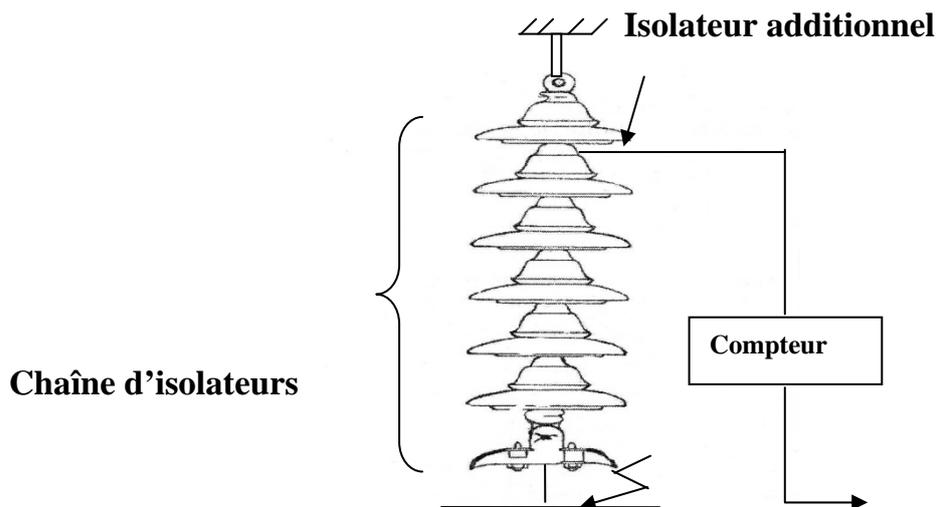


Fig. II.3 Méthode de connexion d'un compteur d'impulsion à un isolateur de ligne

Les compteurs sont généralement réglés pour fonctionner à des niveaux de courant de crête de 20, 50, 100, et 250 mA.

Le nombre d'impulsions enregistrées avant un contournement pour différents isolateurs 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'impulsions 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 la cadre de l'extension ou le réisolement 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 aptitude aux contrôles continus d'un grand nombre d'isolateurs dans les conditions de service normal.

L'utilisation de compteurs d'impulsion nécessite l'accès à une ligne ou à un poste existant ou une installation d'essai spécial 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.

II-7.5 Contrainte de contournement [23]

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 toutes les étapes du 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 statistiquement utilisables.

- La deuxième variante donne plus d'informations sur les isolateur, elle consiste à placer sur chaque chaîne d'isolateur des fusibles permettent d'allonger sa longueur effective jusqu'à ce que le niveau tenant la contrainte soit atteint.
- Plusieurs isolateurs sont dotés de fusibles 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. 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-7.6 Mesure optique [24]

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 un photo détecteur. Une analyse avancée des caractéristiques du rayon réfléchi (amplitude, déphasage,) 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-7.7 Densité de dépôt non soluble(DDNS) [25]

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 (fig. II.4) 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 séché puis pesé. La DDNS peut être calculée par la formule (II-10) :

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

Avec :

DDNS : la densité de dépôt non soluble en mg/cm^2 ;

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

m_i : La masse initiale du papier filtre en g ;

A : la surface lavée de l'isolateur en cm^2 .

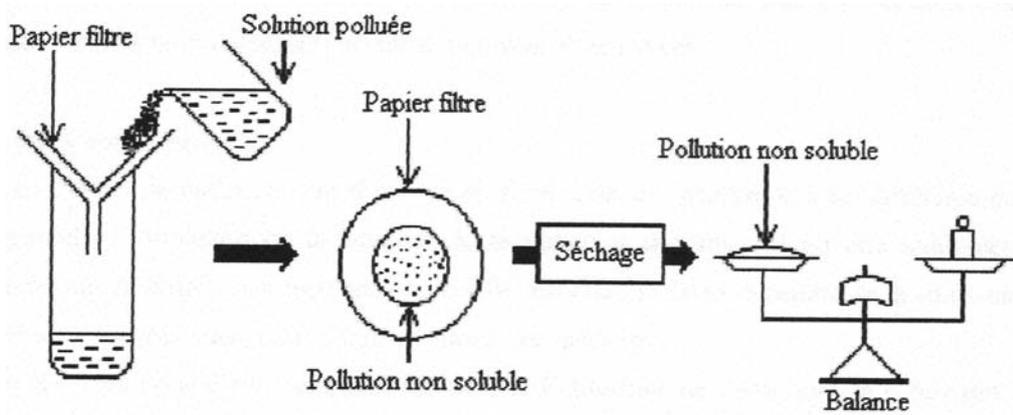


Fig. II.4 Schéma et procédé de mesure de la DDNS

II-7.8 Autres méthodes de mesure [25]

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

-L'analyse d'échantillons d'air pour la recherche du sel, des solides et du SO₂ ; les mesures météorologiques, comme quantité de pluie, humidité, brouillard, vitesse et direction du vent peuvent être utilisés pour évaluer la sévérité des sites ;

-L'utilisation de jauges de dépôt de types météorologiques ou directionnels ; il existe des dispositifs de surveillance se basant sur d'autres paramètres en particulier sur les mesures de pollution atmosphérique.

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

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

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

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

II-8 Choix d'une méthode de mesure de sévérité de pollution d'un site [26]

Parmi les méthodes d'évaluation de la sévérité de pollution déjà mentionnées, il est impossible de définir une méthode universelle. Les trois méthodes les plus utilisées dans le monde sont :

la mesure de la DDSE, le courant de fuite, et la conductance superficielle, car elle ne nécessite pas d'installations complexes et coûteuses, puis elles donnent des résultats satisfaisantes.

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

II-9 CONCLUSION

Dans ce chapitre on a analysé les principales méthodes d'évaluation de la sévérité de la pollution des sites. Il est impossible de définir une méthode universelle. En effet, le choix dépendra de la situation local et il sera souvent intéressant d'utiliser plus d'une méthode. Le choix de l'une d'entre elle sera conditionné entre autre facteurs, par le lieu d'utilisation de l'isolation, la nature des sources polluantes locales, le degré d'industrialisation et l'importance du réseau déjà existant dans la région concerné.

Toutes les méthodes décrites présentes des problèmes communs, le plus important est probablement le temps. En premier lieu, il faut considérer le temps nécessaire à la formation d'une couche superficielle. Certains dépôts, comme le sel marin, se forme en quelques heures et s'élimine rapidement.

D'autres comme la poussière de ciment, ne peuvent se former qu'en plusieurs mois; les enquêtes doivent généralement durer plusieurs années afin de recueillir des informations en quantités suffisantes pour obtenir une estimation statistique valable de la sévérité.

Pour éliminer les problèmes rencontrés dans ces méthodes, on a recours aux techniques artificielles, par simulation de la pollution naturelle au laboratoire qui feront l'objet du prochain chapitre.

III-1 : INTRODUCTION

Le but de ce chapitre, consiste à analyser les différentes méthodes d'essais de pollution artificielle et indiquer celles qui sont les mieux adaptées pour les isolateurs de lignes, de postes, de traversées et les enveloppes. Ainsi que la mesure de la réponse des isolateurs pollués aux surtensions temporaires, de manœuvres, de foudres et aux tensions de services.

III-2 : SIMULATION DE LA POLLUTION AU LABORATOIRE [10,29,30]

III-2-1 : Méthodes de simulation

III.2.1.1 : Brouillard salin

Cette méthode utilise une couche de pollution contenant du chlorure de sodium NaCl et de l'eau du robinet. L'isolateur est soumis à une tension d'essai maintenue constante dès le début avec une durée de 60 minutes. L'isolateur d'essai est placé dans un brouillard salin qui est produit par deux rangés de pulvérisateurs, disposés de part et d'autre de l'isolateur. Chaque pulvérisateur est constitué de deux ajustages, l'un délivrant la solution salée, l'autre disposé perpendiculairement au précédent, fournit un courant d'air comprimé qui atomise la solution en fines gouttelettes. Le brouillard ambiant qui entoure l'isolateur est destiné à déposer de l'eau salée de la même manière qu'un brouillard naturel humidifiant, mais cette technique ne représente pas les conditions naturelles, puisque à un instant donné, le vent ne vient que d'un seul côté, par contre le brouillard est projeté des deux côtés.

La méthode présente deux principaux avantages :

- ➔ elle ne nécessite pas un enrobage séparé ;
- ➔ les gros isolateurs, une fois installés, n'ont pas besoin d'être déplacés pour exécuter les essais et que l'opération de mélange du sel et la formation du brouillard est bien adaptée à l'automatisation.

La validité de cette méthode a été vérifiée pour différents types d'isolateurs de lignes et de postes, pour des niveaux de tension allant de 130 à 400 kV, dont les résultats d'essai naturel et artificiel concordaient bien. Comme elle a été vérifiée pour des régions côtières et pour quelques sites de pollution industrielle situés à l'intérieur des terres.

La salinité du brouillard définit la sévérité de l'essai.

Salinité à 20 °C (g/l)	Conductivité à 20 °C (µS/cm)
2,5	4340
3,5	6000
5	8327
7	11520
10	15910
14	21690
20	29860
28	40970
40	55940
56	75630
80	100800
112	130100
160	167300
224	202600

Tableau III.1 Salinités des solutions et valeurs de leurs conductivités à 20 °C recommandées pour l'essai sous brouillard salin.

