

12/99

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

Ecole Nationale Polytechnique  
DER de Génie Electrique et informatique

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en  
Electrotechnique.

Thème

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Visualisation et Traitement de signal  
du Courant de Fuite  
sur une Surface Isolante Polluée.

Etudié par :  
M<sup>r</sup> Lacheheb Arrabiy

Dirigé par :  
M<sup>r</sup> M. Tegar  
M<sup>r</sup> A. Mekhaldi

Jury :  
Président : M<sup>r</sup> A. Boubakeur.  
Examinatrice : M<sup>me</sup> D. Namane.

Promotion 1999.

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique  
DER de Génie Electrique et informatique

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en  
Electrotechnique.

Thème

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Visualisation et Traitement de signal  
du Courant de Fuite  
sur une Surface Isolante Polluée.

Etudié par :  
M<sup>f</sup> Lacheheb Arrabiy

Dirigé par :  
M<sup>f</sup> M. Tegar  
M<sup>f</sup> A. Mekhaldi

Jury :  
Président : M<sup>f</sup> A. Boubakeur.  
Examinatrice : M<sup>m</sup> D. Namane.

Promotion 1999.

# Dédicaces

*Ce mémoire est dédié :*

*À la mémoire des mes grands-pères*

*À ma très chère grand-mère*

*À mes parents.*

*À mes frères et sœurs.*

*À la famille de mon oncle Kamel.*

*À mes oncles et tantes.*

*À toute la famille.*

*À tous ceux qui me sont chers.*

*L. Arrabiy.*

# remerciments



*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes reconnaissances à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce présent mémoire.*

*Elles vont tout d'abord à mes deux promoteurs M. M. Teguier et M. A. Mekbaldi pour leur apport scientifique, leur dévouement et leur disponibilité sans faille.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également à M. A. Boubakeur, pour l'honneur qu'il me fait de bien vouloir présider le jury, ainsi qu'à M<sup>me</sup> Namane pour avoir accepté d'être membre du jury et mettre ainsi en valeur notre travail.*

*Je ne remercie jamais assez mon ami Adel Abimiloud pour ses précieux conseils et son aide pour la réalisation de tous les essais effectués au laboratoire de haute tension de l'ENP.*

*Je n'exclue pas de ces remerciements toutes les personnes qui ont contribué à ma formation dans l'Ecole National Polytechnique.*

*Enfin, je finirai pas sons exprimer mes remerciements à tous mes collègues de la promotion Electrotechnique 1999.*

# Sommaire

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale..... 01

## Chapitre 1 : Pollution des isolateurs

Introduction ..... 03

1. Phénomène de pollution..... 03

1-1. Formation et répartition de l'agent polluant..... 03

1-2. Différents sources de pollution..... 04

1-2.1. Pollution naturelle..... 04

1-2-1. Pollution industrielle..... 04

1-2-3. Pollution domestique..... 04

2. Comportement des isolateurs sous pollution..... 04

3. Procédure d'essais sous pollution..... 06

3-1. Essais sous pollution naturelle..... 06

3-2. Essais sous pollution artificielle..... 06

4. Degré de pollution..... 07

5. Technique de lutte contre la pollution..... 09

6. Conclusion..... 09

## Chapitre 2 : Courant de fuite

Introduction..... 11

1. Généralités..... 11

2. Caractéristiques du courant de fuite..... 11

3. Corrélation courant de fuite-tension de contournement..... 12

4. Investigations antérieures sur le courant de fuite..... 13

5. Application des mesures du courant de fuite..... 16

5-1.	<i>Mesure de la sévérité d'un site</i> .....	16
5-2.	<i>Dimensionnement des isolateurs</i> .....	18
5-3.	<i>Surveillance de degré de pollution</i> .....	18
6.	<b>Conclusion</b> .....	18

### Chapitre 3 : Traitement numérique du courant de fuite

<b>Introduction</b>	.....	19
1.	<b>Caractéristiques de l'interface</b> .....	19
2.	<b>Fondement théorique</b> .....	20
2-1.	<i>Echantillonnage</i> .....	20
2-2.	<i>Détermination de spectre fréquentielle</i> .....	20
2-3.	<i>Filtrage numérique</i> .....	20
2-4.	<i>Calcul de déphasage</i> .....	21
3.	<b>Programme</b> .....	21
4.	<b>Application</b> .....	23
5.	<b>Conclusion</b> .....	27

### Chapitre 4 : Etude expérimentale

<b>Introduction</b>	.....	28
1.	<b>Dispositif expérimental</b> .....	28
1-1.	<i>Description de l'équipements de laboratoire</i> .....	28
1-2.	<i>Modèle expérimental</i> .....	28
1-3.	<i>Circuit de mesure</i> .....	29
2.	<b>Mode opératoire</b> .....	31
2-1.	<i>Préparation de l'agent polluant</i> .....	31
2-2.	<i>Préparation du modèle</i> .....	32
2-3.	<i>Procédure d'essais</i> .....	32
3.	<b>Essais préliminaires</b> .....	33
3-1.	<i>Tension de contournement</i> .....	33
3-2.	<i>Essais sur la plaque propre</i> .....	34
4.	<b>Interprétation des résultats</b> .....	37
5.	<b>Conclusion</b> .....	43

Conclusion générale.....	44
Bibliographie.....	45
Annexe 1.....	48
Annexe 2.....	53

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Introduction générale

## Introduction générale :

Comme on ne peut stocker l'électricité, celle-ci doit être produite en réponse à une demande immédiate, laquelle varie constamment en fonction de la journée, la saison et la région [1]. C'est le réseau de transport massif sur des longues distances, qui fait office d'interface entre la production et la demande en électricité.

L'énergie électrique est acheminée hors des sites de production au moyen de lignes électriques à haute tension. Les lignes des réseaux haute tension se composent, en général, de câbles de cuivre, d'aluminium ou d'acier enrobés de cuivre ou d'aluminium, suspendus à des pylônes hauts tours à structure d'acier, par des chaînes d'isolateurs [1].

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 deux corps portés à des potentiels différents (pylône relié généralement à la terre et conducteur) [2].

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux deux types des contraintes [2].

- Contraintes électriques : niveau de tension porté, surtension de manœuvre,... etc.
- Contraintes induites par l'environnement : vent et surcharge de givre sur les conducteurs des lignes, pluie, pollution,... etc.

Dans certaines situations, l'importance stratégique d'isolation, impose une très grande fiabilité dans le dimensionnement des isolateurs.

La pollution des isolateurs est un paramètre essentiel dans la conception des lignes électriques à haute tension [3]. Ce problème demeure, en dépit de plusieurs années de recherches et d'investigation, un sujet d'actualité. L'aspect aléatoire, la spécification du climat et la particularité de l'environnement dans chaque site font que les paramètres caractérisant la pollution ne répondant pas à une règle générale bien établie.

Plusieurs recherches [3-26] sont entreprises dans l'étude de phénomène de pollution d'isolateurs. Les travaux peuvent être effectués dans les conditions naturelles de pollution (essais in situ) ou sous pollution artificielle (essais au laboratoire) [2].

Cependant, les grandes difficultés rencontrées lors des essais au laboratoire ont conduit au développement de nombreuses méthodes d'essais, chacune spécifiant ses propres paramètres de pollution. De plus, aucune de ces méthodes n'est

comparable et aucune d'elles ne peut représenter la pollution naturelle. A cause de ces difficultés, les résultats d'essais par n'importe quelle méthode de laboratoire ne peuvent servir que d'indication approximative de comportement des isolateurs en service [3].

L'application des mesures du courant de fuite, qui circule à travers la couche polluante, comble, plus ou moins, la lacune entre l'évaluation des résultats des essais artificiels et le comportement des isolateurs dans les conditions de service.

Le principal but de notre projet est de visualiser et d'étudier la nature du courant de fuite sur un modèle simple de laboratoire, soumis à une pollution discontinue.

Dans le premier chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique, non approfondie, des quelques notions fondamentales concernant les phénomènes de pollution et le contournement par pollution.

Dans le deuxième chapitre, nous examinons les différentes investigations sur le courant de fuite, ainsi que l'application de mesures du courant de fuite dans : le dimensionnement, le contrôle des isolateurs et la détermination de la sévérité d'un site.

Le troisième chapitre sera consacré à l'élaboration d'un programme pour traiter les caractéristiques de l'onde courant de fuite enregistrée numériquement pendant des essais au laboratoire.

Le quatrième chapitre contient les résultats d'essais sous tension alternative à fréquence industrielle de 50 Hz, concernant l'effet de la conductivité du dépôt polluante sur le comportement d'un modèle de laboratoire.

Enfin, une conclusion générale achèvera cette étude.

# Chapitre 1: pollution des isolateurs

## **Chapitre 1 : Pollution des isolateurs**

### **Introduction :**

L'isolateur est un matériau isolant solide, capable de résister au contrainte électrique. Il est caractérisé par une grande impédance au passage du courant électrique. Son rôle est de séparer deux corps conducteurs, soumis à deux potentiels différents [2].

Dans les réseaux de transport de l'énergie électrique, l'isolement pylône-conducteur est rassuré par une chaîne d'isolateurs. Chaque chaîne est caractérisée principalement par sa longueur de fuite (nombre d'éléments). Cette longueur est adéquate au niveau de tension transportée.

Dans les lignes de haute tension, le dimensionnement des isolateurs est déterminé par la surtension de manœuvre [2]. Dans ce cas, la tenue à la tension nominale à 50 Hz des isolateurs propres et secs est excellente. Cependant, en l'absence de surtension de foudre ou de manœuvre, des nombreux défauts sont enregistrés sur les lignes aériennes, (contournement électrique, défaillance d'isolateurs), particulièrement par temps humide (rosée, brouillard, pluie fine,... etc.). Ces défauts sont dus à la pollution des isolateurs.

### **1. Phénomène de pollution :**

La pollution des isolateurs des lignes aériennes, engendre l'interruption de la transmission de l'énergie électrique. Cette pollution est due à l'accumulation des divers dépôts, portés par le vent et déposés sur la surface isolante. Ce qui rend la nature et la sévérité de la pollution variable au cours de temps (accumulation progressive) [2].

#### ***1-1. Formation et répartition de l'agent polluant :***

La disposition des isolateurs dans les lignes forme un obstacle à l'écoulement d'un air transportant de la poussière. Une couche de pollution se développe progressivement sur la surface de ceux-ci. De nombreuses observations ont montré que la répartition de la pollution le long des isolateurs est non- uniforme [3, 4].

La distribution de la pollution dépend de la position de la chaîne (verticale, horizontale ou inclinée ), et du profil de l'isolateur. Généralement, la pollution se concentre sur les éléments de la chaîne situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage [5].

## **1-2. Différentes sources de pollution :**

La nature de la pollution dépend de la situation géographique et climatique. Les divers types de pollution les plus fréquemment observés sur les isolateurs peuvent être regroupés selon leur origine et classés comme suit :

### *1-2-1. Pollution naturelle :*

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel. Cette couche humidifiée par les embruns eux-mêmes devient conductrice, ce qui donne naissance à un courant de fuite et des arcs qui peuvent se développer jusqu'à provoquer le contournement de l'isolateur [5].

Dans les régions désertiques la pollution est très sévère, elle est due surtout aux tempêtes de sable. La densité de sel dans le sable est très élevée. Le rosé matinale est la seule source d'humidification dans les régions désertiques. Cette humidification favorise la conduction sur la surface isolante [3].

Dans les régions agricoles, l'agent polluant peut être pollen, insectes, engrais,... [2].

### *1-2-2. Pollution industrielle :*

Au voisinage des usines, les isolateurs se recouvrent des poussières faiblement conductrices, mais hygroscopique (absorbe l'humidité), à la présence d'une humidité intense. Le sel contenu dans ces poussières abaisse considérablement la résistivité superficielle des isolateurs [2].

### *1-2-3. Pollution domestique :*

Cette pollution est due aux fumées et au gaz échappés des appareils des habitations et les moyens de transport [2].

La nature et les caractéristiques des agents contaminants sont très variés. On note aussi que la pollution est généralement mixte, résulte de la combinaison de plusieurs sources [2, 4-6].

## **2. Comportement des isolateurs sous pollution :**

Le comportement des isolateurs sous pollution est un facteur essentiel, pour la conception et l'exploitation des lignes en zones polluées. Il convient donc de connaître les différents phénomènes de conduction sous pollution.

Lors de la mise en place d'une chaîne d'isolateurs, la longueur de la ligne de fuite de l'ensemble est telle que le champ électrique en chaque point est très

inférieur à la rigidité diélectrique de l'atmosphère ambiante. La conductivité superficielle créée par la couche de pollution, modifiée la répartition de potentiel de la ligne de fuite, selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur, trois cas peuvent se présenter [6].

◆ Arc non localisé : l'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçait à un autre endroit et ainsi de suite. Ces arcs peuvent être dus soit à la formation d'une zone sèche à la suite de passage d'un courant de fuite, comme peuvent être dus à l'état de surface de l'isolateur, (l'existence des pics sur la couche de pollution) [6].

◆ Arc fixe : l'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (source continue), soit en se réamorçant au même endroit (source alternative). L'impédance de dépôt et de la surface propre de l'isolateur est en série avec l'arc, elle limite ainsi le courant de l'arc et sa longueur. Si le courant est trop faible l'arc s'éteindra. Généralement, ce type des arcs entraîne par effet thermique une dégradation de support isolant nécessitant le déplacement de l'élément défaillant [6].

◆ Contournement électrique : Le phénomène de contournement des isolateurs pollués résulte de la combinaison de plusieurs paramètres [2].

- Dépôts d'une couche des matériaux solides (conductrices ou isolantes).
- Humidification de ces dépôts.
- Existence d'une tension appliquée.

Le contournement des isolateurs pollués est accompli par les phases suivantes [2] :

*1<sup>ère</sup> phase* : Un courant de fuite s'écoule à travers l'électrolyte qui recouvre l'isolant, il provoque un échauffement de l'électrolyte, qui a pour effet d'accroître la conductivité du milieu et par suite le courant.

*2<sup>ème</sup> phase* : L'échauffement croissant provoque un assèchement local de la couche polluante.

*3<sup>ème</sup> phase* : la tension se trouve reportée aux « bornes » de la zone sèche et des arcs locaux sont susceptibles de s'amorcer, élargissant la zone sèche.

*4<sup>ème</sup> phase* : A partir de ce stade, l'arc s'allonge longitudinalement jusqu'à atteindre les électrodes et provoque ainsi le contournement.

L'existence de ces phases dépend des nombreux paramètres caractéristiques de l'isolateur pollué : tension appliquée, conductivité de la couche, largeur de la zone sèche, profil de l'isolateur, longueur de fuite,... etc. [2].

### 3. Procédures d'essais sous pollution :

Il est clair que lorsqu'il s'agit de comparer les performances de divers types d'isolateurs afin de sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, l'étude expérimentale constitue le meilleur garant d'un jugement objectif.

En effet, on distingue deux catégories de recherche sur les isolateurs pollués : les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle [2]. Chacune des deux catégories a ses propres caractéristiques.

#### 3-1. Essais sous pollution naturelle :

Ces essais consistent à installer dans différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observait le comportement de certain nombre de chaînes d'isolateurs. Comme la pollution naturelle est un phénomène à évolution lente, l'essai sous pollution naturelle peut prendre jusqu'à deux ou trois ans. La qualité d'isolement des isolateurs placés sous la même tension est déterminée en fonction de temps au contournement.

La diversité de la nature des agents polluants impose ce type d'essais pour étudier, séparément, les principales sources de pollution et leurs impacts sur l'isolement des ouvrages. Cependant, l'inconvénient majeur de ces essais est la durée des expériences qui est relativement longue. C'est pourquoi des méthodes de laboratoire furent proposées et sont actuellement largement utilisées [2].

