

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Electrique  
Filière Electrotechnique

Projet de Fin d'Etudes  
pour l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état en Electrotechnique

THEME

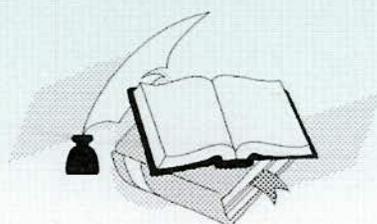


Etudié par :

M<sup>r</sup> : SAFER TABI Tayeb  
M<sup>r</sup> : LOUNIS Rafik

Proposé et dirigé par :

M<sup>r</sup> : A. MEKHALDI  
M<sup>r</sup> : M. TEGUAR



Promotion : Juin

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER



الدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Electrique  
Filière Electrotechnique

Projet de Fin d'Etudes  
pour l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état en Electrotechnique

THEME

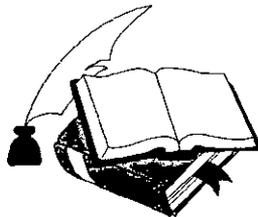
Comportement d'une surface isolante  
dans le cas d'une pollution non-uniforme

Etudié par :

M : SAFER TABI Tayeb  
M : LOUNIS Rafik

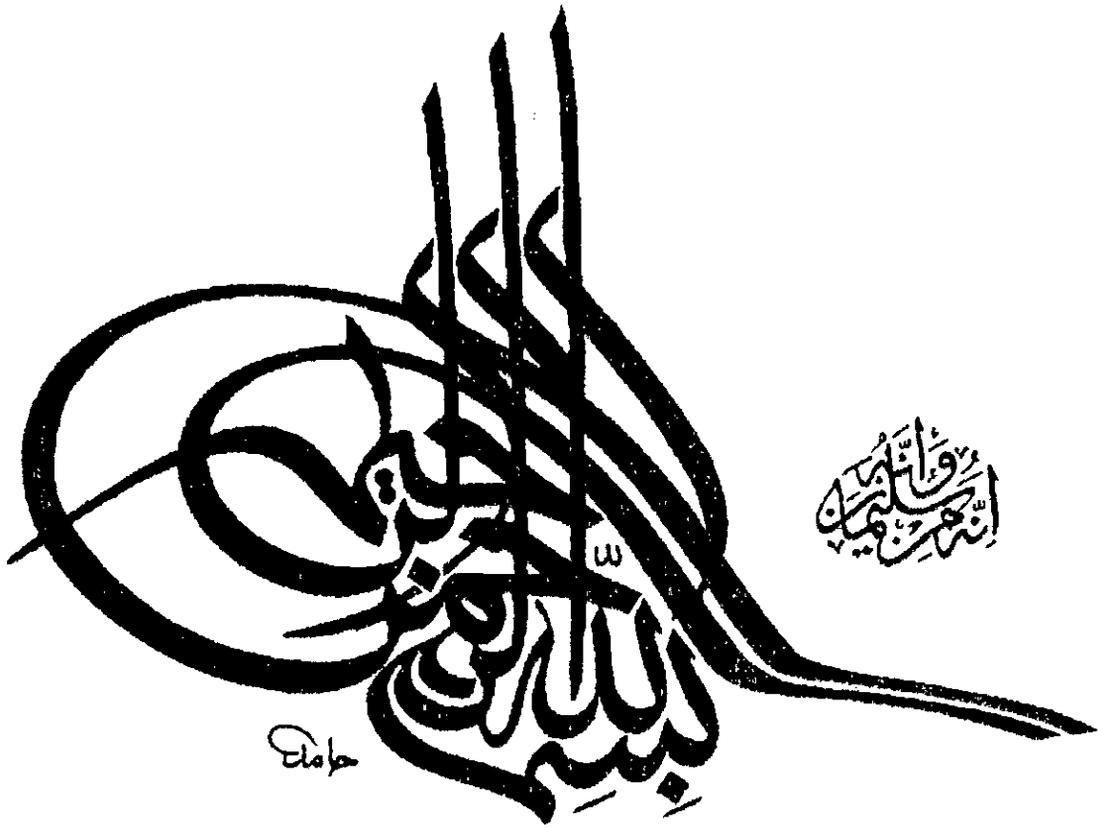
Proposé et dirigé par :

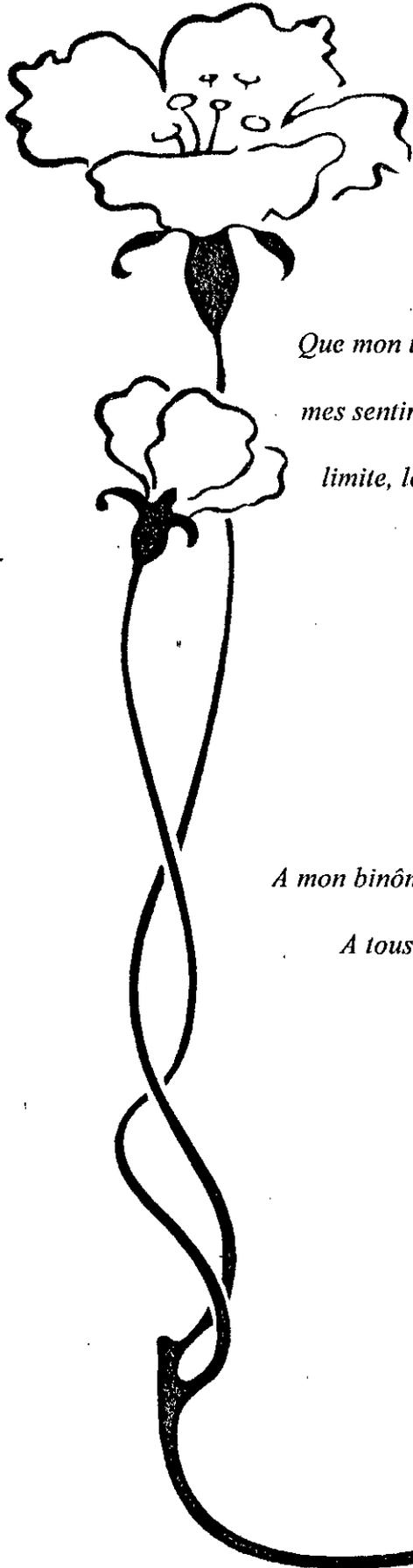
M : A. MEKHALDI  
M : M. TEGUAR



Promotion : Juin 2000

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique





## *Dédicace*

*Que mon très cher père, et ma très chère mère trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus profonds en témoignage de leur dévouement sans limite, leur sacrifice et leur confort moral et psychologique qu'ils m'ont assuré tout au long de mes années d'études.*

*A mon très cher oncle Ahcène.*

*A mon frère Farid.*

*A mes sœurs Naouel, Houda, Aïda et Fadia.*

*A toute ma famille.*

*A mon binôme Tayeb et mes très cher amis Abderrahim et El-Boukhary.*

*A tous mes frères de la résidence universitaire Bouraoui Ammar.*

*A tous les amis.*

*A tout qui s'adonnent à la recherche scientifique.*

*Rafik*



## *Dédicace*

*Que mon très cher père, et ma très chère mère trouvent ici l'expression de  
mes sentiments les plus profonds en témoignage de leur dévouement sans  
limite, leur sacrifice et leur confort moral et psychologique qu'ils m'ont  
assuré tout au long de mes années d'études.*

*A mon grand frère Zohir, pour son aide durant mes études.*

*A ma sœur Nassima.*

*A mes frères.*

*A toute ma famille.*

*A mon binôme Rafik et mes très cher amis Abderrahim et El-Boukhary.*

*A la promotion Electrotechnique 2000.*

*A tous les amis.*

*A tout qui s'adonnent à la recherche scientifique*

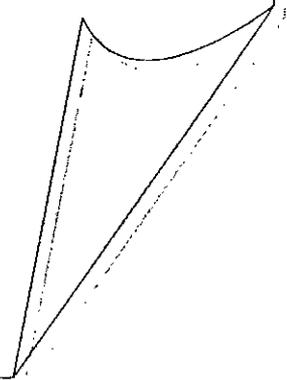
*Tayeb*

## *Remerciements*

*N*ous exprimons toute notre gratitude à Messieurs :  
A.Mekhaldi, Maître de conférences à l'ENP et M.Teguar, Chargé  
de cours à l'ENP, qui nous ont fait l'honneur d'encadrer notre travail et  
nos remerciements pour leur aides si précieuses.

*Nos vifs et sincères remerciement à :*  
*Monsieur Le Professeur A.Boubakeur, Président du jury,*  
*Madame D.Namane, membre de jury*  
*pour l'honneur qu'ils nous font d'accepter de jurer cette mémoire..*

*Nous n'excluons pas de ces remerciements toutes les personnes qui ont  
contribué à notre formation dans l'Ecole Nationale Polytechnique.*



# Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

## Chapitre I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### PARTIE A : Généralités

1. INTRODUCTION.....	03
2. PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS.....	04
2.1. Formation et répartition de la couche de pollution.....	04
2.2. Nature et degré de pollution.....	04
3. COMPORTEMENT DES ISOLATEURS SOUS POLLUTION.....	05
3.a. Dépôt de la pollution.....	05
3.b. Humidification du dépôt de pollution.....	05
3.c. Développement des zones sèches et apparition des arcs.....	06
3.d. Comportement des arcs.....	06
4. METHODES D'ESSAIS SOUS POLLUTION.....	06
5. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION.....	07
6. MODELES D'ETUDE DU COMPORTEMENT DES ISOLATEURS SOUS POLLUTION.....	07
6.a. Modèle de <i>Woodson</i> et <i>Mc Elroy</i> .....	08
6.b. Modèle de <i>Claverie</i> et <i>Porcheron</i> .....	08
6.c. Modèle de <i>J. Danis</i> .....	08
6.d. Modèle d' <i>Alston</i> et <i>Zoledziowski</i> .....	08
6.e. Modèle de <i>Wilkins</i> .....	08
7. CONCLUSION.....	10

### PARTIE B : La non-uniformité de la couche de pollution.

1. INTRODUCTION.....	11
2. TRAVAUX SUR ISOLATEURS REELS.....	12
2.1. Travaux sous pollution naturelle.....	12

a- Pollution marine.....	12
b- Pollution désertique.....	12
2.2.Travaux sous pollution artificielle.....	13
a/ Non-uniformité le long de la chaîne.....	13
b/ Non-uniformité le long de la surface de l'isolateur.....	15
3.TRAVAUX SUR MODELES DE LABORATOIRES.....	17
3.1 Modèle de <i>J.Danis</i> .....	18
3.2. Modèle de <i>M.N.Rayes et M.Zhirh</i> .....	21
3.3.Modèle de <i>Claverie et Porcheron</i> .....	22
4.CONCLUSION.....	26

## Chapitre II :                    **TECHNIQUES EXPERIMENTALES.**

1.INTRODUCTION.....	27
2. Circuit d'essais.....	27
a/ Circuit d'alimentation.....	27
b/ Modèle expérimental.....	28
c/ Circuit de mesures.....	28
3. Modes opératoires.....	29
a/ préparation du modèle.....	29
b/ procédé d'application et de répartition de la couche de la pollution.....	29
c/ Facteur de non-uniformité de la couche de pollution.....	30
d/ Conduite des essais.....	32
d.1.Courant de fuite.....	32
d.2.Tension de contournement.....	32

## Chapitre III :                    **RESULTATS ET INTERPRETATIONS.**

1.INTRODUCTION.....	33
2.COURANT DE FUITE.....	33
a/ Visualisation et analyse du signal du courant de fuite.....	33
b/ Influence du facteur de non-uniformité k.....	38

c/ Influence de la position des deux zones polluées.....	42
d/Influence de la tension d'alimentation.....	48
<b>3.TENSION DE CONTOURNEMENT.....</b>	<b>51</b>
a/Influence du facteur de non-uniformité k.....	51
b/ Influence de la position des couches de pollution.....	52
<b>4.CONCLUSION.....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>58</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>60</b>

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# *Introduction Générale*

# Introduction Générale

---

---

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension de la terre, et pour assurer une liaison mécanique entre les conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes [1].

Pendant leur utilisation, les isolateurs utilisés à l'extérieur peuvent être soumis à plusieurs contraintes. Parmi celles-ci, la pollution, qui constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux HT. Ce problème demeure, en dépit de plusieurs années de recherches et d'investigations, un sujet d'actualité.

De nombreux travaux ont permis d'observer que la répartition de la pollution le long de l'isolateur est très peu uniforme [2,3,4,5,6,7]. C'est dans ce cadre que certains chercheurs ont tenté par l'expérimentation [8,9,10], ou par la simulation [11,12], d'approcher le comportement de l'isolateur face à une distribution non-uniforme de la couche de pollution.

Certains d'entre eux, ont considéré le profil réel de l'isolateur [8,9,10,11]. D'autres ont adopté des modèles simples de laboratoire afin d'interpréter les expériences pratiques plus facilement et dans un temps réduit [12,13,14].

Nous avons tenté, à notre échelle, et par les moyens qui ont été mis à notre disposition, d'effectuer une étude sur le comportement d'une plaque isolante plane, polluée d'une façon non-uniforme.

Nous avons mené notre travail en utilisant un modèle de laboratoire sous tension alternative de fréquence industrielle (50Hz). Le modèle utilisé est semblable à celui de *Claverie et Porcheron* [15].

Trois chapitres feront l'objet de notre travail :

Le premier chapitre constitué de deux parties est réservé à une recherche bibliographique permettant de cerner les connaissances actuelles se rapportant au sujet traité. Dans la première partie nous présentons des notions fondamentales qui mettent en évidence un facteur très significatif dans la conception et l'utilisation des lignes électriques haute tension qui est la pollution des isolateurs. La deuxième partie concerne précisément à synthétiser certains travaux effectués sur la non-uniformité de la pollution.

Le deuxième chapitre est consacré au travail expérimental réalisé au laboratoire de Haute Tension de l'ENP, en présentant la technique utilisée.

Dans le dernier chapitre, nous présentons nos résultats suivis par des interprétations, et des comparaisons avec les résultats obtenus par d'autres auteurs.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale où des suggestions sont dégagées pour une analyse approfondie sur ce sujet.



*Chapitre I*  
*Recherche*  
*Bibliographique*

---

# Partie A :

---

## Généralités.

---

### 1.INTRODUCTION :

Le problème de la pollution se présente comme un ensemble de facteurs tout aussi complexes les uns que les autres et pouvant provoquer par leur action commune de nombreuses perturbations dans le fonctionnement des réseaux électriques. Ils peuvent dans les cas les plus critiques, conduire au contournement des isolateurs, ce qui constitue la situation la plus grave, car conduisant à la mise hors service d'une ligne électrique [2].

Il convient donc de connaître les différents phénomènes de pollution et les mécanismes de contournement des isolateurs et, d'autre part, de mesurer et de quantifier la sévérité de la pollution des différents sites. En plus de cela, et en procédant à un choix judicieux des isolateurs et la mise en place, si nécessaire, de solutions complémentaires fiables et économiquement justifiables, nous pouvons prévenir d'éventuels incidents.

Cette partie a pour but d'étudier l'influence de la pollution sur une isolation de type extérieur.

## **2. PHENOMENE DE LA POLLUTION DES ISOLATEURS :**

### **2.1. FORMATION ET REPARTITION DE LA COUCHE DE POLLUTION:**

L'ensemble des composants du réseau est soumis aux effets de la pollution, particulièrement aux dépôts de poussières, qui se déposent progressivement sur l'isolateur, en formant une couche de pollution. La répartition de cette couche de pollution dépend du profil des isolateurs, de la hauteur et de la disposition (verticale, horizontale ou inclinée) des chaînes d'isolateurs [4 ].

En général, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto-nettoyage (vent fort, forte pluie ) [5,6].

### **2.2. NATURE ET DEGRE DE POLLUTION :**

D'une région a l'autre, la nature de la pollution change. Les principales sources de pollution atmosphérique qui peuvent être rencontrées sont [16] : Pollution marine, Pollution désertique et Pollution industrielle.

Le choix des isolateurs à installer sur le réseau ne peut se faire que si la sévérité de la pollution est connue. Plusieurs méthodes sont proposées pour la détermination de la sévérité de la pollution d'un site [17,18]; parmi ces méthodes nous citons la densité du dépôt de sel équivalent (*DDSE*), la conductance superficielle, courant de fuite, Mesure de la pollution de l'air, mesures optiques et densité de dépôt non soluble (*DDNS*).

## **3.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, modifie la répartition de potentiel le long de la ligne de fuite, selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur. Quatre étapes distinctes peuvent définir

le comportement d'un isolateur [16], chacune de ces étapes ayant une importance sur le résultat final, c'est à dire la tenue ou le contournement de la chaîne isolante au moment de l'observation .

### 3.a. Dépôt de la pollution :

L'origine du dépôt polluant est soit naturel (sel, sable, ...), soit industriel (fumée, engrais, ...), soit encore une combinaison des deux.

Les particules de poussière sont apportées par le vent (l'isolateur, par sa présence, modifie le régime laminaire du vent), et se déposent entre les nervures ou derrière le capôt [16].

Les facteurs de vitesse d'accumulation sont les suivants [16] :

- *Nature du dépôt, poids et taille des particules.*
- *Distance de l'isolateur par rapport à la source de pollution.*
- *La vitesse du vent.*
- *L'orientation de la chaîne.*
- *La forme de l'isolateur et son aptitude à l'auto-nettoyage.*

L'accumulation du dépôt est continue et n'est modifiée que par la pluie et le vent. Ce nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que sur le dessous, ce qui a été démontré par plusieurs chercheurs [2,4,5,6 ] .

### 3.b. Humidification du dépôt de pollution :

Le brouillard, la condensation, et la pluie fine humidifient graduellement la surface de l'isolateur. Les sels contenus dans le dépôt se dissolvent et créent un électrolyte plus ou moins conducteur. Un courant de fuite prend alors naissance dès qu'il est continu sur la surface de l'isolateur.

Pendant le cycle d'humidification, le courant de fuite augmente à une valeur maximale, mais diminue s'il y a lavage ou séchage. Le niveau de ce courant de fuite dépend du temps, de la nature et de la quantité des sels solubles et des produits insolubles contenus dans le dépôt. Le produit insoluble maintient par capillarité une

certaine quantité d'eau à la surface de l'isolateur, favorisant ainsi l'humidification du dépôt.

### 3.c. Développement des zones sèches et apparition des arcs :

La densité du courant de fuite est beaucoup plus importante près du capot et de la tige de l'isolateur [16].

Par effet Joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt cesse d'être conducteur. Le courant de fuite est alors interrompu par la présence de bandes sèches. La répartition de potentiel sur l'isolateur est modifiée par ces bandes sèches. La plupart des potentiels est appliquée aux bornes des bandes sèches. Si leur largeur est insuffisante pour supporter le potentiel, un arc se crée.

### 3.d. Comportement des arcs :

La résistance du dépôt humidifié est en série avec l'arc. Elle limite ainsi le courant de l'arc et sa longueur. Si le courant est très faible, l'arc s'éteindra. Dans le cas d'une humidification continue, la bande sèche s'humidifiera à nouveau et le mécanisme se répétera encore. Tant que le courant de fuite n'excède pas ce que l'on appelle "le courant critique", cette situation reste stable.

Si la résistivité de la pollution humidifiée est suffisamment faible et que le courant de fuite augmente jusqu'au point de dépasser le seuil du courant critique, la longueur de l'arc s'allonge rapidement, court-circuite l'isolateur, et la chaîne contourne.

## **4. METHODES D'ESSAIS SOUS POLLUTION :**

Pour comprendre l'influence de nombreux facteurs sur la tenue diélectrique des isolateurs pollués, il est nécessaire de les soumettre à des essais. C'est pourquoi, plusieurs axes de recherches sont entrepris dans ce domaine.

