

16/99

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

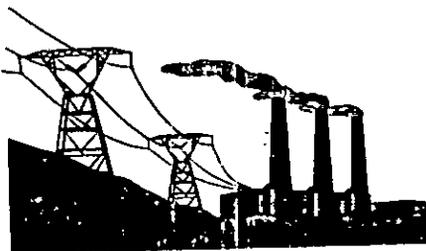
DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

## THEME

INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA  
COUCHE POLLUANTE  
SUR LA TENUE DIELECTRIQUE D'UNE  
SURFACE ISOLANTE



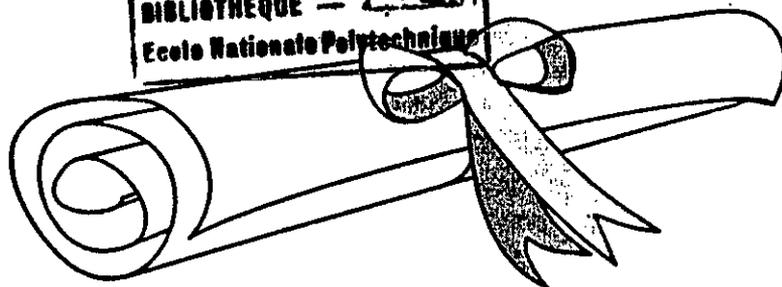
PROPOSE PAR :  
Mr M. TEGUAR  
Mr A. MEKHALDI

PROMOTION  
1998-1999

ETUDIE PAR :  
Melle SAIDANI FATIHA

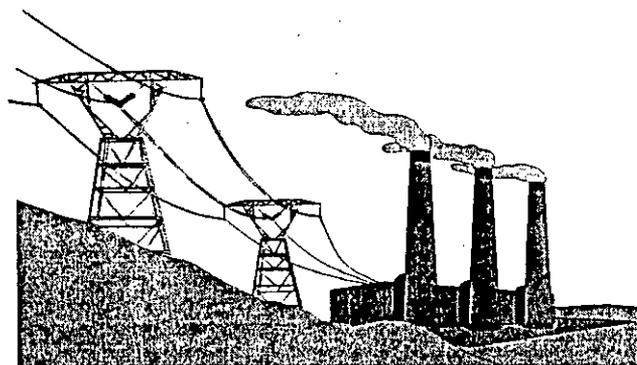
# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique



THEME

INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA  
COUCHE POLLUANTE  
SUR LA TENUE DIELECTRIQUE D'UNE  
SURFACE ISOLANTE



REALISE PAR : Melle SAIDANI FATIHA

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

المدرسة الوطنية المتعددة الفنون  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

THEME

INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA  
COUCHE POLLUANTE  
SUR LA TENUE DIELECTRIQUE D'UNE  
SURFACE ISOLANTE

REALISE PAR : Melle SAIDANI-FATIHA

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Dédicace

*A ma mère, qui seule a su me donner confiance en moi et le courage de continuer jusqu'au bout.*

*A mon père, qui a su passer sur mes sottises et caprices et les supporter sans rien dire, pour son aide durant toutes mes études.*

*A mes sœurs, pour leur patience et leur tolérance tout au long de mes années d'études.*

*A mon frère, qu'il puisse trouver son voie.*

*A mon neveu Farouk, mes nièces Maroua, Merieme, Amel, Noussaiba*

*A toute ma famille, ... .. à tous mes proches.*

*A toute la promotion électrotechnique 1999.*

*A toutes personnes, et à celles que par mégarde j'aurai pu oublier, je dédie ce modeste travail.*

Fatiha

# REMERCEMENTS



*Au terme de ce travail, je tiens à adresser mes vifs et sincères remerciements à tous ceux qui ont mis ma disposition leurs connaissances et expériences, et contribuer à l'élaboration tout ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce présent mémoire.*

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

*Mes vifs remerciements s'adressent également à Mr. A. Bouabkeur et Mme Namane pour m'avoir fait l'honneur de bien accepter d'être membre de jury et mettre ainsi en valeur notre travail.*

*Je remercie ainsi Mr. 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 tous les personnes qui ont contribué de près ou loin à ma formation dans l'Ecole National Polytechnique.*

# Sommaire

<b>Introduction générale</b>		01
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique</b>		
<b>Partie A</b>	<b>Les isolateurs</b>	03
A-1.	Isolateur	03
A-2.	Fonctionnement et constitution d'un isolateur	03
A-3.	Les principaux type d'isolateurs	04
A-3-1.	Isolateurs de type rigide	04
A-3-2.	Elément de chaîne.	04
A-3-2-1	Isolateurs à capot et tige	05
A-3-2-1-1.	Différents profils des isolateurs a capot et tige	05
A-4.	Choix des isolateurs	07
<b>Partie B</b>	<b>Pollution des isolateurs</b>	08
B-1.	Définitions	08
B-1-1.	Contournement	08
B-1-2.	Tension de contournement	08
B-1-3.	Tension de tenue	08
B-1-4.	Courant de fuite	08
B-1-5.	Courant de fuite critique	09
B-1-6.	Longueur critique de l'arc	09
B-1-7.	Conductance superficielle	09
B-1-8.	Contrainte de contournement	09
B-2.	Formation des couches polluantes	09
B-3.	Sources de pollution	09
B-3-1.	Pollution naturelle	09
B-3-1-1.	Pollution marine	10
B-3-1-2.	Pollution désertique	10
B-3-2.	Pollution industrielle	10
B-3-3.	Pollution mixte	10
B-4.	Conséquence de la pollution	11
B-4-1.	Arc non localisé	11
B-4-2.	Arc fixe	11