#### 3-2. Essais sous pollution artificielle :

On a toujours cherché une méthode qui simule le mieux possible les conditions naturelles de pollution. La diversité des contraintes, (type et niveau de tension, nature de pollution, rigueur climatique, etc.) auxquelles sont soumis les isolateurs dans les lignes, conduit à simplifier le problème en cherchant parmi les contraintes celles qui sont les plus sévères, tout en gardant présentes à l'esprit les possibilités offertes par les laboratoires d'essais [2]. En autre terme, il faut répondre aux deux questions fondamentales :

- Quelle contrainte faut-il simuler ?
- Comment peut-on simuler ces contraintes ?

Les méthodes proposées sont relativement nombreuses. Cette variété est due, principalement, à la diversité des types de pollution (marine, désertique, industriel...).

Quoi qu'il soit, ces différentes méthodes d'essais peuvent être classées en trois grandes catégories [2] :

- La méthode de pollution liquide.

- La méthode de la couche solide.
- La méthode de brouillard salin.

Chacune de ces méthodes a ses propres caractéristiques, mais il est clair que l'impédance de la source de tension doit être suffisamment faible pour que le courant de fuite n'engendre pas de distorsion de l'onde de tension [2]. Ceci est particulièrement sensible pour les degrés de pollution élevés pour lesquels le courant de fuite peut atteindre des valeurs importantes.

Pour qu'une méthode artificielle simule d'une façon satisfaisante un réseau électrique sur lequel les isolateurs sont pollués progressivement (simuler la pollution naturelle), il faut appliquer la tension avant que la pollution soit effective [2]. C'est le cas de la méthode de la couche solide et la méthode de brouillard salin. De plus dans ces deux méthodes, la pollution est renouvelée une fois que la tension est appliquée [2].

Par contre, si la pollution est appliquée avant la mise sous tension, comme dans le cas de la méthode de pollution liquide, l'essai ne peut simuler que le cas de la mise sous tension d'un réseau initialement hors tension dont les isolateurs sont pollués [2].

Les trois méthodes font appel au chlorure de sodium pour ajuster la conductivité de la pollution. On peut admettre que ces méthodes simulent de plus, la pollution marine et même la pollution industrielle si celle-ci ne contient que peu de matières insolubles.

Par contre, ces méthodes sont moins représentatives pour simuler la pollution désertique qui est très contraignante dans les pays qui possèdent des lignes dans des régions désertiques (Algérie, Egypte,... etc.).

#### **4. Degré de pollution :**

La pollution d'un site est caractérisée par la résistivité superficielle moyenne de la couche polluante recouvrant l'isolateur exposé dans ce site [7].

Pour définir l'isolement d'un site, la connaissance de degré de pollution est indispensable. Les unités pour décrire et mesurer le degré de pollution par les méthodes d'essais de laboratoire diffèrent de celles employées à l'extérieur, suivant le mode de pollution et d'humidification. Dans tous ces cas-là, on devra adopter le principe d'équivalence afin de trouver la performance relative des isolateurs [8].

Le degré de pollution dans les procédés d'essais des couches solides et semi-conductrices (les essais artificiels), est désigné par la conductivité superficielle (en  $\mu\text{S}$ ).

En utilisant la méthode de brouillard salin, le degré de pollution est exprimé par la salinité de l'eau utilisé en  $\text{Kg/m}^3$ .

En plein air, il est possible de faire correspondre à chaque site, soumis indifféremment à une pollution, une solution saline équivalente et de dresser une échelle de sévérité [7].

Le niveau de la pollution naturelle est généralement déterminé en se basant sur la mesure des paramètres suivants [7] :

- Quantité de tous les dépôts.
- Conductivité des composantes solubles.
- Conductivité superficielle des isolateurs soumis à la pollution.

Les principales méthodes qui ont été proposées pour mesurer le degré de pollution d'un site sont :

◆ Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) :

Le principe de cette méthode, consiste à la détermination de dépôt équivalent, exprimée en milligramme de Na Cl/ Cm<sup>2</sup> de la surface d'un isolateur, dont la conductivité est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau.

Il suffit donc de prélever des échantillons du dépôt polluant et de le dissoudre dans une quantité d'eau donnée. On peut ainsi connaître la DDSE en fonction de la solution obtenue, de la surface de l'isolateur, du volume d'eau et sa température.

◆ Conductance superficielle :

Elle s'exprime par le rapport du courant, à la fréquence industrielle, parcourant l'isolateur à la tension appliquée [9].

◆ Mesure de la pollution de l'air :

Cette méthode est basée sur l'analyse physico-chimique de l'air. Elle permet d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de pollution de site étudié [9].

◆ Mesure optique :

Dans le but de déterminer l'épaisseur de la couche polluante disposée sur la surface de l'isolateur, un dispositif à rayons laser permet à partir de rayon réfléchis (amplitude, décalage de phase, etc.) de calculer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche [9].

◆ Densité de dépôt non soluble (DDNS):

Elle correspond à la quantité de dépôts polluants non solubles présents dans une couche de pollution. Elle s'exprime en mg/cm<sup>2</sup>. La mesure de la DDNS

s'accompagne souvent d'une analyse physico-chimique de la pollution, au terme de laquelle les sources polluantes peuvent être identifiées [5,9].

La mesure de la sévérité de pollution basée sur le courant de fuite sera étudiée en détail dans le chapitre suivant.

Il serait illusoire d'accorder la détermination de la sévérité de pollution d'un site une trop grande précision. Les sites sont regroupés dans des classes de sévérité de pollutions [10]. A chaque classe est associée une salinité équivalente correspondant au cas le plus défavorable pour le niveau de pollution représentatif de la classe [2,6,10].

### **5. Technique de lutte contre la pollution :**

Pour un niveau de pollution donné, une bonne conception des lignes basée sur des mesures de sévérité de pollution permet de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service. Mais un changement dans les données d'un site est toujours possible, c'est-à-dire même un dimensionnement initialement correct peut s'avérer insuffisant dans certaines conditions [10]. Dans ces circonstances, on utilise des techniques comme l'allongement de la ligne de fuite, l'adaptation d'un autre type des isolateurs capable de résister aux contraintes de la pollution [4].

Par contre, certaines zones très localisées sont soumises à un niveau de pollution exceptionnel. Dans ce cas, la simulation de laboratoire n'est pas recherchée, car aucun isolateur de dimensionnement raisonnable n'est en mesure de résister aux contraintes [2]. On préfère, généralement, utiliser d'autres types des techniques de lutte contre la pollution comme le graissage périodique [11], le revêtement silicones [4] et le nettoyage des isolateurs [11].

### **6. Conclusion :**

Les considérations théoriques qui viennent d'être présentées, dans cette brève synthèse bibliographique, sont d'une grande utilité pour étudier les phénomènes de pollutions.

Les principales conclusions que l'on peut tirer de cette synthèse sont :

- La pollution reste un facteur déterminant dans le dimensionnement des isolateurs dans les lignes de haute tension.
- La nature et la sévérité de pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique.
- La connaissance de degré de pollution est une condition indispensable pour dimensionner convenablement les isolateurs extérieurs.

- La meilleure définition de degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente de ce site.
- Les méthodes d'essais sous pollution artificielle permettent d'étudier séparément les paramètres spécifiant le contournement par pollution.

## Chapitre 2: Courant de fuite

## Chapitre 2 : Courant de fuite

### Introduction :

Différentes études sur le comportement des isolateurs pollués ont montré la difficulté rencontrée dans la simulation des paramètres spécifiant le contournement par pollution.

Toutefois, certain nombre de chercheurs ont mis en évidence un paramètre très significatif du comportement des isolateurs soumis à une pollution : le courant de fuite [8,10-14].

Dans ce chapitre nous allons représenter une synthèse bibliographique sur le courant de fuite et les implications de ce courant dans le domaine du dimensionnement et du contrôle des isolateurs soumis à l'effet de pollution.

### 1. Généralités :

En fonction de la tension appliquée (continue ou alternative) et en tenant compte de la conductivité de la couche, c'est-à-dire le degré de la pollution, un courant de fuite de faible amplitude circulant à travers la couche polluante recouvrant la surface de l'isolateur. Son intensité devient considérable lorsque cette couche est humidifiée.

Sous tension alternative, on peut diviser le courant de fuite sur trois niveaux : zone normale, zone d'avertissement et zone de risque. Le point spécifique est  $I_{\max}$ , qui correspond au courant de la demi-période précédant immédiatement le contournement.  $I_{\max}$  est défini comme le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement électrique. Cette valeur est appelée « Courant de fuite critique » [8,13].

Il existe une forte relation entre l'intensité du courant de fuite et le degré de pollution d'une part, et entre le courant de fuite et la tension de contournement d'autre part [13].

### 2. Caractéristiques du courant de fuite :

Que ce soit dans les conditions naturelles de pollution ou lors d'essai sous pollution artificielle, toutes les investigations sur le courant de fuite, considèrent que la valeur de courant de fuite avant l'apparition d'arc est nulle. C'est-à-dire ils se sont intéressés seulement au courant d'arc.

Les valeurs du courant d'arc sont définies comme suit [3] :

- $I_h$  : la valeur maximale de crête du courant de fuite dans un arc partiel en service et aux essais de laboratoire.

- $I_{\max}$  : la valeur de crête du courant de fuite dans la demi-période précédant le contournement.

Comme déjà précisé précédemment, le courant de fuite pour un isolateur donné et sous une tension donnée représente trois zones. Dans la zone normale le courant de fuite est très faible et son allure est pseudo-sinusoïdale. Dans la zone d'avertissement, l'état du courant de fuite est non-stationnaire, il apparaît souvent sous la forme de groupes d'impulsion correspondant à l'apparition et l'extinction de l'arc, conduit à une plus grande dispersion du courant de fuite. Par conséquent, dans cette zone le courant de fuite doit être étudié par des méthodes statistiques. La valeur des impulsions de courant de fuite dans la zone d'avertissement est généralement de quelques dizaines à une centaine de micro-ampères ou plus. Ces impulsions ont une durée variant des quelques périodes à plusieurs dizaines.

Dans la zone critique, le système est représenté par la figure 2.1, comprenant l'arc partiel  $L_B$  et la résistance résiduelle. Cette phase est caractérisée par un point spécifique  $I_{\max}$ , qui correspond au courant de la demi-période précédant le contournement. Ce point sert de critère pour dimensionner et contrôler les isolateurs. Ce critère sera étudié en détail dans le paragraphe suivant.

On note finalement, que le courant de fuite dans la zone critique est associé à une diminution de la tension d'alimentation.

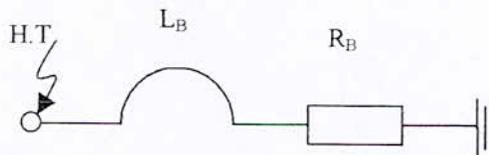


Fig.2.1.- Développement d'un contournement par pollution.

### 3. Corrélation courant de fuite –tension de contournement :

Un grand nombre d'essais réalisé sur différents isolateurs sous différentes tensions et utilisant différentes méthodes d'essais, a montré que le courant de fuite dans la demi-période précédant le contournement  $I_{\max}$  a une valeur caractéristique définie pour un isolateur particulier, sous une tension particulière [8,13].

$I_{\max}$  est indépendant de procédé d'essai, c'est-à-dire, indépendant de la façon dont la surface de l'isolateur a été rendue conductrice. Le seul facteur dont dépend  $I_{\max}$ , sous une tension particulière, est la ligne de fuite de l'isolateur, c'est-à-dire la contrainte spécifique kV/cm [8].

A la base de l'enregistrement de  $I_{\max}$ , on peut établir un lien entre l'essai de laboratoire et le comportement des isolateurs dans les conditions de service, car  $I_{\max}$  est valable aussi bien pour pollution artificielle que pour la pollution naturelle.

La valeur de  $I_{\max}$  peut aussi servir de critère pour un dimensionnement et contrôle correct des isolateurs pour ce qui concerne le risque de contournement par pollution, car il permet :

- de décrire et comparer les performances de différents isolateurs dans les conditions de service,
- d'obtenir les résultats définitifs sur la ligne de fuite nécessaire,
- d'évaluer la rigueur de climat sur place,
- d'estimer les propriétés d'accumulation des poussières et d'auto-nettoyage d'un isolateur.

Le fait de pouvoir utiliser le courant de fuite comme paramètre caractéristique du degré de pollution, ainsi comme annonciateur d'un risque immense pour l'isolateur, ce risque provient principalement de la corrélation existant entre ce courant et la tension de contournement sous pollution.

#### 4. Investigations antérieures sur le courant de fuite :

Les investigations antérieures sur le courant de fuite ont considéré, comme déjà précisé précédemment, que le courant de fuite avant l'apparition d'arc est nul. Ils ont tendance à porter leur attention d'avantage sur le courant d'arc.

*Claverie et Porcheron* [15] approchent le problème en se basant sur les conditions de réamorçage de l'arc (dans les circuits à courant alternatif), et obtiennent la relation suivante entre le courant et la longueur d'arc :

$$I_c = (800 \cdot X_c)^2 / V_c^2$$

Avec  $I_c$  : courant critique ;  $X_c$  : longueur critique de l'arc ;  $V_c$  : tension de contournement.

*Pedersen* [15] remplace  $X_c$  par  $(2/3) L$ , où  $L$  est la ligne de fuite de l'isolateur. Il a trouvé que les valeurs calculées de  $I_c$  et les valeurs obtenues expérimentalement  $I_{\max}$ , sont identiques dans les limites d'une précision raisonnable.

*Cuilhe* [16] a mesuré la courbe tension de contournement- courant de fuite, en évaluant les valeurs de courant de fuite d'après les oscillogrammes à chaque instant avant le contournement. Bien que l'instant réel d'apparition du courant

caractéristique  $I_{\max}$  n'ait pas été donné et que les implications de ce courant n'aient pas été évaluées.

*Verma* [14] a présenté une analyse profonde sur le courant de fuite et sur les applications de mesure du courant de fuite dans le dimensionnement et le contrôle des isolateurs. Il a défini  $I_h$  comme le courant de fuite maximal sur un isolateur peut se manifester soit en service, soit pendant l'essai de tenue sans contournement en conséquence, il est plus petit que  $I_{\max}$ . La valeur de  $I_h$  surveillée sur n'importe quel isolateur en service représente le degré de pollution auquel l'isolateur se trouve exposé directement. Nous allons représenter la méthode de contrôle en plus loin.

La comparaison entre  $I_h$  et  $I_{\max}$  correspondant, conduit à connaître le vrai état de la résistance d'isolement et constitué un lien direct entre les qualités d'isolement en service et les résultats des méthodes d'essais artificielles.

Enfin, *Verma* a proposé une expression mathématique pour  $I_{\max}$  correspondant à une probabilité de 10%.

$$I_{\max} = ((k/\sqrt{2})/(U/L))^{1/m}$$

L : Longueur de fuite ; U : Tension en kV ; K et m des constantes à déterminer expérimentalement.

L'analyse faite par *Alston* et *Zoledziowski* [17] tien compte des phénomènes principaux dont dépend le courant maximum pouvant s'écouler avant que le contournement devienne possible. Ils ont défini la relation suivante de  $I_{\max}$  sous la contrainte  $E_c$ .

$$I_{\max} = 233.E_c^{-1.131}$$

Avec  $E_c$  : le champs électrique critique.

*Hepei-Zhong* et *Xu Chang-Dong* [13] ont montré que le courant de fuite est lié à la tension de contournement, mais il est indépendant de la vitesse et du degré d'humidification. En autre terme, tant que le courant de fuite à la tension de service est le même, la tension de contournement d'isolateurs pollués différemment est la même, quel que soit le degré d'humidification. Ils ont donné l'expression de facteur de sécurité ( $K_s$ ), définie par le rapport entre la tension de contournement et la tension appliquée, en fonction de courant de fuite  $I_h$  correspondant (pour des isolateurs pollués naturellement).

$$K_s = 4.7.I_h^{-0.31}$$

Un autre résultat important d'une étude faite par *A.Cimador* et *M.Cojan* [10], montre que les niveaux maximaux des impulsions du courant de fuite de deux isolateurs identiques pollués de la même manière et soumis à la même tension sont

caractéristique  $I_{\max}$  n'ait pas été donné et que les implications de ce courant n'aient pas été évaluées.