On distingue deux catégories d'essais sur les isolateurs pollués [17] :

- Essais sous pollution naturelle : Ils ont l'avantage de tenir compte de l'effet de toutes les contraintes, dans toute leur complexité dans un site donné.

L'inconvénient majeur est qu'ils nécessitent plusieurs années pour pouvoir étudier valablement les performances des isolateurs.

- Essais sous pollution artificielle : Ils consistent à reproduire en laboratoire les conditions de la pollution naturelle. Ils sont aujourd'hui largement utilisés et ont l'avantage d'être rapides. Les méthodes d'essais qui demeurent actuellement normalisées sont les méthodes de la couche solide et la méthode du brouillard salin [20].

## 5. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION :

Les principaux moyens de lutte utilisés sont [2] :

- *Allongement de la ligne de fuite.*
- *Graissage périodique.*
- *Revêtements siliconés.*
- *Utilisation des isolateurs composites.*
- *Nettoyage des isolateurs.*

Ces moyens de lutte doivent tenir compte des données propres au site considéré et du changement possible de la sévérité de la pollution due à de nouveaux facteurs tels que la construction d'une nouvelle usine, de travaux routiers ou simplement des conditions météorologiques exceptionnelles [21].

## 6. MODELES D'ETUDE DU COMPORTEMENT DES ISOLATEURS SOUS POLLUTION :

Afin de contourner la difficulté liée à la configuration souvent complexe de l'isolateur, des modèles de laboratoire ont été adoptés par un certain nombre de chercheurs [13,15,22,23,24]. Si quelques modèles reflètent assez bien le comportement de l'isolateur, d'autres par contre en restent assez éloignés [22,23].

Nous citons brièvement quelques-uns de ces modèles les plus utilisés

**6.a.Modèle de Woodson et Mc Elroy :**

En utilisant une configuration géométrique circulaire, *Woodson* et *McElroy* [23] ont essayé de reproduire d'une façon idéale, la surface d'un isolateur (Fig.6.a).

Ce modèle n'a pas donné de résultats satisfaisants. Cela a été imputé à la non-uniformité de la résistivité superficielle de l'isolateur.

**6.b.Modèle de Claverie et Porcheron :**

Le plus utilisé des modèles de laboratoires est celui considéré par *Claverie* et *Porcheron* [15]. Ce modèle est constitué d'une surface isolante plane munie de deux électrodes planes et recouverte d'une couche de pollution. L'électrode circulaire mise sous tension est disposée à une distance donnée de l'électrode rectangulaire mise à la terre (Fig.6.b).

**6.c.Modèle de J.Danis :**

Ce modèle [13] prend en considération la discontinuité de la couche de pollution. En effet, Celui-ci comprend plusieurs zones sèches en alternance avec celles polluées (Fig.6.c).

**6.d. Modèle d'Alston et Zoledziowski :**

Il est constitué d'un cylindre muni de deux électrodes. Ces dernières étant disposées tout autour des extrémités du cylindre (Fig.6.d) [21].

**6.e. Modèle de Wilkins :**

Celui-ci [24 ] est constitué d'une électrode mise sous tension et située au-dessus d'un bac rempli d'eau additionnée de sel, permettant de simuler la zone polluée. La zone sèche étant considérée comme l'espace compris entre l'électrode et l'eau (Fig.6.e). Ce modèle est très utilisé pour étudier le critère de propagation de l'arc [25 ].

Tous ces modèles de laboratoire ont permis par la simplicité de leur configuration, d'examiner aisément l'influence de nombreux paramètres sur le comportement de l'isolateur (courant de fuite, contournement, tension d'entretien de l'arc, etc.) [12,26,27].

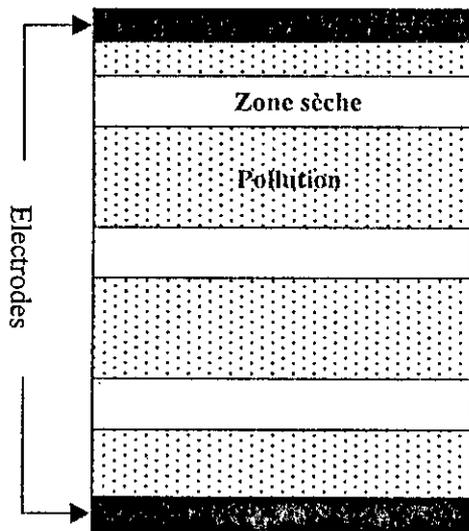


Fig.6.c : Modèle de *J.Danis*

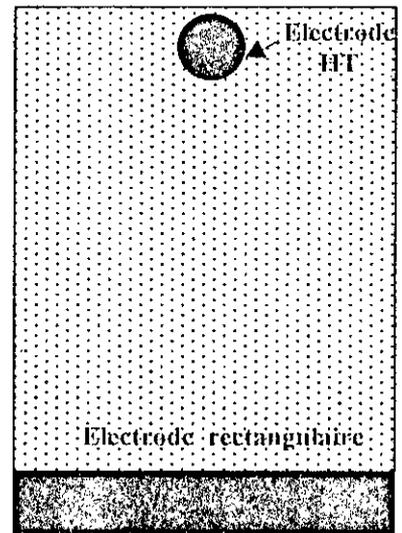


Fig.6.b : Modèle de *Claverie et Porcheron*

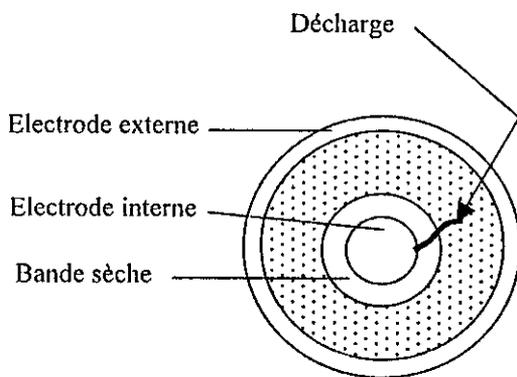


Fig.6.a : Modèle de *Woodson et McElroy*

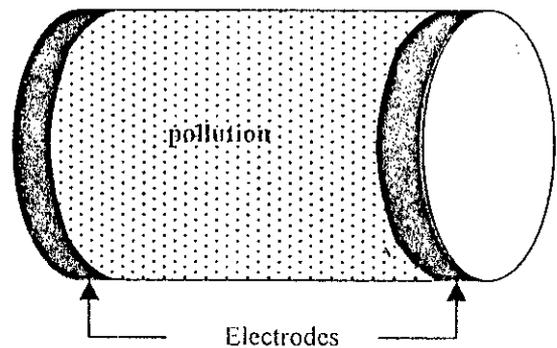


Fig.6.d : Modèle d'*Alston et Zoledziowski*

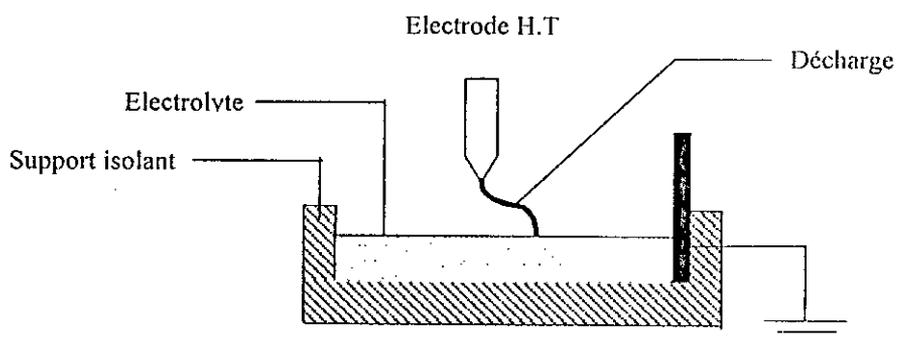


Fig.6.e : Modèle de *Wilkins*

## **7. CONCLUSION :**

La pollution des isolateurs est un paramètre dont il faut tenir compte dans la conception des lignes électriques haute tension de transport de l'énergie électrique.

Pour mieux dimensionner les chaînes d'isolateurs, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation (salinité, courant de fuite...). Pour cela, plusieurs modèles théoriques et expérimentaux ont été proposés afin de se rapprocher de la réalité.

Les techniques de lutte contre la pollution permettent de limiter tant que possible, les facteurs qui favorisent la génération et la propagation des arcs électriques.

# Partie B :

## *La Non-uniformité de la couche de Pollution.*

---

### 1. INTRODUCTION :

A cause de leur forme et de leur position en exploitation (verticale, horizontale, oblique), des conditions météorologiques (vent, pluie ), de l'attraction électrostatique des particules polluantes en présence du champ électrique, les isolateurs de haute tension des lignes aériennes sont en réalité pollués de manière toujours non uniforme.

Nous nous intéressons dans cette partie aux deux types suivants de la non-uniformité :

- La non-uniformité le long de la chaîne d'isolateurs.
- La non-uniformité le long de la surface de l'isolateur.

Cela peut être illustré par des travaux sur isolateurs réels, ainsi que par des modèles de laboratoire, et enfin par des formulations mathématiques.

## **2. TRAVAUX SUR ISOLATEURS REELS :**

### **2.1. TRAVAUX SOUS POLLUTION NATURELLE :**

La répartition de la couche de pollution sur l'isolateur en essai est un paramètre qu'il faut considérer. En effet, de nombreux travaux sur des stations d'essais installées dans des sites pollués à travers le monde, ont permis d'observer que la répartition de la pollution le long de l'isolateur est très peu uniforme. Ces travaux ont été effectués dans des stations où règne une pollution soit marine soit désertique [3,4,5,6].

#### **a- Pollution marine :**

*T. Keller-Jacobsen* [5] ont effectué des travaux sur sites situés dans les régions côtières. Ils ont utilisé la méthode de *DDSE* en prenant soin de différencier le côté dessus du côté dessous des surfaces de l'isolateur. Ils ont remarqué que :

- Les isolateurs à long fût avec les dessous de la surface de l'isolateur nervurés recevront plus de dépôts par rapport aux isolateurs dont les dessous de la surface sont lisses.
- La face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure.
- La concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
- La pollution est plus accentuée entre les nervures.

Les nervures situées sur la surface inférieure de l'isolateur ne sont pas exposées directement aux conditions météorologiques. Ceci favorise l'accumulation de la pollution, et donc la diminution des propriétés de l'isolement de l'isolateur, même si ces nervures ont l'avantage de rallonger la ligne de fuite de l'isolateur et donc de réduire la longueur totale de la chaîne pour une ligne donnée.

#### **b- Pollution désertique :**

Les travaux d'observation d'un grand nombre de chercheurs [4] sur les stations d'essais touchées par la pollution désertique, ont montré une grande similitude avec celles situées en bord de mer, malgré la nature différente des deux pollutions.

Cette similitude a été démontrée, lorsque *M.A.B.EL-Koshairy* et *al* [4] ont observé, après une exposition de six mois de chaînes d'isolateurs, une densité de pollution maximale sur les isolateurs situés le plus près des conducteurs sous tension, alors qu'elle est minimale sur les éléments reliés à la console.

En outre, Ils ont constaté que lorsque la chaîne devient plus longue, le rapport entre la densité maximale et la densité minimale du dépôt de pollution augmente. Ce qui accentue encore davantage la non-uniformité de répartition de la pollution le long de la chaîne.

Ces mêmes auteurs, ont également montré que la quantité de pollution déposée sur un isolateur augmente lorsque la tension qui lui est appliquée augmente [4], ce qu'a voulu montrer Suift [6] dans les conditions marines.

Par ailleurs, des travaux portant sur l'état de distribution non-uniforme, d'une durée de trois ont été faits par *A.EL-Arabaty* et *A.Nosseir* [28]. Ces travaux ont concerné en plus du degré de pollution, la répartition de la pollution sur différents types d'isolateurs.

Sur la base de ces travaux que nous venons de présenter, nous pouvons dire, que quel que soit le type de la pollution (marine ou désertique), la répartition de la pollution est loin d'être uniforme. Celle-ci dépend principalement du niveau de tension appliquée, du profil de l'isolateur et de la position de l'isolateur par rapport au conducteur sous tension.

## **2.2.TRAVAUX SOUS POLLUTION ARTIFICIELLE :**

### **a/ Non-uniformité le long de la chaîne :**

*L.E.Zaffanella* et *H.M.Schneider* [8] ont effectué des essais comparatifs sous tension continue sous pollution artificielle, entre des chaînes polluées d'une façon uniforme et des chaînes non-uniformément polluées. Leurs résultats montrent que la tension de contournement d'une chaîne polluée uniformément, avec la même *DDSE*, était de 20% inférieure à celle de la chaîne non-uniformément polluée.

D'autres essais [8] ont montré que la tension de contournement des chaînes non-uniformément polluées est égale à la somme de celle de chacun de ses composants. Il est ainsi possible d'additionner les tensions de contournement de chaque isolateur ou de diviser la chaîne en plusieurs parties et de calculer la tension d'amorçage de la chaîne complète par sommation.

Par contre, *H.Streubel* [10] affirme qu'il peut y avoir une diminution notable de la tension de contournement dépendant de la conductivité intrinsèque de chaque groupe. La tension d'alimentation dans ce cas était alternative.

En prenant le cas le plus simple correspondant à deux groupes de conductivités différentes, il a abouti aux constatations suivantes :

- Si seulement 50 à 60% de la ligne de fuite est couverte par la conductivité la plus élevée, la tension de contournement chutera à une valeur proche de celle correspondante à la ligne de fuite complètement polluée par la conductivité la plus élevée.
- Quand 80 à 85% de la ligne de fuite est couverte par la conductivité élevée, la tension de contournement diminuera à une valeur plus faible par rapport à une distribution uniforme de la pollution faite par cette conductivité.
- La tension de contournement totale est toujours inférieure à la somme des tensions de contournement des groupes séparés. Cette diminution dépendra, outre du pourcentage en longueur, du rapport des conductivités.

Ce comportement de la tension de contournement, confirmé par des essais au laboratoire, est expliqué selon l'auteur, par l'hypothèse que la tension de contournement totale est composée par la tension de contournement de la partie avec la conductivité faible et la chute de tension aux bornes de l'autre partie qui présente une conductivité plus grande. En effet, la tension aux bornes de la partie avec la conductivité la plus faible étant autant élevée que la tension de contournement exigée.

**b/ Non-uniformité le long de la surface de l'isolateur :**

L'auteur *H.Streubel* [10] a tenté d'étudier l'effet d'une pollution non-uniforme appliquée à un isolateur à long fut. Ses travaux ont conduit aux résultats et remarques suivantes :

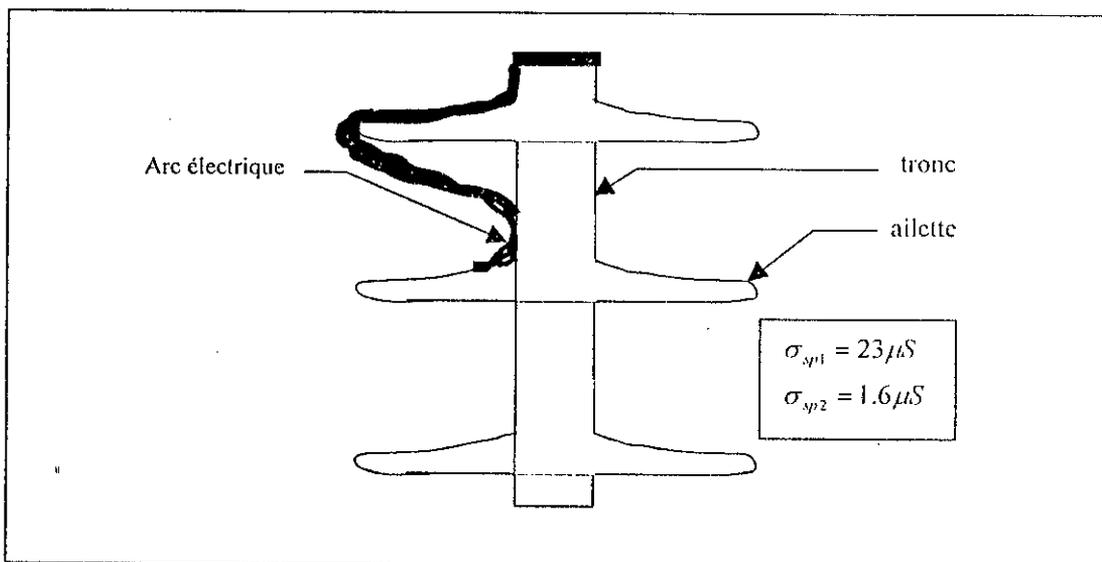
- Si en maintenant la conductivité de la face supérieure de l'ailette  $\sigma_0$  constante, et en faisant varier la conductivité de la face inférieure et le corps de l'isolateur ( $\sigma_0/\sigma_n < 1$ ), la tension de contournement aura une valeur maximale correspondant à un rapport de conductivité  $\sigma_0/\sigma_n$  proche de 1 (0.63) d'après ses expériences. Ce rapport désigne en particulier la répartition uniforme.
- En faisant augmenter la conductivité de la face supérieure  $\sigma_0$  et en gardant la conductivité de la face inférieure et du corps  $\sigma_n$  constante, on remarque une nette décroissance de la tension de contournement à partir du point  $\sigma_0/\sigma_n=1$ .
- La tension de contournement tend vers une valeur limite quand la conductivité d'une portion de la ligne de fuite tend vers l'infinie et correspond ainsi à la tension de contournement de la partie avec la faible conductivité.

L'interprétation donnée à ce comportement est que la partie avec la conductivité faible se court-circuite avant la partie avec la grande conductivité (en raison de la tension rapportée a ses bornes). Si la partie avec la faible conductivité est court-circuitée, l'autre partie se comporte donc comme une faible résistance en série avec l'arc, ce qui constitue un cas favorable au contournement.

Par ailleurs, *S.Djafri* et *R.Boudissa* [9], ont effectué des essais de pollution artificielle sur des isolateurs à ailettes. La pollution dans ce cas est réalisée en portant simultanément à l'aide d'un pinceau des solutions de conductivités différentes en plusieurs endroits judicieusement choisis sur la surface de l'isolateur. Deux variantes (a) et (b) de non-uniformité ont été étudiées. La première consiste à polluer fortement le tronc ainsi que la face supérieure des ailettes pendant que la face inférieure de celle-ci est faiblement polluée. La seconde consiste à polluer fortement les ailettes et faiblement le tronc.

Les principaux résultats et remarques de *S.Djafri* et *R.Boudissa* sont [9] :

- Les phénomènes de décharges observés durant les essais correspondant à une pollution uniforme ne laissent apparaître aucun raccourcissement de l'arc conduisant au contournement.
- Les essais effectués sur l'isolateur dans les conditions de pollution non-uniforme ont conduit à une diminution sensible de la tension linéique de contournement par rapport à celle mesurée sur ce même isolateur uniformément pollué. De plus, cette diminution est croissante en fonction du degré de la non-uniformité ( $\sigma_{sp1}/\sigma_{sp2}$ ) de la couche de pollution.
- Pour une valeur plus grande du rapport  $\sigma_{sp1}/\sigma_{sp2}$ , par exemple 60, la tension linéique subie une baisse de presque 25% de la tension mesurée pour un même courant en pollution uniforme.
- Les phénomènes de décharge observés au laboratoire pendant les essais ont montré une différence dans le comportement de l'arc électrique par rapport à celui observé sur le même isolateur lors des essais effectués sous pollution uniforme. En effet, au lieu de se propager le long de la ligne de fuite de l'isolateur, l'arc s'écarte de la surface de celui-ci pour court-circuiter finalement une partie ou la totalité du tronçon situé entre le tronc et la face inférieure de l'ailette (Fig. 2.2.b).