<b>B-4-3.</b>	<b>Contournement des isolateurs</b>	11
<b>B-5.</b>	<b>Mesure de sévérité de pollution des sites</b>	14
<b>B-5-1.</b>	<b>Classification des sites pollués</b>	14
<b>B-5-1-1.</b>	<b>Classe 1</b>	14
<b>B-5-1-2.</b>	<b>Classe 2</b>	14
<b>B-5-1-3.</b>	<b>Classe 3</b>	14
<b>B-5-1-4.</b>	<b>Classe 4</b>	14
<b>B-5-2.</b>	<b>Méthode de mesure de la sévérité d'un site</b>	14
<b>B-5-2-1.</b>	<b>Densité de dépôt de sel équivalent</b>	15
<b>B-5-2-2.</b>	<b>Conductance superficielle</b>	15
<b>B-5-2-3.</b>	<b>Courant de fuite</b>	15
<b>B-6.</b>	<b>Méthodes d'essais sous pollution</b>	15
<b>B-6-1.</b>	<b>Essais sous pollution naturelle</b>	15
<b>B-6-2.</b>	<b>Essais sous pollution artificielle</b>	16
<b>B-6-2-1.</b>	<b>Méthode des couches solides</b>	16
<b>B-6-2-2.</b>	<b>Méthode de brouillard salin</b>	17
<b>B-6-2-3.</b>	<b>Analyse des méthodes d'essais sous pollution artificielle</b>	17
<b>B-7.</b>	<b>Techniques de lutte contre la pollution</b>	17
<b>B-7-1.</b>	<b>Allongement de ligne de fuite</b>	17
<b>B-7-2.</b>	<b>Isolateurs plats</b>	17
<b>B-7-3.</b>	<b>Graissage périodique</b>	18
<b>B-7-4.</b>	<b>Revêtements silicones</b>	18
<b>B-7-5.</b>	<b>Les isolateurs composites</b>	18
<b>B-7-6.</b>	<b>Nettoyage des isolateurs</b>	18
<b>Partie C</b>	<b>Principaux modèles de contournement</b>	
<b>C-1.</b>	<b>Modèles en courant continu</b>	19
<b>C-1-1.</b>	<b>Amélioration des modèles en courant continu</b>	22
<b>C-2.</b>	<b>Modèles en courant alternatif</b>	22
<b>C-3.</b>	<b>Influence de divers paramètres sur le contournement</b>	25
<b>C-3-1.</b>	<b>Approche expérimentale</b>	25
<b>C-3-2.</b>	<b>Approche théorique</b>	26
<b>Chapitre II : Etude expérimentale</b>		
<b>II.1</b>	<b>Introduction</b>	28
<b>II.2</b>	<b>Circuit d'essais</b>	29
<b>II.3</b>	<b>Mode opératoire</b>	32
<b>II.4</b>	<b>Essais complémentaires</b>	34

<b>II.5</b>	<b>Résultats et interprétations</b>	35
<b>II.5.1</b>	<b>Observation</b>	35
<b>II.5.2</b>	<b>Caractéristiques</b>	35
<b>II.5.2.1</b>	<b>Contournement</b>	36
<b>II.5.2.2</b>	<b>Courant de fuite-tension appliquée</b>	37
<b>II.5.2.3</b>	<b>Courant de fuite-largeur de pollution</b>	37
<b>II.5.2.4</b>	<b>Courant de fuite-conductivité superficielle</b>	38
<b>II.5.2.5</b>	<b>Déphasage</b>	38
<b>II.6</b>	<b>Conclusion</b>	60
	<b>Conclusion générale</b>	61
	<b>Références bibliographiques</b>	63

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# Introduction Générale

## Introduction générale

Les isolateurs utilisés à l'extérieur sont soumis, dans les conditions normales de fonctionnement, à l'action des contaminants d'origines diverses : des flots de fumée qui s'échappent des appareils d'évacuation, poussières, aérosols ou alors de fines particules salines dans les régions situées au bord de la mère ... etc.

Ces contaminants forment un dépôt à la surface des isolateurs, qu'une fois humidifié devient plus ou moins conducteur et entraîne la circulation d'un courant de fuite. Si, ce courant excède une valeur critique, l'isolateur se contourne, c'est - à - dire qu'il n'assure plus sa fonction et provoque un court -circuit, donc l'interruption de la ligne.

Ce phénomène désigné par « pollution des isolateurs » est une des causes majeures d'incident sur les réseaux aériens de transport et de distribution d'énergie électrique, il doit être pris en compte dès la conception de l'ouvrage, au même titre que les autres contraintes « externes » : foudre, neige, vent [ 1 ].

En face les difficultés engendrés par la pollution, plusieurs méthodes de lutte sont utilisées : le lavage ou le graissage des isolateurs, par exemple. Cependant, ces opérations sont coûteuses et économiquement injustifiables. Par conséquent, la meilleure solution consiste à dimensionner, à priori, un isolant qui permet, en regard de la pollution, d'assurer une bonne tenue.

Dans ce cadre plusieurs modèles mathématiques ont été développés en vue de formuler un critère d'établissement d'un arc électrique sous pollution, tous basés sur le modèle d'Obenaus.

Les premiers essais, dits sur site, consistent en l'installation des isolateurs dans différentes régions où règne une pollution notable afin d'observer leur comportement. Cependant, la durée relativement longue que nécessite ces essais est le principal inconvénient. Pour cela, on s'est orienté vers les essais au laboratoire qui sont basés sur la simulation de la couche pollution par des solutions disposées sur les isolateurs.

Le but de ces essais consiste, par exemple, à trouver une relation entre la conductivité et la tension de contournement ou entre la largeur de la couche polluante et le courant de fuite. Comme les essais sur site, les essais au laboratoire posent des problèmes : reproductibilité de la couche polluante, durée et coût [ 2 ].

Afin d'apprécier l'impact de la pollution sur les surfaces isolantes polluées à partir des essais au laboratoire sous tension alternative 50 Hz, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'influence de la largeur de la couche polluante sur le comportement de celles-ci.

Trois chapitre font les principaux objets de ce travail :

Le premier chapitre consiste en une synthèse bibliographique des principaux travaux antérieurs effectués par des chercheurs dans ce domaine. Elle contient trois parties.