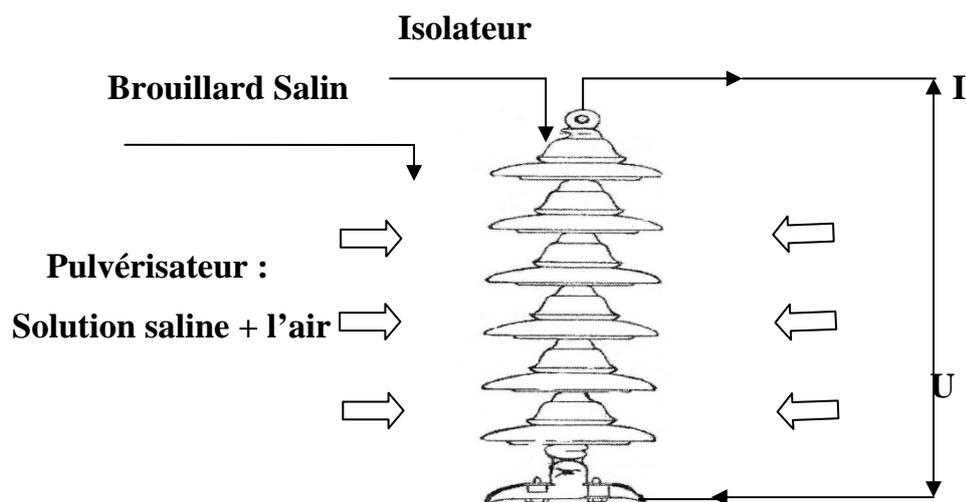


Fig. III.1 Essai en laboratoire sous brouillard salin artificiel

III.2.1.2 Brouillard équivalent [7,29]

La solution contient du sel dans une suspension de 40g de poudre Tonoko (60 à 70 % de SiO_2 , 10 à 20 % d' Al_2O_3 , 4 à 8 % de FeO_3 et du H_2O) par litre d'eau. Le dépôt est obtenu par pulvérisation, coulage ou trempage le brouillard équivalent est produit de la même façon que le brouillard salin, on remplace juste la solution salée par celle indiquée ci-dessus. La tension peut être maintenue constante pendant 3 à 5 minutes après le dépôt de la couche, comme elle peut être augmentée jusqu'au contournement.

Cette méthode est valable pour présenter des isolateurs, type standard, placés dans des conditions naturelles de contamination saline pendant les typhons, mais elle donne, pour les isolateurs long- fut, des tensions d'amorçage plus élevées que les conditions naturelles. La densité du dépôt de sel en mg/cm définit la sévérité de l'essai.

III.2.1.3 Brouillard vapeur [29]

La solution est obtenue à partir du sel dans une suspension d'un liant et d'eau. Le dépôt est formé par pulvérisation et séchage. L'humidification de la couche est obtenue par une condensation lente d'eau vaporisée, elle peut être modifiée en changeant la quantité d'eau chauffée par unité de volume de la salle d'essai. On peut avoir une humidification très lente à la fois par l'impact et la condensation des gouttelettes. Avec une conductivité maximale atteinte au bout de 15 à 30 minutes, cela pour un chauffage suffisamment bas. Cette méthode peut être recommandée pour les isolateurs soumis à la pollution marine et industrielle, comme elle peut s'appliquer aux conditions naturelles caractérisées par une accumulation de pollution. La tension appliquée est maintenue constante dès le début de l'essai, sa durée est de 120 minutes. Le paramètre de la sévérité est déterminé par la densité de dépôt de sel en mg/cm^2 .

III.2.1.4 Brouillard tenu [29]

La solution est produite à partir du sel dans une suspension de 40g de poudre Tonoko ou Kaolin par litre d'eau. Le dépôt est formé par pulvérisation, peinture ou trempage, suivi d'un séchage. L'humidification est obtenue par pulvérisation indirecte de l'eau, la tension appliquée est maintenue constante dès le début de ce processus. Le brouillard pulvérisé de cette méthode, produit des gouttelettes plus grandes que celles produites dans le cas des méthodes du brouillard vapeur et brouillard salin. Cet essai est souple et peut être adapté suivant les conditions naturelles attendues. Le paramètre de sévérité est défini par la densité du dépôt de sel en mg/cm^2 . La durée maximale de l'essai est de 30 minutes.

III.2.1.5 Méthycellulose ou méthode de pollution liquide [29]

La couche de pollution utilisé contient de sel dans une solution de 10g de la methycellulose et de 25g de craie fine par litre d'eau, préparé 48 heures avant l'essai. Le dépôt est formé par pulvérisation ou trempage, il faut attendre environ 35 minutes pour la stabilisation de la couche avant l'application de la tension qui est maintenue constante durant l'essai, cette couche n'est pas humidifiée en cours de l'essai.

Les tensions d'amorçage sont influencées par l'épaisseur de la couche, car à la même conductivité, une variation de (0.008 à 0.25) mm d'épaisseur peut augmenter la tension d'amorçage de 10%. Cette méthode est appropriée aux conditions qui apparaissent lorsqu'une ligne humide et froide est remise en service. Elle convient aussi pour représenter les conditions qui apparaissent sur une ligne, lorsque la température est au voisinage de 0°C, avec de la glace fondante. Le paramètre de la sévérité est déterminé par la conductivité (σ) de la couche après stabilisation. La durée de l'essai est de 5 minutes

III.2.1.6 Kieselguhr [7,31]

La solution est obtenue en utilisant du sel dans une suspension de 100 g de kieselguhr (70 à 80% de SiO_2 , 5 à 25% de AlO_3 , 0.5 à 6% de Fe_2O_3 , 7 à 14% de H_2O) et 100 g d'aérosol par litre d'eau . Le dépôt est formé par pulvérisation suivie de séchage. L'humidification se fait par de l'eau vaporisée en quantité suffisante, elle prend 15 à 20 minutes pour obtenir la conductivité maximale qui est entretenue pendant tout l'essai et la tension est maintenue constante dès que la conductivité maximale est atteinte.

La validité de cette méthode a été vérifiée pour les conditions de pollution industrielle caractérisée par des couches épaisses. Les essais effectués sur des isolateurs UHT, ont été réalisés avec succès en utilisant les techniques de cette

méthode. Le degré de sévérité est défini par la conductivité maximale de la couche (μS). La durée de l'essai est de 15 minutes.

III.2.1.7 Contaminant humide [29]

La solution est obtenue à partir du sel dans une suspension de 20g de cab-o-sil (agent épaississant) et de 1g de photo -flo-600 (agent mouillant) par litre d'eau. Le dépôt est formé par coulage ou trempage. La tension appliquée est maintenue constante quelque minute après l'application de la couche. La durée de chaque essai est de 5 minutes. La conductivité maximale de la couche définit la sévérité.

III.2.2 Corrélation entre les méthodes de pollution naturelles et artificielle [10]

Aucun essai artificiel ne peut produire toutes les véritables conditions auxquelles un isolateur peut être en service. La comparaison directe entre essais sous pollution naturelle et sous pollution artificielle, constitue la meilleure façon de s'assurer de la bonne représentativité d'une méthode et on peut constater que :

- La répartition de pollution est naturellement non uniforme sur les surfaces des isolateurs, car le vent et la pluie imposent des orientations pour les dépôts et un lavage périodique des surfaces exposées. La méthode du brouillard salin semble simuler de façon satisfaisante un brouillard naturel contrairement aux autres méthodes ;
- Quel que soit la méthode artificielle utilisée, il est nécessaire de déterminer la sévérité dans les conditions de pollution naturelle.
- Les essais artificiels ne sont pas toujours reproductibles d'un laboratoire à un autre. Selon la méthode employée, le paramètre qui caractérise la sévérité de pollution ne couvre pas les mêmes traits caractéristiques du phénomène, il s'exprime par :

- La densité équivalente de sel déposé en mg/cm².
- La conductivité de la couche en μS.
- La salinité du brouillard en g/l.

Devant l'impossibilité d'établir une équivalence à priori des différents paramètres, on est conduit à se contenter d'une équivalence à posteriori. Une corrélation entre les méthodes de pollution artificielle et les conditions de pollution naturelle peut être établie (**Tableau III.3**).

III.2.3 Caractéristique des méthodes [27]

A l'aide de toute ces techniques d'essais il est possible de déterminer soit :

La sévérité maximale qu'un isolateur peut supporter sans contourner, sous une tension donnée.

La tension maximale qu'un isolateur peut tenir sans contourner, pour une sévérité donnée.

La tension (ou la sévérité) correspondante à une probabilité de 50% d'amorçage pour un niveau de sévérité données (ou de tension donnée)

Bien que les valeurs de dispersion soient déterminées à partir de la variation de la tension d'amorçage à sévérité constante, ces valeurs peuvent dépendre de la sévérité choisie. Les données sur la répétitivité et la reproductibilité sont difficiles à obtenir, cela nécessite la coopération de plusieurs laboratoires et les résultats peuvent être influencés par des conditions fortuites telles que les dimensions des salles d'essais de laboratoire.

Pour la plus part des isolateurs, on a trouvé la relation, entre la tension d'amorçage V et la sévérité S qui prend la forme suivante :

$$V = K \sigma^{-p}$$

Avec ;

V : tension d'amorçage en (kV)

σ : Sévérité

K : constante

P : valeur empirique, varie avec les méthodes d'essais et le type d'isolateur.