**Fig.2.2.b** : Raccourcissement d'arc sous ailettes

Cependant, dans ce travail, Les auteurs n'ont pas pris en considération le fait qu'en pratique, la face inférieure de l'isolateur est la plus touchée par la pollution. Néanmoins, ils ont pu mettre en évidence un résultat très intéressant se rapportant au fait que la non-uniformité de la pollution engendre un raccourcissement de l'arc électrique, et donc une diminution de la tension de contournement.

Une autre étude a été faite par *L.E.Zaffanella* et *H.M.Schneider* [8] portant sur la non-uniformité le long de la surface de l'isolateur, ils ont suivi les procédures suivantes :

- Initialement, la *DDSE* de la face inférieure est maintenue constante ( $0,03 \text{ mg/cm}^2$ ), la face supérieure est polluée de manière à varier le rapport  $N$  donné par :

$$N = \frac{DDSE \text{ (côté dessus)}}{DDSE \text{ (côté dessous)}} \quad (1.1)$$

- Par la suite, une deuxième valeur de la *DDSE* ( $0,15 \text{ mg/cm}^2$ ) de la face inférieure est adoptée et on procède de la même manière pour obtenir également des rapports dans la même plage de variation, celle-ci allant de  $N = 0.05$  à  $1$ .

Les résultats donnés en pourcentage de la tension d'amorçage pour  $N=1$  (pollution continue) ont conduit à la formule empirique suivante :

$$U_c(\%) = 100 \cdot \left( \frac{U_c(N)}{U_c(1)} \right) = 100 \cdot (1 - k \cdot \log(N)) \quad (1.2)$$

Avec  $k$ , désignant une constante dépendant de la *DDSE* côté dessous ainsi que du type d'isolateur étudié. Une valeur moyenne ( $k=0,38$ ) a été déterminée à partir de la caractéristique  $k$  en fonction de la *DDSE* côté dessous (pour différents types d'isolateurs).

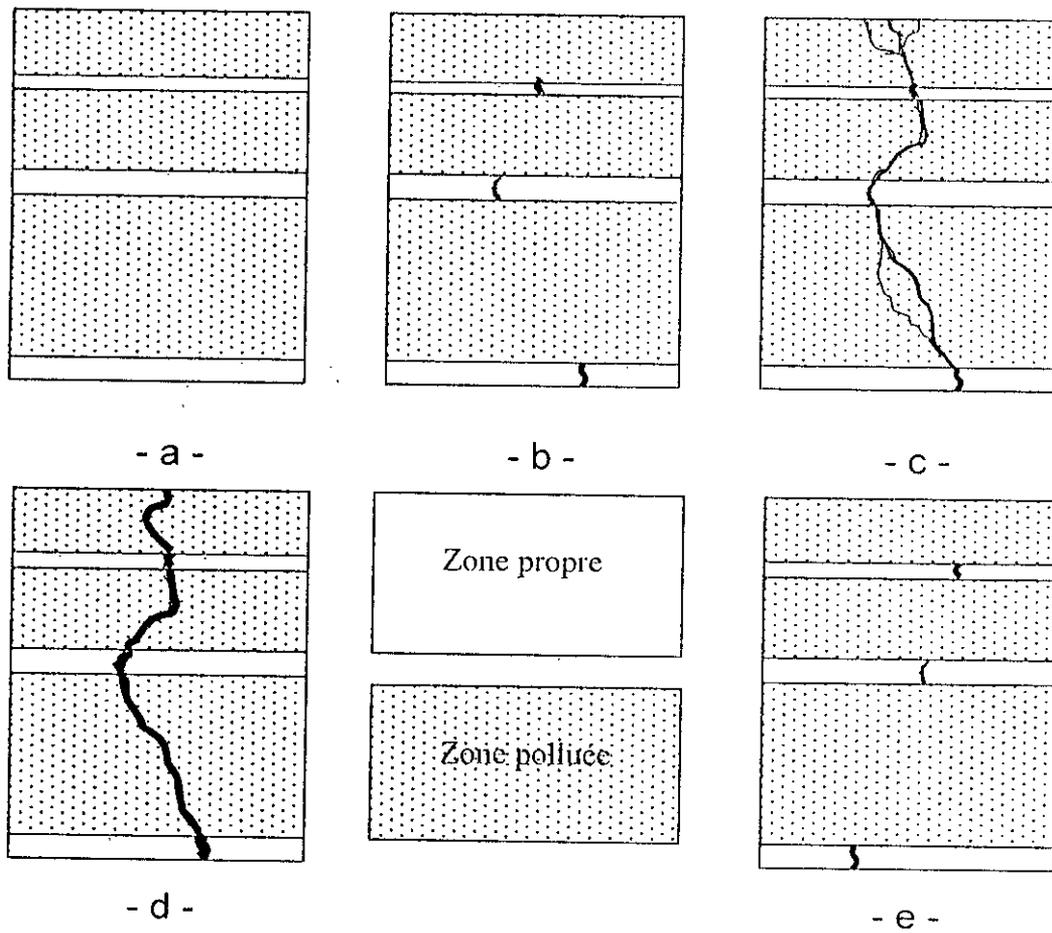
### 3. TRAVAUX SUR MODELES DE LABORATOIRES :

Dans ce paragraphe, nous présentons quelques travaux effectués sur des modèles de laboratoires. Ceux ci ont l'avantage de mieux observer les phénomènes électriques (arc, contournement, courant de fuite) et de mieux comprendre le processus physique

accompagnant ces phénomènes par l'établissement d'équations simples illustrant le modèle en question.

### 3.1.MODELE DE J.DANIS :

La discontinuité de la couche de pollution peut être considérée comme une non-uniformité de cette couche, puisque les zones sèches ont une conductivité différente de celle des zones polluées. Pour étudier ce cas, *Danis* a pris en considération un modèle simple constitué d'une plaque isolante, munie de deux électrodes identiques, rectangulaires et placées aux deux extrémités de la plaque (Fig.3.1 ) [13].



- a : absence d'arcs
- b : formation d'arcs
- c : connexion des arcs :
- d : le contournement
- e : création d'arcs (2<sup>ème</sup> expérience)

**Fig.3.1** : Modèle de J.Danis

Des zones sèches sont préétablies sur le modèle, à différents endroits de la plaque, afin d'étudier les différentes étapes de développement de l'arc électrique précédant le contournement :

- L'arc se développe toujours d'abord à travers la zone sèche, puis dans la zone humide.
- L'arc peut se développer à n'importe quelle position le long de la zone sèche et aucune position n'est donc privilégiée par rapport à une autre.
- Dans le cas d'une alimentation continue, l'aspect de l'arc dépend de la polarité de l'électrode qui se trouve juste à proximité de l'arc (en cas de zone humide). Il semblerait que l'anode provoque un arc en forme de simple décharge lumineuse. La cathode, par contre, provoque un arc aux multiples ramifications fines. De plus, le développement de l'arc à proximité de la cathode est plus rapide que celui à proximité de l'anode.
- Plusieurs arcs peuvent se développer en parallèle aux premiers stades du processus. Ceux-ci disparaissent ensuite lorsque le courant augmente et un seul arc dominant persiste au cours des étapes suivantes. Celui-ci se développe donc, seul, à travers la zone humide. Dans le cas de plusieurs zones sèches, le développement de l'arc d'une zone sèche à travers la zone humide s'effectue de manière à rejoindre l'arc développé sur la zone sèche voisine.
- Le contournement se fait à travers les chemins déjà préétablis par les différents arcs de chaque zone sèche.
- Lorsque l'expérience est répétée, les positions des arcs développés sont différentes, et le contournement se fera donc à travers un tout autre chemin.

A partir de ces observations et remarques, l'auteur a conclu que le phénomène de rupture des zones sèches est aléatoire. Comme la tension de contournement dépend de la rupture de ces zones sèches, celle-ci possède également le même caractère aléatoire.

### 3.2. MODELE DE M.N.RAYES ET M.ZHIRH :

Le modèle est constitué d'une électrode de haute tension placée au-dessus d'une plaque isolante, à une distance  $s$ , considérée égale à la largeur de la zone sèche. La plaque isolante est placée sur quatre colonnes uniformément polluées, de longueur  $l - s$ , égale à la distance séparant cette plaque de la terre (Fig.3.2) [14].

En faisant varier la longueur des colonnes, et en relevant les tensions de contournement correspondantes, les auteurs remarquent que :

- L'allure des courbes représentant la variation de la tension de contournement en fonction de  $s$  est en forme de  $V$ , et le minimum correspond à une largeur  $s_{min}$  située à environ 45-50% de la longueur  $l$ .
- Pour une même largeur de la zone sèche, la tension de contournement diminue avec la conductivité des couches polluantes.
- La tension de contournement de l'ensemble zone sèche-zone polluée semble être confondue avec celle de la zone polluée lorsque  $s < s_{min}$ , et avec celle de la zone sèche pour  $s > s_{min}$ .

L'auteur conclut que :

- Le contournement de l'isolateur sous tension à fréquence 50 Hz dépend du rapport des largeurs des zones sèches et polluées.
- Les courbes en  $V$  obtenues ont montré que le contournement total ne représente pas la somme des contournements partiels des zones sèches et zones polluées.
- Le contournement total correspond à un des contournements partiels considérés, suivant le rapport entre les largeurs de la zone sèche, et de la zone polluée.

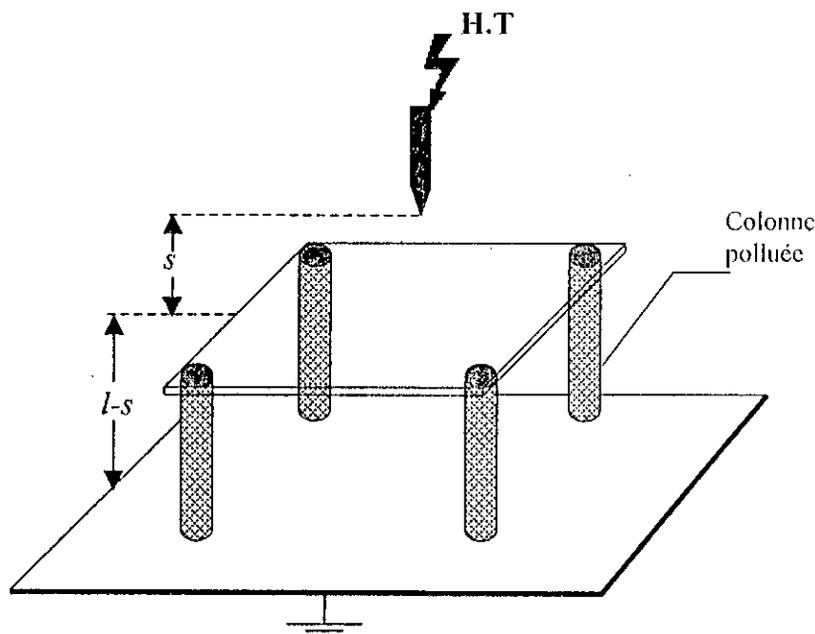


Fig.3.2 : Modèle de *M.N.Rayes* et *M.Zhirh*.

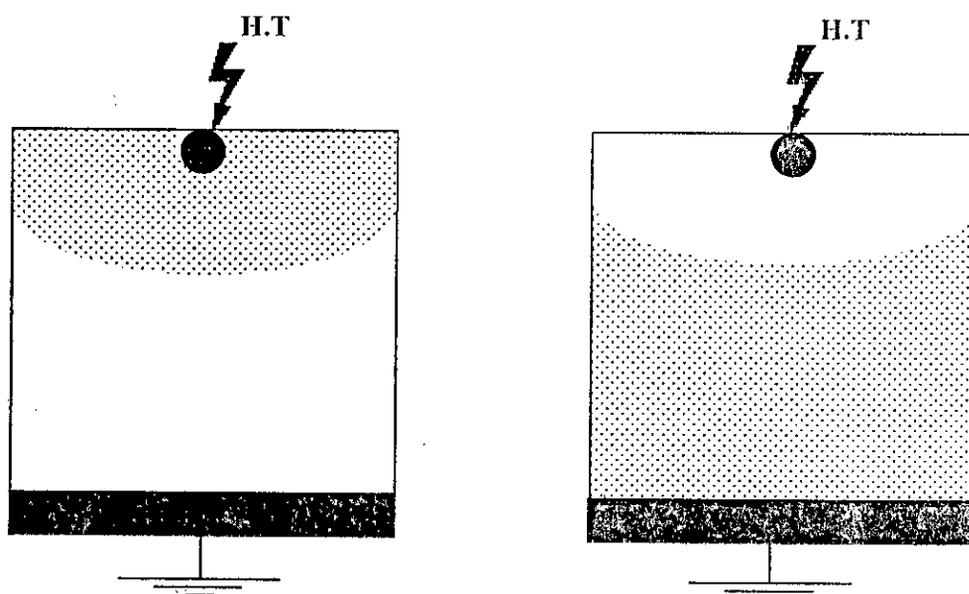
### 3.3.MODELE DE CLAVERIE ET PORCHERON :

Parmi les travaux effectués sur le modèle de *Claverie* et *Porcheron* [15], une étude approfondie a été faite par *D.Namane* [12] concernant l'effet de la discontinuité de la pollution sur le comportement de la surface isolante du modèle, ainsi que l'influence de l'endroit d'établissement de la couche de pollution par rapport aux électrodes. Pour cela, pour une tension donnée, l'auteur fait varier la largeur de la couche de pollution de  $0.1L$  à  $L$  ( $L$  étant la longueur de fuite totale égale à  $39.5$  cm ), en relevant le courant de fuite correspondant (fig.3.3).

A travers ses observations et remarques sur le courant de fuite et la tension de contournement, l'auteur a conclu que :

- Il existe un régime critique à partir duquel on obtient une hausse brutale du courant. Ce régime est atteint pour les grandes largeurs de la couche polluante, lorsque la tension et/ou la conductivité sont élevées.

- Le courant de fuite est toujours plus élevé lorsque la couche polluante est du côté de l'électrode rectangulaire, mise à la terre.
- La conductivité influe sur le courant de fuite, surtout lorsque la couche de pollution est établie côté terre.
- La position de la pollution n'a apparemment pas d'influence sur la tension de contournement pour les conductivités utilisées.
- Il existe une longueur critique de la zone sèche à partir de laquelle on ne peut plus maintenir un arc stable. Cette longueur, évaluée au tiers de la longueur de la plaque, diffère considérablement de la longueur critique d'arc obtenue par Claverie et Porcheron dans le cas de pollution continue [24].
- La longueur critique de la zone sèche est toutefois indépendante de la conductivité.



**Fig.3.3** : Les deux modes de pollutions

Afin d'estimer quantitativement la tension reportée sur la zone sèche en la comparant avec la tension aux bornes des électrodes, *D.Namane* [12] a proposé un modèle empirique simple, qui a donné en effet de très bons résultats en régime linéaire.

Pour cela, l'auteur a commencé d'abord par déterminer l'impédance équivalente entre les deux électrodes, celle-ci est la somme de deux impédances :

1. Impédance empirique de la zone sèche proposé par l'auteur donnée par :

$$Z_{oc}(y) = Z_{oc}(y') = Z_0(y=0) \cdot \left( \frac{l-y}{l} \right)^{0.42} \quad (1.3)$$

Avec :

$Z_{oc}$  : impédance empirique de la zone sèche en fonction de la largeur de la couche polluée.

$Z_0(y=0)$  : impédance totale mesurée de la plaque propre lorsqu'il n'y a pas de pollution. Celle-ci a été évaluée à :  $4,24 \cdot 10^8 \Omega$ .

$L$  : distance inter-électrodes=40 cm.

$y$ (ou  $y'$ ) : Largeur de la pollution en cm (côté terre ou côté haute tension).

2. Impédance de la pollution, en s'inspirant du modèle de *A.Mékhaldi* et *S.Bouazahia* donnée par [26] :

- Pour le cas de la pollution coté terre :

$$R(y) = \frac{1}{e\gamma\alpha} \text{Log} \left( \frac{y+a}{a} \right) = \frac{k}{\gamma} \cdot \text{Log} \left( \frac{y+a}{a} \right) \quad (1.4)$$

- Pour le cas de la pollution coté haute tension :

$$R(y') = \frac{k}{\gamma} \cdot \text{Log} \left( \frac{a+l}{a+l-y'} \right) \quad (1.5)$$

$e$  : épaisseur moyenne de parcours du courant.

$\gamma$  : conductivité de la couche de pollution.

$\alpha$  : angle utile de parcours du courant (Fig.2.3).

Le paramètre  $k = \frac{1}{e\alpha}$  : est déterminé à partir des caractéristiques expérimentales par la valeur :  $8,26 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-1}$ .

Enfin, L'impédance totale entre électrodes est donné donc par :

- Pour le cas de la pollution coté haute tension :

$$Z_i(y) = Z_0 \cdot \left( \frac{l-y}{l} \right)^{0.42} + \frac{k}{\gamma} \cdot \text{Log} \left( \frac{y+a}{a} \right) \quad (1.6)$$

- Pour le cas de la pollution coté terre :

$$Z_i(y') = Z_0 \cdot \left( \frac{l-y'}{l} \right)^{0.42} + \frac{k}{\gamma} \cdot \text{Log} \left( \frac{a+l}{a+l-y'} \right) \quad (1.7)$$

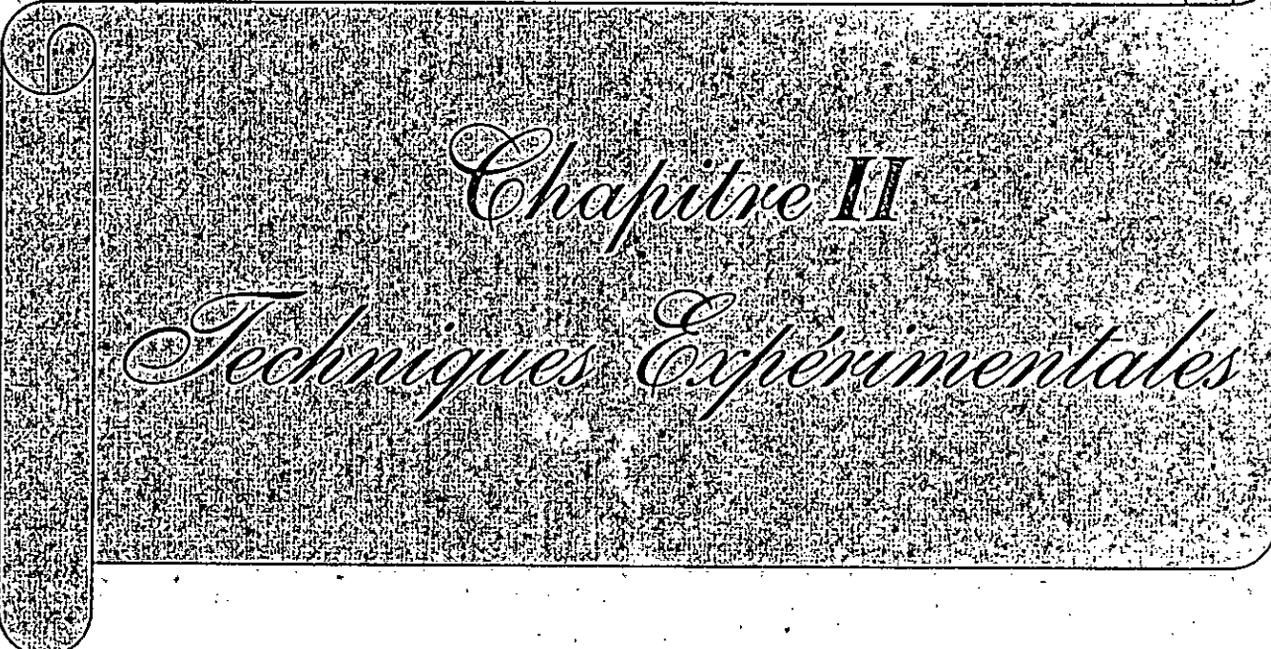
En comparant les résultats du modèle empirique avec ceux de l'expérimentation, l'auteur a remarqué une similitude en régime linéaire. Mais, pour un régime critique où l'impédance apparente de la zone sèche est modifiée, le modèle empirique ne convient plus.