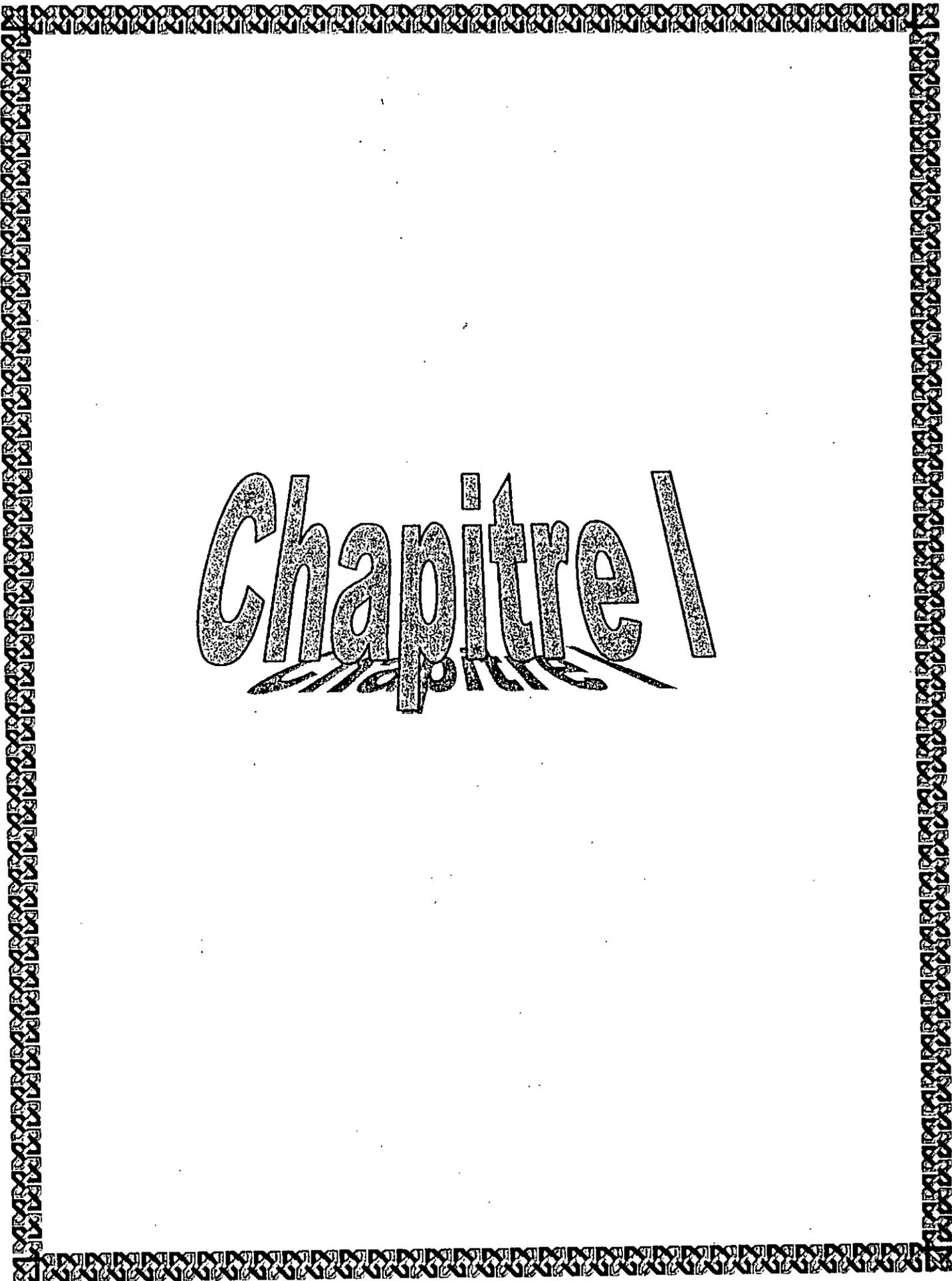
Dans la première partie, nous présentons l'importance des isolateurs, leur utilité et leur principaux types et profils.

La deuxième partie présente les phénomènes de pollution et leurs conséquences sur le transport de l'énergie électrique. Afin d'éviter les défaillances engendrées par le contournement sous pollution, certaines dispositions constructives appropriées et certaines mesures d'exploitation convenables sont discutées.

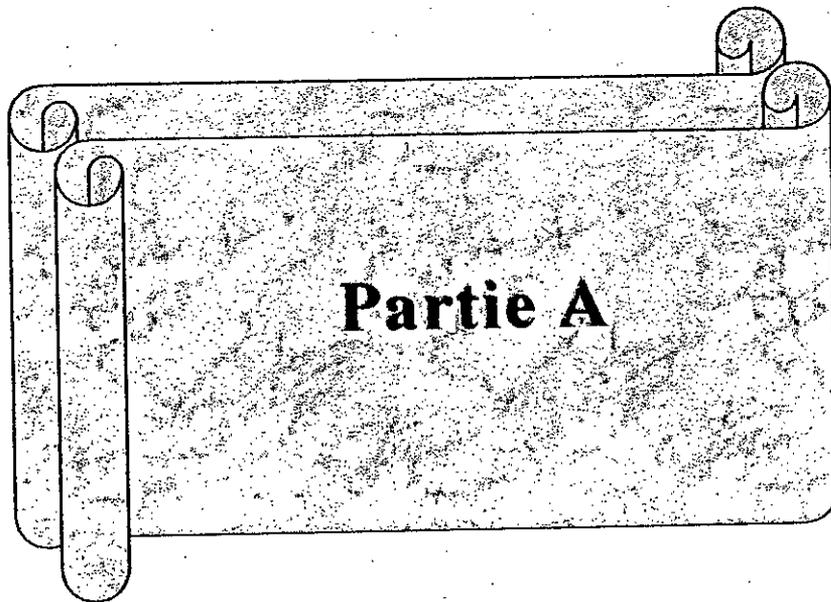
La troisième partie est consacrée pour la présentation des principaux modèles élaborés pour décrire les phénomènes de contournement des isolateurs sous atmosphère polluée . Il passe en revue les modèles, s'appliquant aux arcs en régime de courant continu ainsi que les modèles de développement d'arc sur les surfaces d'isolateurs pollués soumis à des contraintes alternatives.

Le deuxième chapitre décrit le circuit de mesure, le modèle expérimental et le mode opératoire lors des essais au laboratoire. Les grandeurs à mesurer sont : le courant de fuite, la tension de contournement ainsi que le déphasage (facteur de puissance ), pour différents paliers de tension et différentes largeurs. En outre, certains résultats de recherche dans le domaine de conduction superficielle sur une surface isolante polluée d'une façon discontinue, seront présentés. Les zones propres et les zones polluées ont été choisies pour reproduire le mieux possible l'état critique de l'isolateur 1512L observé dans les conditions naturelles [3] .

Enfin, nous terminerons par une conclusion générale sur notre travail .