*Verma* [14] a présenté une analyse profonde sur le courant de fuite et sur les applications de mesure du courant de fuite dans le dimensionnement et le contrôle des isolateurs. Il a défini  $I_h$  comme le courant de fuite maximal sur un isolateur peut se manifester soit en service, soit pendant l'essai de tenue sans contournement en conséquence, il est plus petit que  $I_{\max}$ . La valeur de  $I_h$  surveillée sur n'importe quel isolateur en service représente le degré de pollution auquel l'isolateur se trouve exposé directement. Nous allons représenter la méthode de contrôle en plus loin.

La comparaison entre  $I_h$  et  $I_{\max}$  correspondant, conduit à connaître le vrai état de la résistance d'isolement et constitué un lien direct entre les qualités d'isolement en service et les résultats des méthodes d'essais artificielles.

Enfin, *Verma* a proposé une expression mathématique pour  $I_{\max}$  correspondant à une probabilité de 10%.

$$I_{\max} = ((k/\sqrt{2})/(U/L))^{1/m}$$

L : Longueur de fuite ; U : Tension en kV ; K et m des constantes à déterminer expérimentalement.

L'analyse faite par *Alston et Zoledziowski* [17] tien compte des phénomènes principaux dont dépend le courant maximum pouvant s'écouler avant que le contournement devienne possible. Ils ont défini la relation suivante de  $I_{\max}$  sous la contrainte  $E_c$ .

$$I_{\max} = 233.Ec^{-1.131}$$

Avec  $E_c$  : le champs électrique critique.

*Hepei-Zhong et Xu Chang-Dong* [13] ont montré que le courant de fuite est lié à la tension de contournement, mais il est indépendant de la vitesse et du degré d'humidification. En autre terme, tant que le courant de fuite à la tension de service est le même, la tension de contournement d'isolateurs pollués différemment est la même, quel que soit le degré d'humidification. Ils ont donné l'expression de facteur de sécurité ( $K_s$ ), définie par le rapport entre la tension de contournement et la tension appliquée, en fonction de courant de fuite  $I_h$  correspondant (pour des isolateurs pollués naturellement).

$$K_s = 4.7.I_h^{-0.31}$$

Un autre résultat important d'une étude faite par *A.Cimador et M.Cojan* [10], montre que les niveaux maximaux des impulsions du courant de fuite de deux isolateurs identiques pollués de la même manière et soumis à la même tension sont

égaux. Ce niveau maximal croît avec la tension et la sévérité de pollution. Lorsqu'on se rapproche de la tension de contournement  $V_c$  le courant atteint une valeur critique  $I_c$ . Ils ont démontré aussi que :

- Le rapport  $V/V_c$  peut s'exprimer sous la forme d'une fonction du rapport  $V\sqrt{I_h}/V_c\sqrt{I_c}$
- Le produit  $V_c\sqrt{I_c}$  dépend uniquement des caractéristiques géométriques de l'isolateur.

Il en résulte que pour un isolateur donné, le rapport  $V/V_c$  ne dépend que de produit  $V\sqrt{I}$  donc  $I$ .

A partir de ces résultats, la mesure de courant de fuite maximal d'un isolateur pollué permet d'estimer le coefficient de sécurité ( $K_s$ ) de l'isolement. Nous verrons dans le paragraphe 5, l'intérêt de ce résultat.

*Zhang Renyu* et *Zhu Deheng* [18] ont montré qu'il y a une grande relation entre la tension de contournement et le courant  $I_h$  sous la tension de service. La valeur de  $I_h$  ne dépend pas seulement de degré de pollution mais elle dépend, également, de la tension appliquée et le facteur de forme de l'isolateur.

*El-Sharkawi* et *M. Awad* [19] ont montré que  $I_{max}$  dépend de la tension de contournement des isolateurs sous pollution. Cette tension dépend de plusieurs paramètres en particulier la non uniformité de répartition et de la conductivité de la couche polluante.

En regardant en arrière les résultats de tous les chercheurs sur le courant de fuite tel que présenté ici, on peut établir les faits suivants :

- $I_{max}$  correspond à la longueur critique de l'arc et représente le courant critique
- Le point exact pour  $I_{max}$  étant la demi-période avant le contournement.
- $I_{max}$  ne dépend pas de la façon dont la conductivité superficielle de l'isolateur fût obtenue. Il est, par conséquent, indépendant du procédé d'essai utilisé. La valeur reste valable aussi pour un contournement dans les conditions naturelles de pollution.
- $I_{max}$  donne la valeur du courant de fuite au-dessous duquel un contournement par pollution n'est pas possible sur l'isolateur particulier à la tension particulière pour laquelle  $I_{max}$  peut être obtenu par n'importe quel procédé d'essai.
- $I_{max}$  ne dépend pas de la forme de l'isolateur, et n'est influencé que par la ligne de fuite tant qu'aucune partie de cette ligne de fuite n'est pas court-circuitée.
- $I_{max}$  est lié à la tension réelle dans la demi-période précédent le contournement.

- $I_{\max}$  établit un lien entre l'essai de laboratoire et le comportement de l'isolateur dans les conditions de service.
- Le courant  $I_h$  est lié à la longueur d'arc.
- La valeur de  $I_h$  dépend de la méthode d'essai, c'est-à-dire il y a une relation non linéaire entre  $I_h$  et la tension, d'une part, et de  $I_h$  et la sévérité de la pollution, d'autre part.

On a effectué à l'école nationale polytechnique des recherches sur le phénomène de contournement électrique par pollution [4-6,20,21]. Ces recherches ont été basées sur l'application des mesures du courant de fuite, comme paramètre spécifique de contournement électrique par pollution. Afin de contourner la difficulté liée à la configuration, souvent complexe de l'isolateur réel, des modèles de laboratoire ont été adoptés par certain nombre de chercheurs. Le modèle le plus utilisé est celui de *Claverie et Porcheron* [15]. Les principaux problèmes traitent par ces études sont :

- Le développement d'un arc électrique sur une surface isolante contaminée [6,21].
- L'effet de la discontinuité de la couche de pollution [4].
- L'influence des paramètres électrogéométriques sur le courant de fuite [22].

Ces études ont conduit aux conclusions suivantes :

- Le courant de fuite est résistif, lorsque l'isolateur est totalement pollué [4].
- Le courant de fuite augmente avec l'épaisseur, la conductivité et la largeur (longitudinale) de la couche de pollution [4].
- Le courant de fuite augmente avec le diamètre de la pointe et diminue avec l'augmentation de la distance inter-électrodes [22].
- La génération de l'arc électrique sur les isolateurs pollués est la conséquence de courant dû à la nature conductrice de la couche polluante [20].
- Les courants induits par déplacement de la charge d'espace lors de la phase précédant la création de l'arc électrique sont très faible [20].

Malgré l'importance donnée au courant de fuite, comme paramètre spécifique, par ces recherches, l'instant réel d'apparition du courant caractéristique (demi-période avant le contournement  $I_{\max}$ ) n'a pas été donné et les implications de ce courant n'ont pas été évaluées.

## 5. Applications des mesures du courant de fuite :

### 5-1. Mesure de la sévérité de pollution d'un site :

Pour dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer dans un site un service sans défaillance, il est nécessaire de savoir caractériser

quantitativement la sévérité de la pollution de ce site. Les diverses méthodes proposées sont, pour la plupart, basées sur la détermination expérimentale de la conductivité superficielle de la couche polluante, et conduisent, en générale, à des résultats extrêmement dispersés.

La méthode proposée par [10] se base sur le principe de l'équivalence, afin de trouver les performances électriques relatives, en se référant à l'essai sous pollution saline artificielle. Avec cette méthode, la sévérité d'un site est caractérisée plus simplement et avec une meilleure précision. Cet essai permettait, en choisissant convenablement la concentration de la pollution pulvérisée, de reproduire en laboratoire une couche polluante électriquement identique à celle qui se forme dans le site. La sévérité de pollution d'un site sera ainsi caractérisée par «une salinité équivalente ».

Principe de la méthode [10] : Le principe de détermination de la salinité équivalente à la pollution d'un site est basé sur les remarques présentées antérieurement concernant le courant de fuite et le critère de  $I_{\max}$ .

Si donc, pour deux isolateurs identiques, l'un essayé en laboratoire et l'autre exposé à la pollution naturelle sur un site, les courants de fuite maximaux sous une même tension sont égaux, On peut dire que la pollution artificielle est alors équivalente à la pollution réelle de site. A partir de la comparaison entre les courants de fuite enregistrés sur site aux courants de fuite mesurés en laboratoire au cours d'essais de brouillard salin, on déterminera la salinité équivalente d'un site comme suit :

- On détermine au laboratoire et pour un isolateur donné la courbe courant de fuite en fonction de la salinité.
- D'autre part, le courant de fuite d'un isolateur identique est enregistré durant un ou deux ans, afin d'en déterminer la valeur maximale.
- En se reportant en suite à la courbe précédente, on est en mesure de déterminer la salinité équivalente correspondant à la sévérité de la pollution du site.

Une autre méthode basée sur les mesures du courant de fuite, consiste dans l'enregistrement, pendant une période donnée, sur un isolateur soumis à sa tension de service, de nombres d'impulsions du courant de fuite dépassant une amplitude donnée. L'existence des impulsions est généralement dans la phase d'avertissement.

Pour l'enregistrement, on utilise un isolateur en service ou isolateur témoin et un dispositif «comptage d'impulsions » permettant de compter les impulsions du courant de fuite. Cette méthode ne fournit pas une mesure absolue de la performance des isolateurs [2].

### 5-2. Dimensionnement des isolateurs :

Une fois la sévérité de pollution d'un site est connue, il suffit de se reporter aux résultats des essais artificiels pour définir l'isolement minimal nécessaire dans ce site [10]. En fonction de la marge de sécurité que l'on se sera fixée, la longueur de la ligne de fuite des chaînes isolantes doit être telle que leur tension de tenue reste au moins égale à la tension la plus élevée pour le matériel comme la définie la publication 71-1 de la CEI [23].

### 5-3. Surveillance du degré de pollution des isolateurs :

On peut craindre que l'isolement d'un site devienne insuffisant, à la suite, par exemple, de l'apparition d'une nouvelle source de pollution. Il est intéressant alors de surveiller le degré de pollution des isolateurs pour prévenir les incidents, afin d'assurer la qualité d'isolement de l'ouvrage, par des procédures de lutte contre le contournement par pollution, (graissage, lavage, ou bien un redimensionnement des isolateurs) [2,24,25].

La méthode de détermination du coefficient de sécurité de l'isolateur pollué décrite au paragraphe 4 apportera une solution à ce problème [10].

Dans cette méthode, on mesure le courant de fuite ( $I$ ) maximal sous la tension de service ( $V$ ) de l'isolateur pour des valeurs croissantes de la salinité. Par le biais de l'essai de brouillard salin, on détermine, pour chaque salinité, la tension de contournement ( $V_c$ ). A partir des résultats expérimentaux, on trace la courbe  $V/V_c$  en fonction de  $V\sqrt{I}$  point par point.

En surveillant le courant de fuite, en permanence, d'un isolateur identique a celui essayé en laboratoire et en service dans le site concerné, il sera possible à tout moment de connaître la marge de sécurité qui subsiste en se reportant simplement à la courbe précédente.

## 6. Conclusion :

L'utilisation du courant de fuite, pour déterminer les performances d'un isolateur donné en milieu pollué, offre plus de certitude par rapport à l'utilisation des méthodes usuelles (DDSE, conductivité superficielle,...) qui ne tiennent pas compte des paramètres exacts (largeur, épaisseur, répartition...) de la couche de pollution à l'instant réel du contournement.

La mesure de courant de contournement n'est pas facile. La meilleure estimation est la valeur de  $I_{\max}$  dans la demi-période avant le contournement.

## Chapitre 3: Traitement numérique du courant de fuite

## Chapitre 3 : Traitement numérique du courant de fuite

### Introduction :

Bien que de nombreux travaux expérimentaux sur le comportement d'isolateurs sous tension soumis à l'effet de la pollution, ont été effectués et que les grandes lignes en soient dégagées, les mesures du signal courant de fuite sont loin d'être aisées [26].

Les enregistrements antérieurs du courant de fuite montrent que l'allure du signal comporte trop d'harmoniques. Ce qui rend la détermination des caractéristiques de signal (amplitude, fréquence, décalage de phase par rapport à la tension) imprécise [2,4,13].

La disposition d'un nouveau matériel d'enregistrement des signaux, qui consiste en un ordinateur PC doté d'une interface de communication (analogique/digitale) et d'un logiciel simulateur d'oscilloscope, réduit pour l'opérateur le temps d'enregistrement et le risque d'erreur.

Le fait d'avoir l'onde du courant de fuite et celle de la tension d'alimentation enregistrées numériquement (sur un ordinateur), le développement d'une méthode de traitement numérique s'avère nécessaire.

C'est dans ce but, que nous avons élaboré une méthode de traitement numérique, pour étudier le comportement d'un isolateur soumis à l'effet de la pollution.

Les objectifs à atteindre sont :

- Détermination de l'amplitude du courant de fuite ( $I_h$ ).
- Détermination de spectre fréquentiel du courant de fuite pour déterminer les différents harmoniques constituant le signal.
- Détermination du déphasage courant-tension.

Dans ce chapitre, nous allons représenter les caractéristiques de l'interface numérique pour définir quelques paramètres (fréquence d'échantillonnage, sensibilité de l'interface, etc.) nécessaires pour appliquer les différentes méthodes de traitement de signal. Nous présentons, par suite, le fondement théorique de la méthode. Nous établirons, à la fin, l'organigramme de la méthode et un exemple d'application.

### 1. Caractéristique de l'interface :

Cette interface avec un support software constitue un oscilloscope numérique, caractérisé par [27]:

- Nombre de canaux : 2

- Mode de tracer : CH1 ; CH2 ; DUAL ; INVERT ; ADD.
- Bande passante : DC jusqu'à 20MHz (-3dB).
- Résolution : 8 Bit (256 niveaux).
- Longueur d'enregistrement : 1024pt (10Bit).
- Sensibilité :  $\pm 2.5\%$  ;  $\pm 1\text{Bit}$ .

## 2. Fondement théorique :

Le fondement théorique de la méthode élaborée est basé sur les théorèmes du traitement du signal suivants :

- Echantillonnage.
- Transformée de fourier discrète (TFD).
- Analyse spectrale.
- Filtrage numérique.

### 2-1. Echantillonnage :

La fréquence d'échantillonnage des signaux enregistrés, varie en fonction de calibre choisi. En choisissant le calibre 5ms/div, par exemple, sur l'oscilloscope les signaux seront échantillonnés avec une fréquence de 20 kHz.

### 2-2. Détermination de spectre fréquentiel :

Le spectre fréquentiel  $S(f)$  est donné par la relation suivante [28] :

$$s(f) = \|Y(f)\|.$$

avec  $Y(f)$  la transformée discrète de fourier (TFD) défini par [28] :

$$Y(f) = 1/N \sum_{t=0}^{N-1} y(t) * \exp(-j2\pi f t / N)$$

$N=410$  : nombre de points de signal sur une période.

### 2-3. Filtrage numérique :

Les filtres le plus connus par leur sélectivité en fréquence sont les filtres de *BUTTERWORTH* [29]. Ce type des filtres est basé sur l'approximation de *BUTTERWORTH* suivante [29] :

$$|G(f)|^2 = [1 + (f / f_c)^{2n}]^{-1}.$$

Avec  $G$  : la fonction de transfert de filtre,  
 $f_c$  : la fréquence de coupure,  
 $n$  : le degré de filtre.

#### 2-4. Calcul de déphasage :

Pour avoir le décalage de la phase entre deux signaux, il faut qu'ils soient périodiques sinusoïdaux. C'est-à-dire le déphasage est lié par définition aux fondamentaux des signaux.