Pour les isolateurs capot- tige type standard et anti pollution, sa valeur est donnée selon le tableau ci-dessous :

Méthodes d'essai	Brouillard équivalent	Kieselguhr	Brouillard tenu	Méthycellulose	Brouillard vapeur	Brouillard salin	Contaminant humide
p	-0.19	-0.4	-0.2	0.3 inclus à 3.4 faible sévérité	0.16 inclus à 0.45 faible sévérité	-0.2	-0.35

Tableau III.2: valeur empirique pour les isolateurs capot-tige type standard et antipollution

A des fins de normalisation, Cinq niveaux qualitatifs de sévérité de pollution sont spécifiés. Nous reproduisons ci-dessous la nomenclature de ces niveaux ainsi que des exemples d'environnements types à chacun des niveaux spécifiés (guides CEI 815 et CEI 71-2). Pour chaque niveau de pollution spécifiés, la ligne de fuite spécifique minimale correspondante donnée en mm/kV de la valeur efficace de la tension, de la conductivité en μS et de la DDSE en mg/cm^2 :

Niveau de pollution	Environnement	Pollution artificielle : sévérité équivalente		
		Couche liquide conductivité	Couche solide densité de NaCl équivalente	Ligne de fuite cm/kV

I- Faible	-Zones sans industries et avec faible densité de maisons équipées d'installations de chauffage. -Zones avec faible densité d'industries ou de maisons, mais soumises à des vents ou des pluies fréquentes. -Toutes les régions agricoles. -Toutes ces zones doivent être situées loin de la mer (10 à 20 km) ou à haute altitude et ne doivent, en aucun cas, être exposées aux vents venant de la mer.	5 à 10	0,5 à 0,1	2,7
II-Moyen	-Zones avec des industries ne produisant pas de fumées polluantes, ou avec une densité moyenne de maisons équipées de chauffages. -Zones avec forte densité de maisons ou d'industries, mais exposées à des vents fréquents et propres, ou à des pluies. -Zones exposées aux vents de mer, mais pas trop proches de la cote (distance < à 1 km).	10 à 15	0,1 à 0,2	3,5
III-Fort	-Zones à forte densité d'industries et banlieues de grandes villes avec forte densité d'appareils de chauffage polluant. -Zones proches de la mer, ou en tout cas exposés à un vent relativement fort venant de la mer.	15 à 30	0,2 à 0,6	4,3
VI- Très fort	-Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais. -Zones généralement peu étendues, très proches de la cote et exposées à des vents forts et très polluants venant de la mer.	30 à 50	0,6 à 1,1	5,4

Tableau III Equivalence entre pollution naturelle et pollution artificielle

Note : ce tableau ne doit être appliqué qu'à des isolateurs en verre ou en porcelaine et ne prend pas en compte certains cas d'environnement tels que la neige et la glace sous forte pollution, la forte pluie, les zones arides, etc.

III-3 Lutte contre la pollution [10, 21,28]

III-3.1 Technique de lutte contre la pollution

III-3.1.1 Allongement de la ligne de fuite

L'augmentation de la longueur de la ligne de fuite permet d'améliorer les performances d'un isolateur ; un dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution peut être adopté en utilisant deux techniques :

- Changement du type d'isolateur (rallongement de la ligne de fuite), c'est une opération très couteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- Utilisation de prolongateur de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existants.

Les études effectuées, montrent que le facteur prédominant pour la tenue sous pollution est la ligne de fuite L_f de l'isolateur. Les isolateurs le plus couramment utilisés ont un rapport :

$$2 < L_f/P < 2,5$$

Avec :

P : Pas.

En améliorant leur profil (ondulations plus profondes, jupes de diamètre plus grand), On peut atteindre un rapport voisin de 3. Il est illusoire de penser pouvoir dépasser cette valeur car les ondulations deviendraient trop rapprochées et seraient court-circuitées par les arcs qui se forment lorsque la surface de l'isolateur se pollue.

III-3.1.2 Changement de forme des isolateurs (isolateurs plats)

Contrairement à la méthode précédente, cette méthode utilise des isolateurs plats qui permettent de diminuer la ligne de fuite. Ces isolateurs ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont utilisés dans les régions sahariennes où la principale source d'humidification est la condensation.

III-3.1.3 Graissage périodique des isolateurs

Par mesure économique, puisque le remplacement des isolateurs est très coûteux, on a recours aux techniques de lavage et de graissage qui sont particulièrement réservées aux isolateurs de poste.

Le graissage est un moyen de dépannage devant la difficulté due à une pollution inattendue ou très exceptionnelle. Il ne doit en aucun cas être considéré comme un moyen normal pour faire face à la pollution des isolateurs. Les graisses utilisées actuellement sont des composants silicones, qui ont la propriété d'absorber les poussières, en effet l'huile exsudé enrobe chaque grain de poussière, ce qui permet à la graisse de conserver ses propriétés initiales, à savoir une grande résistance superficielle, ceci tant que la saturation n'est pas atteinte d'une part, tant que la graisse n'a pas subi une importante altération par les rayons ultra violets auxquels elle est sensible.

La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit, elle est en générale comprise entre 1 à 4 ans. Pour juger l'opportunité de renouveler la graisse, une méthode de contrôle de la pollution de la graisse a été mise au point.

Le graissage est largement utilisée dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de graissage est long, coûteuse et nécessite une interruption de service.

III-3.1.4 Revêtement silicones

Cette méthode consiste à appliquer par pulvérisation ou au pinceau un caoutchouc siliconé, qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour la graisse, ce revêtement protège les isolateurs et améliore leur comportement sous pollution ; par contre la longévité est nettement supérieure à celle des graisses.

Dans certains postes de compagnies américaines, les revêtements ont été appliqués pendant plus de dix ans. Cette méthode est relativement ancienne, mais tend aujourd'hui à se développer, grâce à la mise sur le marché de produits plus performants.

III-3.1.5 Isolateurs composites

Les isolateurs composites sont apparus au début des années 70, ils sont constitués d'un noyau en fibre de verre imprégné d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté alliée à une grande résistance mécanique que lui confère le noyau. Ils sont utilisés dans des conditions de pollution très sévères et ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) auxquelles ils sont soumis en service.

III-3.1.6 Nettoyage des isolateurs

Le nettoyage manuel et le lavage périodique sont fréquemment utilisés à travers le monde, en particulier dans les postes, ils sont pratiqués hors tension ou sous tension (**Fig. III.2**). Ces interruptions de service entraînent des problèmes majeurs, donc il faut limiter leurs usages au maximum.

Un lavage sous tension des isolateurs permet d'éviter ces coupures, il est réalisé à l'aide d'une installation fixe ou mobile.

L'équipement utilisé pour réaliser le lavage sous tension des structures isolantes comprend :

- Une réserve d'eau déminéralisée d'une capacité de 3 500 L ;
- Un groupe motopompe dont la pression de sortie d'eau est de 10^7 Pa et capable d'amener l'eau de la citerne à une hauteur de 80 m sous une pression supérieure à 5.10^6 Pa ;
- Deux tuyaux de 45m chacun, capables de supporter, en régime permanent, une pression interne de 10^7 Pa ;
- Une canne d'aspersion équipée d'un gicleur, raccordée au groupe motopompe à l'aide de la tuyauterie précédente.

Cet équipement orientable dans le plan horizontal est fixé sur un engin élévateur pour assurer les translations verticales. Les deux mouvements peuvent, indépendamment ou simultanément, être commandés à distance (Fig. III.3).



Fig.III.2 Lavage sous tension



Fig.III.3 Lavage sous tension avec camion à bras télescopique

Les hautes pressions utilisées permettent de disposer, très près de la buse, d'un jet divisé, constitué de fines gouttelettes projetées à très grande vitesse sur la structure polluée. Ce jet à structure divisée, donc non conducteur, possède en outre, grâce à la vitesse élevée des gouttelettes, un effet mécanique important favorisant le nettoyage de la surface. Il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité d'eau de lavage, le processus de lavage et la distance de sécurité, afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.

Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certain pays, en particulier en Amérique du nord. Cette technique permet le nettoyage des isolateurs recouvert de pollution très adhérente (ciment) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs.

Malgré la simplicité de ces dispositifs, le lavage sous tension de la totalité d'un poste reste une opération coûteuse, il est donc conseillé de réaliser le lavage au moment le plus approprié.

III.3.1.7 Élagage

L'élagage du couloir des lignes doit permettre d'éviter les risques d'amorçage aux arbres. L'élagage par des engins mécaniques étant plus économiques que l'élagage manuel, il est à pratiquer chaque fois que cela est possible. En conséquence, la périodicité recherchée sera suffisante pour que les repousses n'atteignent pas une dimension nécessitant un élagage manuel, mais on est conduit, parfois, à faire des élagages ponctuels de correction. Dans les pays méditerranéens, les interventions doivent souvent être plus fréquentes. Dans les zones où l'élagage est mal supporté, les amputations seront moindres et la fréquence plus grande. En certains endroits sensibles, élagage se fait deux fois par an.

III.3.1.8 Peinture

L'acier constituant les pylônes est soumis à l'action de l'air, de la pluie, des pollutions naturelles ou artificielles et subit une corrosion s'il n'est pas correctement

protégé. Une protection correcte est assurée par l'application périodique de peinture. Dans des conditions peu sévères d'environnement, on peut attendre 10 ans environ entre deux traitements (brossage, peinture en deux couches), voire plus, si on effectue un traitement intermédiaire à une seule couche avec brossage.

Les pylônes en acier galvanisé peuvent également être peints dans les zones agressives (zones polluées ou zones marines).

III.4 CONCLUSION

La mesure de la sévérité de pollution pour la détermination des niveaux d'isolement pose des problèmes communs à toutes les méthodes décrites dans ce chapitre.

Le problème le plus important est probablement le temps car il faut prendre en considération le temps nécessaire à la formation d'une couche superficielle. La pollution se dépose par suite de phénomènes aérodynamiques tandis qu'elle s'élimine par la pluie et le vent. Ainsi, il y a une évolution continue du dépôt et de sa répartition comme les contournements ne peuvent avoir lieu que dans les cas extrêmes, de dépôts et d'humidification, les enquêtes doivent généralement durer plusieurs années afin de recueillir des informations valables pour obtenir une estimation statistique satisfaisante.

La disponibilité des sources de tension et le coût sont aussi des paramètres importants influant sur le choix d'une méthode qui dépend de la situation locale du site.

D'après l'étude ci-dessus on peut conclure que :

- La méthode du brouillard salin peut être recommandée pour des isolateurs soumis à une pollution marine ou une pollution à couche mince avec laquelle les conditions d'essais peuvent être contrôlées.
- Les méthodes du brouillard tenu et du brouillard vapeur peuvent être recommandées pour les isolateurs soumis à la pollution marine et industrielle. Ces essais sont souples et peuvent être adaptés suivant les conditions naturelles attendues.