#### 4. CONCLUSION :

Dans cette partie, nous avons mené une recherche bibliographique qui nous a permis d'explorer les différents résultats de plusieurs chercheurs portant sur la non-uniformité de la pollution le long d'une surface isolante.

Un fait très important qui ressort de cette synthèse est l'intégralité des résultats obtenus par les auteurs [3-6] :

- ◆ La surface supérieure de l'isolateur, tant qu'elle est exposée aux facteurs d'auto-nettoyage, porte une pollution moins accentuée que celle de la surface inférieure.
- ◆ La pollution augmente sensiblement de la zone périphérique vers la zone centrale de l'isolateur.
- ◆ La non-uniformité de la pollution le long d'une chaîne d'isolateurs est due principalement à la position des isolateurs, et à la tension appliquée. En plus, en augmentant la tension, la pollution devient plus importante.
- ◆ La rigidité diélectrique d'un isolateur est liée d'une part au rapport entre les conductivités des parties de la couche polluante, et d'autre part, au rapport de leurs portions de la longueur de fuite.
- ◆ La non-uniformité de la pollution le long de la surface d'un isolateur, peut être la cause de certains phénomènes complexes conduisant au contournement (raccourcissement de l'arc [9], création d'arcs multiples [12]).



*Chapitre II*  
*Techniques Expérimentales*

## 1. INTRODUCTION :

Le présent travail consiste à mettre en relief l'influence d'une configuration non-uniforme de la pollution sur le comportement d'une surface isolante plane. Pour cela nous avons mesuré le courant de fuite et la tension de contournement.

Nous avons conduit les mesures sur un même modèle de laboratoire, en gardant ses grandeurs constantes.

## 2. CIRCUIT D'ESSAIS :

La figure (2.1) représente le circuit d'essais. Ce-ci est constitué d'une alimentation à fréquence industrielle (50 Hz), d'un modèle expérimental (objet d'essais), et d'un dispositif de mesure.

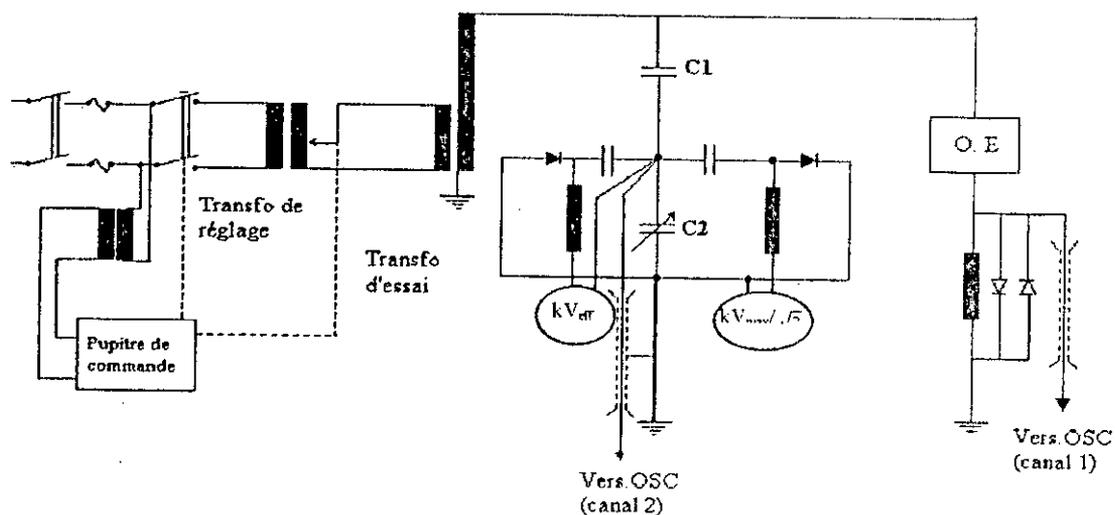


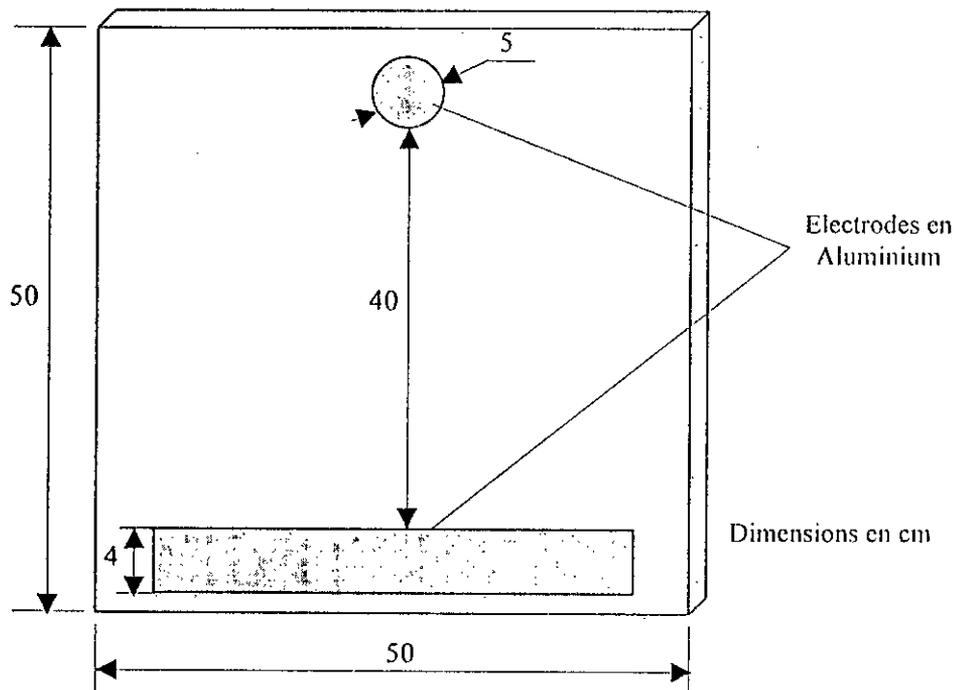
Fig.2.1 : Circuit d'essais

### a/ circuit d'alimentation :

Il est constitué d'un transformateur d'essai 500V/300kV, 50kVA, 50Hz, dont le primaire est relié à un transformateur de réglage permettant d'ajuster la tension à la valeur désirée.

**b/ Modèle expérimental :**

Le modèle expérimental (Fig.2.2) est constitué d'une plaque en verre ayant la propriété de résister à la chaleur due à l'arc électrique. Les dimensions de cette plaque sont de  $(500 \times 500 \times 6) \text{mm}^3$ . Celle-ci est munie de deux électrodes planes, l'une circulaire de rayon 25mm et l'autre rectangulaire de dimensions  $(300 \times 40) \text{mm}^2$ . Ces électrodes sont réalisées avec du papier en Aluminium dont l'épaisseur est de  $3 \mu\text{m}$ . Les dimensions des électrodes et la distance inter-électrodes L (400mm) sont gardées constantes durant tous les essais.



**Fig.2.2 : Modèle expérimental**

**c/ Circuit de mesures :**

- *Mesure de la tension appliquée :*

La tension d'essai est mesurée à l'aide d'un diviseur de tension capacitif, relié au secondaire du transformateur d'essai (Fig.2.1). Ce diviseur est constitué d'une capacité haute tension  $C_1$  de 400 pF, en série avec un ensemble de capacités basses tension,

permettant de réduire la lecture de la tension d'essai. Ainsi, ce dispositif permet de réduire de 1/1000 la lecture de la tension, ( $U_{luc}=U(C_1)/1000$ ), et donc de relever indirectement sa valeur à partir d'un galvanomètre à spot lumineux permettant la lecture de la valeur de crête de la tension.

- *Mesure du courant de fuite :*

Le signal du courant est visualisé au moyen d'un oscilloscope à mémoire. La mesure du courant est déduite de la tension relevée aux bornes d'une résistance de  $100\Omega$  placée en série avec l'objet d'essai (Fig.2.1), cette résistance est introduite dans une boîte métallique mise à la terre, afin d'éviter l'influence des parasites dans le signal recueilli.

### 3. MODES OPERATOIRES :

#### a/ préparation du modèle :

Avant chaque série d'essais, la plaque isolante est bien nettoyée, puis imbibée de gaz oïl dans les endroits d'emplacement des électrodes en aluminium, de manière à ce qu'aucun espace d'air ne reste entre la plaque et les électrodes. La plaque est ensuite essuyée avec du coton imbibé d'alcool isopropylique pour éliminer toute trace de gaz oïl sur la plaque isolante.

Le modèle est disposé horizontalement sur trois colonnes isolantes, elles-mêmes posées sur un support en bois. Le modèle se trouve ainsi placé à environ un mètre du sol, et à une distance suffisamment grande du transformateur d'essai (1.5m environ), de manière à éviter tout phénomène de parasite dû au sol et aux bobinages du transformateur. Ces dispositions sont prises afin de respecter une distance d'au moins 1.5 fois le plus court trajet possible de contournement [20].

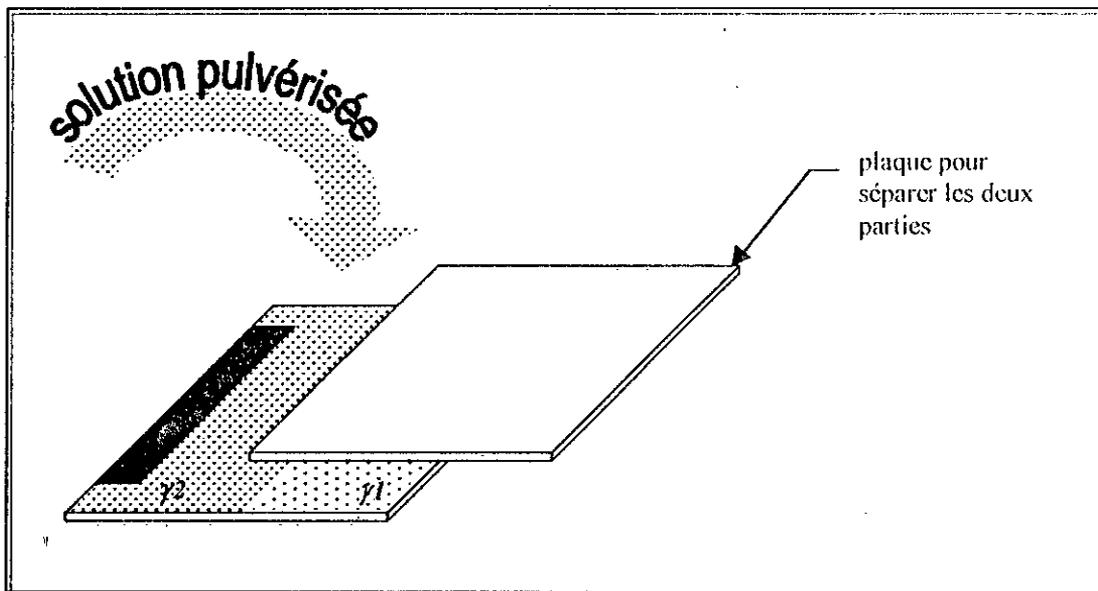
#### b/ procédé d'application et de répartition de la couche de la pollution :

Deux conductivités ont été choisies durant tous les essais : 40 et  $420 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

La plaque isolante est polluée de façon à obtenir deux couches de pollution, de conductivités différentes. Ainsi, on associe à chaque couche de pollution une largeur donnée (Fig.3.2).

La couche de pollution non-uniforme est obtenue par pulvérisation de la solution sur les zones choisies, en évitant la formation des zones sèches entre les deux parties de conductivités différentes.

Lors de la pulvérisation sur une partie, une plaque est placée horizontalement au-dessus de l'autre afin d'éviter le changement des deux conductivités des zones polluées (Fig.3.1).



**Fig.3.1** : Procédé d'application de la pollution

c/ Facteur de non-uniformité de la couche de pollution :

Pour mettre en valeur l'effet de la non-uniformité de la couche de pollution, il est nécessaire de définir un facteur de non-uniformité  $k$ , qui représente le rapport des largeurs des deux portions de la ligne de fuite, ayant des conductivités différentes. On définit ainsi les paramètres suivants [Fig.3.2] :

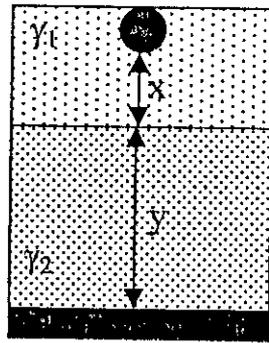
- x : Largeur de la zone faiblement polluée ( $\gamma_1=40 \mu\text{S/cm}$ ) lorsque celle-ci est établie côté haute tension.
- y : Largeur de la zone fortement polluée ( $\gamma_2=420\mu\text{S/cm}$ ), lorsque celle-ci est établie côté terre.

$y'$  : Largeur de la zone fortement polluée lorsque celle-ci est établie côté haute tension.

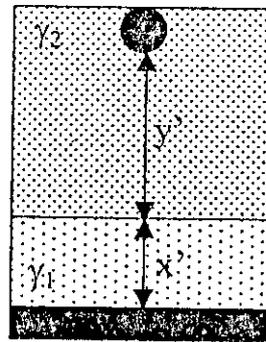
$x'$  : Largeur de la zone faiblement polluée lorsque celle-ci est établie côté terre.

Pour avoir une plage de variation de  $k$  de 0 à 1, quatre modes d'application de la pollution peuvent se présenter (Fig.3.2). Ces quatre modes permettent en effet de mieux interpréter les résultats de ses essais. Le facteur  $k$  est donné donc par la relation suivante :

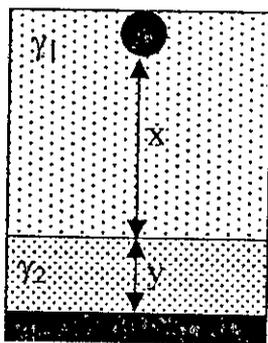
$$k = \begin{cases} \frac{x}{y} = \frac{x'}{y'} & ;si \quad x \leq y \quad (x' \leq y'), \\ \frac{y}{x} = \frac{y'}{x'} & ;si \quad x \geq y \quad (x' \geq y'). \end{cases} \quad (II.1)$$



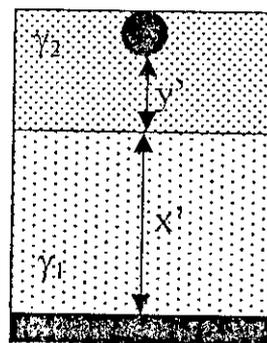
-a-



-b-



-c-



-d-

Fig.3.2 : Modes d'application de la couche polluante

**d/ Conduite des essais :****d.1. Courant de fuite :**

Pour une configuration donnée de la pollution, une série de mesures est obtenue en faisant varier la tension de 10 à 42 kV, avec un pas de 8 kV. Pour chaque niveau de tension, le signal est mémorisé sur l'oscilloscope et les mesures du courant de fuite sont notées.

L'opération est répétée huit fois; chaque opération est associée à une plaque. La valeur de chaque mesure est la moyenne arithmétique de ces huit essais.

**d.2. Tension de contournement :**

Pour chaque valeur de k, au moins cinq mesures de la tension de contournement sont effectuées [20]. Chaque mesure est associée à une plaque et la moyenne arithmétique de ces essais donne la tension de contournement moyenne.

**N.B** : la difficulté éventuelle à laquelle on peut s'attendre lors de la mesure des courants à des niveaux de tension élevés ou de la tension de contournement, est la dispersion des résultats de mesure. Ce-ci peut s'expliquer par l'assèchement de la couche polluante, et donc la modification de l'impédance équivalente vue des électrodes. Dans ce cas, des mesures supplémentaires sont nécessaires.

A decorative border resembling a scroll or ribbon, with rounded ends and a textured, stippled appearance. It frames the central text.

*Chapitre III*  
*Résultats Expérimentaux*  
*et*  
*Interprétations*

## 1. INTRODUCTION :

Nous présentons dans ce chapitre, les résultats des essais effectués au Laboratoire de Haute Tension de l'ENP portant sur l'effet de la non-uniformité de la pollution sur le comportement d'une surface isolante. Le modèle utilisé ressemble à celui de Claverie et Porcheron [15].

Nous nous intéressons donc, à l'évolution du courant de fuite, la rigidité diélectrique du modèle, sous l'influence des deux paramètres suivant :

1. Rapport des deux portions de la ligne de fuite ayant des conductivités différentes  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$ .
2. L'emplacement des deux couches de pollution, par rapport aux électrodes.

## 2. COURANT DE FUITE :

### a/ Visualisation et analyse du signal du courant de fuite :

L'analyse du signal du courant de fuite, peut nous aider à interpréter l'évolution de l'arc électrique pour les différents niveaux de tensions.

Pour les faibles niveaux de tension, le courant dont la forme est une sinusoïde plus ou moins déformée ne présente aucune variation brusque sous forme de pics (Fig.III.1).

La déformation du signal du courant, est due à l'apparition de phénomènes d'ionisation (effet de couronne ), sans création d'arcs électriques.

En augmentant progressivement la tension, des pics de faible amplitude et régulièrement espacés commencent à apparaître. Ces pics correspondent à l'alternance négative du signal (Fig.III.2).

En augmentant encore plus la tension, d'autres pics apparaissent au niveau de l'alternance positive du signal, et une augmentation de l'amplitude des pics de l'autre alternance est remarquée (Fig.III.3).

Nous observons que les pics apparaissent au niveau des valeurs de crête de la sinusoïde du courant. Au fait, dans le cas de couches continues de pollution, le courant

de fuite est en phase avec la tension appliquée [12], et l'apparition des premiers pics correspond plutôt à la partie croissante de la sinusoïde de la tension.

Le nombre ainsi que l'amplitude de ces pics observés, augmentent avec le niveau de tension (Fig.III.2 à III.5).

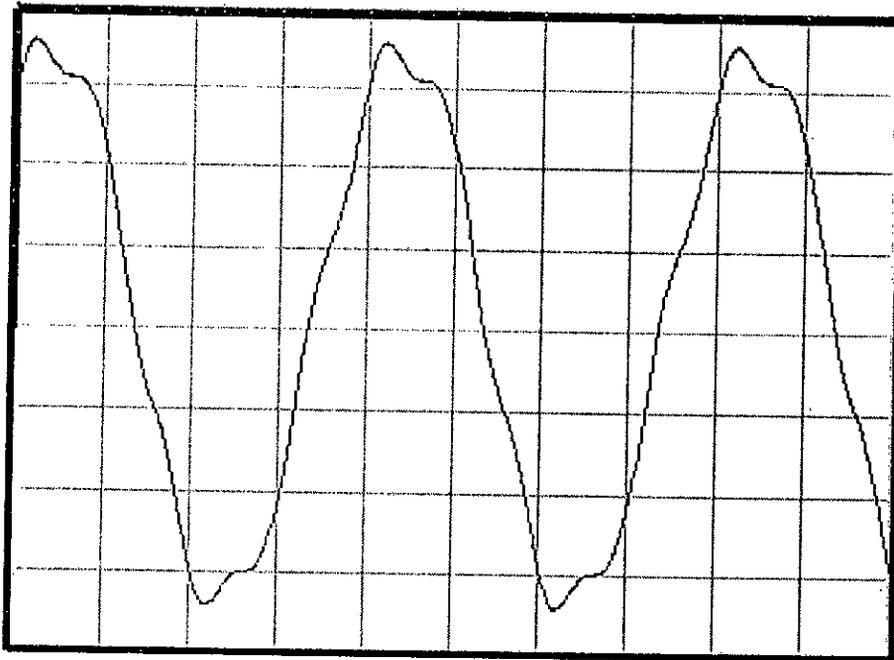
La figure (III.5) représente un cas extrême du signal de courant de fuite que nous avons enregistré. Ce signal correspond à des niveaux de tension relativement élevés, est très déformé, et se présente comme un train d'impulsions au niveau de l'alternance négative de la tension.