La relation entre la TFD et le fondamental d'un signal est définie par [30] :

$$y_1(t) = 2\text{real}(Y(2))/N * \cos(2\pi t/(N * dt)) + 2\text{imag}(Y(2))/N * \sin(2\pi t/(N * dt)).$$

Comme généralement, la transformée de Fourier d'un signal réel est une fonction complexe, on peut l'exprimer en fonction de son amplitude, qui est le spectre de fréquence déjà défini et de sa phase qui représente le spectre de la phase.

Le spectre de la phase est défini par la relation suivante [28] :

$$\theta(f) = \arg[Y(f)]$$

Le déphasage entre deux signaux sera donc, la différence entre les phases des fondamentaux. La nature de déphasage (avance ou bien retard) est déterminée à partir de l'exposition de deux signaux.

#### 3. Programme :

Suivant les algorithmes décrits au-dessus, un programme est élaboré par un langage évolué (MATLAB 5.2), afin de traiter les données enregistrées. Ce programme (annexe1) est développé suivant l'organigramme présenté dans (la fig.3.1.).

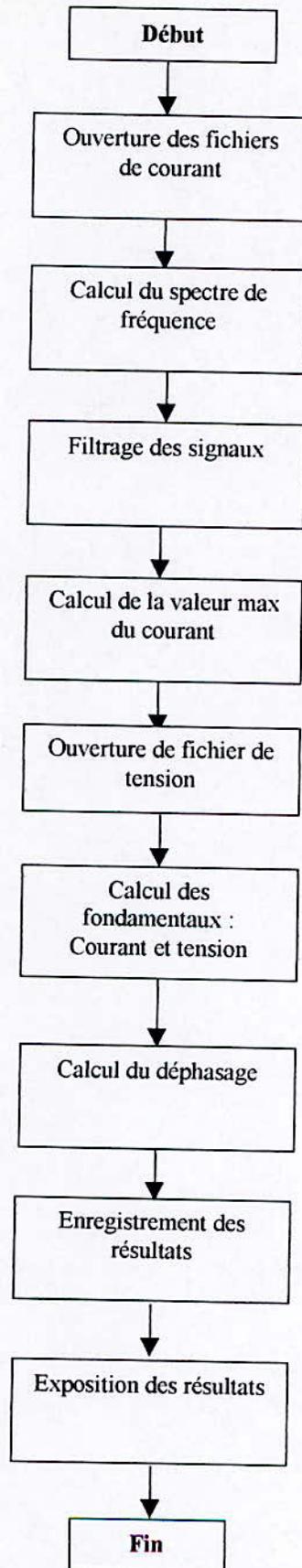


Fig.3.1- Organigramme.

#### 4. Application :

Nous présentons dans ce paragraphe un exemple d'enregistrement et de traitement numérique du courant de fuite afin de valider la méthode élaborée.

L'oscilloscope numérique est très sensible à la perturbation extérieure. Les signaux qui sont enregistrés par cet oscilloscope sont perturbés (fig.3.3). Il est important, alors, de déterminer le spectre fréquentiel des signaux enregistrés pour les filtrer.

Le spectre fréquentiel contient des composantes à haute fréquence (fig.3.4.), dues à la présence additionnelle de bruit de fond généré dans le milieu de mesure (le générateur de haute tension, l'effet couronne,... etc.). Il est, alors, indispensable d'introduire un filtre pour pouvoir manipulé les signaux.

Les signaux enregistrés sont traités par un filtre dont la configuration est donnée dans la figure.3.2. C'est un filtre passe-bas, celui-ci maintient dans la bande passante une réponse plate optimale avec une atténuation de  $-3$  dB pour  $f=f_c$  et une pente asymptotique d'atténuation de  $-20$  dB/décade pour  $f>f_c$ . [29]

Le gabarit de ce filtre est déterminé à partir de spectre de fréquence. Le signal du courant filtré est illustré dans la figure.3.5.

L'enregistrement simultané du courant de fuite et de la tension appliquée ne permet pas d'évaluer aisément le déphasage (fig.3.6.) ; cependant le calcul de fondamental du signal courant et celui du signal tension permet de tirer plus simplement ce déphasage et sa nature (avance ou bien retard) (fig3.7).

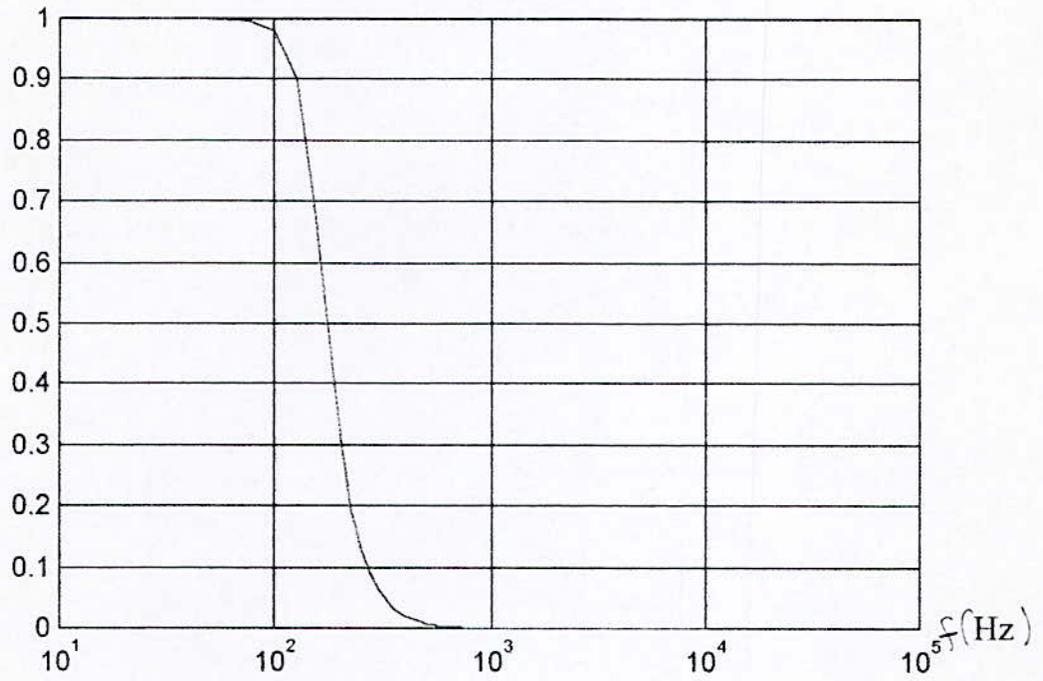


Fig.3.2.- Configuration de filtre.

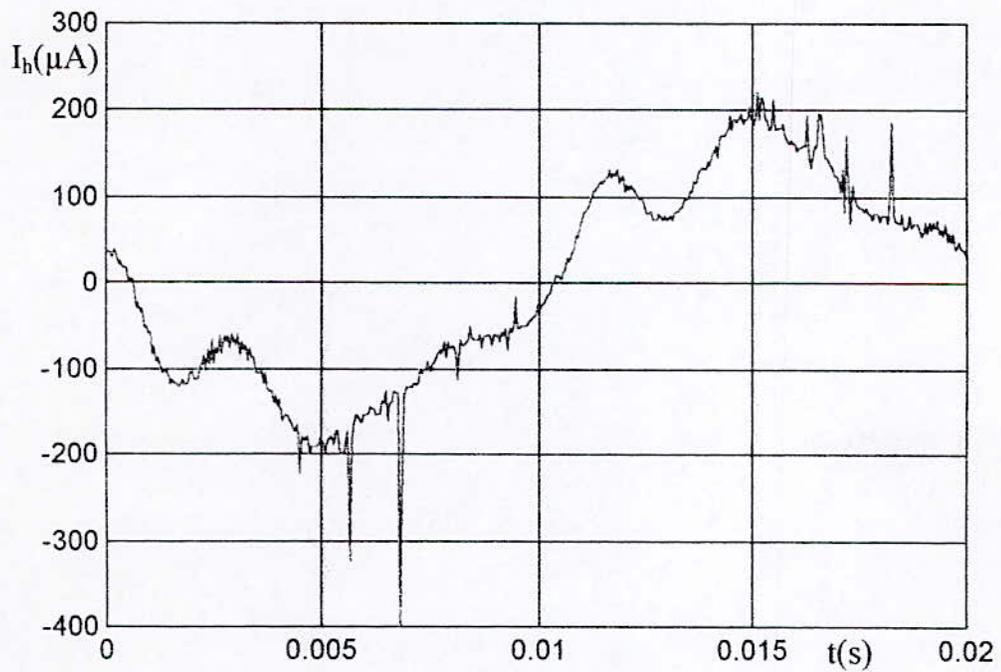


Fig.3.3- Enregistrement du courant de fuite.

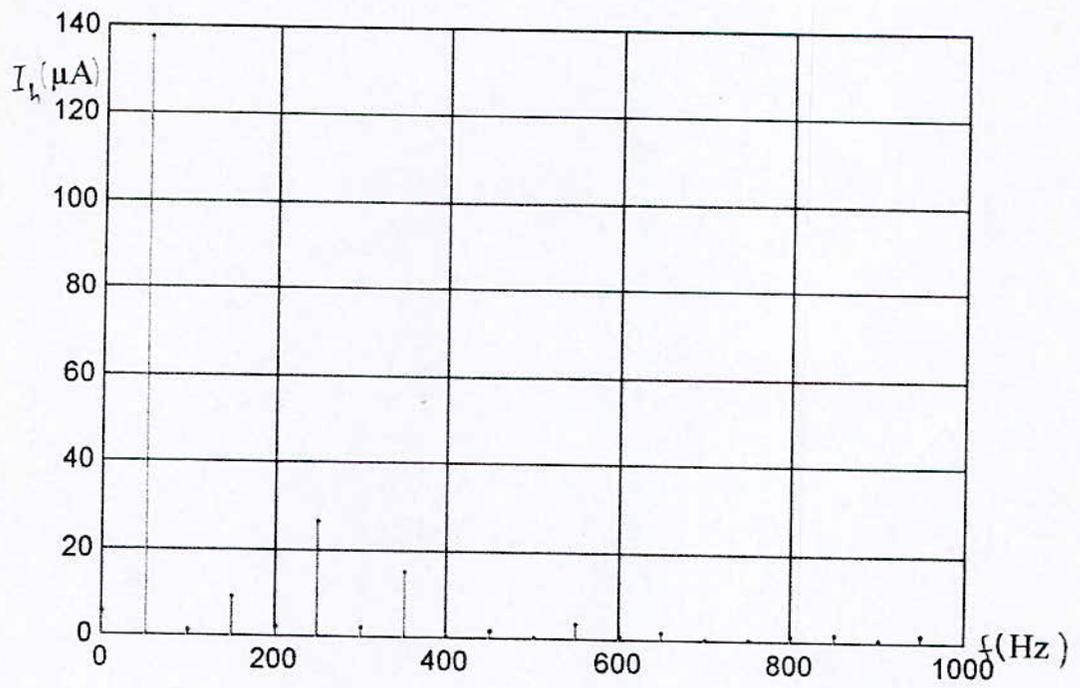


Fig.3.4.- Spectre de fréquence.

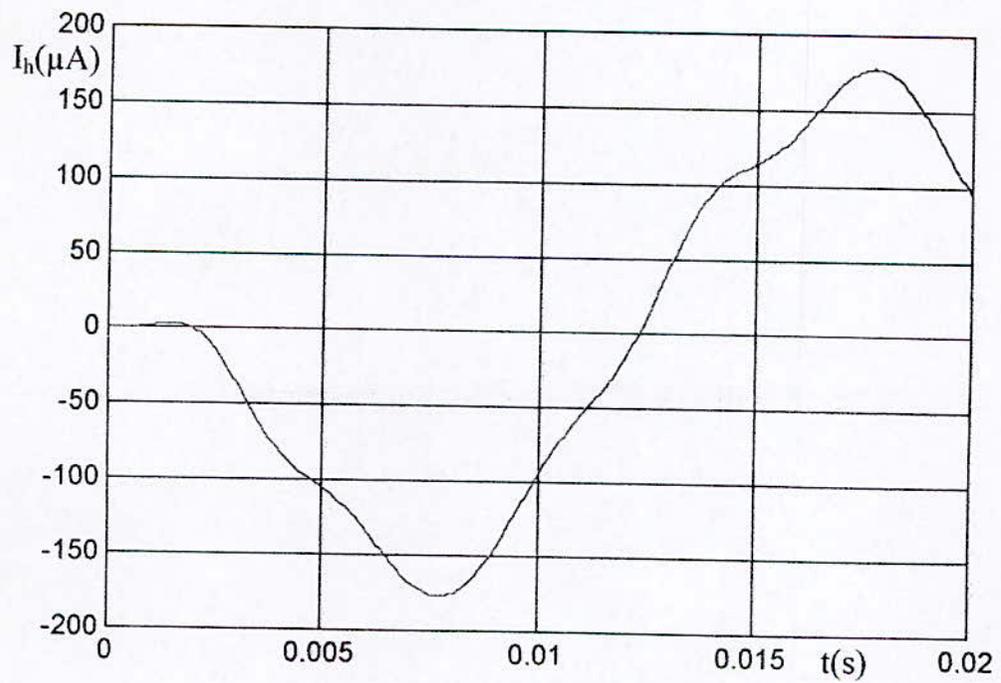


Fig.3.5.- Courant de fuite filtrer

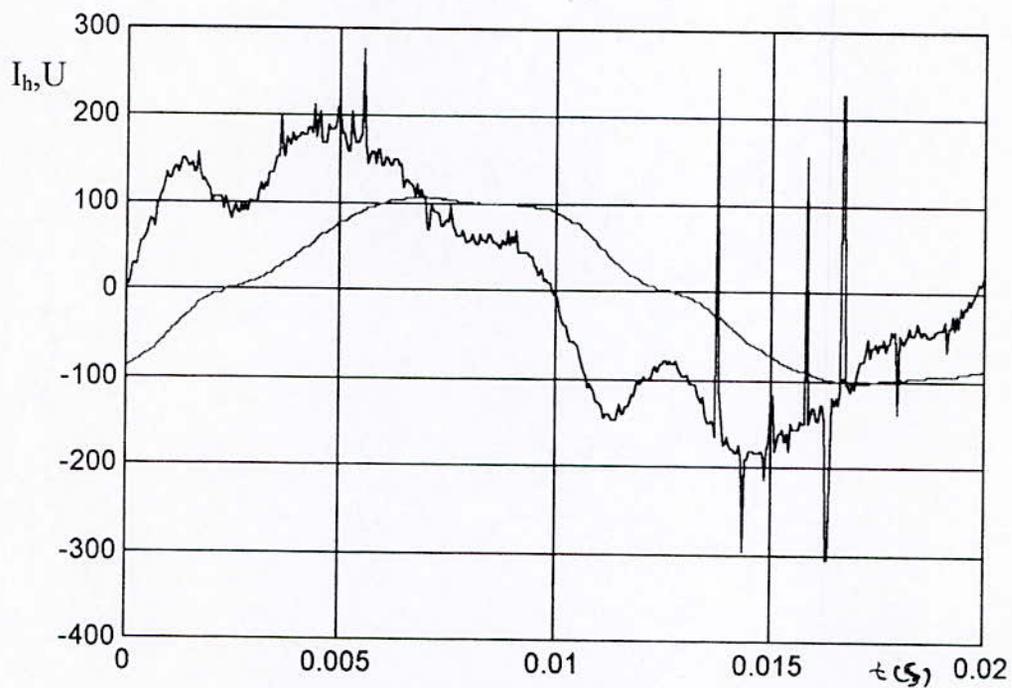


Fig.3.6.- Courant de fuite- tension appliquée.