- La méthode de Kieselguhr peut être recommandée, lorsqu'on rencontre une pollution industrielle avec des couches épaisses.
- Les procédés de la méthylcellulose, du contaminant humide et du brouillard équivalent semblent être moins souhaitable que les autres, parce que la situation de mise sous tension qu'elles simulent donne des valeurs anormalement élevées pour les isolateurs long-fut.
- Les techniques de lutte contre la pollution connues actuellement (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, revêtement hydrophobe,...), permettent de disposer de solutions curatives adaptées à la plupart des problèmes de pollution rencontrés par les exploitants des réseaux électriques.
- Les procédés de lavage et de graissage sont des moyens de dépannage devant les difficultés dues à la pollution inattendue ou bien exceptionnelles. Ils ne doivent, en aucun cas, être considérés comme un moyen normal pour faire face à la pollution des isolateurs.

IV-1 INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est l'étude de l'influence des conditions climatiques essentiels (vent, pluie) sur le degré de sévérité de la pollution sur la surface des isolateurs réels exposée à la pollution naturelle en fonction du temps dans le site d'implantations (Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT) en exposant des collecteurs de pollution dans ce site durant une période caractérisée par sont fort taux de pollution.

La détermination du degré de sévérité de la pollution, nécessite un nombre important de points de mesure en fonction des facteurs climatique et surtout en fonction de temps. La période d'étude effectuée est située entre mars et juin 2009.

IV-2 LOCALISATION ET CHOIX DE SITE



Fig. IV.1 Localisation de la région de TIGZIRT

Le choix du site (zone d'implantation du Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT) est argumenté du fait que se site caractérise presque tous les différents types de pollution à savoir :

-la pollution marine (le site ce situé à 4à 5 km de la mer méditerranée), et souvent exposé aux vents marins et une humidité élevée.

- la pollution industrielle (usine de production de lait et ces drivés qui se situé à coté de site).

-la décharge publique (ce trouve à 5 km à l'ouest de site).

-ce site est caractérisé aussi par un très grand trafic routier surtout durant la saison estivale.

IV-3 CHOIX ET DESCRIPTION DE CAPTEUR DE POLLUTION

Parmi les capteurs naturels de pollution nous retrouvons des isolateurs réels de type (rigide à tige, les isolateurs support, poupée de transformateur). Ces isolateurs sont les plus utilisés par les exploitants du réseau électrique Algérien(SONELGAZ). Après lavage et séchage, les isolateurs sont exposés au niveau du Service Technique de la SONELGAZ de TIGZIRT. Ces isolateurs sont suspendus verticalement, à des hauteurs semblables à la hauteur des isolateurs en exploitation.

Les figures suivantes illustres les modèles expérimentales



IV.2 Isolateur 01

- rigide à tige
- diamètre moyen =248mm
- surface=114000 mm^2
- Longueur=400mm



Fig. IV.3 Isolateur 02

- isolateur support
- diamètre moyen =130mm
- surface=183690 mm^2
- Longueur=450mm



Fig. IV.4 Isolateur 03

- poupée de transformateur (Jeu de barre)
- diamètre moyen =90mm
- surface=84780 mm^2
- Longueur=300

IV-4 MESURE DES PARAMETRES ELECTRIQUES DES DEPOTS POLLUANTS PRELEVES

IV-4.1 Evaluation des facteurs climatiques du site

Afin d'étudier l'influence des facteurs météorologiques sur l'accumulation de la pollution sur la surface des capteurs, une installation météo doit être disponible sur le lieu où ces collecteurs de pollution sont placés.

Dans notre étude nous avons pris en considération que les facteurs qui ont beaucoup plus d'effet sur l'accumulation de la pollution à savoir les pluies et les vents.

Les conditions climatiques enregistrées durant la période d'exposition des collecteurs de pollution sont consignés dans le tableau suivant :

Site : Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT (2009)	
Période (semaines)	Facteurs climatiques
14.05/18.06.2009 (5 semaines)	6VM, 1Pf, 4PF
19.03/14.05.2009 (8 semaines)	11VM, 17Pf, 6PF
19.03/18.06.2009 (13 semaines)	17VM, 18Pf, 10PF

Tableau IV-1: Facteurs climatiques durant de la période d'exposition des isolateurs réels

Légende : PF/Pluie Forte, Pf/Pluie fine, VM/Vent Moyen

IV-4.2 Détermination de la conductivité superficielle des capteurs de pollution par la sonde mobile

Après chaque période d'exposition déterminée, une série de trois collecteurs ont été récupérée. Le procédé de mesure du degré de pollution est basé sur la mesure de la conductivité superficielle, la surface du capteur de pollution est divisée en deux secteurs, le dessus de l'ailette et le dessous de l'ailette. La conductivité superficielle est mesurée en plusieurs points de chaque secteur.



Fig. IV.5 Procédé de mesure de la conductivité superficielle

Les valeurs mesurées par période et par capteurs sont mentionnées dans l'annexe I tableau 1.

Les valeurs moyennes de la conductivité superficielle par période d'exposition, sont résumées dans le tableau IV.2

Site : Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT (2009)						
Période(Semaine)	Conductivité (μS) à la surface des ailettes			Conductivité (μS) au dessus des ailettes		
	Isolateur 01	Isolateur 02	Isolateur 03	Isolateur 01	Isolateur 02	Isolateur 03
14.05/18.06.09(5 sem.)	15,35	14,61	6,06	9,37	6,80	3,9
19.03/14.05.09(8 sem.)	11,32	6,53	1.39	2,34	0,86	0,96
19.03/18.06.09(13 sem.)	8,53	9,07	3.09	4,45	5,67	0,75

Tableau IV.2 Valeurs moyenne de la conductivité de la pollution de site de TIGZIRT.

➤ Représentation des courbes

La conductivité superficielle au dessus et au dessous des différents types d'isolateurs en fonction de la période temporelle d'exposition et des facteurs climatiques du site est illustré dans les figures suivantes :

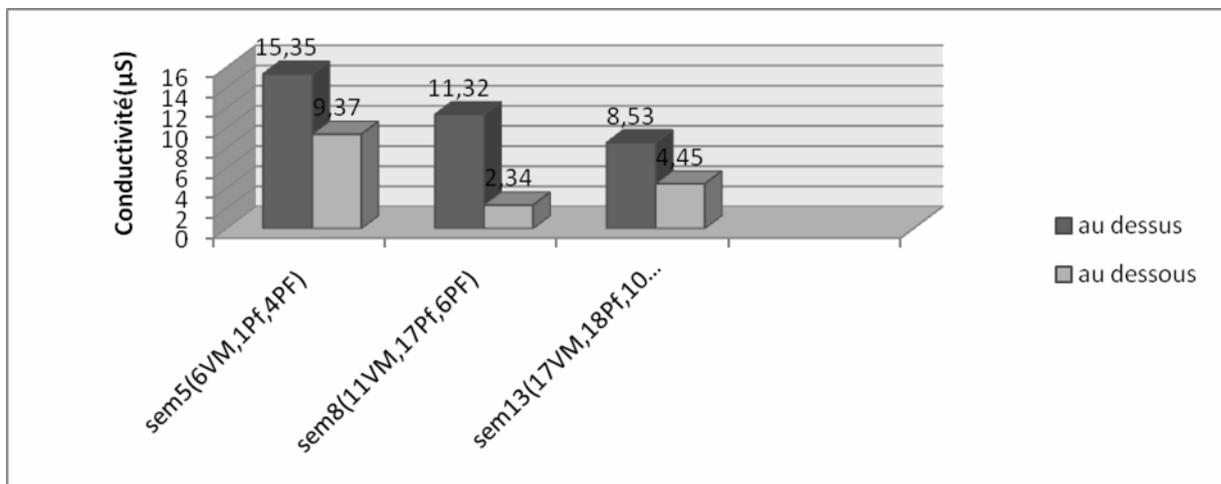


Fig. IV.6 Evolution temporelle de la conductivité superficielle moyenne de l'isolateur 01

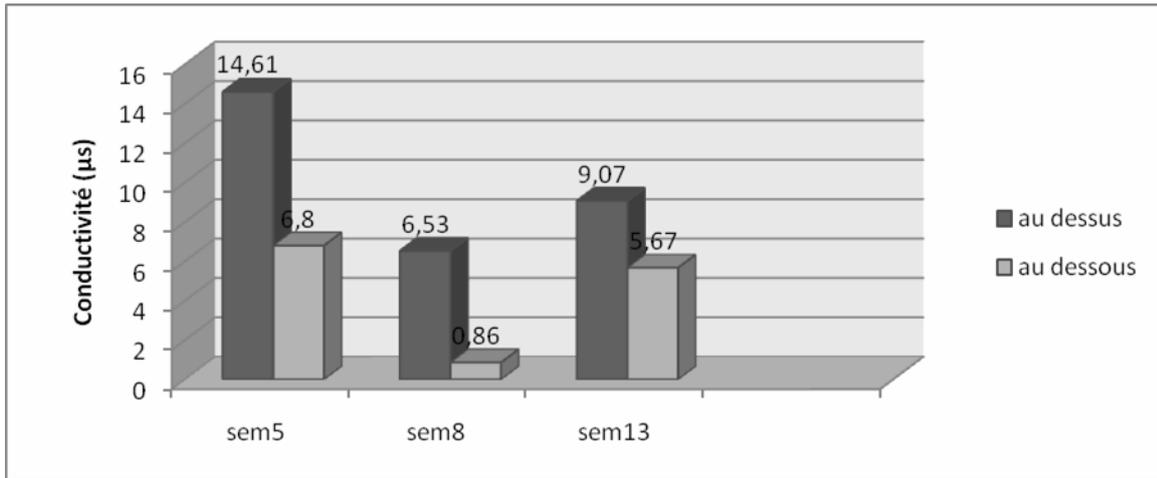


Fig. IV.7 Evolution temporelle de la conductivité superficielle moyenne de l'isolateur 02