Plusieurs pics "d'augmentation" et de "diminution" du courant ont été observés dans une seule demi-alternance (Fig.III.5), ce qui nous amène à dire que plusieurs arcs électriques peuvent prendre naissance dans une seule demi-période. En effet, lors des essais, des arcs électriques, multiples et aléatoires ont été observés au voisinage de l'électrode de terre. Le même résultat a été trouvé par *D.NAMANE* [12].

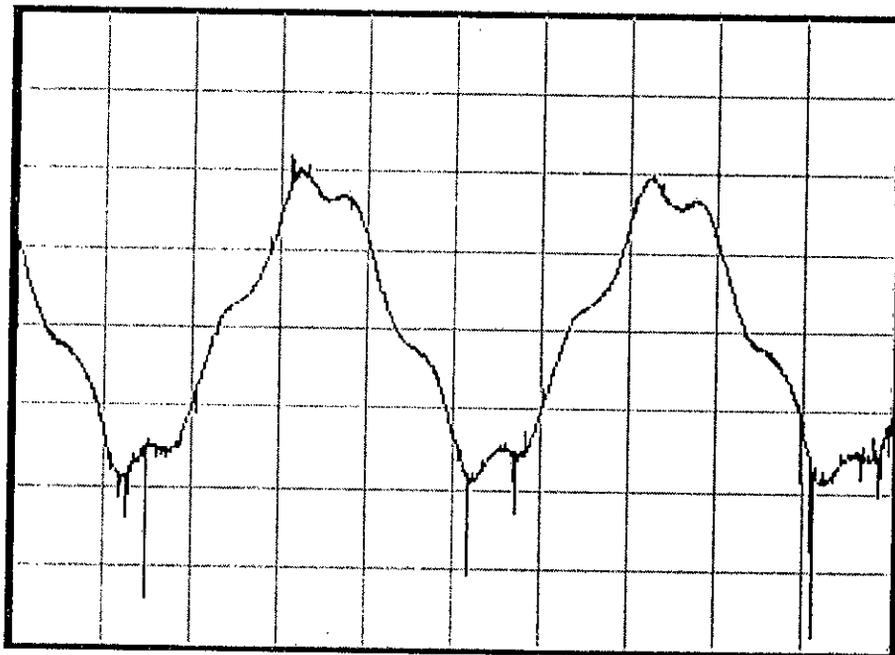
Un fait très important qui ressort de l'analyse du signal du courant de fuite est l'influence de la polarité de la tension appliquée. Ce fait a été remarqué par d'autres auteurs dans le cas des isolateurs pollué [8] et dans le cas des diélectriques liquides [30].

Nous pouvons expliquer cela par les résultats de *J.DANIS* [13], lorsqu'il a constaté que l'aspect de l'arc dépend de la polarité de l'électrode qui se trouve juste à proximité de l'arc.

Nous pensons que la charge d'espace a une grande influence sur les caractéristiques du courant de fuite, et sur le comportement de l'arc électrique. En effet, c'est cette charge d'espace qui va entraîner par son action d'abord une disruption d'un intervalle d'air, et donc l'allumage d'un ou plusieurs arcs électriques (augmentation de la charge d'espace et donc le renforcement du champ électrique) ou l'extinction de l'arc électrique par neutralisation de la charge d'espace.



**Fig.III.1:** Déformation du signal du courant ( $U=20$  kV)



**Fig.III.2:** Apparition des premiers pics sur l'alternance négative ( $U=26$  kV)

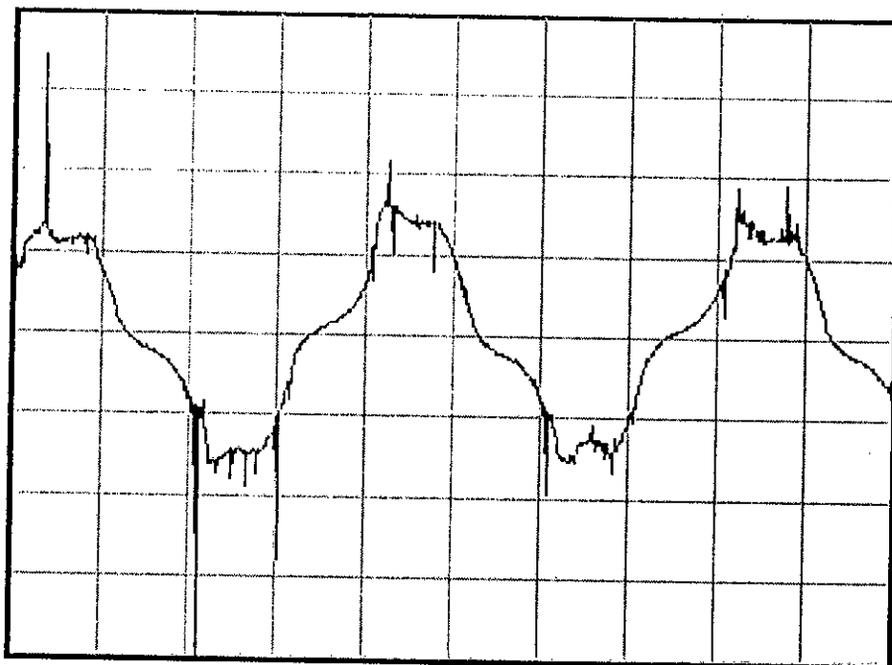


Fig.III.3: Apparition d'autres pics sur l'alternance positive ( $U=29$  kV)

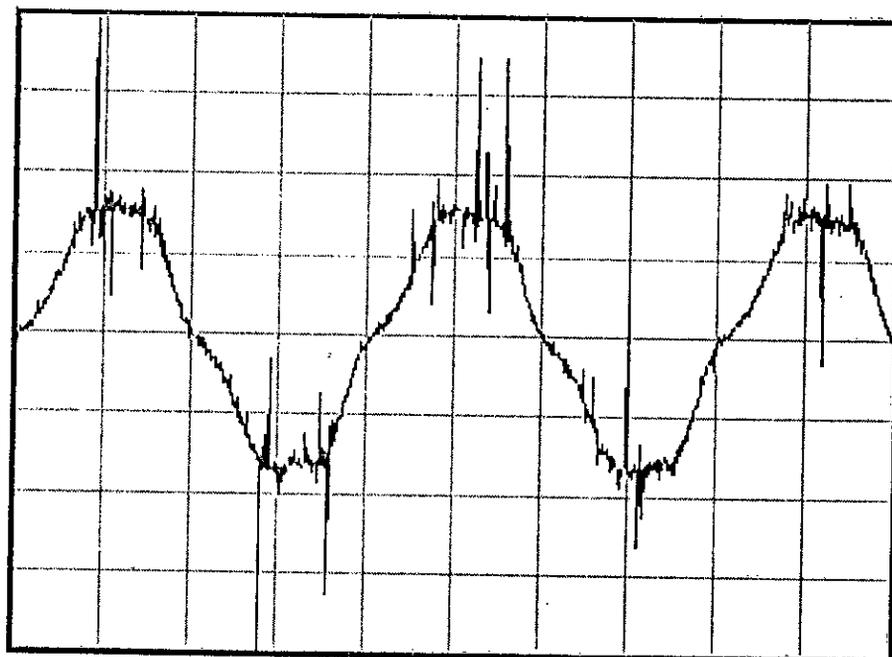


Fig.III.4: Augmentation du nombre et de l'amplitude des pics ( $U=34$  kV)

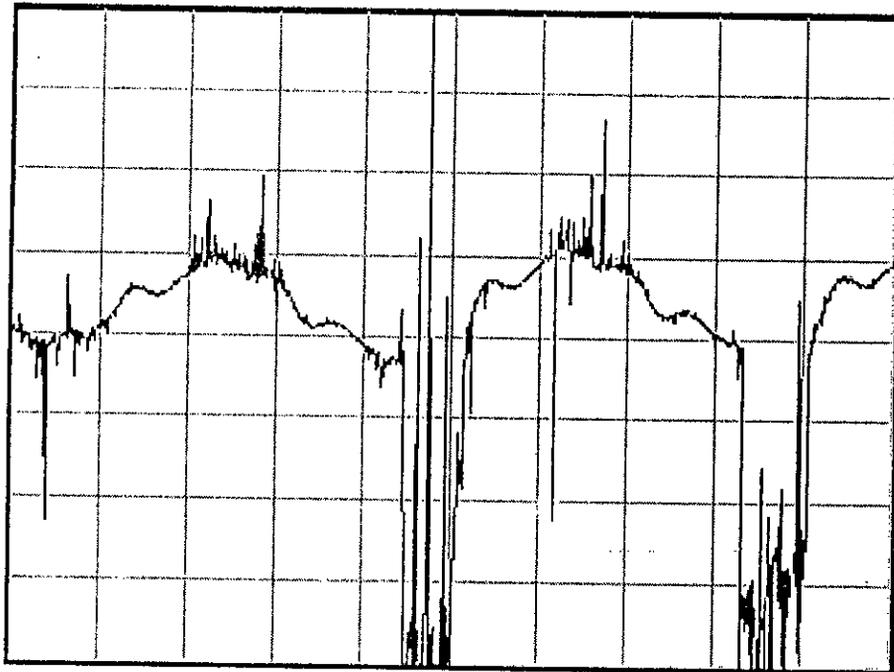


Fig.III.5: État critique du courant ( $U=42$  kV)

**b/ Influence du facteur de non-uniformité k :**

Des informations intéressantes peuvent être obtenues en mesurant le courant de fuite en fonction du facteur de non-uniformité k.

Les figures (III.6.a) à (III.6.d) représentent les variations du courant en fonction de k, pour les deux cas :  $x \leq y$  ( $x' \leq y'$ ) et  $x \geq y$  ( $x' \geq y'$ ).

- 1<sup>er</sup> cas :  $x \leq y$  ( $x' \leq y'$ )

Dans ce cas, la partie dominante est celle qui est fortement polluée. Les caractéristiques courant de fuite - facteur de non-uniformité, pour plusieurs niveaux de tension allant de 10 kV à 42 kV, montrent que le courant de fuite augmente jusqu'à une valeur maximale correspondante à  $k=1/7$ . Au-delà de cette valeur, le courant diminue (fig.III.6.a, III.6.b).

On remarque que l'augmentation du courant de fuite est d'autant plus rapide que le niveau de tension est élevé. C'est le cas des caractéristiques suivantes :

- \*  $I = f(x/y)$  ; U=18, 26, 34, 42 kV

- \*\*  $I = f(x'/y')$  ; U=34 et 42 kV

La diminution du courant de fuite, est due principalement à l'augmentation de la largeur de la zone faiblement polluée (la zone fortement polluée est donc réduite), et donc à l'augmentation de l'impédance, qui elle, diminue le courant.

Pour des niveaux de tension peu élevés, et pour des petites valeurs de k ( $k=1/7$ ), la zone fortement polluée dont la largeur est de  $7/8L$ , laisse la tension appliquée se reporter aux bornes de l'autre partie. Puisque cette dernière a une conductivité faible ( $\gamma_1$ ) dont la largeur est de  $L/8$ , la création d'un arc électrique est donc plus rapide que dans le cas où la plaque est entièrement polluée avec la conductivité plus grande ( $\gamma_2$ ).

- 2<sup>ème</sup> cas :  $x \geq y$  ( $x' \geq y'$ )

Les caractéristiques courant de fuite – facteur de non-uniformité k pour différentes tensions, sont strictement croissantes (fig.III.6.c, III.6.d).

Ces résultats sont prévisibles, puisque au fur et à mesure que  $k$  augmente, la zone fortement polluée augmente, ce qui favorise d'avantage l'augmentation du courant de fuite.

Nous pouvons constater que la conductivité de la couche de pollution influe sur le courant de fuite, ce qui a été vérifié par un grand nombre d'auteurs [2,12,21,31,32].

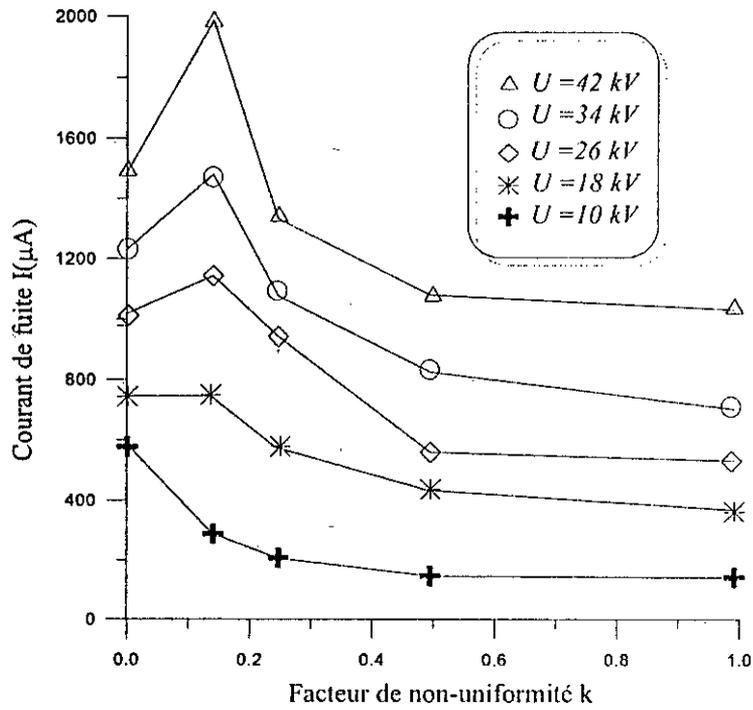


Fig.III.6.a : Courant de fuite en fonction de  $k=x/y$  pour différents niveaux de tension

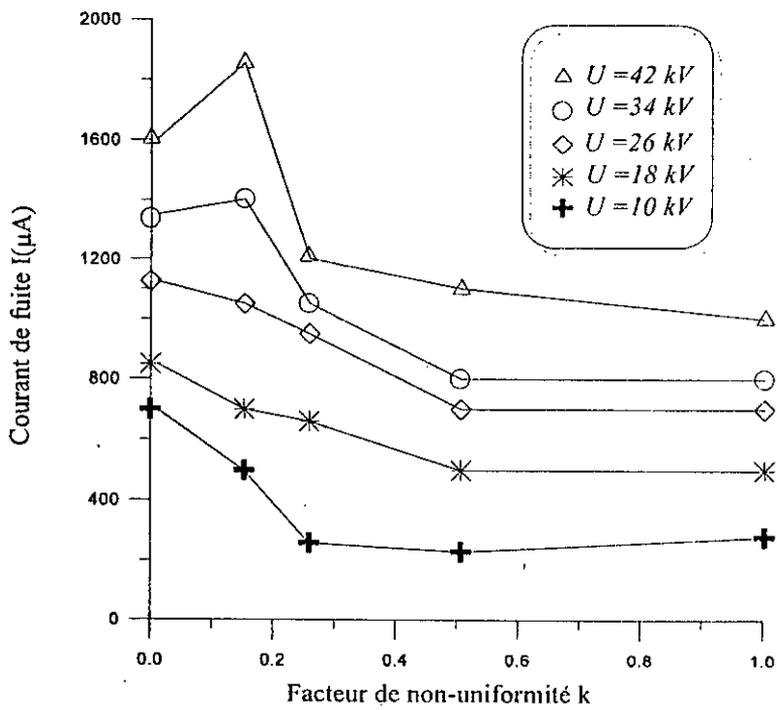


Fig.III.6.b : Courant de fuite en fonction de  $k=x'/y'$  pour différents niveaux de tension

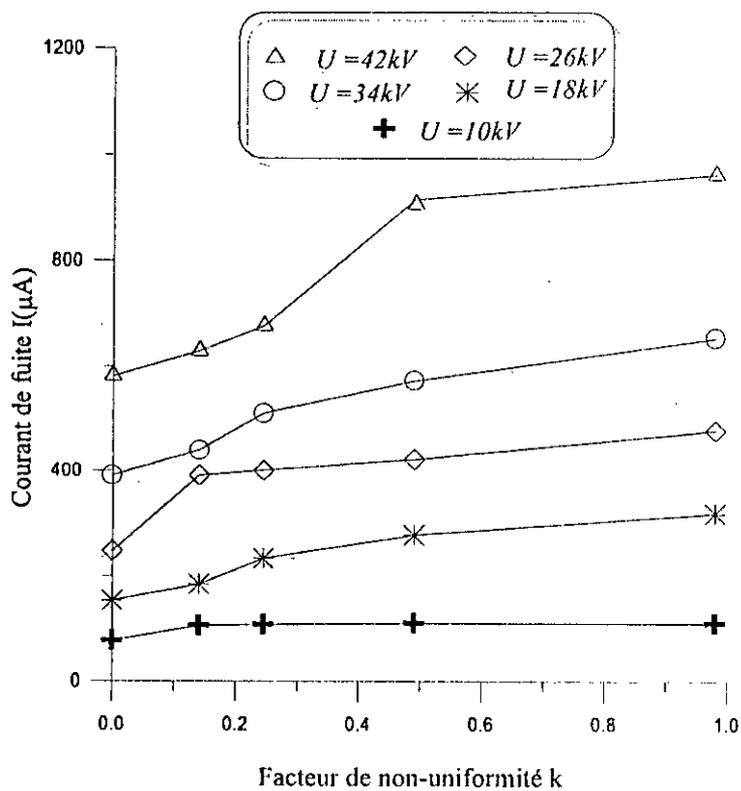


Fig.III.6.c : Courant de fuite en fonction de  $k=y/x$  pour différents niveaux de tension

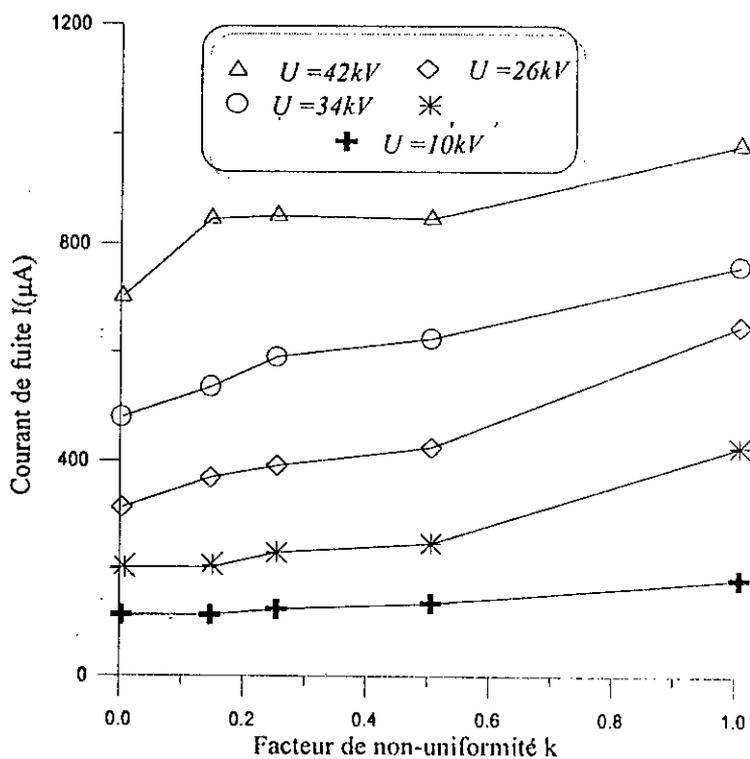


Fig.III.6.d : Courant de fuite en fonction de  $k=y/x$  pour différents niveaux de tension

### c/ Influence de la position des deux zones polluées :

Les figures (III.7.1) à (III.7.5) représentent les variations du courant de fuite en fonction de  $k$ , pour les quatre modes d'application de la pollution :

- Zone faiblement polluée établie côté H.T :
  - $x < y$
  - $x > y$
- Zone faiblement polluée établie côté terre :
  - $x' < y'$
  - $x' > y'$

Chaque configuration de la pollution est associée à un niveau de tension donné (fig.III.7.1, III.7.2).