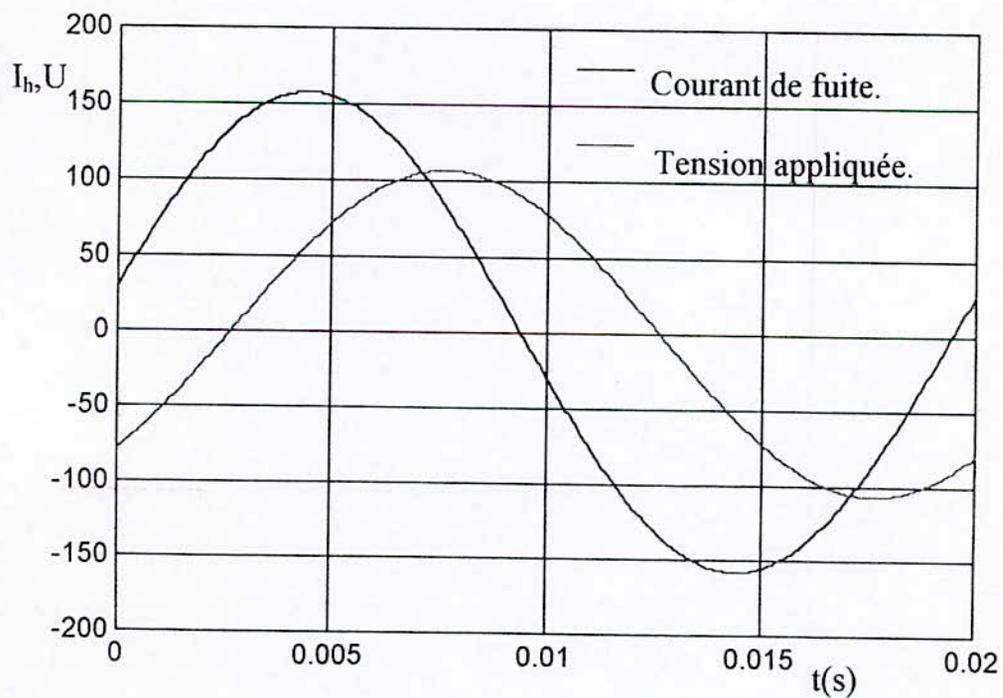


Fig.3.7.- fondamentaux : courant de fuite- tension appliquée.

## 5. Conclusion :

Nous disposons maintenant d'un programme de traitement numérique, qui permet de déterminer les caractéristiques du courant de fuite avec précision. Cette méthode réduit pour l'opérateur le temps d'exploitation des résultats expérimentaux et le risque d'erreur.

Grâce à la souplesse de la programmation avec le MATLAB, ce programme s'adapte aussi aux nouvelles tâches et aux nouveaux besoins entre autres (travaille en temps réel, calcul de la puissance dissipée par l'arc électrique [31]).

## Chapitre 4: Etude expérimentale

## Chapitre 4 : Etude expérimentale

### Introduction :

Dans le but de visualiser et d'analyser le courant de fuite sur un isolateur pollué, nous avons effectué des essais sur un modèle plan de laboratoire. Ce modèle, qui s'inspire de celui de *P.Claverie* et *Y.Porcheron* [15], est soumis à l'effet des contraintes bien définies.

La première est la répartition de la couche de pollution. Celle que nous avons choisie, a été proposée lors d'une recherche antérieure sur la pollution désertique [5].

La deuxième contrainte concerne la conductivité superficielle de la couche de pollution. L'agent polluant utilisé est une couche de peinture semi-conductrice qui à l'avantage de garder après séchage une conductivité constante durant les essais indépendamment des conditions atmosphériques de laboratoire [32].

Un autre paramètre est pris en considération à savoir, le niveau de tension appliquée.

Nous étudierons ainsi, l'influence de ces paramètres sur :

- Le courant de fuite.
- Le déphasage entre le courant de fuite et la tension d'alimentation.

### 1. Dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental est constitué d'une station d'essai à fréquence industrielle 50Hz, d'un modèle expérimental et d'un circuit de mesure (fig.4.1.).

#### 1-1. Description de l'équipement du laboratoire :

L'équipement de la station d'essais à fréquence industrielle du laboratoire de l'Ecole National Polytechnique est de marque HAFELY. Cette station comprend les organes suivants :

- Un transformateur de haute tension : 300 kV /50kVA,
- Transformateur de réglage : 220 /(0 à 500)V, 50kVA,
- Un diviseur capacitif,
- Des appareils annexes de mesures et de protection.

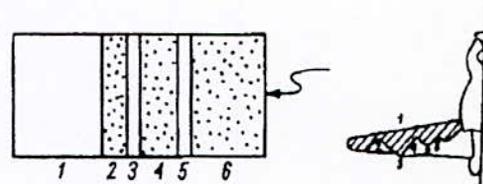
#### 1-2. Modèle expérimental :

Le modèle expérimental considéré est un modèle plan constitué d'une plaque de verre (500x500x6 mm<sup>3</sup>) ayant la propriété de résister à la chaleur due à l'arc

électrique. Elle est munie de deux électrodes en feuille d'aluminium dont l'épaisseur étant de  $2\mu\text{m}$ , l'une des électrodes est circulaire de diamètre 50 mm mis sous tension et l'autre est rectangulaire  $300 \times 50 \text{ mm}^2$  mis à la terre (fig. 4.2.). Les dimensions des électrodes et la distance inter-électrodes  $L(292 \text{ mm})$  sont gardées constantes durant tous les essais.

La configuration de la répartition de la couche de pollution présentée dans (la fig.4.2.) correspondant à l'état de surface de l'isolateur de type capot-tige 1512L dans sont «état critique», prélevée de la région électrique de HASSI-R'MEL. Les zones propres et polluées ont les dimensions suivantes [5] :

- zone1 : 106 mm ;
- zone2 : 30 mm ;
- zone3 : 13 mm ;
- zone4 : 52 mm ;
- zone5 : 4 mm ;
- zone6 : 87 mm ;



- La largeur des couches a été choisie égale à 300mm.

La distance inter-électrodes  $L=29.2 \text{ cm}$  correspond à la ligne de fuite de l'isolateur capot-tige 1512L.

### 1-3. Circuit de mesure :

La tension d'alimentation est mesurée à l'aide d'un diviseur capacitif (fig.4.1). Ce diviseur est constitué d'une capacité  $C_1$  de 400pF en série avec une capacité  $C_2$  1000 fois plus élevée. Ainsi, ce dispositif permet de réduire de 1/1000 la tension d'essai ( $U(c_2)=U(c_1)/1000$ ). La tension appliquée sera relevée indirectement, en remplaçant en parallèle avec  $C_2$  :

- Un galvanomètre à spot lumineux permettant la lecture de la valeur de crête de la tension.
- Un voltmètre statique à spot lumineux pour la lecture de la valeur efficace de la tension.
- Une sonde pour capter l'onde de la tension appliquée. Cette onde est rapportée à l'aide d'un câble coaxial, sur une interface analogique/numérique (CH1) dont les caractéristiques ont été présentées dans le chapitre 3.

L'onde courant est mesurée à l'aide d'une résistance de  $100\Omega$  inséré dans le retour de la terre. Cette onde est reportée à l'aide un câble coaxial sur la même interface (CH2) connectée en série avec un ordinateur PC.

Pour éviter l'influence des parasites dans le signal du courant recueilli, la résistance est introduit dans une boite métallique en aluminium mis à la terre, formant ainsi un écran électrique.

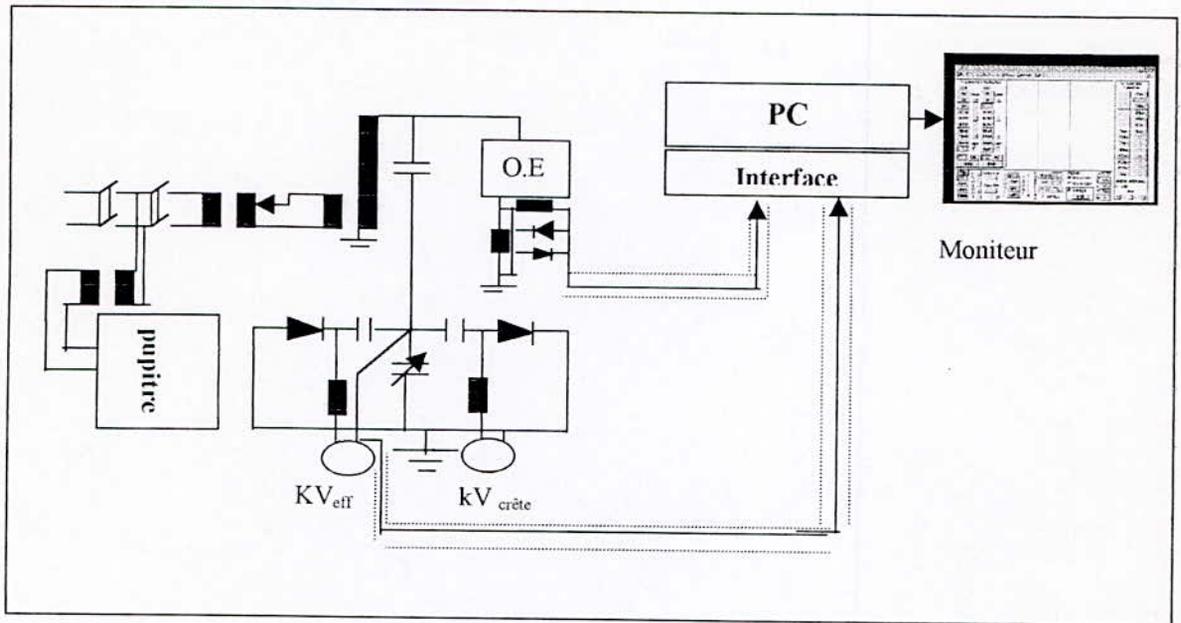


Fig.4.1.- Dispositif expérimental.

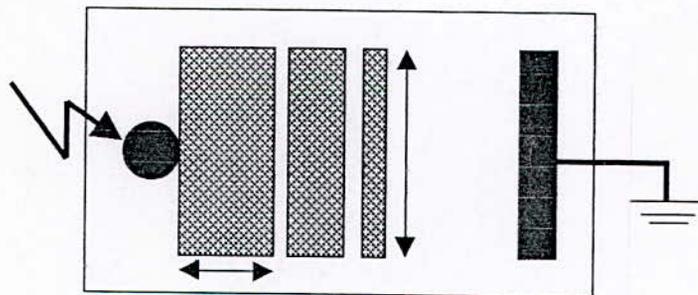


Fig.4.2.- Modèle expérimental.

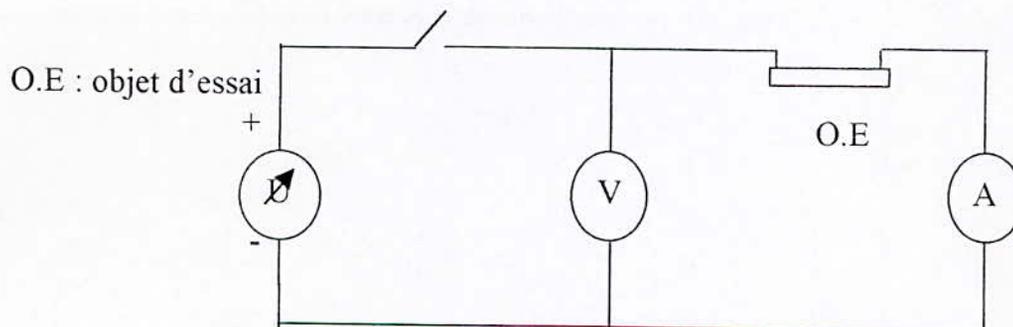


Fig.4.3.- Circuit de mesure de la résistance de fuite.

## 2. Mode opératoire :

### 2-1. Préparation de l'agent polluant :

Pour contourner la difficulté liée à la pulvérisation manuelle et à la reproductibilité lors de l'utilisation des méthodes de mouillage, l'agent polluant utilisé est une peinture semi-conductrice. Cette peinture a l'avantage de garder après séchage une conductivité constante durant les essais.

La peinture semi-conductrice est réalisée au laboratoire, par un mélange des éléments suivants :

- Graphite ;
- Bioxyde de silicium :  $\text{SiO}_2$  ;
- Résine cellulosique (agent liant inerte) ;
- Alcool isopropylique (dissolution du mélange)

La conductivité superficielle désirée est obtenue en jouant sur la concentration du graphite comme élément conducteur, par rapport à celle de silicium comme étant élément isolant. La résine cellulosique est une composante inerte utilisée pour assurer la liaison entre le graphite et le silicium. Le mélange est dilué avec de l'alcool isopropylique pure.

La conductivité superficielle est déterminée par la méthode volt-ampèrmitrique en mesurant la résistance de fuite entre deux électrodes de mesures en aluminium, placées sur le modèle d'essai (fig.4.3). La peinture est appliquée après le placement des électrodes pour s'assurer qu'elle recouvre bien les bords de ces dernières. La mesure n'est effectuée qu'après séchage complet, de la peinture qui dure environ 16 heures. La couche doit être placée d'une façon uniforme.

pour être sûr que ces couches sont uniformément réparties, nous avons mesuré la conductivité superficielle pour chaque zone

La conductivité est liée à la résistance de fuite par la relation suivant [24] :

$$\gamma = \rho_s^{-1} = 1/R_f \int_0^l dx/b(x)$$

le modèle utilisé permet d'avoir :

$$\gamma = (I/U).(l/b)$$

avec  $\gamma$  : la conductivité superficielle.

$\rho_s$  : la résistivité superficielle

$R_f$  : la résistance de fuite.

$l$  : la largeur de la couche  $l=300 \text{ mm}$ .

$b$  : la largeur de la zone polluée

### 2-2. Préparation du modèle :

La préparation de l'objet d'essai commence par un nettoyage, à l'eau, de la plaque, puis imbibée de gas-oil dans les endroits d'emplacement des électrodes en aluminium, pour éliminer tout espace d'air entre la plaque et les électrodes. Ensuite, nous appliquons la pollution suivant la configuration choisie (fig.4.2.). Après séchage de la couche, nous mesurons sa conductivité.

Le modèle est disposé horizontalement sur trois colonnes isolantes, elles même posées sur un support en bois.

Une fois la plaque est disposée sur le support, nous repassons le coton imbibé d'alcool isopropylique pure sur les zones propres de la plaque pour éliminé toute trace de poussière où de gas-oil.

### 2-3. Procédure d'essai :

Après la préparation de l'objet d'essai, nous avons commencé par la mesure de la tension de contournement pour les différentes conductivités (6000, 1000, 700, 85, 20 et  $0.1\mu\text{S}$ ), pour une plaque propre et aussi, pour une plaque dont les zones polluées sont remplacées par papier aluminium, la conductivité de l'aluminium peut être considérée comme infinie par rapport à la peinture semi-conductrice.

Cette mesure permet non seulement de déterminer l'influence de la conductivité sur la tension de contournement mais aussi de déterminer les paliers des tensions à appliquer pour l'enregistrement du courant de fuite.

Pour enregistrer le courant de fuite, nous soumettons l'objet d'essai à un niveau de tension déterminé et nous relevons, ainsi, le courant de fuite et cela pour les conductivités (0.1, 85 et  $1000\mu\text{S}$ ). L'onde du courant de fuite a été enregistrée 5 fois pour chaque palier de tension, afin de déterminer la valeur moyenne de  $I_h$ .

Nous avons enregistré ainsi, simultanément, l'onde du courant de fuite et l'onde de la tension au secondaire de transformateur, pour chaque niveau de tension, afin de déterminer le déphasage courant-tension.

Nous avons envisagé une attente régulière entre l'application de la tension et l'enregistrement du courant de fuite, pour que le courant se stabilise.

### 3. Essais préliminaires :

#### 3-1. Tension de contournement :

Avant de procéder aux enregistrements du courant de fuite, nous avons mesuré la tension de contournement pour les différentes conductivités superficielles (0.1, 20, 85, 700, 1000 et 6000 $\mu$ S) et pour les deux cas extrêmes qui peuvent se présenter à savoir : la conductivité infinie (les zones polluées sont remplacées par papier aluminium) et la conductivité nulle (surface propre).

Pour déterminer la tension de contournement, nous avons calculé la moyenne de cinq essais, pour chaque état de l'isolateur.