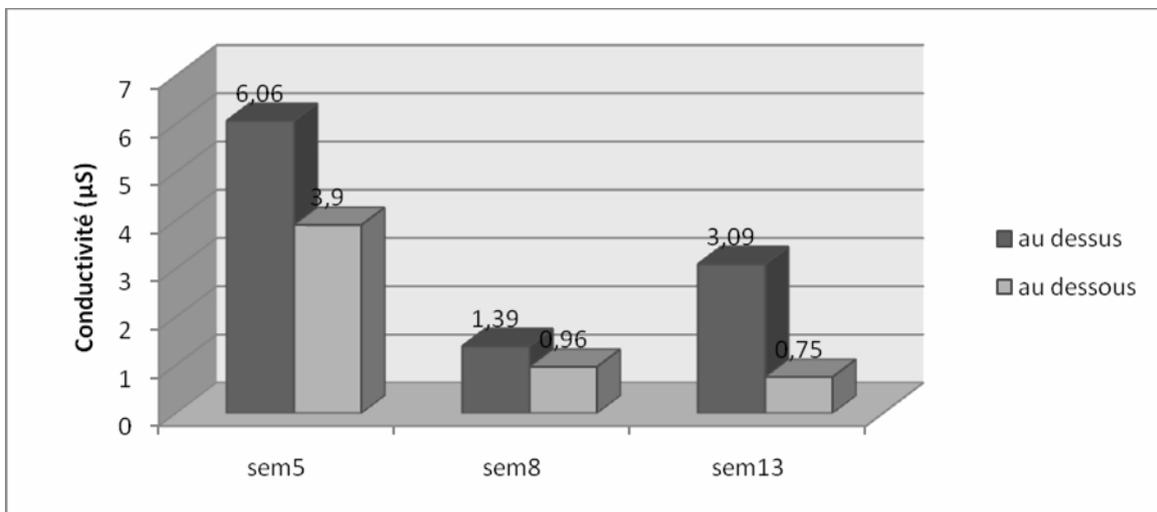


Fig. IV.8 Evolution temporelle de la conductivité superficielle moyenne de l'isolateur 03

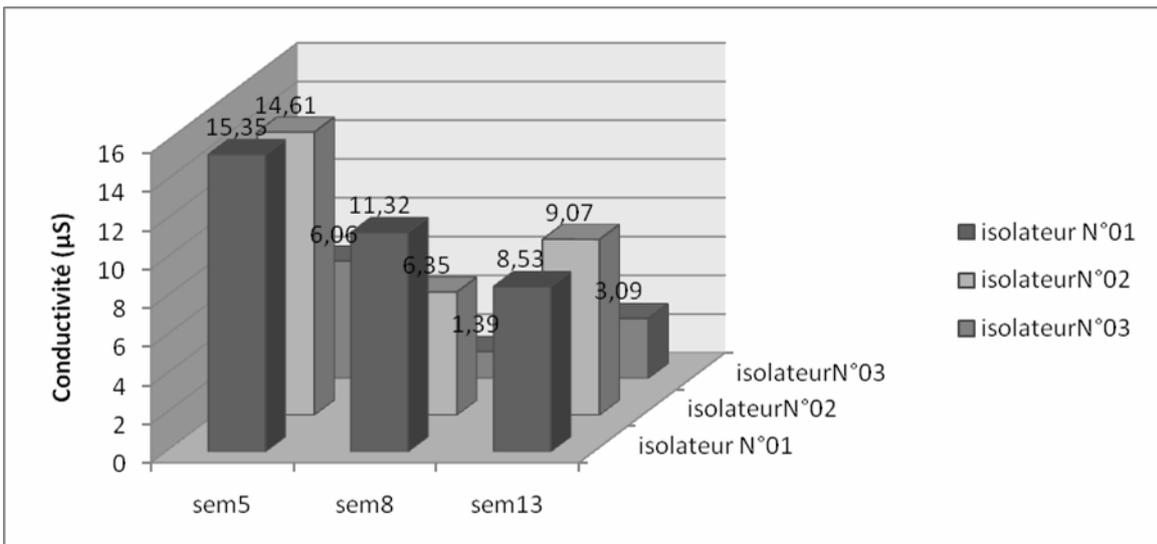


Fig. IV.9 Evolution temporelle de la conductivité superficielle moyenne au dessus des trois isolateurs

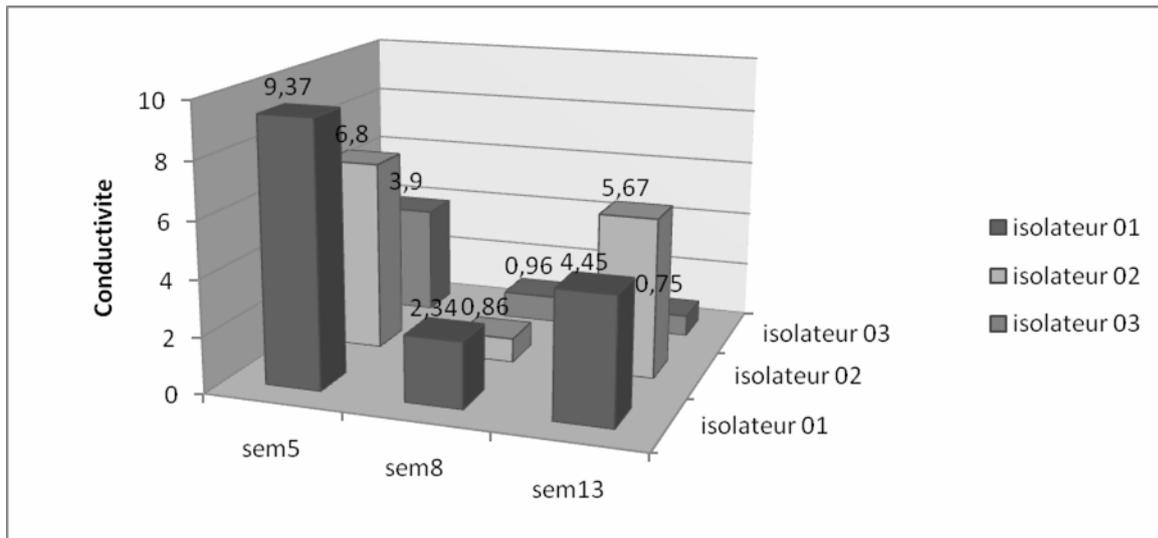


Fig. IV.10 Evolution temporelle de la conductivité superficielle moyenne au dessous des trois isolateurs

➤ **Interprétation des résultats obtenus**

Il en résulte que la conductivité moyenne de la pollution varie en fonction du temps, des facteurs climatiques, et d'autres paramètres comme la forme de l'isolateur. L'évolution temporelle de ces courbes met en relief la présence d'un pic de valeurs de la conductivité superficielle quel que soit le collecteur considéré.

Leurs intensités maximales correspondantes sont égales à

- * 15.35 μ S au dessus de l'ailette de l'isolateur rigide à tige
- * 14.61 μ S au dessus de l'ailette de l'isolateur support
- * 6.06 μ S au dessus de l'ailette de l'isolateur poupée de transformateur
- * 9.37 μ S au dessous de l'ailette de l'isolateur rigide à tige
- * 6.8 μ S au dessous de l'ailette de l'isolateur support
- * 3.9 μ S au dessous de l'ailette de la poupée de transformateur

L'évolution en dents scie de la conductivité superficielle des isolateurs en fonction du temps peut être expliquée essentiellement par l'action simultanée d'une pluie et d'un vent forts ou très forts pour le minimums, d'une pluie très fine et d'un vent faible pour les valeurs maximales de la conductivité de la pollution.

Selon le tableau III-1, les résultats de mesure de la conductivité superficielle moyenne de la pollution permettent, selon le type d'isolateur de classer la région de TIGZIRT comme :

*site à pollution moyenne pour l'isolateur rigide à tige.

*site à pollution moyenne pour l'isolateur support.

*site à pollution léger pour l'isolateur poupée de transformateur

IV-4.3 Mesure de la sévérité de la pollution par la méthode de la DDSE

Les différents types d'isolateurs pollués, prélevés sont lavés selon un processus bien défini. Une quantité connue (250ml) d'eau distillée est mesurée à l'aide d'une éprouvette au moyen du coton imbibée de cette eau, la surface exposée à la pollution de chaque type d'isolateurs est lavée plusieurs fois. Le processus de lavage est répété de telle sorte à ce que le dépôt soit totalement arraché de la surface polluée de l'isolateur réel.



Fig. IV.11 Procédé de lavage de la surface d'isolateur

Les solutions obtenues sont récupérées dans des flacons en plastiques et traitées au laboratoire d'électrotechnique de l'université de BEJAIA.

Pour chaque type d'isolateur on aura une solution, on mesure la conductivité volumique en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et cela pour différentes périodes d'exposition.

La valeur de la conductivité à 20°C est donnée par la formule (II-4). La salinité est déterminée par la relation (II-6) ; la densité du dépôt de sel équivalent est donnée par la formule (II-7).