# Chapitre I



## Les isolateurs

Le phénomène de pollution des lignes aériennes constitue un sujet d'étude d'une importance primordiale. Cela provient du fait que la pollution des isolateurs constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, à la suite d'une interaction entre, l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surfaces de celui-ci [4]. Une fois cette couche est humidifiée, la tension de tenue diminue considérablement et provoque des incidents très graves, cela est dû aux plusieurs facteurs dont les plus importants sont le profil de l'isolateur et la nature de l'agent polluant.

### A.1. Isolateur

L'isolateur est un matériau isolant solide présente une très grande résistance au passage du courant et dont la conductibilité est pratiquement nulle. Il est utilisé pour isoler les conducteurs ou les pièces sous tension afin d'empêcher les court-circuits, les pertes de courant et les charges d'électrocution [ 5 ].

### A.2. Fonctionnement et constitution d'un isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Leur fonction est de réaliser une liaison mécanique entre des conducteurs portés à des potentiels différents accrochés aux pylônes des lignes aériennes, ils maintiennent les conducteurs dans la position spécifiée (isolateurs d'alignement et d'ancrage), ils assurent la transition entre l'isolation interne ( huile , SF6 ) et l'isolation externe ( air atmosphérique ), ils permettent de raccorder les matériels électriques au réseau ( traversées de transformateur, extrémités de câbles ) et ils constituent, également, l'enveloppe de certains appareils ( disjoncteurs, parafoudres, réducteurs de mesure ) [ 1 ].

Les isolateurs sont conçus et dimensionnés pour résister aux contraintes prévisibles introduites par l'environnement [2]. Du point de vue électrique, l'isolateur est considéré comme deux électrodes dont l'intervalle comporte trois zones constituant trois isolants en parallèle ayant des comportements différents, qui sont les suivants [2]:

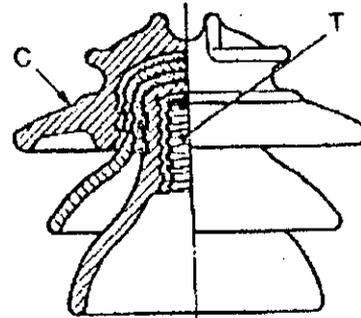
- L'intervalle d'air.
- Le matériau diélectrique.
- L'interface air - matériau diélectrique.

### A. 3 . Les principaux types d'isolateurs :

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs :

#### 1 . Isolateurs de type rigide :

Un isolateur rigide ( fig 1. a ) est relié au support par une ferrure fixe. Tous les isolateurs rigides normalisés sont livrés avec une douille scellée de telle façon qu'ils puissent être vissés directement sur les ferrures correspondantes. La céramique et le verre sont les deux matériaux utilisés pour les isolateurs rigides [ 5 ].

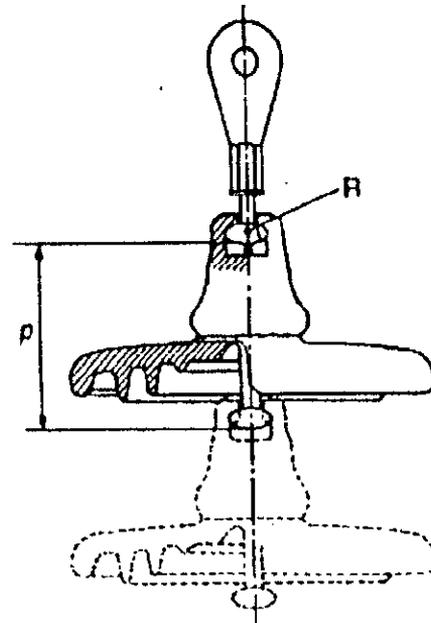


C : Cloche  
T : Logement  
de tige.

Fig 1 . a - Isolateur rigide en verre.

#### 2 . Élément de chaîne :

C'est un isolateur constitué par un matériau isolant équipé de pièces métalliques de liaison, nécessaires pour le relier de façon flexible à d'autres éléments de chaîne ( fig. 1 - b ), à la pince de suspension du conducteur ou au support, ces éléments sont soumis principalement à des efforts de traction. Ils sont généralement utilisés en suspension et forment des chaînes d'isolateurs soit verticales ( chaînes d'alignement ), soit horizontales ( chaînes d'ancrages ) [ 2 ].



R : Rotule.  
P : pas.

Fig 1. b - Assemblage à rotule.

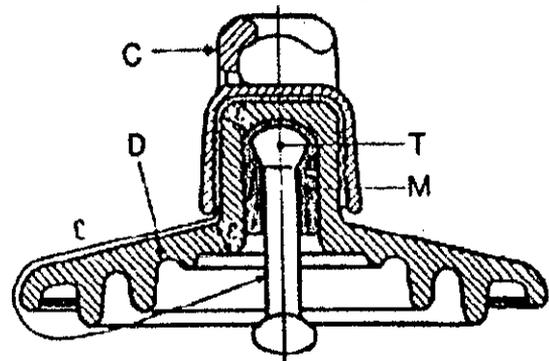
### 2.1 . Isolateurs à capot et tige :

L'isolateur capot-tige est constitué d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellé dans le verre ( ou la porcelaine ).

L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer le capot de l'élément suivant, qui est maintenue par une goupille [ 4 , 7 ].

L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique, le tout est posé sur une table vibrante pendant une minute afin d'obtenir un bon scellement [ 7 ].

La coupe de l'isolateur capot-tige est schématisée sur la figure I - c.



- C : Capot (fonte malléable, galvanisée à chaud)
- D : Diélectrique (verre trempé ou céramique)
- M : Mortier de ciment alumineux ou Portland
- T : Tige (acier, galvanisé à chaud)
- L : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur
- $\epsilon$  : Longueur du canal de perforation,  $\epsilon \ll L/2$

Fig I . c - Isolateur à capot et tige

#### 2-1-1- Différents profils des isolateurs à capot et tige [ 7 ] : ( fig. I - d )

##### a /- Profil standard :

La faible profondeur, l'espacement entre les anneaux ( nervures ) et la ligne de fuite moyenne permettent l'utilisation de ce profil dans une zone de pollution modérée.

##### b /- Profil brouillard :

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

##### c /- Profil ouvert :

La suppression complète des anneaux permet de réduire l'accumulation des dépôts polluants. Ce type de profil est particulièrement efficace en régions désertiques où le lavage par pluie est très rare.