Nous avons remarqué que la tension de contournement, pour les cinq essais reste relativement constante. Ce qui permet de dire que l'arc électrique n'a pas une grande influence sur la conductivité et l'état de surface si celui-ci ne dure pas longtemps. Ceci présente un avantage important concernant l'utilisation de la peinture semi-conductrice par rapport aux méthodes des mouillages où nous avons un problème de séchage et de reproductibilité de la couche de pollution.

Pour une large variation de la conductivité superficielle de la couche polluante, les arcs partiels, qui court-circuitent les zones propres, ne sont générés qu'à la phase finale de contournement. Ce comportement est obtenu lorsque la longueur totale de la zone propre dépasse un tiers de la longueur de fuite de l'isolateur [4]. Dans notre cas cette zone constituée 42% de la ligne de fuite.

Les résultats obtenus présentant l'influence de la conductivité superficielle sur la tension de contournement, sont représentés à la figure.4.4. L'analyse de cette courbe montre une nette diminution de la tension de contournement avec l'augmentation de la conductivité superficielle.

Nous avons remarqué aussi, à partir de la conductivité 700 $\mu$ S, la variation de la tension de contournement diminue. La courbe tend vers une valeur limite correspondant à la tension de contournement dans le cas où les zones polluées sont remplacées par papier d'aluminium.

La variation de la tension de contournement en fonction de la conductivité superficielle peut s'écrire suivant l'expression empirique suivante :

$$U_c = 84.237 \gamma^{-0.037}.$$

Avec :  $U_c$  : Tension de contournement [kV].

$\gamma$  : Conductivité superficielle [ $\mu$ S].

### 3-2. Essais sur la plaque propre :

La tension de contournement de la plaque propre est de 115kV. Nous avons relevé le courant de fuite maximum et les caractéristiques courant-tension, afin d'étudier le comportement de la plaque de verre en l'absence de la pollution. La valeur du courant considéré est celle de la valeur maximale du signal obtenu après filtrage numérique (fig.4.6.c).

Ces essais, effectués pour plusieurs niveaux de tension, nous ont permis de noter que :

- Le courant de fuite croit lorsque la tension appliquée augmente. Cette augmentation est pratiquement exponentielle (fig.4.5).
- L'onde du courant de fuite est pseudo-sinusoidale comportant des pics (fig.4.6.a). Vu leur court durée et l'absence d'un arc partiel avant le contournement, ces pics sont dus probablement à l'effet couronne.
- La figure.4.6.b présente l'amplitude de différents harmoniques qui constituent le signal. Nous remarquons que le signal est constitué seulement des harmoniques impaires. Les harmoniques les plus gênants sont le troisième, le cinquième et le septième.
- L'onde courant de fuite est décalée de  $76^\circ$  en avance de la tension d'alimentation (fig.4.6.e.), ce qui confirme le caractère capacitif de surface du verre. En fonction de la tension, ce déphasage reste pratiquement constant. Nous pensons que le déphasage dépend probablement de la nature et la qualité de verre utilisé.

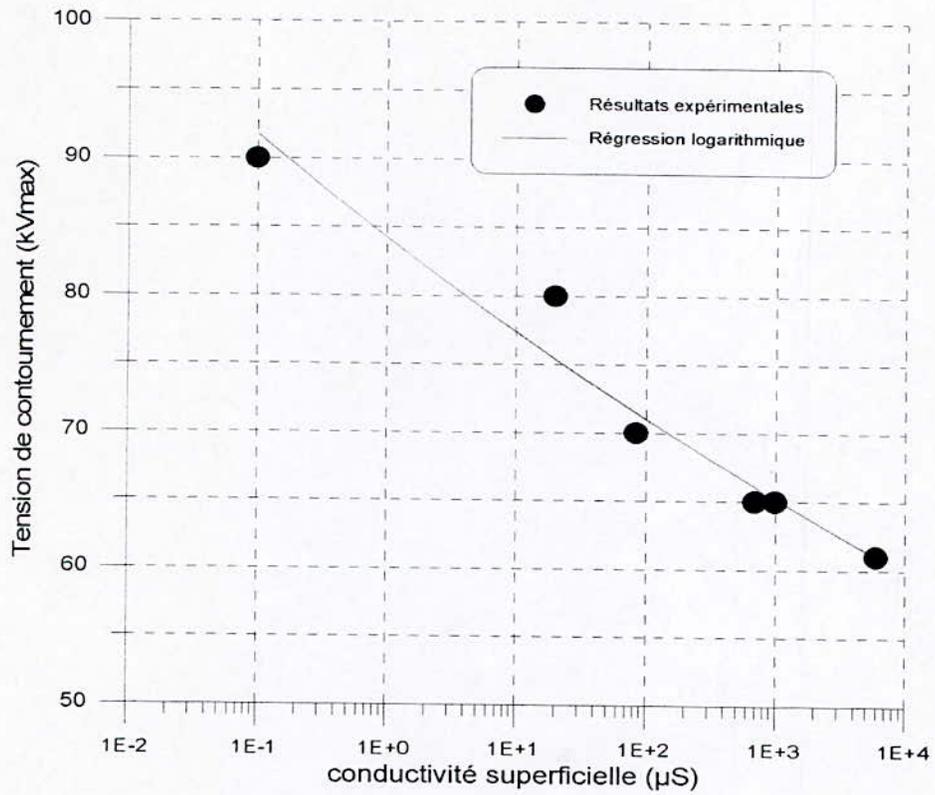


Fig.4.4- Tension de contournement – Conductivité superficielle.

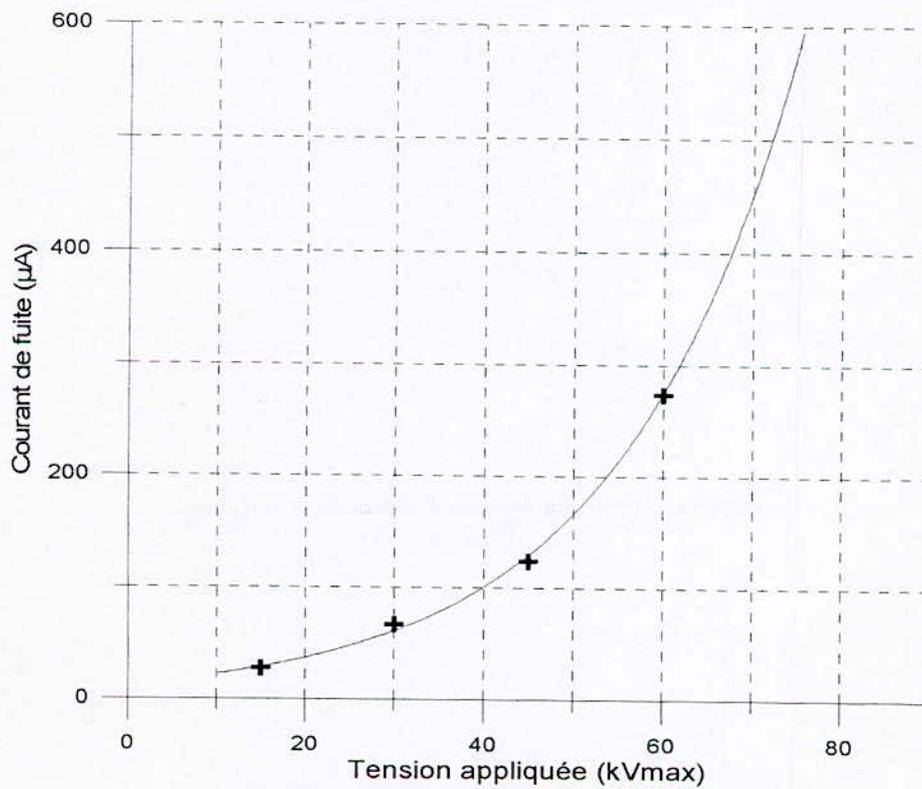


Fig.4.5.- Courant de fuite- Tension appliquée.

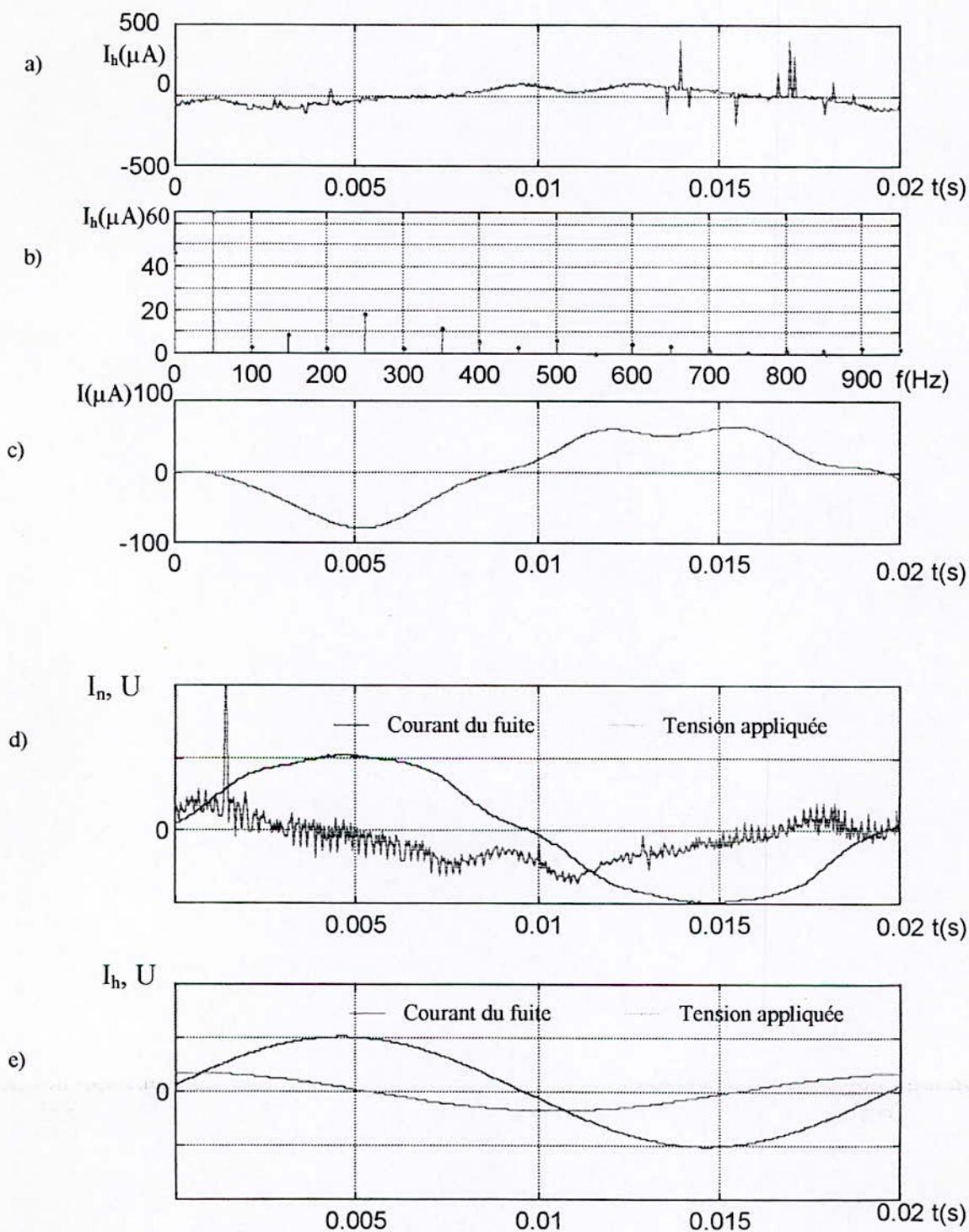


Fig.4.6.- Plaque propre. / 30 kV

a) : Courant de fuite.

b) : Spectre de fréquence.

c) : Courant de fuite filtré.

c) : Courant de fuite – tension appliquée

e) : Fondamental courant - tension

#### 4. Interprétations des résultats :

Pour les trois conductivités utilisées (0.1, 85 et 1000 $\mu$ S), le courant de fuite croît avec l'augmentation de la tension (fig.4.7). Cette augmentation est pratiquement exponentielle comme dans le cas de la plaque propre, ce qui nous permet de conclure que la nature du verre est responsable de ce genre de comportement et reste gouvernante même en présence de pollution.

Pour les faibles tensions, inférieure à 30 kV, les caractéristiques  $I_h(U)$  sont très proche. La différence n'est visible que pour les tensions les plus élevés (fig.4.7). Ceci s'explique par la domination de la zone propre, qui représente une très grande impédance par rapport à celle de la couche polluante.

Les mesures du courant de fuite dans toutes les investigations antérieures (chapitre2) sont accompagnées par la détermination de la longueur d'arc. Par contre, dans notre cas les arcs partiels court-circuitant les zones propres ne sont générés qu'à la phase finale du contournement, c'est-à-dire, les valeurs du courant de fuite sont relevées en l'absence d'arc électrique. La gamme de variation du courant de fuite en fonction de la tension est très restreinte.

Le courant de fuite croît en fonction de la conductivité mais cette augmentation est moins notable par rapport à la variation de la tension de contournement surtout pour les faibles niveaux de tension (fig.4.8).

Dans cette gamme de variation du courant de fuite (inférieure à 400 $\mu$ A) les erreurs de mesures sont généralement importantes ; cependant l'utilisation d'un dispositif de mesure numérique et l'analyse des données par des méthodes de traitement de signal implanté dans un logiciel évolué, permet de voir l'évolution réelle du courant de fuite même en l'absence d'arc.

L'onde du courant de fuite, pour les différentes conductivités, est sinusoïdale perturbée (fig.4.9.a, fig.4.10.a et fig.4.11.a). Les harmoniques les plus gênantes sont toujours d'ordre trois, cinq et sept (fig.4.9.b, fig.4.10.b et fig.4.11.b).

En analysant la caractéristique  $I_h(U)$  pour les différentes conductivités, nous avons constaté que l'impédance apparente est variable en fonction de la tension. Mais vue que le déphasage reste constant en fonction de la tension (tableau 1), nous avons conclu que le caractère capacitif et le caractère résistif de la totalité de système varie de la même manière.

Le déphasage courant-tension pour les différentes conductivités est donné par le tableau suivant :

Conductivité	Déphasage
Plaque propre	76°
0.1 $\mu\text{S}$	71°
85 $\mu\text{S}$	61°
1000 $\mu\text{S}$	56°

(Tableau 1)

Pour une conductivité constante, le déphasage courant-tension est constant quel que soit le niveau de tension appliquée. Ce résultat a été prévisible car le déphasage représente la configuration électrique du système.

En revanche, l'augmentation de la conductivité de la couche de pollution engendre une diminution de déphasage (tableau 1).

L'onde courant est déphasée en avance par rapport à celle de tension pour les différentes conductivités (fig.4.9.d, fig.4.10.d et fig.4.11.d).

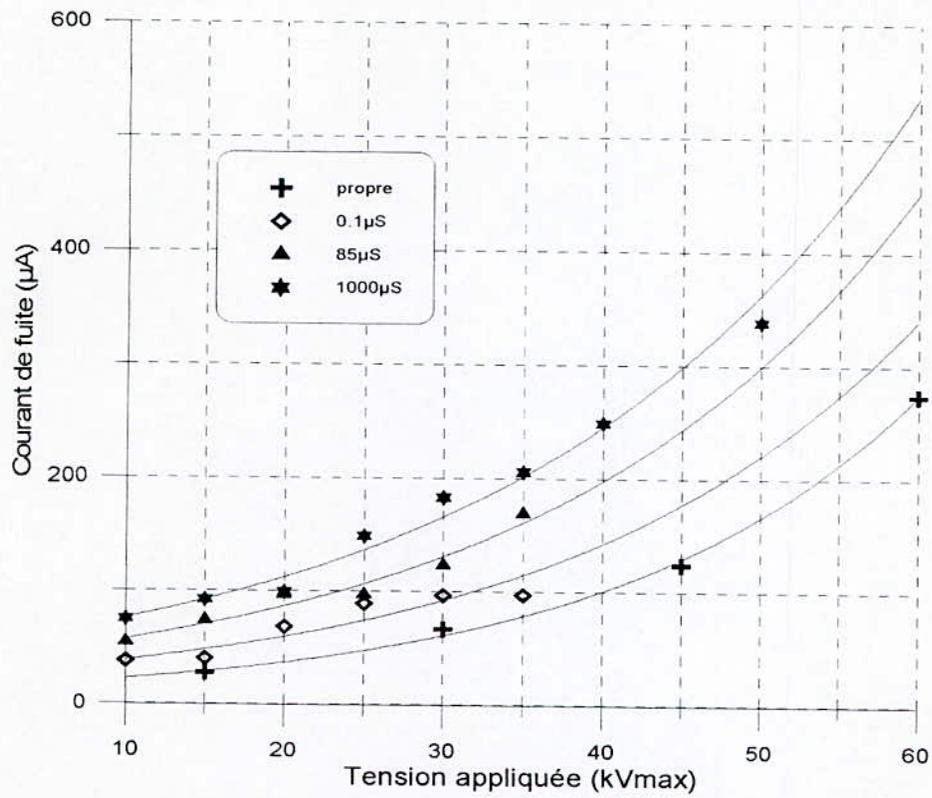


Fig.4.7.- Courant de fuite- tension appliquée.