Nous remarquons que dans le cas où  $x < y$ , la position des deux zones polluées influe sur le courant de fuite, surtout pour des valeurs de  $k$  inférieures à 0.4, et pour des tensions qui dépassent les 10 kV. La présence d'une pollution de grande conductivité au voisinage de l'électrode de terre, conduit à un courant de fuite plus grand et une création d'arcs multiples et aléatoires au niveau de l'électrode de terre. Ces mêmes constatations ont été également faites par *D.NAMANE* [12]. Nous constatons que l'influence de la position des deux zones polluées par rapport aux électrodes, sur le courant de fuite, est due principalement à l'apparition des phénomènes d'ionisation de l'air, et au comportement des arcs côté terre.

En effet, à cause de sa forme (rayon de courbure), l'électrode circulaire provoque un champ électrique plus intense que celui de l'électrode rectangulaire. Ce champ, en présence d'une zone faiblement polluée, provoque l'assèchement de celle-ci, et donc une forte ionisation de l'air. L'arc créé dans cette zone favorisera de plus l'augmentation du courant de fuite. En outre, en présence de l'effet de couronne, le courant de fuite est plus élevé lorsque la zone de faible conductivité est établie côté haute tension.

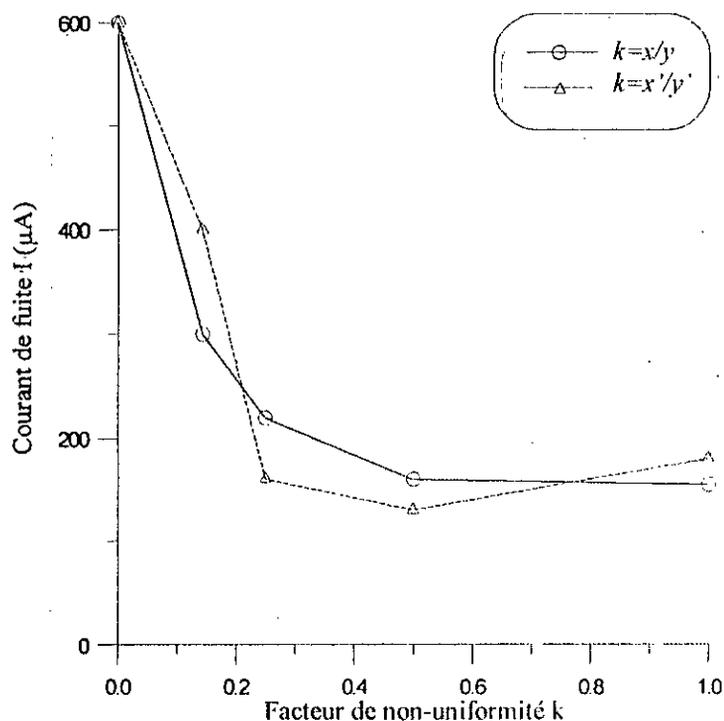


Figure III.7.1.a : Courant de fuite en fonction de k ( $x < y$ ) pour  $U=10$  kV

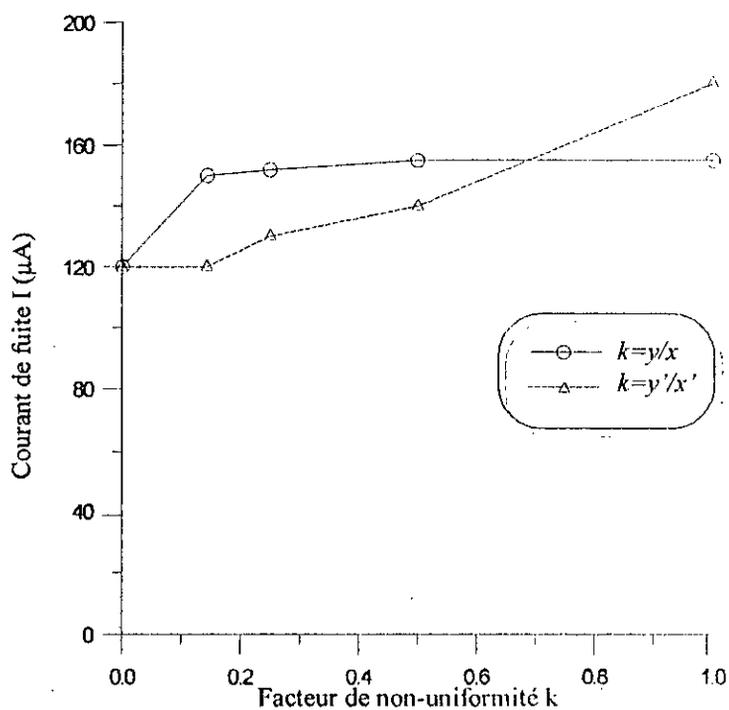


Figure III.7.1.b : Courant de fuite en fonction de k ( $x > y$ ) pour  $U=10$  kV

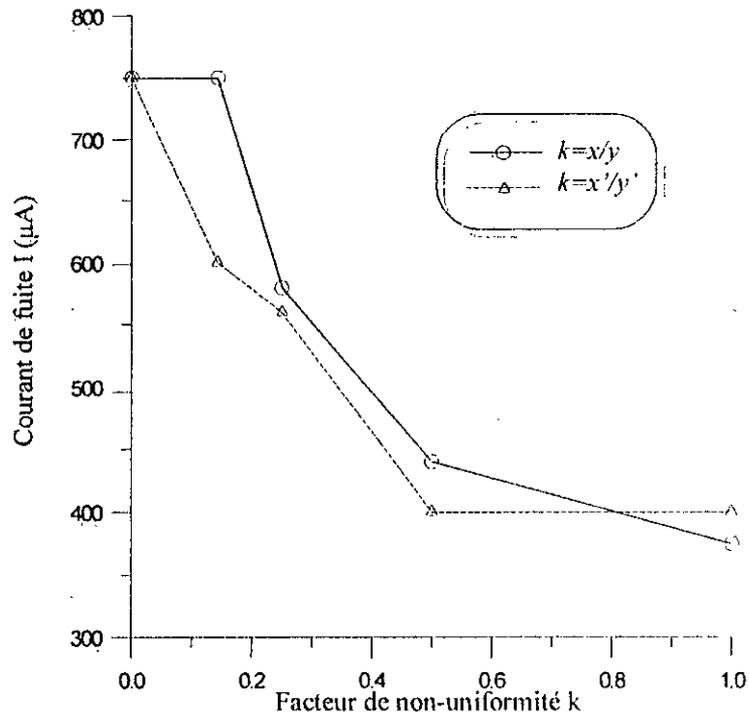


Figure III.7.2.a : Courant de fuite en fonction de k ( $x < y$ ) pour  $U=18$  kV

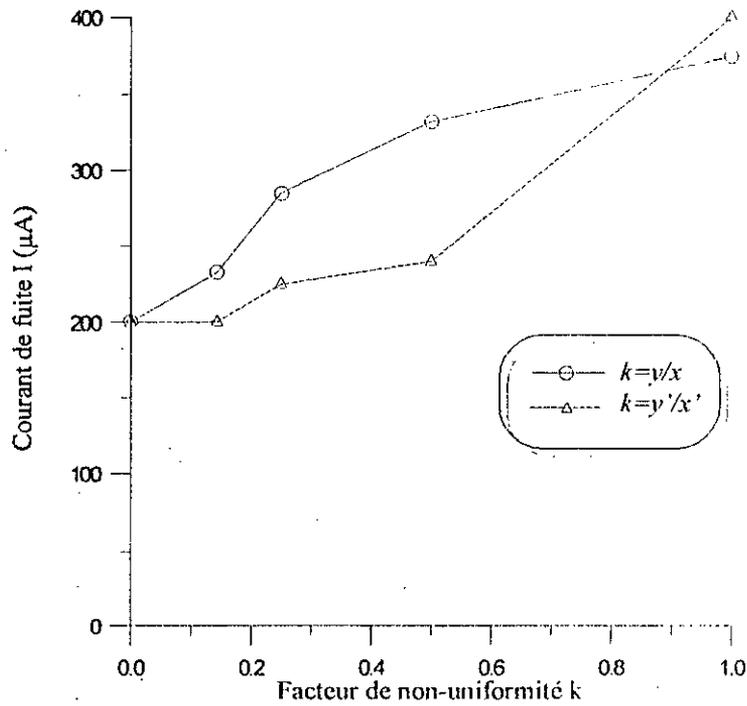


Figure III.7.2.b : Courant de fuite en fonction de k ( $x > y$ ) pour  $U=18$  kV

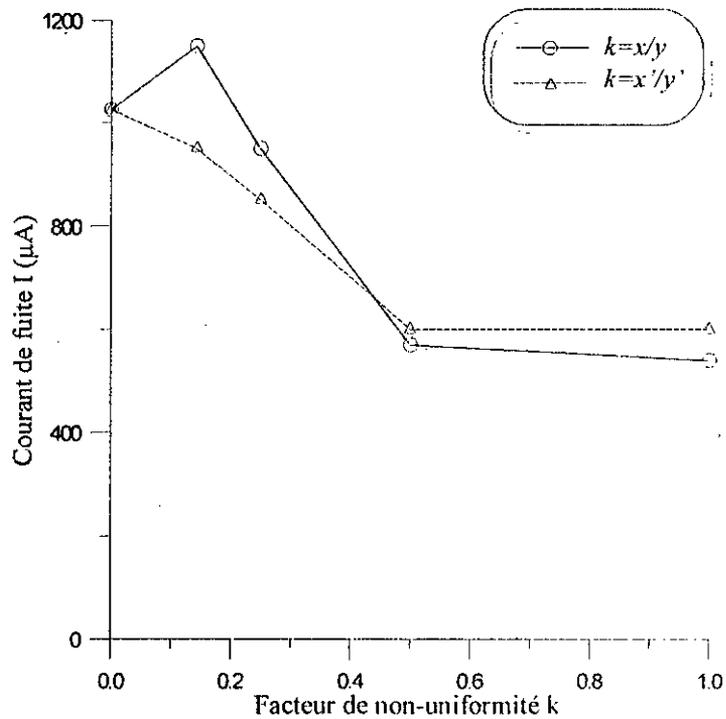


Figure III.7.3.a.: Courant de fuite en fonction de k ( $x < y$ ) pour  $U=26$  kV

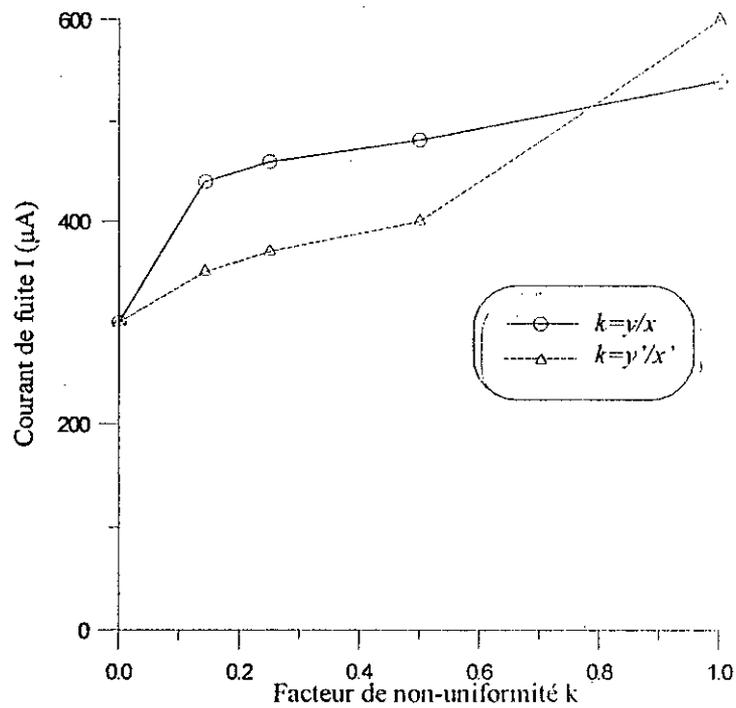


Figure III.7.3.b: Courant de fuite en fonction de k ( $x > y$ ) pour  $U=26$  kV

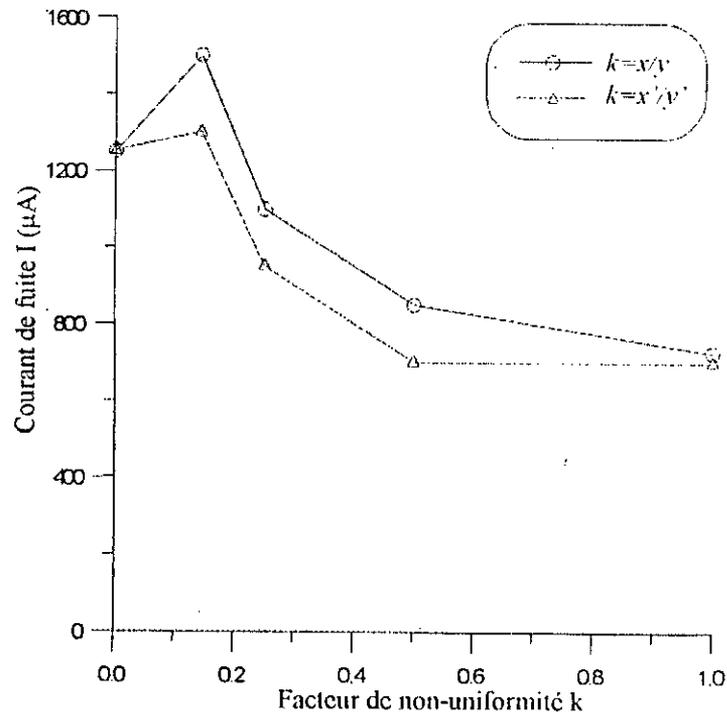


Figure III.7.4.a. : Courant de fuite en fonction de  $k$  ( $x < y$ ) pour  $U = 32 \text{ kV}$

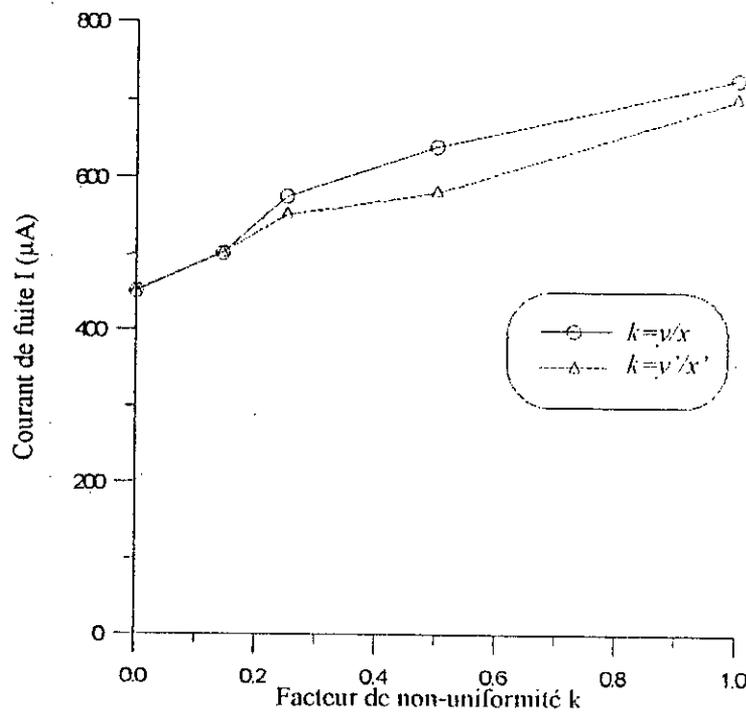


Figure III.7.4.b. : Courant de fuite en fonction de  $k$  ( $x > y$ ) pour  $U = 32 \text{ kV}$

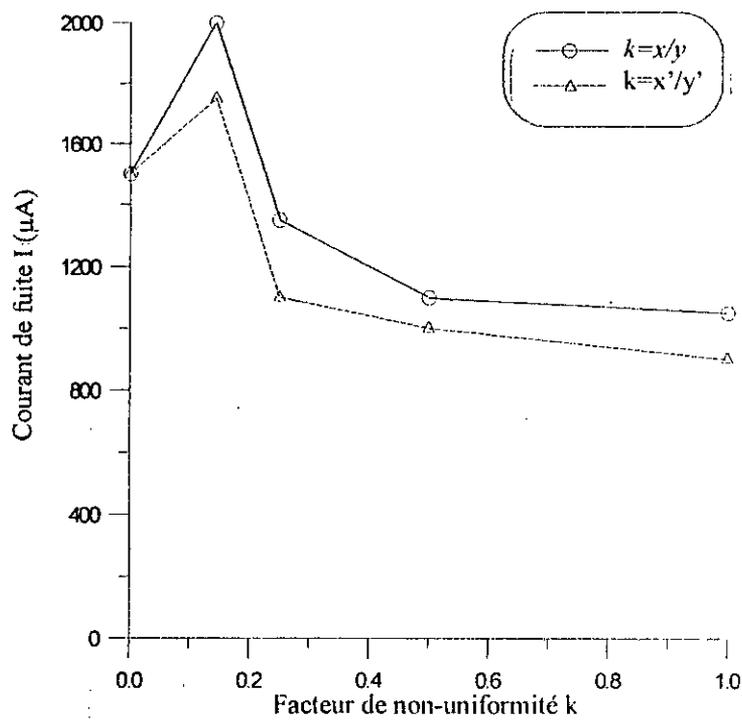


Figure III.7.5.a. : Courant de fuite en fonction de k ( $x < y$ ) pour  $U=42$  kV

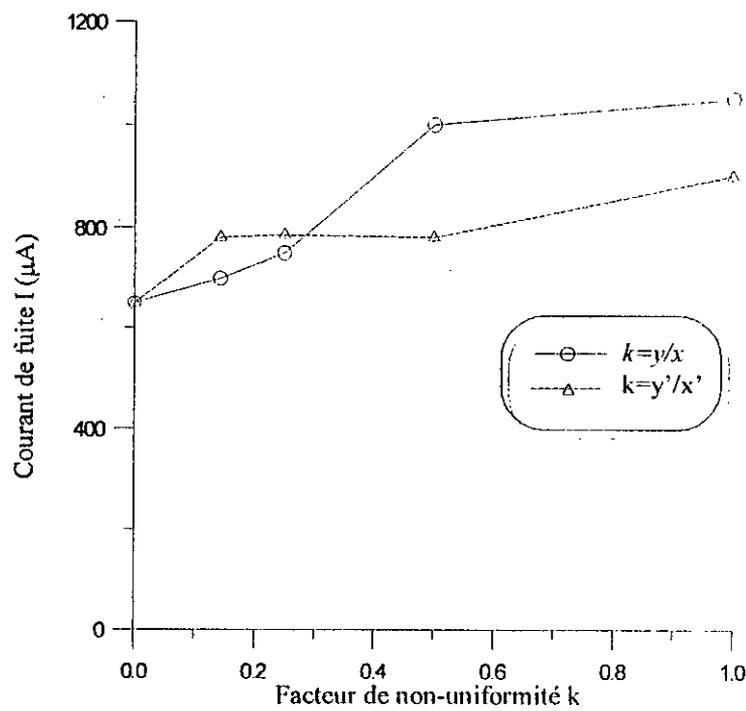


Figure III.7.5.b. : Courant de fuite en fonction de k ( $x > y$ ) pour  $U=42$  kV

d/ Influence de la tension d'alimentation:

Afin d'expliquer la corrélation existant entre le courant de fuite et la tension d'alimentation, quatre familles de courbes sont présentées sur les figures (III.8.1) à (III.8.4). Ces courbes représentent également, les variations du courant de fuite en fonction de la tension pour différentes valeurs de  $k$ , et pour les quatre configurations de la pollution.