**d /- Profil sphérique :**

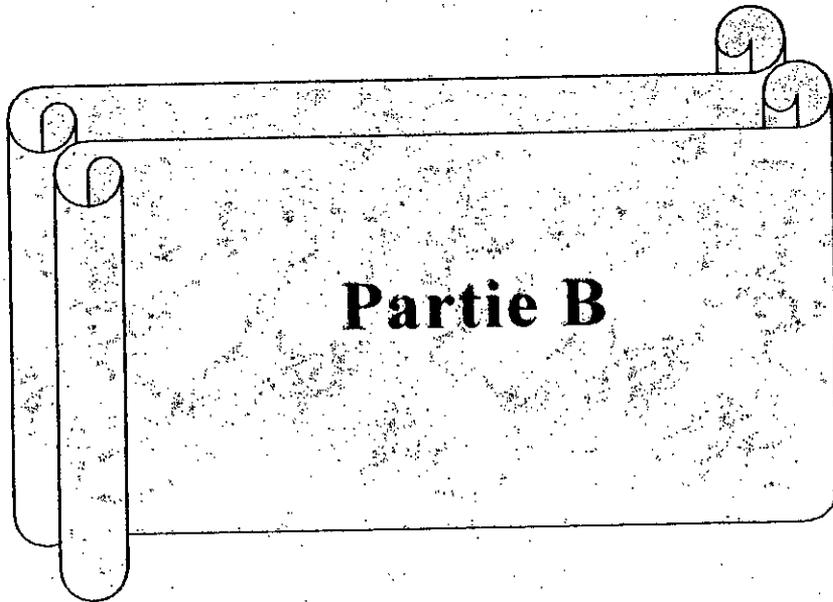
Ce type de profil donne une ligne de fuite équivalente au profil standard, mais l'absence d'anneaux facilite le nettoyage manuel.

**A. 4. Choix des isolateurs**

Les isolateurs entrent pour un pourcentage très modeste de l'ordre de 7%, dans le prix d'une ligne aérienne moyenne tension. Cependant, ils sont un élément essentiel dont dépendent la sécurité d'exploitation, la qualité et la continuité de service [7].

Les isolateurs les mieux adaptés à un environnement donné sont ceux qui retiennent le taux de dépôts polluants le moins élevé, c'est-à-dire les isolateurs qui possèdent les meilleures propriétés d'auto-nettoyage.

Même bien choisie, une isolation n'est encore pas à l'abri d'un incident. La sévérité de la pollution d'un site peut changer. L'apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, la construction d'un ouvrage routier voisin ou plus simplement, un événement météorologique exceptionnel peuvent augmenter, durablement ou temporairement, la pollution d'un site, alors qu'un poste ou une ligne y sont déjà en exploitation. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut alors devenir insuffisant et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre ces nouvelles sources de pollution éventuelles [8].



**Partie B**

## Pollution des isolateurs

La pollution est un phénomène qui constitue un sérieux problème sur l'isolement des ouvrages de haute tension, dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de haute tension. Ceci est dû à la présence des couches conductrices sur la surface de l'isolateur. Ces couches peuvent engendrer une diminution considérable de la tension de tenue des isolateurs.

L'échauffement de la couche polluante conductrice, provoqué par la circulation des courants de fuite sur la surface de ces isolateurs, entraîne des assèchement locaux de la couche de pollution et l'apparition de petits arcs. Selon certaines conditions électriques qui se trouvent alors réunies, ces arcs partiels peuvent se développer jusqu'à provoquer le contournement total des isolateurs et la mise hors service de l'ensemble de l'installation [ 6 ].

### B. 1. Définitions

#### B. 1. 1. Contournement

Décharge disruptive le long d'une surface solide [12] dont la trajectoire contourne cette dernière, dans notre cas c'est de l'isolateur qu'il s'agit. Aussi, le terme contournement est employé pour des décharges par amorçage dans l'air.

#### B. 1. 2. Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [ 12 ]. Elle dépend

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

#### B. 1. 3. Tension de tenue

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

#### B. 1. 4. Courant de fuite

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

Il dépend, en outre, de plusieurs facteurs, à savoir la nature de la couche de la pollution et de la longueur de la ligne de fuite [ 5 ] .

### **B. 1. 5. Courant de fuite critique**

C'est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement par pollution sur un isolateur à une tension donnée. Il est indépendant du procédé d'essai ainsi que de la forme de l'isolateur. Le seul facteur dont dépend le courant de fuite sous une tension donnée est la ligne de fuite, c'est-à-dire la contrainte spécifique exprimée en kV/cm [13].

### **B. 1. 6. Longueur critique de l'arc**

C'est la longueur limite  $X_C$  de l'arc partiel, qui au-delà de laquelle, l'arc conduira au contournement total [10]. Autrement dit, pour une tension donnée, si l'arc atteint cette valeur il est probable que le contournement ne se produise pas encore mais dès que  $X > X_C$  nous avons le contournement.

### **B. 1. 7. Conductance superficielle**

La conductance superficielle est le rapport du courant de fuite traversant l'isolateur à la tension appliquée. Elle caractérise l'état globale de la surface isolante.

### **B. 1. 8. Contrainte de contournement**

La contrainte de contournement d'isolateur est le rapport de la tension de contournement à la longueur totale de l'isolateur [10].

## **B. 2. Formation des couches polluantes**

Suite à l'écoulement d'un air transportant des poussières diverses, et à l'obstacle formé par les isolateurs, en présence de l'humidité, une couche de pollution se développe sur la surface de ceux-ci. La répartition non-uniforme et non-homogène de cette couche dépend du profil de l'isolateur, de la position de la chaîne par rapport au sol (verticale, horizontale, inclinée), du niveau de tension ainsi que la distance à la source de pollution [13].

## **B. 3. Source de pollution**

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

### **B. 3. 1. Pollution naturelle**

La pollution naturelle provient des dépôts :

- des sels marines dans les régions côtières.
- de poussière du sol (notamment lors de chantiers importants).
- de sable véhiculé par le vent en régions désertiques.

### **B. 3. 1. 1. Pollution marine**

Les installations situées en bordure de la mer sont exposées aux embruns portés par le vent et qui se déposent progressivement sur les isolateurs en formant une couche de pollution de sel qui devient conductrice lorsqu'elle est humidifiée par les embruns eux même, par brouillard ou simplement par condensation. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, ils se développent jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolateur [13,14].