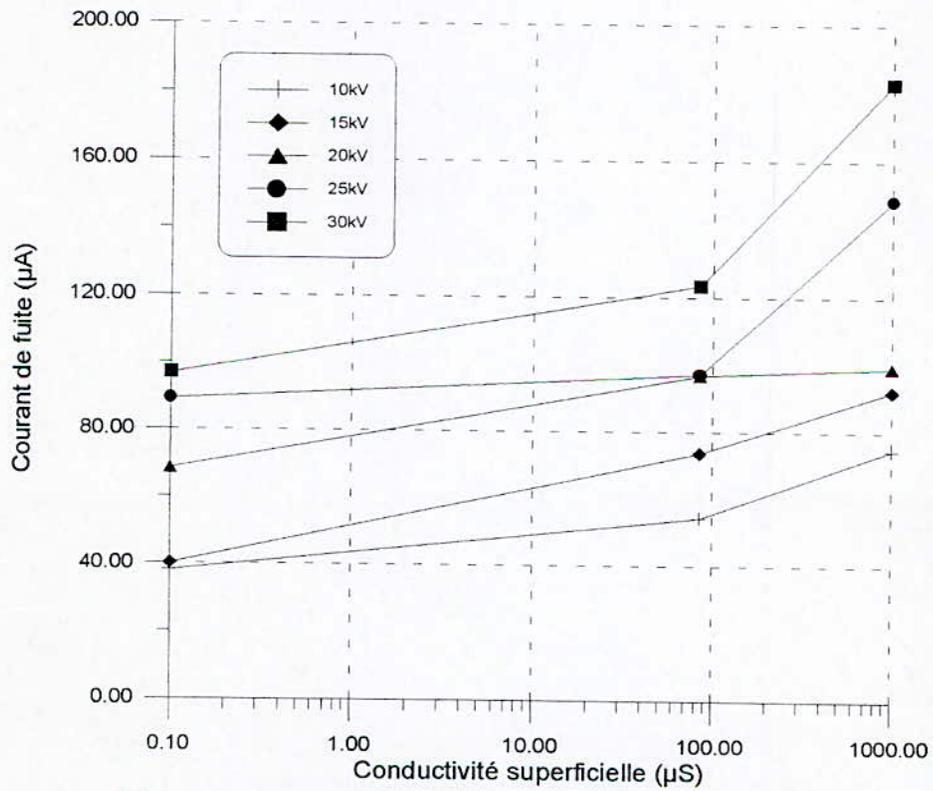


Fig.4.8.- Courant de fuite- conductivité superficielle.

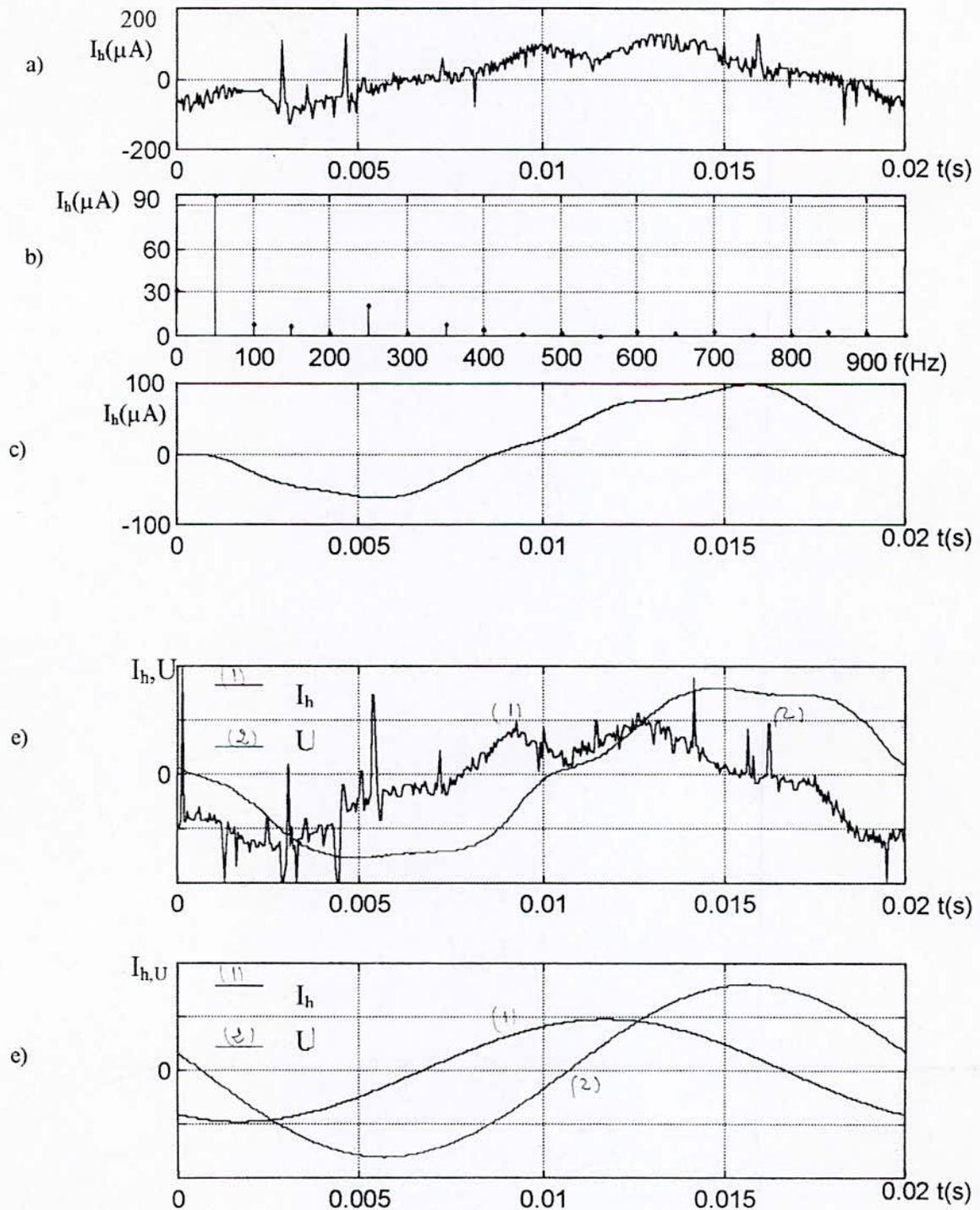


Fig.4.9.- conductivité  $0.1 \mu\text{S}$ . /  $30 \text{ kV}$

a) : Courant de fuite.

b) : Spectre de fréquence.

c) : Courant de fuite filtré.

d) : Courant de fuite – tension appliquée

e) : Fondamental courant - tension

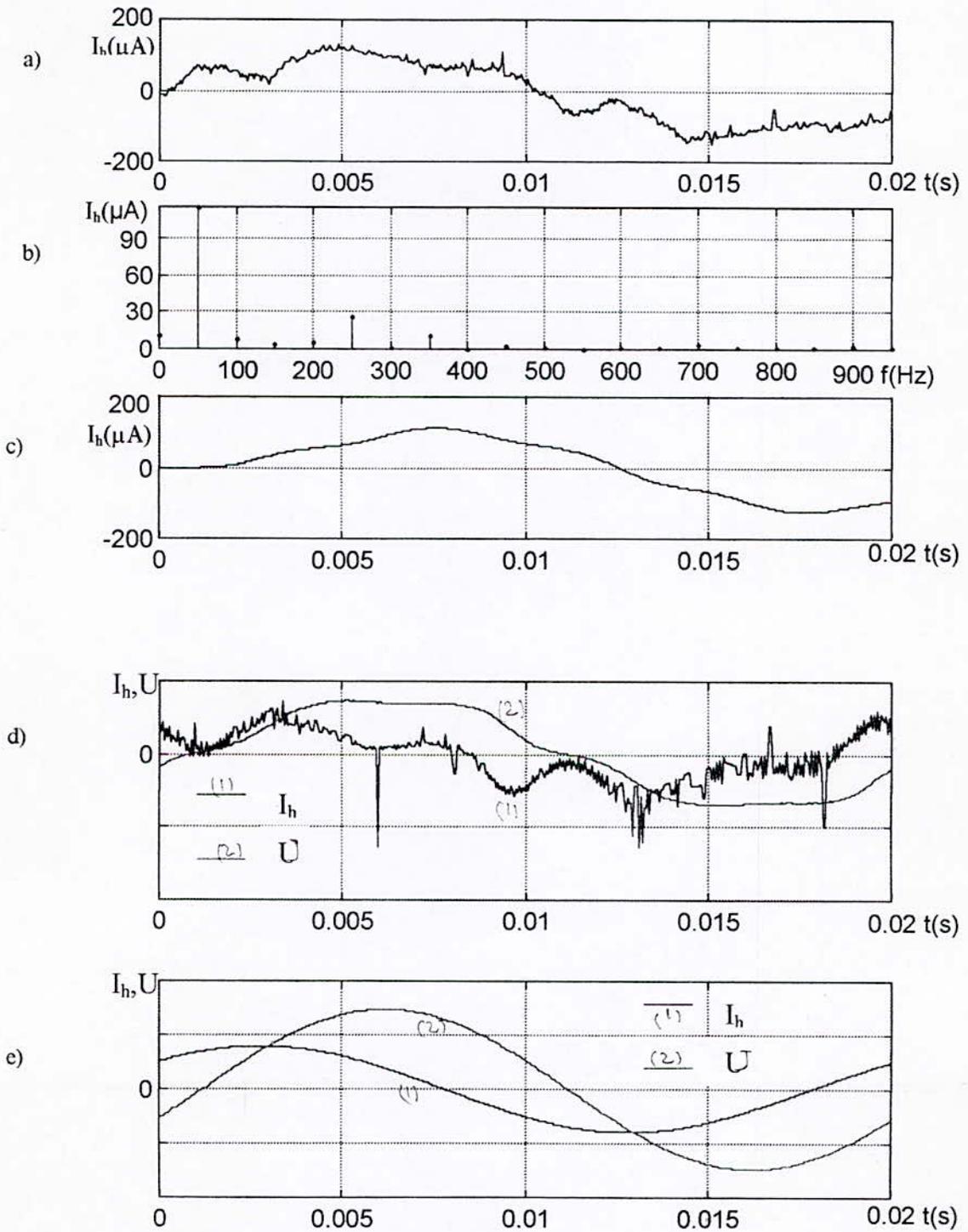


Fig.4.10.- Conductivité  $85 \mu\text{S}$ .  $30 \text{ kV}$

- a) : Courant de fuite.
- b) : Spectre de fréquence.
- c) : Courant de fuite filtré.
- d) : Courant de fuite – tension appliquée
- e) : Fondamental courant - tension

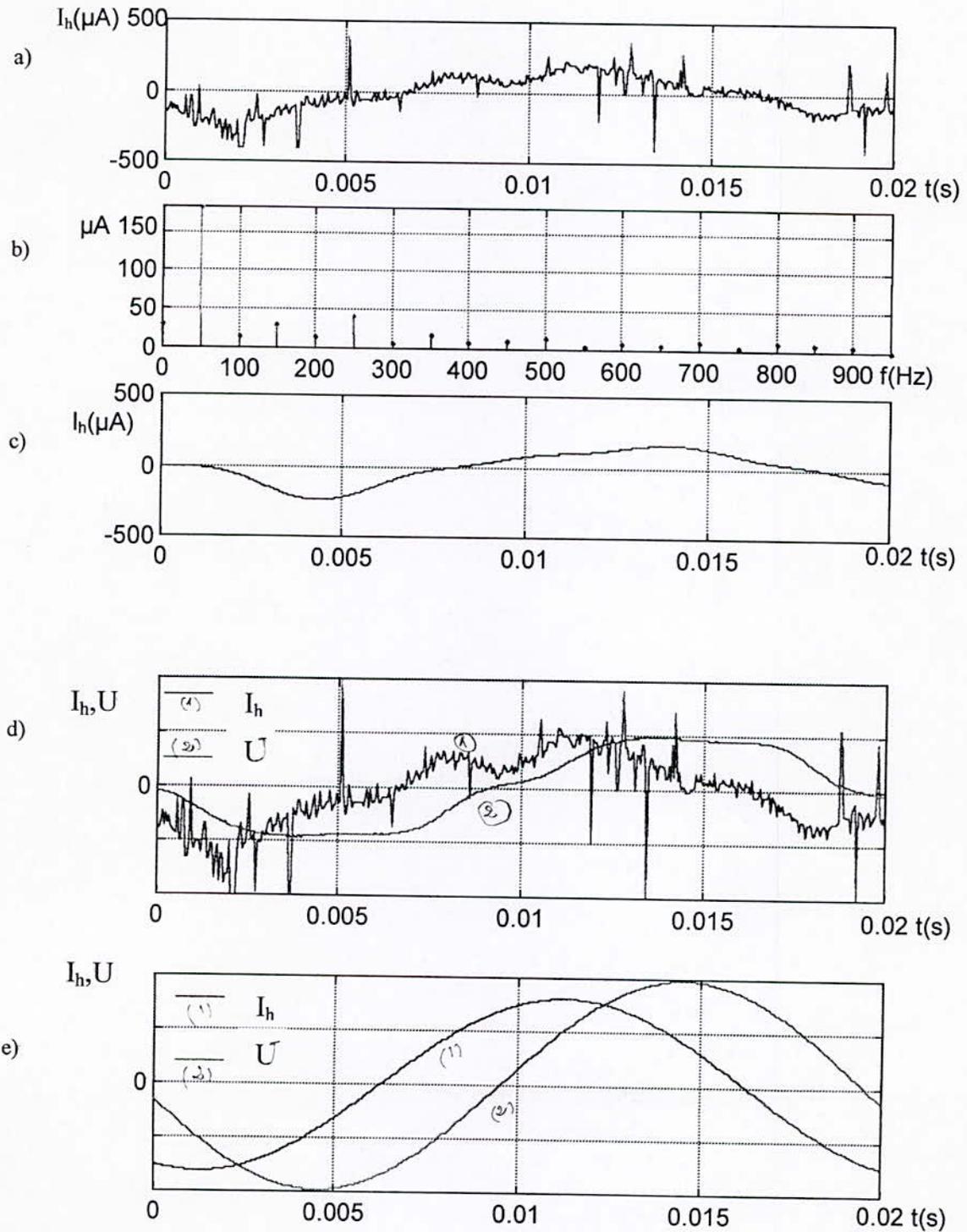


Fig.4.11.- Conductivité 1000  $\mu S$ . 130<sup>2</sup> V

- a) : Courant de fuite.
- b) : Spectre de fréquence.
- c) : Courant de fuite filtré.
- d) : Courant de fuite – tension appliquée
- e) : Fondamental courant - tension

## 5. Conclusion :

Les essais expérimentaux effectués nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Pour une telle répartition de la couche polluante, le contournement se produit directement ; c'est-à-dire il n'y aura pas d'arcs partiels stables générés avant le contournement.
- Le courant de fuite avant l'apparition d'arc est très faible de l'ordre de quelques centaines de micro-Ampères.
- Malgré l'amplitude faible du courant de fuite, l'application d'une méthode numérique pour le traitement des résultats permet de tirer les caractéristiques de ce courant.
- Le courant de fuite croît avec l'augmentation du niveau de tension appliquée.
- Le courant de fuite augmente en fonction de la conductivité.
- Le déphasage mesuré pour les différents cas (plaque propre et les autres conductivités) prouve que le caractère capacitif est dominant.
- Le déphasage courant-tension, pour une conductivité et réparation de la pollution constantes, ne varie pas avec l'augmentation de la tension.
- L'augmentation de la conductivité engendre une diminution du déphasage.
- L'influence de la conductivité sur la tension de contournement est beaucoup plus notable par rapport à celle du courant de fuite.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale :**

Dans cette étude, nous sommes intéressés au courant de fuite comme paramètre spécifiant le contournement des surfaces isolantes soumises à une pollution discontinue. Ce paramètre est considéré par plusieurs chercheurs comme le meilleur qui offre plus de certitude par rapport à l'utilisation des méthodes usuelle (DDSE, Conductivité superficielle,... etc.) qui ne tiennent pas compte des paramètres exacts (largeur, épaisseur, répartition,... etc.) de la couche de pollution aux différentes étapes de contournement.