Nous remarquons que le courant de fuite augmente avec la tension. Cette augmentation diffère suivant la position des zones polluées, et le facteur de non-uniformité  $k$  (voir les deux derniers paragraphes). En général, les caractéristiques courant de fuite - tension d'alimentation, sont quasi-exponentielles.

Dans le cas, où la zone fortement polluée est dominante, on s'attend à ce que le cas critique du courant corresponde à  $k=x/y=x'/y'=0$  (plaque entièrement polluée avec la conductivité la plus grande), mais les caractéristiques  $I=f(U)$ , montrent que le courant de fuite est plus élevé pour  $k=1/7$  ( $x<y$ ), cela pour :

- Des niveaux de tension qui dépassent 34 kV ( $k=x'/y'$ ).
- Des niveaux de tension qui dépassent 18 kV ( $k=x/y$ ).

Nous constatons qu'à partir des niveaux de tension donnés, il y a une hausse brutale du courant. En effet, en présence d'un champ intense, l'effet de couronne apparaît, et un arc se crée, ce dernier diminue l'impédance équivalente, et le courant de fuite augmente rapidement.

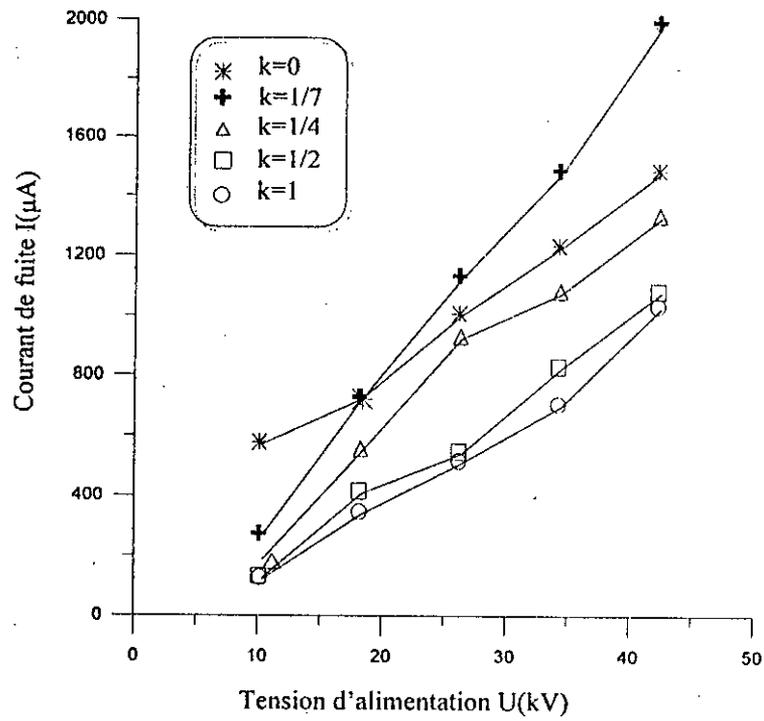


Fig.III.8.1: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $x > y$ ).

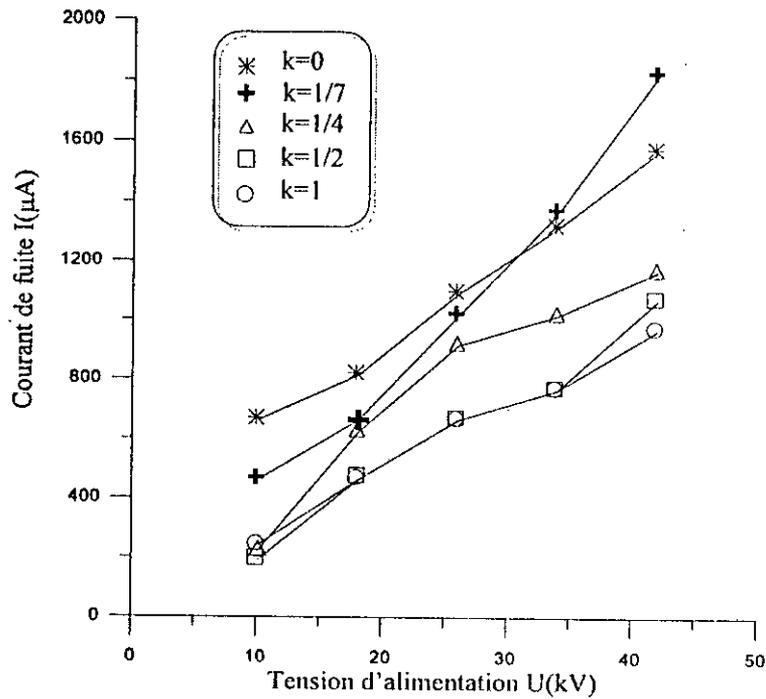


Fig.III.8.2: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $x' > y'$ ).

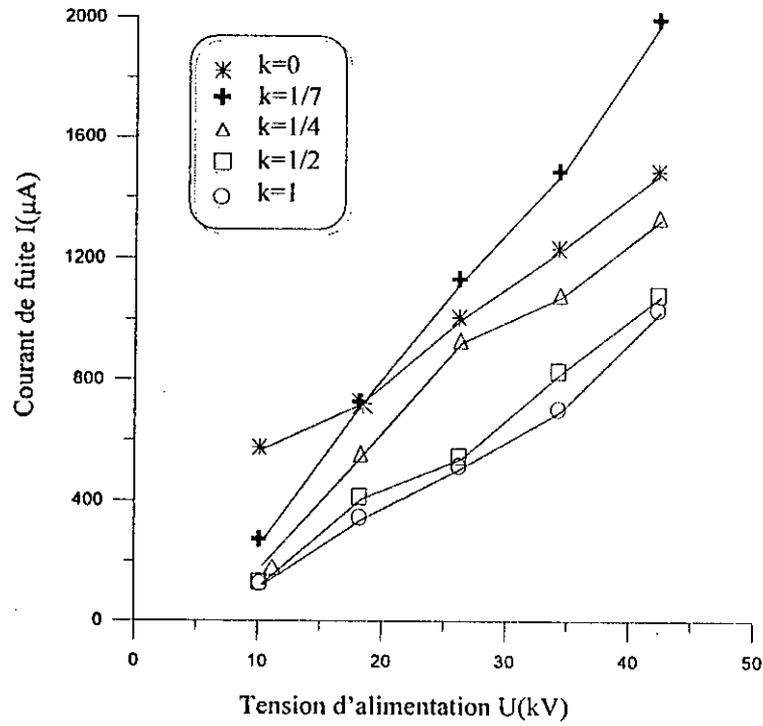


Fig.III.8.1: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $x > y$ ).

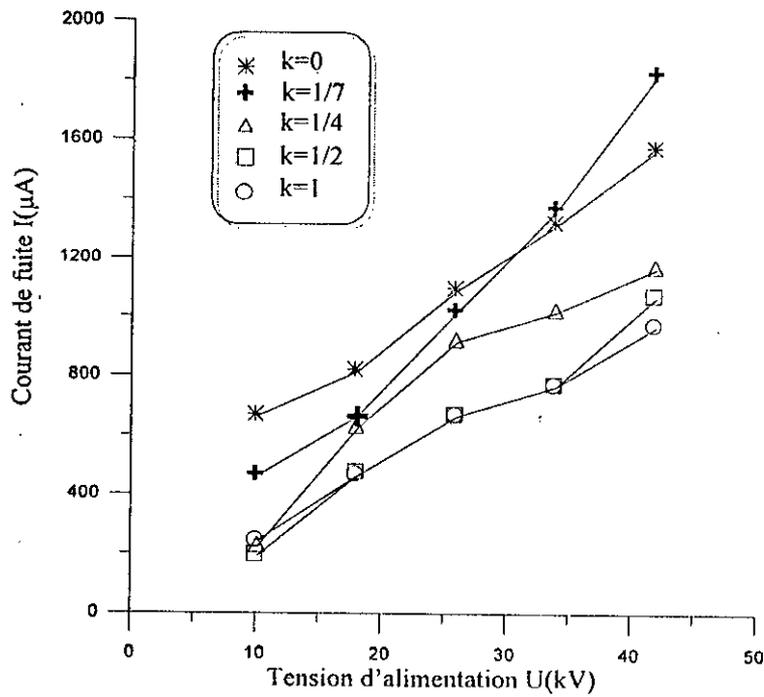


Fig.III.8.2: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $x' > y'$ ).

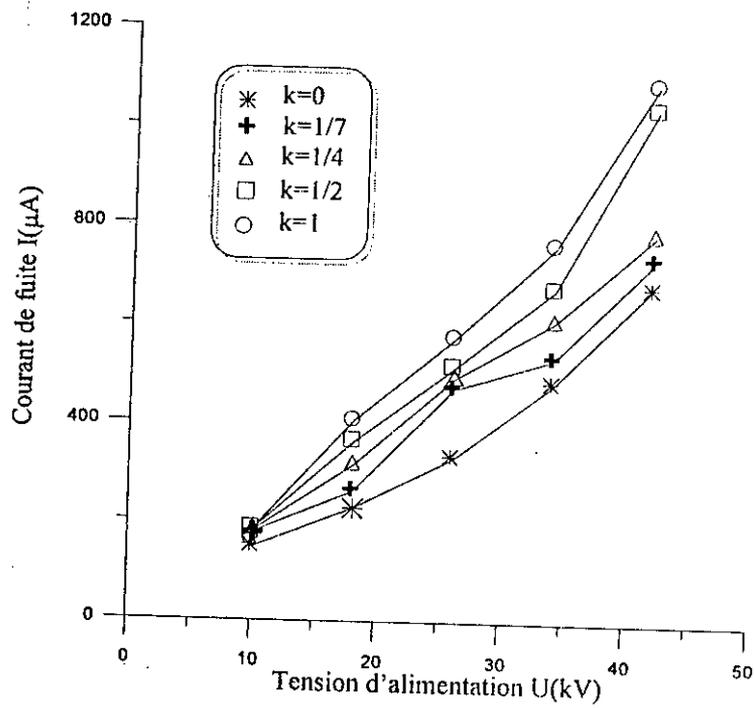


Fig.III.8.3: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $y > x$ ).

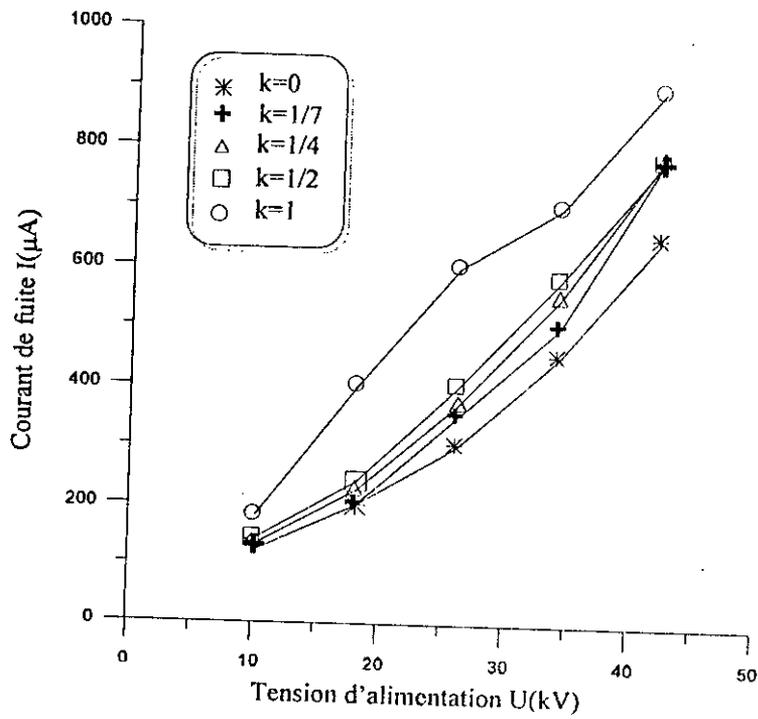


Fig.III.8.4: Courant de fuite en fonction de la tension d'alimentation pour différentes valeurs de  $k$  ( $y' > x'$ ).

### 3. TENSION DE CONTOURNEMENT :

#### a/ Influence du facteur de non-uniformité $k$ :

Les principaux résultats qui montrent les variations en fonction de  $k$ , de la tension de contournement pour les deux cas :  $x < y$  ( $x' < y'$ ) et  $x > y$  ( $x' > y'$ ) sont rapportés sur les figures (III.9.1) et (III.9.2).

Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par *D.NAMANE* [12], lorsqu'elle a étudié l'effet de la discontinuité d'une couche de pollution, en observant l'évolution de la tension de contournement en fonction de la largeur de la pollution [12].

Concernant notre étude, quand la zone faiblement conductrice représente un huitième de la longueur totale de fuite (ce qui correspond à  $k = x/y = x'/y' = 1/7$ ), la tension de contournement au lieu d'augmenter, diminue, et présente donc un minimum (Fig.III.9.1). Ce minimum correspondrait au cas le plus favorable à la formation rapide d'un arc électrique et donc un contournement plus probable. Ce phénomène (courbe présentant un minimum) a été observé par de nombreux auteurs [12,14,33].

La figure (III.9.2), montre qu'en augmentant  $k$  de 0 à 1 (c.a.d en augmentant la largeur de la partie fortement polluée de 0 à  $L/2$ ), la tension de contournement diminue. Ce résultat est prévisible, puisque la conductivité diminue la tenue diélectrique des surfaces isolantes polluées.

De même que *H.Streubel* [10], nous pouvons constater que si 80 à 90% de la longueur totale de la ligne de fuite est couverte par la conductivité élevée, la tension de contournement diminuera à une valeur plus faible par rapport à une distribution uniforme de la pollution réalisée à cette même conductivité.

Par contre nous constatons que si en augmentant la zone fortement polluée et que celle-ci ne constitue pas plus de 50% de la longueur totale de la ligne de fuite, la tension de contournement subit une légère diminution.

**b/ Influence de la position des couches de pollution :**

Contrairement à ce qui a été remarqué pour le courant de fuite, la tension de contournement ne présente aucune variation en fonction de la position des deux zones polluées (Fig.III.9.1, III.9.2). Ce fait suggère que c'est le comportement des arcs électriques qui conduit à une même tension de contournement. Il est donc nécessaire d'étudier le développement des arcs électriques, non seulement au voisinage du côté haute tension, mais aussi du côté terre.

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs [12].

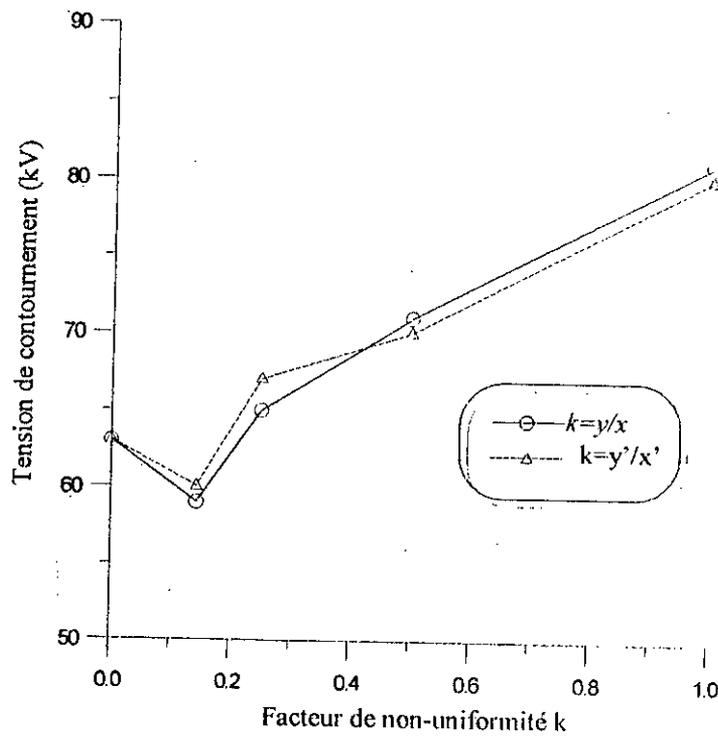


Fig.III.9.1 : Tension de contournement -  $k$  ( $x < y, x' < y'$ )

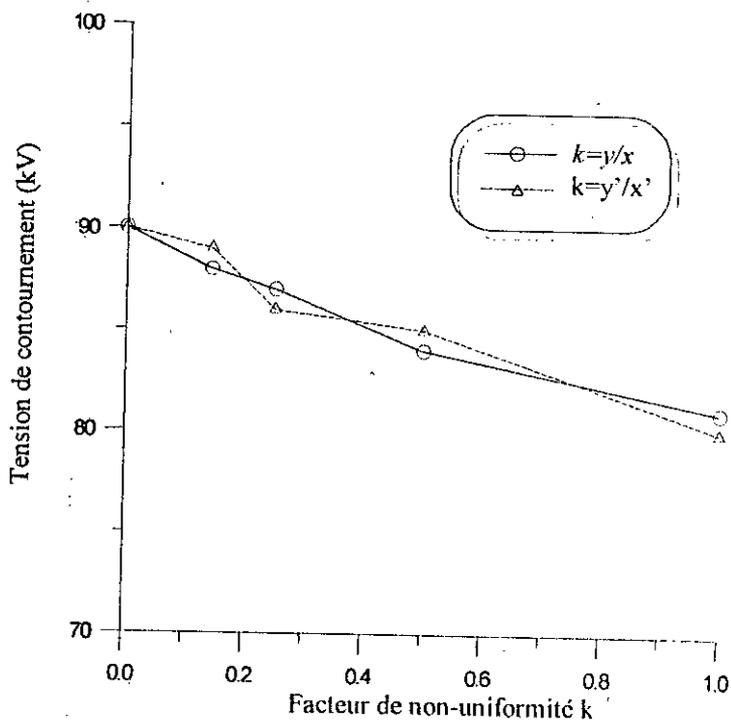


Fig.III.9.2 : Tension de contournement -  $k$  ( $x > y, x' > y'$ )

#### 4. CONCLUSION :

A l'issu de l'étude expérimentale du comportement de la surface isolante face à une configuration non-uniforme de la pollution, nous pouvons retenir les conclusions suivantes :

Le courant de fuite présente des variations en fonction du facteur de non-uniformité  $k$ ; cette variation dépend de la position des zones polluées par rapport aux électrodes, du niveau de tension appliqué, et de la conductivité superficielle.

La forme d'onde du signal du courant de fuite est une sinusoïde déformée et comporte des pics, ces pics apparaissent lors de la création d'arcs électriques. Ces derniers sont multiples et aléatoires.

L'amplitude et le nombre des pics du courant de fuite augmentent avec l'augmentation de la tension appliquée.

Les pics du courant sont plus importants dans l'alternance négative de la sinusoïde de tension. Ceci est dû au fait que les mécanismes du comportement des arcs électriques diffèrent d'une polarité à l'autre.