### **B. 3. 1. 2. Pollution désertique**

Les sources principales de la pollution de l'atmosphère au désert peuvent être de trois natures :

- Sable saharien porté par les vents.
- Eau atmosphérique sous forme de précipitations.
- Fumée de gaz industriels brûlés sortant surtout des torchères pétrolières .

Dans les régions désertiques et à la suite d'une interaction entre l'écoulement d'un vent de poussières, causé par les tempêtes de sable et l'obstacle formé par les isolateurs, une couche de pollution se forme sur leurs surfaces. Une fois qu'elle est humidifiée, elle devient conductrice et engendre un courant qui apparaît brusquement précédé par des arcs partiels qui peuvent conduire au contournement total de l'isolateur s'ils rejoignent les deux électrodes.

La pollution des isolateurs par le sable fin est un processus permanent quelque soit le type de montage aussi bien extérieur qu'intérieur [14] .

### **B. 3. 2. Pollution industrielle**

Au voisinage de certaines zones industrielles, la pollution est engendrée par l'évacuation des fumées des usines (raffinerie, cimenterie, minerie ..... etc.). Les isolateurs se recouvrent de poussières. Dans des conditions de forte humidité, la dissolution des sels contenus dans ces poussières entraîne la formation d'un électrolyte [10].

Les gaz présents dans les fumées des usines, absorbés par la couche de poussières humide augmentent encore la conductivité de l'électrolyte.

Les industries ne sont pas d'ailleurs les responsables de ce genre de pollution ; les automobiles et les engrais utilisés en agriculture contribuent aux dépôts observés à la surface des isolateurs.

### **B. 3. 3. Pollution mixte**

C'est en fait la plus fréquente et la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. La pollution mixte résulte de la combinaison entre les différents types de pollution, comme par exemple ; la pollution marine et industrielle lorsque des composants industriels sont installés en bord de mer.

Comme dans les cas de pollution précités, nous avons formation d'une couche de pollution et un courant de fuite engendré après humidification de cette couche, et le contournement peut par fois survenir. [7,10].

Par conséquent, on peut dire, que quelle que soit la nature et les caractéristiques de pollution, lorsqu'elle est sèche ne pose pas, généralement, de problème c'est-à-dire pas de dégradation de la rigidité diélectrique. Le phénomène de pollution résulte de la concomitance d'un dépôt polluant et d'une humidification de ce dépôt [1].

Très souvent, un site ne présente pas qu'un seul type de pollution mais plusieurs qui se combinent. La présence de la pollution humidifiée provoque une couche électrolytique caractéristique du phénomène de pollution.

#### **B. 4. Conséquence de la pollution**

La couche de polluant qui s'accumulent à la surface des isolateurs provoque une conductivité électrique superficielle, celle-ci modifie la répartition du potentiel le long de la ligne de fuite et dans certains conditions, le court-circuit complet de l'isolateur peut se reproduire ; on parle alors du contournement.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes auxquelles est soumis l'isolateur [6],[10].

##### **B. 4.1. Arc-non localisé**

L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçait aléatoirement à un autre endroit et ainsi de suite ; il y a apparition des courants de fuite entraînant une petite perte d'énergie, généralement supportable par l'installation [10].

##### **B. 4.2. Arc fixe**

L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit se réamorçant au même endroit (courant alternatif).

Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant nécessitant le remplacement de l'élément défaillant [10].

##### **B. 4.3. Contournement des isolateurs**

Le contournement d'une surface polluée et humidifiée est le résultat d'une évolution qui comprend quatre phases principales, schématisées sur la figure (2). Pour simplifier la présentation, considérons le cas d'une plaque plane rectangulaire avec deux électrodes :

- ◆ dans une première phase, le courant de fuite s'écoule à travers l'électrolyte qui recouvre l'isolant. Il provoque un échauffement de l'électrolyte qui a pour effet d'accroître la conductivité du milieu et par suite le courant (phase 1).
- ◆ L'échauffement croissant par l'effet joule crée par le courant de fuite, provoque un assèchement de la couche polluante. La zone sèche formée a tendance à s'étendre latéralement jusqu'à l'interruption complète du courant (phase 2).

- ◆ La tension se trouve reportée aux « bornes » de la zone sèche et des arcs locaux sont susceptibles d'amorcer. Au voisinage de la tête d'un arc local la constriction des lignes de courant conduit à un élargissement de la zone sèche (phase 3).
- ◆ A partir de ce stade, l'évolution de la décharge peut se faire de différentes façons : l'arc local peut s'éteindre (phase 4), ou bien il peut se déplacer latéralement pour retrouver une position plus stable correspondant à une plus faible longueur d'arc (phase 5), ou encore il peut s'allonger jusqu'à atteindre l'électrodes et provoquent ainsi le contournement. Dans ce cas, l'allongement de l'arc se fait à la surface de l'électrolyte sans formation de zone sèche (phase 6).

Bien entendu, en pratique le phénomène s'initie et évolue en fonction de la forme des isolateurs, de l'hétérogénéité du dépôt solide et de l'humidification de telle ou telle partie qui est plus ou moins protégée de l'isolateur. Il est aussi fréquent que plusieurs arcs naissent simultanément le long d'une chaîne ou d'une colonne isolante. Enfin, nous avons implicitement admis que la tension appliquée à l'isolateur était constante. La tension alternative présente, à cet égard, une différence importante du fait de son annulation périodique. Les arcs locaux s'éteignent à chaque passage par zéro et se réamorcent d'une façon aléatoire sur les maxima de tension [8].