Le traitement des résultats expérimentaux par une méthode numérique nous a permis de déterminer toutes les caractéristiques éventuelles du système, même en existence des contraintes perturbatrices qui accompagnent souvent ce genre d'essais. Cette méthode réduit le risque d'erreur par l'élimination totale des erreurs de lectures. Elle permet également, de réduire le temps d'exploitation des résultats.

Le problème le plus nuisible rencontré dans les essais artificiels de la pollution des isolateurs est la reproductibilité de la même couche polluante dans une série d'essais. L'utilisation du couche sèche semi-conductrice remède à ce problème en gardant les même caractéristiques (conductivité et répartition de la couche polluante) pendant les essais indépendamment des conditions atmosphériques au laboratoire.

La configuration que nous avons choisie de la répartition de la pollution se caractérise par la domination de la zone propre (42.2% de la longueur de fuite), qui a pour conséquences :

- Pas de génération d'arcs partiels qu'à la phase finale du contournement qui se produit donc directement.
- Le déphasage courant de fuite-tension appliquée est toujours capacitif quelque soit la conductivité utilisé.

Le courant de fuite augmente en fonction de la tension et la conductivité de la couche polluante. L'influence de la tension sur l'augmentation du courant de fuite est beaucoup plus notable par rapport à celle de la conductivité.

Pour une même répartition de la couche polluante, le déphasage courant-tension ne dépend que de la conductivité, indépendamment du niveau de la tension appliquée.

# Bibliographie



## Références bibliographiques :

- [1] : Encarta 98 «Electricité, production et distribution», Encyclopédie Microsofte 1993-1997.
- [2] : G.leroy, C.Gary «les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions », Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [3] : J.Keller-Jacobsen, Aa.Pedersen, J.K.Rasmussen, A.Henriksen, C.Lindovist, S.Smedesflet. «Essais au laboratoire et en plein air pour dimensionner correctement les isolateurs exposés à la pollution saline », CIGRE rapport n°33-11-1978.
- [4] : D.Namane «Effet de la discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolateur haute tension, sous la fréquence de 50Hz », thèse de magister ENP, février 1998.
- [5] : A.Mekhaldi «Etude du développement d'un arc électrique sur des surfaces isolantes contaminées par la pollution désertique », thèse de magister ENP, juin 1990.
- [6] : M.Teguar «Etude mathématique des mécanismes de développement des décharges électrique sur des isolateurs installé en régions polluées » thèse de magister ENP, février 1993.
- [7] : R.Kosztaluk, W.Czalak, R. Kucharski, «Mesure de pollution, essais d'isolateurs pollués, choix des isolateurs », CIGRE, rapport n°33-07-1978.
- [8] : M.P. Verma, H.Niklasch, W.Heise, H.Lipken, H.Schreiber, G.F.Luxa. «Critère de contournement par pollution et ses applications pour le dimensionnement et le contrôle de l'isolation », CIGRE, rapport n°33-09-1978.
- [9] : Groupe d'action 33-04-03, « Dispositif de surveillance des isolateurs soumis à la pollution » Electra, n°152, février 1994 p 78-90.
- [10] : A.Cimador, M.Cojan, P.Hautefeuille, M.Moreau. «Méthode de dimensionnement des isolateurs des ligne aeriennes en régions polluées », CIGRE, rapport n°33-04-1978.
- [11] : P.J.Lambeth, J.S.T.Looms, M.Sforzini, C.Malaguti, Y.Porcheron, P.Claverie, «Recherche international sur la pollution », CIGRE, rapport n°33-02-1970.
- [12] : A.Nour, M.Mekhanet «Etude du développement d'un arc électrique sur une surface isolante contaminée par la pollution désertique », projet de fin d'étude, ENP 1987.

- [13] : He.Pei-Zhong, Xu.Chang-dong, «Résultats d'essais et de recherche sur des isolateurs naturellement pollués et leurs applications à la coception de l'isolation d'un réseau en régions polluées », CIGRE, rapport n°33-07-1982.
- [14] : M.P.Verma, «Mechanism of AC falshover on polluted insulators », ISPPISD, 1.04-1981.
- [15] : Y.Porcheron, P.Claverie ,« How to chose insulators for polluted areas » IEEE, trans, pas vol 92, n°3. mai/juin 1973.
- [16] : M.J.Cuilhe «Courant de fuite d'isolateurs suspendus », Bulletin de la société française des électriciens 6ème sérié, tome II, n°18 Août 1942.
- [17] : L.L.Alston, Zoledziwskis, « Growth of discharge on polluted insulators », IEEE,trans pas vol,110, No 7, juillet 1963 p 1260-1266.
- [18] : Z.Reny, Z.Deleng, G.Zhicheng, «A study on the relation between the flashover voltage and the leakage current of naturally or artificially polluted insulators », 4<sup>e</sup> international symposium on high voltage engineering, Athènes, Grèce, 5-9 septembre 83 rapport 46-07.
- [19] : E.El-Sharkawi, M.Amad, H.Said, M.Morcsi, «Reappraisal of pollution severty of overhead transmission lines insulators using the highest leakage current pluses », 4<sup>e</sup> international symposium on high voltage engineering, Athènes, Grèce, 5-9 septembre 83 rapport 44-07.
- [20] : S.Bouazabia, A.Mekhaldi, «Etude du courant de fuite sur les isolateurs pollués », Ajot vol.1, Novembre 29-30-1994.
- [21] : S.Bouazabia, A.Mekhaldi, «Conduction phenomena on polluted insulating surface under AC high voltages » 9<sup>th</sup> ISH. Paper N°3174-1 Graz 1995.
- [22] : M.Mekhous, A.Nighoud «Développement de l'arc électrique sur des surfaces isolantes polluées, influence des paramètres électrogéométriques », Projet de fin d'étude, USTHB, juin,1994.
- [23] : CEI 71-2, «Insulation coordination, application guide » 2<sup>e</sup> édition 1976.
- [24] : CEI 60-01, «Technique des essais à haute tension » 2<sup>e</sup>edition 1989-11.
- [25] : F.Amidi, K.Ourden, «les effets de la pollution sur les ouvrages électriques électrique à 30kV en régions littorales » Projet de fin d'étude, USTHB, juin,1998.

- [26] : M.Adjabi, T.Bahi, M.S.Meridjet «Modélisation d'un isolateur de haute tension en milieu pollué », ICEL'98, 5-7-October, p 376-378.
- [27] : Manuelle de l'interface.
- [28] : M. Kunt «Traitement numérique des signaux », Edition Dunod 1981.
- [29] : F.De Coulon, «Théorie et traitement des signaux », Edition Dunod.
- [30] : A.D.Ouahabi, «Fondements théoriques du traitement du signal » Edition 1993.
- [31] : K.Isaka, Y.Yokoi «Developpement of real-time system for simultaneous observation of visual discharges and leakage current on contaminated dc insulators »,IEEE trans Vol.25 No.6, December 1990.
- [32] : Norme polonaise PN-71 E/04405 «Matériaux isolants solides, mesure de la résistance électrique ».

## **Annexe1 : Programme**

```
%Programme principal

clear all;
j=0;
q='o';
con=input('donner la conductivité de la plaque','s');
while q=='o',
    j=j+1;
    uu=input('donner le niveau de tension','s');
    cali=input('donner le calibre de courant en mV ? ');
    calu=input('donner le calibre de tension en V ? ');
    cali=cali*10/128;
    moyen;          % sous programmel
    bruit;         % sous programme2
    maxf(j)=mf;
    maxr(j)=mr;
    maxfo(j)=max(xi);
    delta(j)=abs(g1);
    v(j)=eval(uu);
    q=input('continue o/n?','s');
end
fig4=4;
figure(fig4);

fig4=subplot(311),plot(v,maxf),grid on;
fig4=subplot(312),plot(v,maxr),grid on;
fig4=subplot(313),plot(v,delta),grid on;
v1=[maxf',v'];
v2=[maxr',v'];
v3=[delta',v'];
v4=[maxfo',v'];
save pl-pr-f.dat v1 -ascii;
save pl-pr-r.dat v2 -ascii;
save pl-pr-d.dat v3 -ascii;
save pl-pr-fo.dat v4 -ascii;

%*****sous programme 1*****

% *****calcul de déphasage courant-tension*****

fi=['di',con,'u',uu,'.asc']
fu=['du',con,'u',uu,'.asc']

%*****lecture de fichier tension*****

fid=fopen(fu,'r');
```

```
[a,count]=fscanf(fid,'%s');
au=['[' a ']'];
bu=eval(au);
bu=bu(1:410)*calu;
bf=fft(bu,410);
st=fclose(fid);

%*****lecture de fichier courant

fid=fopen(fi,'r');
[a,count]=fscanf(fid,'%s');
ai=['[' a ']'];
bi=eval(ai);
bi=bi(1:410)*cali;
d=fft(bi,410);
st=fclose(fid);

%*****calcul de fondamental

t=[0:5e-2/1023:5e-2/2.5];
xu=2*real(bf(2))/410*cos(2*pi*t/(410*5e-2/1023))-
2*imag(bf(2))/410*sin(2*pi*t/(410*5e-2/1023));
xi=2*real(d(2))/410*cos(2*pi*t/(410*5e-2/1023))-
2*imag(d(2))/410*sin(2*pi*t/(410*5e-2/1023));

%*****calcul de déphasage

g1=angle(bf(2))-angle(d(2));
g1=g1*180/pi;
if g1>=180
    g1=g1+180;
end
g1

%*****

fig2=2;
figure(fig2);

fig2=subplot(211),plot(t,bi,t,bu),grid on;
fig2=subplot(212),plot(t,xi,t,xu),grid on;

%*****sous programme 2*****

fil=[con,'u',uu,'e','1','.asc']
fi2=[con,'u',uu,'e','2','.asc']
fi3=[con,'u',uu,'e','3','.asc']
```

```
fi4=[con,'u',uu,'e','4',''.asc']
fi5=[con,'u',uu,'e','5',''.asc']
[nom , denom]=butter(4,[200 10249]/10250,'stop');

%*****Ouverture des fichiers*****

fid=fopen(fi1,'r');
[a,count]=fscanf(fid,'%s');
a1=['[' a ']'];
b1=eval(a1);
fx1=fft(b1,410);
b1=b1*cali;
%r1=abs(fx1)*2/1024;
f1 = filter(nom,denom,b1);
b1=b1(1:410);
f1=f1(1:410);
f(1)=max(f1);
m(1)=max(b1);

st=fclose(fid);

fid=fopen(fi2,'r');
[a,count]=fscanf(fid,'%s');
a2=['[' a ']'];
b2=eval(a2);
b2=b2*cali;
fx2=fft(b2,1024);
f2 = filter(nom,denom,b2);
f2=f2(1:410);
b2=b2(1:410);
m(2)=max(b2);
f(2)=max(f2);
st=fclose(fid);

fid=fopen(fi3,'r');
[a,count]=fscanf(fid,'%s');
a3=['[' a ']'];
b3=eval(a3);
b3=b3*cali;
fx3=fft(b3,1024);
f3 = filter(nom,denom,b3);
b3=b3(1:410);
m(3)=max(b3);

f3=f3(1:410);
f(3)=max(f3);
st=fclose(fid);
```

```
fig1=subplot(312),stem(fr,r1,'.'),grid on,axis  
tight,set(gca,'ytick',[0:20:200]);
```

N.B : tous les courants sont exprimés en micro-Ampères.

$\varphi^\circ$  : Le déphasage courant-tension en degré

### 1. Essais préliminaires :

#### 1-1. Tension de contournement :

$\gamma$ ( $\mu\text{S}$ )	Propre	0.1	20	85	700	1000	600	Aluminium
$U_c$ (kV)	115	90	85	80	65	60	55	50

#### 1-2. Plaque propre :

U(kVmax)	15	30	45	60	75	90
$I_h$	27.541	66.850	124.019	273.409	553.918	895.777
$\varphi^\circ$	78.25890	82.12589	80.58971	70.42446	68.25491	70.5897

### 2. Résultats expérimentaux :

#### 2-1. Conductivité 0.1 $\mu\text{S}$ :

U(kVmax)	10	15	20	25	30	35
$I_h$	37.869	40.034	68.285	89.104	96.746	97.110
$\varphi^\circ$	70.80579	74.12	68.7818	71.29012	65.15053	77.4633

#### 2-2. Conductivité 85 $\mu\text{S}$ :

U(kVmax)	10	15	20	25	30	35
$I_h$	54.35691	73.68604	96.74638	97.11017	123.3768	169.1925
$\varphi^\circ$	55.79468	64.41598	71.5141	54.367	59.42458	61.04308

#### 2-3. Conductivité 1000 $\mu\text{S}$ :

U(kVmax)	10	15	20	25	30	35	40	50
$I_h$	74.607	92.082	99.251	148.501	182.838	205.412	248.681	338.15
$\varphi^\circ$	56.49866	59.36933	51.93266	60.76362	58.72889	56.21261	57.24422	55.24651

## ملخص

لدراسة العوازل الملوثة في شبكات النقل الكهربائي، نقدم في هذا العمل طريقة رقمية معتمدة على معالجة الامواج حيث يمكننا بهذه الطريقة دراسة خصائص موجة التيار التسرب عبر سطح عازل ملوث. يمكننا هذا البرنامج الرقمي من استخراج فرق الطور بين تيار التسرب وجهد التغذية، كما يمكننا من استخراج طيف التواتر لتيار التسرب.

كلمة رمز: تلوث العوازل، تيار التسرب، معالجة الأمواج، طبقة نصف ناقلة.

## Résumé :

Afin d'étudier le comportement des isolateurs installés en régions polluées, nous présentons, dans cette étude, une méthode numérique, basée sur le traitement des signaux, permettant d'analyser et de traiter l'onde courant. En effet, après l'enregistrement de l'onde courant passant à travers une surface isolante contaminée, nous déterminons à la fois, par le biais de notre programme, basé sur la transformation de fourier discrète, le spectre fréquentiel de cette onde et le déphasage entre la tension d'alimentation et le courant de fuite.

**Mots clés :** Pollution d'Isolateurs, Courant de fuite, Traitement de Signal, Couche semi-conductrice

## Abstract:

In order to study the behavior of insulators installed in polluted regions, we present, in this survey, a numeric method, based on the treatment of signals, permitting to analyze and to treat the wave leakage current. Indeed, after the registration of the wave current passing through a contaminated insulating surface, we determine at a time, by the slant of our program, based on the discreet fourier transformation, specter fréquentiel of this wave and the déphasage between the tension of feeding and the leakage current.

**Key words:** Pollution of insulators, leakage current, Treatment of Signal, Layer semi-driver,