Les résultats de mesure et de calculs sont réunis dans la Tableau IV-3

Site : Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT (2009)												
Periode (Semaines)	Température de la solution (°C)			Conductivité σ_{20} ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			Salinité (kg/m^3)			DDSE (mg/cm^2)		
	N°1	N°2	N°3	N°1	N°2	N°3	N°1	N°2	N°3	N°1	N°2	N°3
14.05/18.06.09(5 sem.)	33,3	34	33,8	184	136,9	85,5	0,098	0,072	0,044	0,021	0,010	0,013
19.03/14.05.09(8 sem.)	27,3	27,2	26,7	81,2	110,8	90	0,042	0,058	0,047	0,009	0,008	0,014
19.03/18.06.09(13 sem.)	33	33,4	33,8	94,3	265	45,6	0,049	0,138	0,023	0,012	0,020	0,007

Tableau IV-3 Valeurs de la DDSE des isolateurs réels

A partir de ces résultats, nous pouvons tracer l'historique de la DDSE en fonction du temps

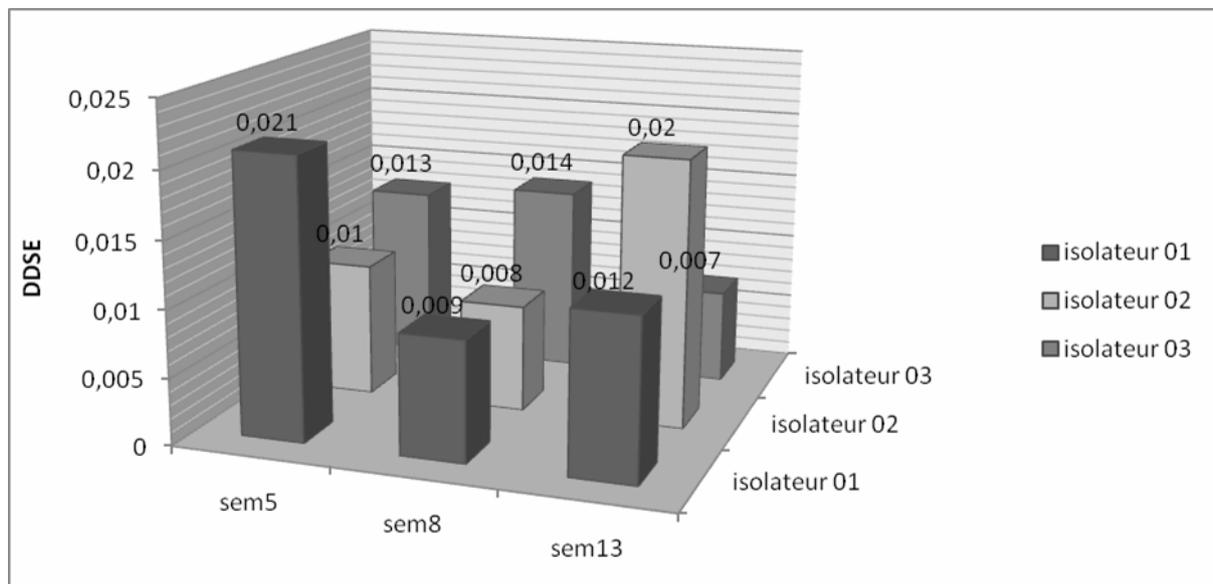


Fig. IV.12 Evolution temporelle de la DDSE des trois isolateurs

➤ **interprétation des résultats obtenus**

De façon similaire, l'historique dressé de la DDSE en fonction du temps d'exposition des collecteurs de pollution met en évidence l'existence d'un maximum, dont la valeur, pour chaque type d'isolateur, est donnée comme suit :

Pour l'isolateur rigide à tige la valeur maximale de la DDSE est 0.021 (mg/cm^2)

Pour l'isolateur support la valeur maximale de la DDSE est 0.02 (mg/cm²)

Pour la poupée de transformateur la valeur maximale de la DDSE est 0.014 (mg/cm²)

De même, l'évolution en dents de scie de la DDSE en fonction de temps peut être expliquée essentiellement par l'action simultanée d'une pluie et d'un vent forts ou très forts pour les minimum, d'une pluie très fine et d'un vent modéré pour les valeurs maximales de la DDSE. Il résulte des tableaux IV-3 et III-1 que les résultats obtenus sur la DDSE des différents types d'isolateurs permettent de classer le site comme étant un site à pollution très légère.

IV-5 DIMENSIONNEMENT

IV-5.1 INTRODUCTION

Les isolateurs de ligne sont dimensionnés assez différent des diélectriques dans les machines électriques ou les transformateurs. On choisira la forme des isolateurs et la longueur de l'isolateur principalement selon sa capacité à éviter le phénomène de contournement.

L'ensemble des incertitudes attachées aux propriétés mécaniques et électriques des isolateurs, au dimensions géométriques, pour définir une dimensionnement d'isolation, ou un indice de fiabilité que l'on pourra comparer à différents modèles de conception. Il est ainsi possible d'introduire des éléments économiques et d'optimiser une réalisation en fonction de critère de sureté admissible.

IV-5.2 SOLUTIONS AU PROBLEME DE CONTOURNEMENT

Le dimensionnement des isolateurs de ligne doit se faire en vue de maximiser la période de temps entre deux phénomènes de contournement. On agira sur les trois paramètres suivants :

- le matériau de l'isolateur ;
- La forme de l'isolateur ;
- La longueur de la chaîne d'isolateur.



Matériaux

Le choix du matériau d'un isolateur se fait principalement en fonction de sa capacité à éviter que les particules aériennes ne se fixent sur sa surface.

Les concepteurs choisiront ainsi les matériaux les plus lisses possibles, c'est-à-dire ceux qui présentent des porosités les plus petites possibles à leur surface.

De même, on choisira des matériaux qui possèdent des résistances électriques les plus élevées possibles.

La porcelaine est utilisée depuis plus d'un siècle dans ce domaine, car elle offre des surfaces très lisses, avec peu de porosités et une grande constance de ses propriétés sur de longues périodes de temps.

Cependant, depuis quelques années, le développement des polymères a rendu possible l'utilisation de matériaux à base de polymères présentant d'excellentes performances en terme de courant de fuite et de tension contournement.



Forme et longueur de la chaîne d'isolateur

La forme des disques des chaînes d'isolateur est choisie de manière à éviter l'infiltration de particules dans la partie intérieure du disque. C'est pourquoi on trouve des profils comme celui illustré à la figure IV.13, où la partie supérieure est très lisse, évitant ainsi la fixation des particules par gravité, et où la partie inférieure est remplie de cavités circulaires, empêchant les vents de faire circuler l'air à l'intérieur de ces cavités.

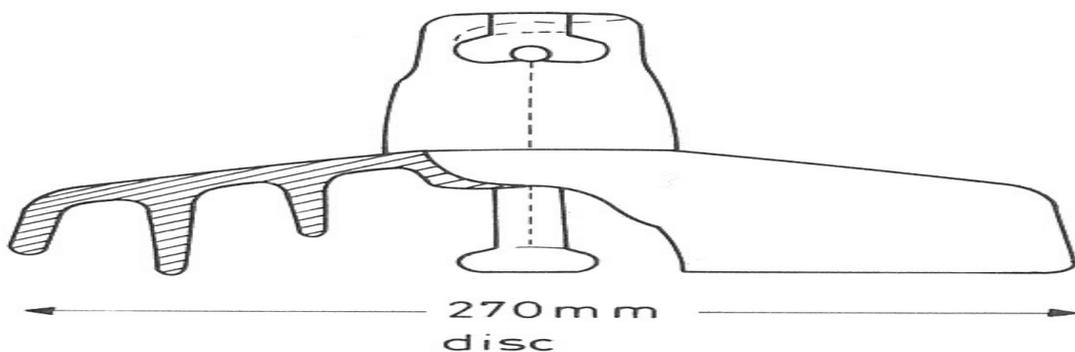
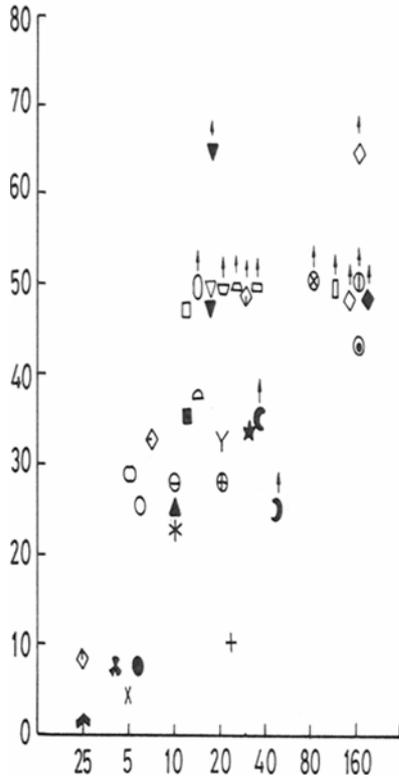


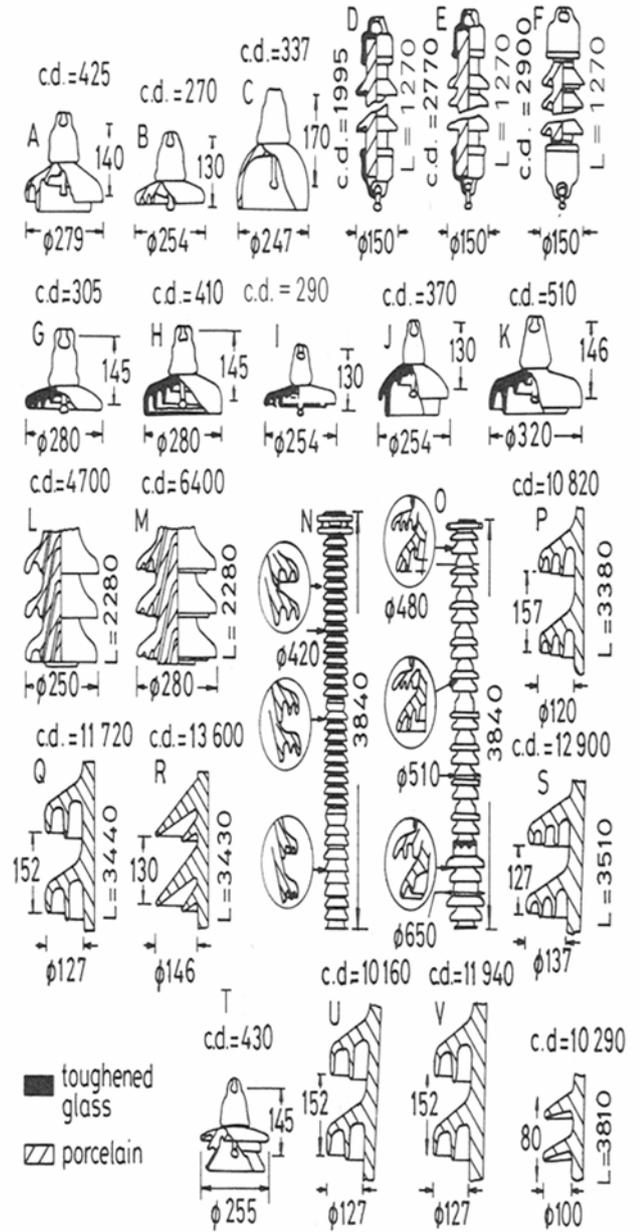
Fig. IV-13

La figure IV.14 résume les essais effectués sur différents types d'isolateurs à différentes tensions et dans différentes conditions de salinité.