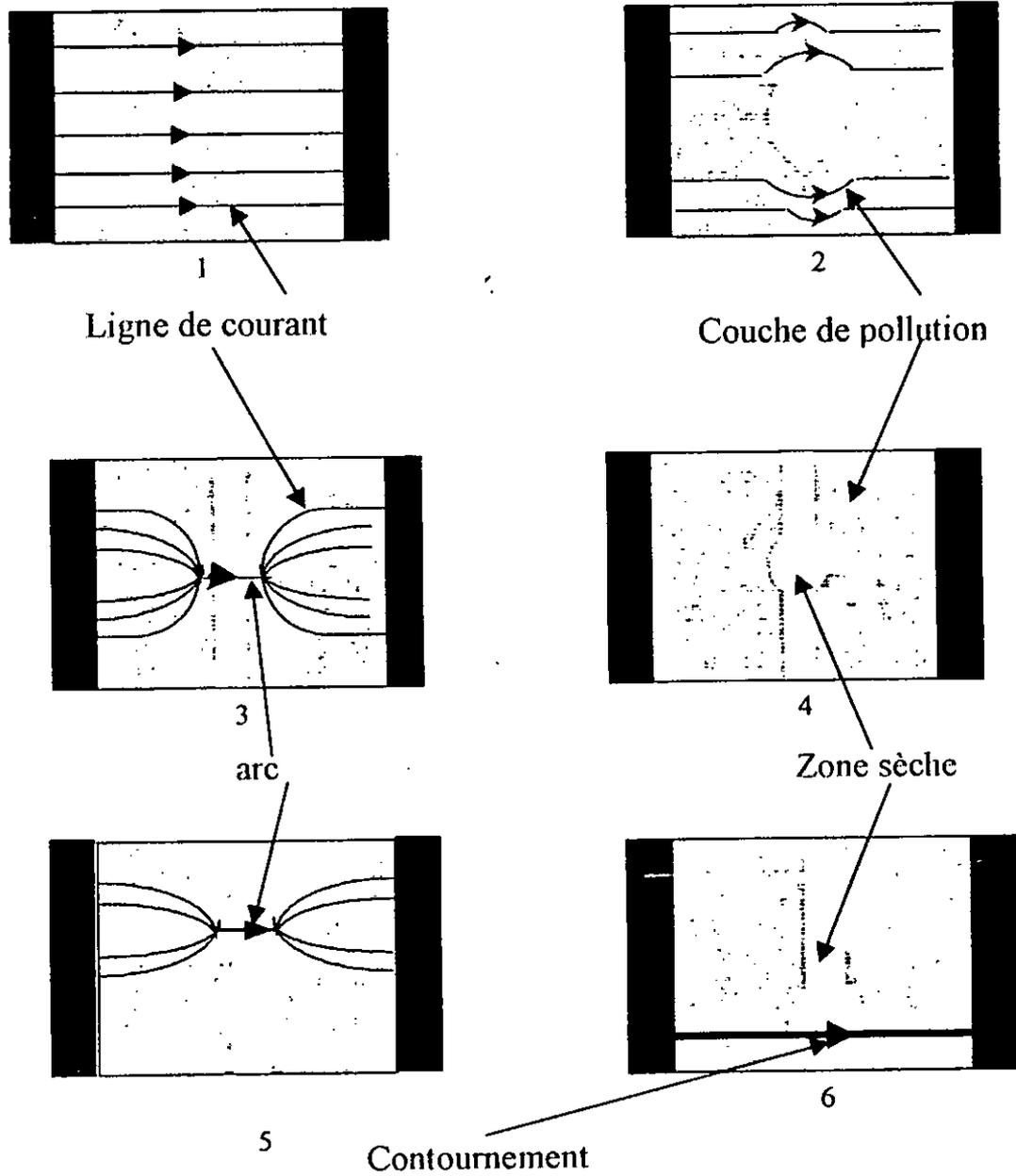


Fig. 2 Etape du contournement d'une couche polluée

## **B.5. Mesure de la sévérité de pollution des sites**

Le choix des isolateurs à installer sur le réseau ne peut se faire que si la sévérité de pollution est connue. En effet, la mesure de cette sévérité est indispensable afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance dans un site pollué [10].

La mesure de la sévérité est généralement basée sur la détermination expérimentale de la conductance superficielle de la couche polluante ou la détermination au laboratoire du courant de fuite d'un isolateur pollué artificiellement [8].

### **B.5.1. Classification des sites pollués**

Pour définir l'isolement des lignes de transport et d'établir la corrélation entre la salinité et les niveaux de pollution naturelle, quatre classes de sévérité ont été proposées [10].

#### **B.5.1.1. Classe 1**

Cette classe correspond à une pollution faible. Cette pollution est généralement naturelle (sauf marine) ou légèrement industrielle. La salinité équivalente maximale retenue pour cette classe correspond à une pulvérisation d'une solution de chlorure de sodium à 2.5 g/l de concentration.

#### **B.5.1.2. Classe 2**

La classe 2 correspond à une pollution moyenne. En général, cette pollution est naturelle (sauf marine) ou faiblement industrielle.

En classe 2, la salinité équivalente maximale retenue est de 10 g/l.

#### **B.5.1.3. Classe 3**

Cette classe correspond à des zones très localisées où l'on trouve simultanément une forte pollution marine et industrielle. La salinité équivalente maximale, concernant cette classe, est de 80 g/l.

#### **B.5.1.4. Classe 4**

La classe 4 correspond aux zones où le niveau de pollution est exceptionnel. La pollution est éventuellement naturelle, industrielle ou mixte. La salinité équivalente maximale, pour la classe 4, est de 160 g/l.

### **B.5.2. Méthodes de mesure de la sévérité d'un site**

Les principales méthodes qui ont été proposées pour caractériser la sévérité d'un site sont [15,16] :

### **B.5.2.1. Densité du dépôt de sel équivalent**

Cette méthode consiste à nettoyer la surface d'un isolateur pollué à l'aide d'un matériau absorbant (coton) et l'eau distillée. La conductivité de la solution contaminée par le coton permet par des mesures, d'obtenir la quantité équivalente de sel et par suite de déterminer la salinité équivalente.

Pour obtenir les niveaux maximaux entre les périodes de lavage, il faut répéter les mesures avec une fréquence suffisante.

### **B.5.2.2. Conductance superficielle**

A l'aide de mesure de courant de fuite d'un isolateur pollué installé dans un site donné, nous mesurons le rapport  $G = I/V$ .

La conductivité superficielle est obtenue en multipliant la conductance  $G$  par un facteur de forme de l'isolateur. Généralement la tension est appliquée aux électrodes terminales, ce qui fournit la conductivité superficielle globale de l'isolateur.

### **B.5.2.3. Courant de fuite**

Si deux isolateurs identiques, l'un exposé à la pollution naturelle dans un site donné et l'autre pollué artificiellement au laboratoire, présentent les mêmes valeurs maximales du courant de fuite, sous une même tension, on peut dire que la pollution artificielle est alors équivalente à la pollution réelle du site.