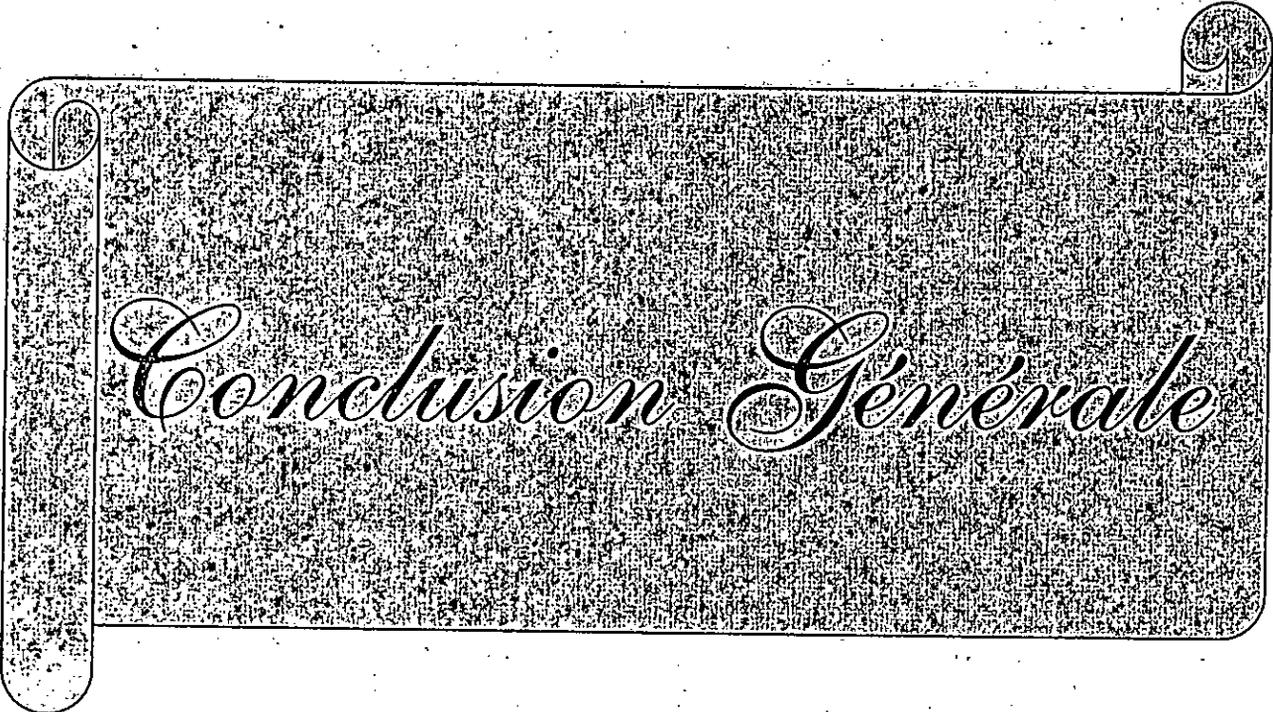
Le courant de fuite devient plus important lorsque le régime d'ionisation de l'air (effet couronne) est atteint.

Deux cas extrêmes peuvent être la cause d'une hausse brutale du courant, (a) si la largeur de la zone fortement polluée représente 80 à 90% de la longueur totale de fuite, (b) si la zone fortement polluée est établie côté terre.

Il est difficile d'évaluer valablement le développement de l'arc électrique, à cause des arcs multiples et aléatoires observés.

Un fait très important qui ressort de cette étude, est l'existence d'un minimum dans la caractéristique Tension de contournement – facteur de non-uniformité  $k$  dans le cas où  $x < y$  ( $x' < y'$ ).

L'emplacement des zones polluées par rapport aux électrodes n'a pas d'influence sur la tension de contournement.



*Conclusion Générale*

---

---

# *Conclusion Générale*

---

---

La recherche bibliographique, entreprise dans le cadre du présent travail, nous a permis de prendre connaissance de la complexité des phénomènes liés à la pollution des surfaces isolantes conduisant au contournement. Cette complexité a essentiellement pour origine la diversité dans la configuration géométrique des isolateurs, la répartition non-uniforme de la pollution, la formation d'arcs multiples, raccourcissement d'arc...

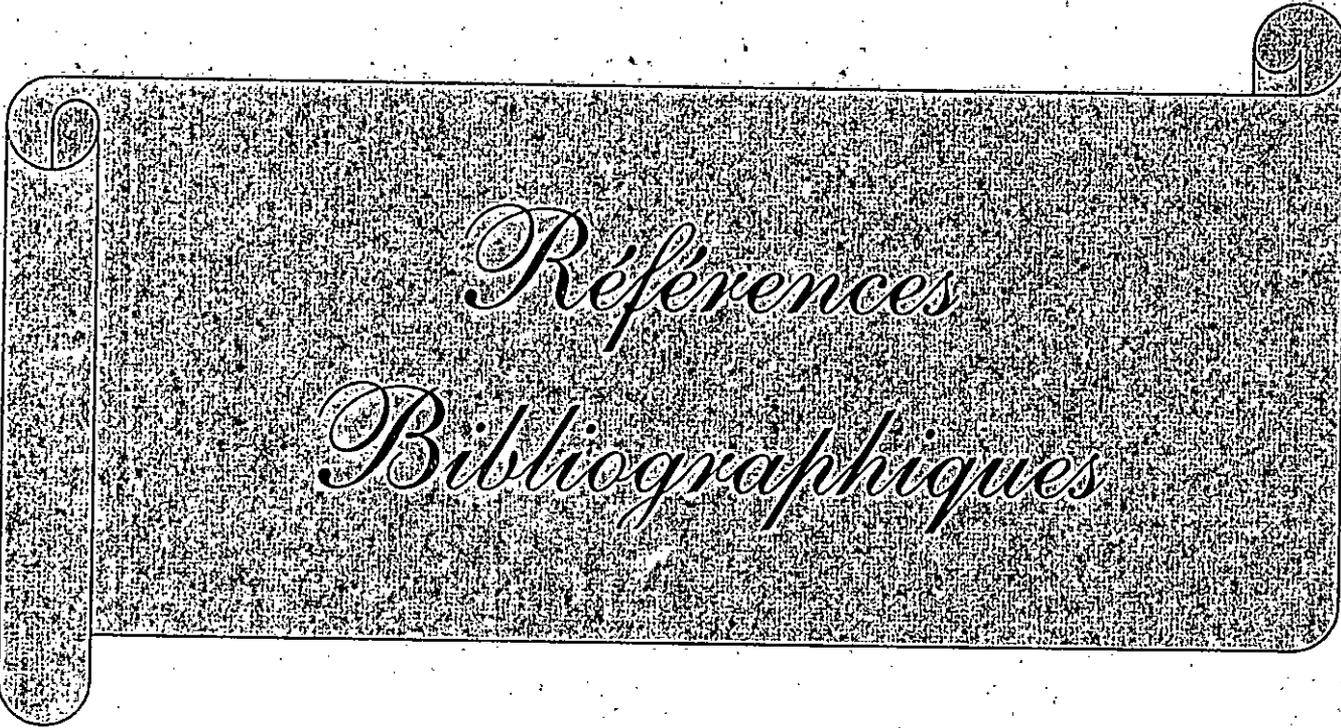
Les travaux expérimentaux que nous avons entrepris avaient pour principal objectif de voir le comportement d'une surface isolante plane, non-uniformément polluée, lorsqu'une tension alternative lui est appliquée. Afin d'interpréter cela, nous avons tenté d'expliquer l'allure du signal du courant de fuite, et de voir l'influence d'une répartition non-uniforme de la pollution sur l'évolution du courant de fuite, et sur la tension de contournement.

La visualisation du courant révèle des perturbations du signal pour des niveaux de tension un peu plus élevés. Ces perturbations se manifestent sous forme de pics, qui seraient la conséquence de la création d'un ou plusieurs arcs électriques. Par ailleurs, nous avons constaté que le nombre ainsi que l'amplitude des pics de courant, augmentent avec l'augmentation de la tension, et sont plus importants dans l'alternance négative de la sinusoïde.

Contrairement à ce qui a été remarqué pour la tension de contournement, la position des deux zones polluées, par rapport aux électrodes influe sur le courant de fuite. Ce courant est plus important lorsque la zone fortement polluée est établie côté terre.

Les caractéristiques qui sont fonctions de  $k$ , mettent en évidence l'effet de la non-uniformité de la pollution. L'importante conclusion que nous pouvons tirer de ces caractéristiques est que lorsque la surface isolante est couverte par 80 à 90% de la conductivité la plus grande, la tension de contournement est inférieure à celle dans le cas où la surface est entièrement polluée par cette conductivité. Ces résultats ont été obtenus aux isolateurs réels [4], ce qui confirme bien l'avantage de l'utilisation de modèles simples comme celui que nous avons utilisé.

Enfin, nous suggérons d'effectuer une étude approfondie sur le signal du courant de fuite, qui peut nous aider à interpréter ce comportement.



*Références  
Bibliographiques*



- [1] D. DUMORA, "Matériaux Isolants Céramiques en Electrotechnique", *Technique d'ingénieur*, D 275.
- [2] A.MEKHALDI, "Etude des Phénomènes de Conduction et de Décharge Electrique sur des Surfaces Isolantes Polluées sous Tension Alternatives 50Hz", *Thèse De Doctorat d'état, ENP, septembre 1999*.
- [3] A.EL-ARABATY, A.NOSSEIR, S.EL-DEBEIKY, E.NASSER, A.EL-SARKY, "Choix d'Isolateurs Utilisables dans des Ambiances Polluées et Notamment dans des Régions désertiques.", *CIGRE, Rapport 33-11, 1980*.
- [4] M.AB. EL KOSHAIRY, F.A.M. RIZK, "comportement des Isolateurs des Lignes de Transport à Très Haut Tension dans les Conditions de Pollution Désertiques", *CIGRE, Rapport 33-05, Paris 1970*.
- [5] J.KELLER-JACOBSEN, AA.PEDERSEN, J.K.RASMUSSEN, A.HENRIKSEN, C.LINDQVIST, S.SMEDSFELT "Essais au Laboratoire et en Plein Air pour Dimensionner Correctement les Isolateurs Exposés A La Pollution Saline", *CIGRE, rapport 33-11, 1978*.
- [6] D.A.SWIFT, "AC Disc Insulators : Accumulation of Pollution Within and Around the Pin Cavity", *7<sup>e</sup> International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 44-22, Dresde, Allemagne, 26-30 Août 1991*.
- [7] S. BOUAZABIA, T. CHIKHAOUI, "Méthode d'essais sur les Isolateurs Pollués dans les Conditions Désertiques", *PFE, ENP juin 1988*.
- [8] L.E.ZAFFANELLA, H.M.SCNEIDER, J.H.DUNLAP. "Performances des Isolateurs Pollués pour Lignes CCHT", *CIGRE, rapport 33-05, 1986*.
- [9] S. DJAFRAI, R. BOUDISSA. " Influence de la Répartition de la Pollution sur l'influence de la Ligne de Fuite d'Isolateur à Ailettes", *Deuxième Conférence Nationale sur la Haute Tension, Tizi-Ouzou 17-19 novembre 1997*.
- [10] H.STREUBEL, "The Influence of Nonuniform Contamination on the Flashover Voltage of Insulators", *4<sup>e</sup> International Symposium On High Voltage Engineering, rapport 46-10, Athènes, 5-9 Septembre 1983*.
- [11] R.SUNDARARAJAN, R.S.GORUR, "Dynamic Arc Modeling of Pollution Flashover of Insulators Under DC Voltage", *IEEE Trans.On Elec.Insul.Vol.28, No2, April 1993*.
- [12] D.NAMANE, "Effet de la Discontinuité de la Couche de Pollution sur le Comportement d'Isolateur Haute Tension, sous la Fréquence 50Hz", *Thèse de Magister ENP, février 1998*.
- [13] J.DANIS, "A Stochastic Pollution Flashover Model", *4<sup>e</sup> International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 46-12, Athènes, 5-9 Sept. 1983*.
- [14] M.N.RAYES, M.ZHIRH, "Investigation about Flashover Performance of Insulators under Uniform and Non Uniform Contamination", *7<sup>e</sup> International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 43-08, Dresde, Allemagne, 26-30 Août 1991*.
- [15] P.CLAVERIE, Y.PORCHERON, "How to Choose Insulators for Polluted Areas", *IEEE Trans.PAS, vol.92,N°3, Mai-Juin 1973*.
- [16] D.DUMORA, L.PARGAMIN, R.PARRAUD, "Expérience des Isolateurs en Verre Trempé sous Pollution Naturelle en Zone Désertique", *SEDIVER Journées Techniques, Alger 16,17 Février 1999*.



- [17] G.LEROY, C.GARY, "Les Propriétés Diélectriques de l'Air et les très Hautes Tensions", Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [18] P.G. LAMBETH, H. AUREL, M.P. VERME, "Méthodes de mesure de la Sévérité de la Pollution compte tenu de son influence sur le comportement des Isolateurs à Haute Tension", *ELECTRA*, N° 20, janvier 1972.
- [19] CIGRE, Groupe de Travail du Comité d'Etudes, N° 3 "Mesure de la Sévérité de Pollution des Sites et Application au Dimensionnement des Isolateurs pour les Réseaux à Courant Alternatif", *ELECTRA*, N° 64, Mai 1979.
- [20] CEI 60-1, "Techniques des Essais A Haute Tension", *Définitions Et Prescriptions Générales Relatives Aux Essais*, Deuxième Édition 1989-11.
- [21] A.ABIMOULOUD, "Comportement d'une Surface Isolante Partiellement Polluée sous Tension Alternative 50 Hz", *Thèse de Magister ENP*, décembre 1999.
- [22] L.L.ALSTON, S.ZOLEDZIEWSKI, "Growth of Discharges on Polluted Insulators" *IEEE, Trans.PAS*, Vol.110, No7, Juillet 1963.
- [23] H.H. WOODSON, A. J.MC-ELROY, "Insulators With Contaminated Surface, Part II, Modeling of Discharge Mechanisms", *IEEE, Trans.PAS*, Vol.89, No8, Nov-Dec 1970.
- [24] R. WILKINS, "Flashover Voltage Of High Voltage Insulators With Uniform Surface Pollution Films", *Proc. IEE*, 116, No3, Mars 1969.
- [25] C. HURAU, A.M. RAHAL, "Le Contournement des Isolateurs Haute Tension : Approche à l'aide d'un Modèle de Laboratoire", *RGE*, Juin 1975, p.425-429.
- [26] A. MEKHALDI, S. BOUZABIA, "Etude de Courant de Fuite sur les Isolateurs Pollués", *Special Issue of AJOT, Proceedings of 2<sup>nd</sup> CEA Alger*, Nov. 29-30 1994/ vol.1.
- [27] S.HELIS, A.MEDDOUR, "Etude du Contournement d'un Isolateur Pollué", *PFE, ENP* Septembre 1996.
- [28] A. EL-ARABATY, A. NOSSEIR, S. EL-DEBEIKY, E. NASSER. A. EL-SARKY, "Choix d'Isolateurs Utilisables dans des Ambiances Polluées et Notamment dans des Régions désertiques.", *CIGRE, Rapport 33-11*, 1980.
- [29] M.A. HANDALA, M. MOUDOUD, "Courant de Préclaquage d'une Isolation Air-barrière en Tension Alternative", *2<sup>ème</sup> conférence nationale sur la Haute Tension* .17-19 Nov. 1997, Tizi-Ouzou.
- [30] A.HAMIMI, " Contribution à l'étude des phénomènes de préclaquage dans une Huile de Transformateur sous Champ alternatif divergent", *Thèse de Magister ENP*, Oct. 1997.
- [31] A. LECHEB, " Visualisation et Traitement de Signal du Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée", *PFE, ENP* Juin 1999.
- [32] F.SAIDANI, "Influence de la Largeur de la Couche Polluante sur la Tenue Diélectrique d'une Surface Isolante", *PFE, ENP* juin 1999.
- [33] F.A.M RIZK, S.I. KAMEL, "Modelling of HVCD bushing Flashover in Non-uniform Rain", *IEEE trans on power delivery*, vol. 6, N°4, Octobre 1991, p.1650-1662



*Annexe*

**Résultats expérimentaux :**1-Tension d'alimentation - Courant de fuite :1.a -  $k=x/y$  : $k=0.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	600	750	1025	1250	1500

 $K=1/7.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	300	750	1150	1500	2000

 $K=1/4.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	220	580	950	1100	1350

 $K=1/2.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	160	440	570	850	1100

 $K=1.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	155	375	540	726	1050

1.b -  $k=x'/y'$  : $k=0.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	600	750	1025	1250	1500

$K=1/7.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	400	600	950	1300	1750

 $K=1/4.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	160	560	850	950	1100

 $K=1/2.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	130	400	600	700	1000

 $K=1.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	180	400	600	700	900

 $l.d - k=y/x :$  $k=0.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	120	200	300	450	650

 $K=1/7.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	150	233	440	500	700

 $K=1/4.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	152	285	460	575	750

$K=1/2.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	155	332	482	640	1000

 $K=1.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	155	375	540	726	1050

 $l.d - k=y'/x' :$  $k=0.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	120	200	300	450	650

 $K=1/7.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	120	200	350	500	780

 $K=1/4.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	130	225	370	550	787

 $K=1/2.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	140	240	400	580	780

 $K=1.$ 

U (kVmax)	10	18	26	34	42
I ( $\mu$ A)	180	400	600	700	900

2. Tension de contournement - Facteur de non uniformité :2.a.  $k=x/y$  :

$k$	0	1/7	1/4	1/2	1
$U_c$ (kV)	63	59	65	71	81

2.b.  $k=x'/y'$  :

$k$	0	1/7	1/4	1/2	1
$U_c$ (kV)	63	60	67	70	80

2.c.  $k=y/x$  :

$k$	0	1/7	1/4	1/2	1
$U_c$ (kV)	90	88	87	84	81

2.d.  $k=y'/x'$  :

$k$	0	1/7	1/4	1/2	1
$U_c$ (kV)	90	89	86	85	80

## الكلمات المفاتيح :

التيار التسرب، توتر الإحاطة، عازل، التوتر العالي، طبقة ملوثة غير منتظمة، نماذج، سطح عازل.

## ملخص :

إنصب اهتمامنا في هذا العمل على دراسة أثر التوزيع غير المنتظم للطبقة الملوثة على سلوك سطح مستو عازل. تركزت النتائج التجريبية على تفحص سلوك النموذج المخيري اتجاه تغير كل من عامل التوزيع غير المنتظم  $K$ ، وضعية الطبقات الملوثة، وكذا التوتر المطبق.

## Key Words:

leakage current, flashover voltage, Insulator, High voltage, non-uniform pollution, Model, insulating surface.

## Abstract :

This work is devoted to study of the effect of the non-uniform distribution of the layer pollution on the behavior of a plane insulating surface. For that, we used a model of laboratory to which two layers of pollution of different conductivities are applied. The experimental results relate to the behavior of the model of laboratory according to the tension applied, of the factor of non-uniformity "k", as well as the position of the two polluted zones.

## Mots Clés :

Courant de fuite, tension de contournement, Isolateur, Haute tension, pollution non-uniforme , Modèles, surface isolante.

## Résumé

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à étudier l'effet de la répartition non-uniforme de la couche de pollution sur le comportement d'une surface isolante plane. Pour cela, nous avons utilisé un modèle de laboratoire sur lequel deux couches de pollutions de conductivités différentes sont appliquées. Les résultats expérimentaux concernent le comportement du modèle de laboratoire en fonction de la tension appliquée, du facteur de non-uniformité  $k$ , ainsi que la position des deux zones polluées.