ins type	no. of units	configur(1)	test voltage (kV)	Brighton	Martiques	S. Caterina
A	3 v	84				
A	5 v	84				
A	7 v	84				
A	9 v	84				
B	10 v	84				
C	8 v	84				
D	1 v	84				
E	1 v	84				
F	1 v	84				
G	7 v	84				
G	9 v	84				
H	7 v	84				
H	9 v	84				
I	14 v	120				
J	14 v	120				
K	11 v	120				
L	1 v	120				
M	1 v	120				
N	3 v	240				
O	3 v	240				
P	1 v	240				
Q	1 v	240				
R	1 v	240				
S	1 v	240				
T	8 i	84				
T	8 h	84				
U	1 v	240				
V	1 v	240				
W	1 v	240				

(1)
v = vertical
i = inclined
h = horizontal



Le tableau IV.4 permet de déterminer le type d'isolateur et la longueur de la chaîne d'isolateur. On détermine les conditions de salinité ambiantes selon le tableau suivant :

Distance des plans d'eau et conditions de pollution	Salinité de l'air (kg/m ³)
Plus de 16 km de la cote. Pas d'autres sources de pollution	40
8 à 16 km de la cote. Autres conditions de pollution faibles.	56
3 à 8 kms de la cote. Autres conditions de pollution modérées.	80
1,6 à 3 km de la cote. 0 à 800 m de lacs salés ou de fleuves salés. Autres conditions de pollutions lourdes.	120
Moins de 1,6 km de la cote. Autres conditions de pollution extrêmes.	180 et plus

Tableau IV.4 la longueur de la chaîne d'isolateur en fonction de la salinité.

IV-5.3 CRITERE DE BASE DE DIMENSIONNEMENT D'UN ISOLATEUR

La rigidité diélectrique du milieu ambiant (air ou gaz) étant en général beaucoup plus élevé (10 à 100 fois) que la tenue diélectrique d'une interface solide/gaz, il est nécessaire d'assurer :

$$L_f \gg L_c \quad L_f : \text{Ligne de fuite}$$

$$L_c : \text{Ligne de contournement}$$

IV-5.4 Critères de dimensionnements d'isolateur étudier (rigide à tige)

Le critère de dimensionnement d'isolateur repose sur la notion de ligne de fuite spécifique qui est définie comme étant la longueur de fuite en mm par kilovolts de tension la plus élevée entre phases. Toutefois, pour que ce concept soit applicable il faut tenir compte de certains paramètres dimensionnels qui caractérisent l'isolateur tels que le diamètre. En effet, le diamètre d'un isolateur a une influence sur sa tenue au contournement.

Afin de dimensionner la ligne de fuite correspondant à un niveau de pollution déterminé, on la majore par un facteur K_D . Le tableau IV.5 donne quelques valeurs du facteur de majoration en fonction du diamètre.

Diamètre moyen (mm)	Facteur de majoration
< 300	1
De 300 à 500	1,1
> 500	1,2

Tableau IV.5 facteur de majoration en fonction du diamètre moyen selon la CEI.

➤ **Détermination de la ligne de fuite**

En utilisant le tableau IV.6, il est possible de déterminer la ligne de fuite minimale nominale à utiliser pour une pollution particulière. D'après la formule suivante faisant intervenir la ligne de fuite spécifique minimale et la tension entre phases :

$$L_{f_{min}}^{nom} = L_{f_{min}}^{spé} \cdot V \sqrt{3} K_D$$

Niveau de pollution	lignes de fuite spécifique (cm/kV efficace)
niveau I	2,7
niveau II	3,5
niveau III	4,3
niveau IV	5,4

Tableau IV.6 ligne de fuite spécifique minimale en fonction du niveau de pollution selon la CEI

Application numérique

-Le site est traversé par une ligne moyenne tension (30kV)

- la ligne de fuite spécifique (L_{fs}) correspondante et de (3,5 cm/ kV_{eff}).

-Caractéristique de l'isolateur étudié :

Isolant en céramique (trois cloches), figure suivante (IV. 15)

Diamètre moyen=248mm

Pas moyen=189mm

- $L_{f_{min}}^{nom} = L_{f_{min}}^{spé} \cdot V \cdot \sqrt{3} \cdot K_D$

$$\Rightarrow L_{f_{min}}^{nom} = 3,5 \cdot \frac{30}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} .$$

$$L_{f_{min}}^{nom} = 148,49 \text{ cm}$$

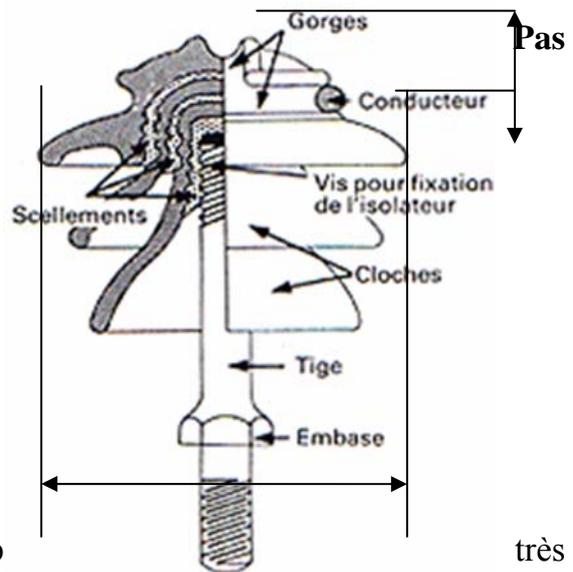
- $1 kV_{eff} \rightarrow 3,5 \text{ cm}$

$$\frac{30}{\sqrt{3}} \rightarrow L_F$$

$L_F = 60,62 \text{ cm}$ longueur de la ligne de fuite

On remarque que $L_{f_{min}}^{nom} > L_F$ d'où on p

insuffisante et pour cela il faut prévoir le remplacer par un autre qui conforme aux normes précédente.



très

IV.6 CONCLUSION

Les résultats de notre étude ont permis de classer notre site selon son degré de pollution, nous avons constaté une divergence dans les résultats obtenus entre les deux méthodes de mesures (sonde mobile et DDSE). Cette divergence peut être expliquée par le fait que la méthode de la DDSE nous donne uniquement la valeur de la conductivité volumique équivalente de toute la surface du collecteur, par contre la sonde mobile nous donne la valeur de la conductivité superficielle en plusieurs points de la surface des collecteurs de pollution. Ce qui permet la mise en évidence du mode de distribution de la pollution sur la surface des isolateurs. En face à ces résultats le

dimensionnement et l'optimisation de l'isolateur devient donc un point très important en vue de réduire les pertes occasionnées par le contournement.

CONCLUSION GENERALE

La distribution non uniforme de la pollution est plus représentative de l'état des isolateurs électrique en service. Notre étude a mis en évidence le non uniformité de la pollution le long de la périphérie et sur la ligne de fuite de l'isolateur. Elle est accentuée entre les surfaces supérieures et inférieures des éléments d'une chaîne. Cette distribution est due aux différentes manifestations climatiques qui ont pour conséquences, soit le nettoyage des isolateurs (vent ,pluie forte), soit l'accumulation de la pollution et par conséquent l'accroissement de la conductivité superficielle des couches polluantes après leur humidification (brouillard ,bruine, rosée, pluie fine), soit la variation de l'humidité relative de l'air, les directions du vent et les obstacles leur faisant écran (vent latérale surtout la direction nord-sud qui soumet les sites simultanément à la pollution marine et industrielle).

A l'issu de cette étude expérimentale nous pouvons retenir les conclusions suivantes :

L'étude en fonction des facteurs climatiques, de l'évolution temporelle du degré de pollution du site étudiier TIGZIRT et du mode de distribution de celui- ci sur la surface des capteurs de pollution utilisés (isolateurs) a été réalisée à l'aide de deux méthodes différentes (DDSE et la sonde mobile).

Les résultats obtenues par la méthode de la DDSE ont permis de classer TIGZIRT comme étant un site à pollution très léger par contre les résultats de la conductivité superficielle moyenne de la pollution du même site obtenue durant des périodes identiques ont abouti à un autre classement à savoir que ce dernier est classé comme étant un site à pollution moyenne.

La différence observée entre les résultats des deux méthodes peut être expliquée par le fait que la méthode de la DDSE donne des valeurs très faibles de la conductivité volumique de la surface globale contaminée, du fait que le temps au delà duquel la mesure de la DDSE doit être déterminée est insuffisant pour permettre aux composés difficilement solubles d'être dissous dans la solution. Par contre la sonde mobile délivre instantanément et rapidement des renseignements très fiables au sujet du mode de distribution de la pollution sur les surfaces des isolateurs.

Nous avons terminé notre travail par la mise en évidence de la non uniformité de la répartition de la pollution sur la surface des collecteurs et aussi par le dimensionnement crédible de l'isolateur étudié en tenant compte du niveau de pollution et les paramètres qui les caractérisent.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Document internet, «univ-sba.dz/fsi/downloads/ELT437-chapitre_6.pdf».
- [2] M.NEMAMCHA, polycopie de cours, «Claquage des isolants haute tension»,2001.
- [3] X.DUCOURET, «Lignes aériennes : matériels», Technique de l'ingénieur, D4423.
- [4] Philippe ROBERT, «Matériaux de l'électrotechnique» édition Georgie1979.
- [5] K.BOUKHARI, S.OUANOUGHI, «Etude de l'influence de la nature de la tension sur le contournement des isolateurs pollués artificiellement », mémoire de fin d'étude d'ingénieur, Université A/Mira de Bejaia, 1998.
- [6] S.DJAFRI, «Pollution des isolateurs », Mémoire d'ingénieur, promotion 1982, ENP Alger.
- [7] M.A.B.ELKASAIRG, E.E.I.SHARAINI,.M.M.AWAD,H.E.M.ZOROURA,M. KHALIFA,A.NOSSIER, «Performance des chaînes d'isolateurs haute tension soumises à la pollution désertique»,CIGRE, rapport ,33-05,1970.
- [8] Brigitte FALLOU, «Technique de l'ingénieur »D214.
- [9] Document internet, «<http://www.hydro.quebec.com>» type d'isolateurs.
- [10] A.MEKHALDI, «Etude des performances de conduction et de décharge électrique sur les surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz » Thèse de doctorat d'état, 1999, ENP Alger.
- [11] F.ZEDAM, A.BOUCHOUCHA, «Etude comparative de la distribution du potentiel électrique dans l'isolateur chaîne par voie numérique et expérimentale»Mémoire d'ingénieur, promotion 2001, université FERHAT ABBAS-SETIF.
- [12] F.AMIR, KH.NAMAOUI, «Etude du comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative », mémoire d'ingénieur U .de Bejaia, juin 2004.
- [13] TECHNIQUE DE L'INGENIEUR, «1S, D4, partie I».
- [14] Z.SAHLI, «étude de la non uniformité de la pollution sur les caractéristiques de contournement des isolateurs réels pollués sous tension continue », mémoire de magistère, promotion 2003,U.A/MIRA DE BEJAIA.
- [15] P.CLAVERIE, Y.PORCHERON, « Les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en région polluées», R.G.E n°3, mars 1973.
- [16] C.HURAUX, A.M.RAHAL, «Le contournement des isolateurs haute tension approché à l'aide d'un model de laboratoire», RGE, tome 84, N°6, P.425-429, juin 1975.
- [17] G.BADJADJ, F.HAMADOU, «Mesure de la sévérité de la pollution d'un site par la sonde mobile».Mémoire de fin d'étude de l'ingénieur, université A/MIRA Bejaia.
- [18] L.KIMOTO, K.KITO ET T.TAKATORI, «Anti pollution design criteria for line and station insulators», IEEE trans. on power apparatus and systems, 1972, vol.pas-91, N° 1pp.317-327.
- [19] A.STALEWSKI, « Automatic pollution Detector and washing System for Insulators », CEGB Disclose Bulletin n°122, 1969.

- [20] **H.AUXE, W. WEISS**, «Measuring equipment for determining the Risk of local pollution layers on HV Insulators »,Siemens Review XLII(1975),n°1.
- [21] **F.AMIDI, K.OUERDANE**, «Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV régions littorales». Mémoire d'ingénieur, USTHB, 1998.
- [22] **D.BARKA, H.ISKOUNENE**, «Détermination de degré de pollution d'un site ».Mémoire d'ingénieur, U.A/MIRA de Bejaia.
- [23] **GROUP D'ACTION 33-44-03**, «Dispositif de surveillance des isolateurs soumis à la pollution », Electra, n°152, février 1994.
- [24] **M.KHALIFA**, «A new monitor of pollution on power line insulators, part1: Design Construction and Preliminary Tests»,IEE Proceedings, vol.133, pt.c, n°2, march1986.
- [25] **D.DUMORA, R.PARRAUD**, «Solution apportées aux problèmes de pollution par différents isolateurs en verre trempé et isolateurs composite»,428RP99/BC/MSE DIVER-79, Avenue François Arago-92017 NANTERRE Cedex France.
- [26] **S.AITOUAKLI, Y.CHIBOUTI**, «Évaluation du degré de pollution atmosphérique d'un site »,25.intern. wiss. koll. Fair. elektrische isoliertechnik, TH IL menau 1984.
- [27] **GROUPE 33.04**, «Mesure de la sévérité de pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs pour le réseaux à courant alternatif». Electra, n°64, pp.101-106, paris 1979.
- [28] **ROBERT DE FOREGES DE PARNY, Jeane -pierre LEVEQUE**, «Lignes aériennes : entretien», technique de l'ingénieur D4430.
- [29] **O. KELNAR, L. KOCISE, V. SKLENCKA**, «Hot Line Insulator Washing Appendix2: Measure Device for Measurement of the conductivity of the sediments», Report n°16032050261, EGU PRAGUE, Czechoslovakia.
- [30] **George Le Roy, Claude Gary, Bernard hutzler, jaques lalot, Christian Daubenton**, «Les propriétés diélectriques de l'air et les très haute tensions », édition EYROLLES, 1984.
- [31] **P.J.LAMBETH, A.STALEWSKI**, «Review of Methods of Measuring Site Pollution Severity from the point if view insulator Flashover ». IEE Conf. Publication n°94, pt.1, 1973, pp. 132-145.

ANNEXE

ANNEXE I, Tableau I : Etude de la répartition de la pollution sur des isolateurs réels contaminés naturellement

Site : Service Technique de SONELGAZ de TIGZIRT

N° et type d'isolateur



-N°01
- isolateur rigide à tige



-N° 02
-isolateur support



-N° 03
-poupée de transformateur

➤ Isolateur N° 01

14.05.2009/18.06.2009(semaine5)

Au dessus d'ailette	16.1	15.3	15.75	13.5	17.15	14.25	16.30	14.20	14.98	15.30	16.1
Au dessous d'ailette	8.15	11.2	7.30	9.25	8.02	10	10.58	11.01	9.75	8.87	9.01

19.03.2009/14.05.2009(semaine8)

Au dessus d'ailette	12.02	11.75	10.25	12.45	15.22	14.11	10.14	9.89	12.13	6.84	9.81
Au dessous d'ailette	3.48	3.02	2.02	1.15	3.13	1.95	0.99	3.18	2.83	1.58	2.50

19.03.2009/18.06.2009(semaine13)

Au dessus d'ailette	9.2	8.7	9.1	6.3	6.22	11.02	9.3	6.90	7.13	10.1	9.90
Au dessous d'ailette	4.5	6.2	7.3	4.2	3.2	2.1	2.5	2.28	4.52	6.20	5.95

➤ Isolateur N° 02

14.05.2009/18.06.2009(semaine5)

Au dessus d'ailette	14	9	11	20	12	15.5	16.02	13	18	17.5	14.75
Au dessous d'ailette	6.2	4.13	5.10	8	9	7.5	4.85	5.35	6.80	8.30	9.5

19.03.2009/14.05.2009(semaine8)

Au dessus d'ailette	9.01	8.10	8.9	6.15	5.07	4.5	6.08	5.09	8.10	7.01	3.90
---------------------	------	------	-----	------	------	-----	------	------	------	------	------

Au dessus d'ailette	0.9	1.02	0.80	0.71	1	0.85	0.92	0.78	0.7	0.89	0.97
---------------------	-----	------	------	------	---	------	------	------	-----	------	------

19.03.2009/18.06.2009(semaine13)

Au dessus d'ailette	6.8	7.15	8.31	6.7	9.17	11.2	10.2	11.17	12	9.20	9.75
Au dessous d'ailette	4.3	3.8	5.1	7	6.2	6.5	6.8	5.35	4.95	5.75	6.85

➤ **Isolateur N° 03**

14.05.2009/18.06.2009(semaine5)

Au dessus d'ailette	4.2	5.8	5.7	6.15	7	7.01	6.12	6.15	8.12	6.25	4.2
Au dessous d'ailette	2.1	3.02	4	3.88	4.2	5	4.12	3.25	4.75	3.5	5.10

19.03.2009/14.05.2009(semaine8)

Au dessus d'ailette	0.9	1.2	1.3	2.1	2.08	1.15	1.9	1.5	1.4	0.8	1.01
Au dessous d'ailette	0.6	1.08	0.8	0.95	1.05	0.75	1	0.85	0.87	0.92	0.98

19.03.2009/18.06.2009(semaine13)

Au dessus d'ailette	1.82	2.10	3	4.5	4.3	2.02	3.14	3.12	4.02	3.87	2.09
Au dessous d'ailette	0.62	0.51	0.7	0.82	0.89	0.92	0.71	0.68	0.88	0.6	1

ANNEXE II, Tableau II : Facteurs climatiques de la région de Tizirt (2009)

Date \ Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
01				Pf		
02				PF		VM
03				PF	VM	PF
04					Pf	PF
05					Pf	Pf
06				PF	VM	VM
07				VM		
08				Pf		
09				Pf		
10				VM		
11				Pf	VM	VM
12				Pf	Pf	Pf
13				PF	PF	VM
14					PF	
15						
16				VM		
17						
18				Pf	VM	
19				Pf	VM	
20				VM		
21			VM	Pf		
22			PF			
23					VM	
24			Pf	VM		
25				VM		
26				Pf		
27				Pf	VM	
28			Pf		VM	
29			Pf		VM	
30			VM			
31			Pf			

Légende : **PF** : Pluie Forte **Pf** : Pluie fine **VM** : Vent Moyen