## **B.6. Méthodes d'essais sous pollution**

Afin de comparer les performances de divers types d'isolateurs et de sélectionner ceux qui présentent le meilleur comportement sous pollution, il est nécessaire de les soumettre à des essais.

Pour effectuer ces essais, nous distinguons deux principales méthodes d'essai à savoir les essais sous pollution naturelle et les essais sous pollution artificielle. Ces essais peuvent être effectués dans les conditions naturelles (sur site) ou au laboratoire.

### **B.6.1. Essai sous pollution naturelle**

On installe, dans différents sites pollués, des stations dans lesquelles on observe et analyse le comportement d'un certain nombre de chaînes d'isolateurs ou colonnes isolantes de longueurs ou de profils différents. Les qualités respectives de ces isolateurs soumis à une même tension sont appréciées en se basant sur le courant de fuite ou la conductivité superficielle. Cependant la durée relativement longue (trois ans environ) que nécessite ces essais est le principal inconvénient [9].

Pour cela, plusieurs méthodes de laboratoire ont été proposées en vue de simuler convenablement les conditions naturelles d'exploitation.

## **Remarque**

Plusieurs travaux d'observation [3,14,16] ont montré qu'il existe toujours une distinction nette entre la DDSE ( Densité De Dépôt de Sel Equivalent) côté dessus et la DDSE côté dessous d'un isolateur soumis à la pollution naturelle. Cela veut dire que la répartition de la pollution le long de l'isolateur est très peu uniforme, le vent, par exemple, impose des orientations préférentielles pour les dépôts.

La pluie qui lave périodiquement les surfaces exposées est un autre facteur de non-uniformité puisque les parties arbitrées de l'isolateur ne sont jamais lavées. Cette répartition dépend [11]:

- du profil de l'isolateur.
- de la position de l'isolateur par rapport au condition sous tension.
- du niveau de la tension.

## **B . 6 . 2 . Essais sous pollution artificielle**

Le but des études effectuées au laboratoire est d'apprécier l'influence des facteurs susceptibles de modifier le comportement d'une chaîne d'isolateurs soumise à la pollution , en vue d'en tirer des conclusions quant aux performances des diverses configurations possibles des chaînes, pour haute et très haute tension.

Les essais au laboratoire sont basés sur la simulation de la couche de pollution par des solutions disposées sur l'isolateurs à travers lesquelles la conductivité électrique est réglée.

Afin de valider ces essais artificiels, il a été nécessaire de comparer les isolateurs essayés au laboratoire, par ordre de mérite, à ceux sous pollution naturelle.

Les méthodes qui ont été proposées sont relativement nombreuses. Cette variété se comprend aisément quand on se réfère au objectifs que l'on peut se proposer d'atteindre . Une première approche consiste à rechercher une méthode qui simule le mieux possible les conditions naturelles de pollution, en tenant compte de la répartition non-uniforme de la pollution .

Une deuxième approche consiste à rechercher une méthode de laboratoire susceptible de fournir des résultats reproductibles, afin de faciliter la comparaison des performances des différents types d'isolateurs [9, 11].

Les méthodes d'essai qui demeurent actuellement normaliser sont : la méthode du brouillard salin et la méthode de la couche solide [9].

### **B . 6 . 2 . 1 . Méthode des couches solides**

Dans ces méthodes la surface isolante est recouverte par pulvérisation d'une couche de pollution solide constituée de chlorure de sodium et d'un agent liant inerte. La conductivité de cette suspension est réglée par addition d'une certaine quantité de chlorure de sodium.

Si l'humidification s'effectue après application de la tension (méthode du brouillard à vapeur ), le paramètre de sévérité est défini par la densité de dépôt de sel en  $\text{mg/cm}^2$ . Si l'humidification a lieu avant l'application de la tension, le paramètre de sévérité est défini par la conductivité de la couche polluante [9],[18].

Dans certaines cas, la couche solide est constitué d'une peinture semi-conductrice [11].

### **B. 6. 2. 2. Méthode du brouillard salin**

La surface isolante est alimentée par une tension de service, maintenue constante durant tout les essais et soumise à un brouillard salin. La solution saline, utilisée dans la méthode du brouillard salin, représente assez bien la pollution marine contenant un peu de matière insoluble, ou bien la pollution industrielle ayant une couche de pollution relativement mince [ 9].

Le degré de salinité exprimé en kg de sel /m<sup>3</sup> de solution, définit le paramètre de sévérité. Les valeurs de salinité appliquée en référence aux conditions de pollution sont choisies selon une progression allant de 2,5 à 160 kg / m<sup>3</sup> [10].

### **B. 6. 2. 3. Analyse des méthodes d'essais sous pollution artificielle**

La méthode de brouillard salin, qui a été strictement normalisée, permet d'obtenir une bonne reproductibilité des essais, ce qui n'est pas le cas de la méthode de la couche solide . De plus, la méthode de brouillard salin est la seule qui assure au cours d'essai, un renouvellement de la couche polluante; cette méthode nécessite une installation fixe assez importante. Elle a été également validée dans certains nombres de régions côtières [9].

Pour la méthode de la couche solide, le nombre d'éléments objectifs sont laissés à l'appréciation des agents d'essai , en plus cette méthode ne nécessite pas d'installation fixe.

Comme sur site les essais au laboratoire posent des problèmes de reproductibilité de la couche polluante, durée et coût.

## **B. 7. Techniques de lutte contre la pollution**

Contre des nouvelles sources de pollution, le dimensionnement initial des isolateurs peut s'avère insuffisant pour le bon fonctionnement des installations. Pour cela, plusieurs moyens sont utilisés afin de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service.

Ces moyens de lutte doivent tenir compte des données propre au site considéré et au changement possible de la sévérité de pollution due à nouveaux facteurs ( apparition d'une nouvelle usine à proximité d'un poste, ....). Les différents méthodes utilisées sont [8,11] :

### **B. 7. 1. Allongement de la ligne fuite**

Elle permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution . Deux techniques sont employées :

- ◆ Le changement de type d'isolateurs (pour allonger la ligne de fuite ) : c'est une opération très coûteuse et souvent impossible à réaliser en poste.
- ◆ L'utilisation de prolongateurs de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolateurs existant.

### **B. 7. 2. Isolateurs plats**

Tandis que les deux précédentes méthodes conduisent à allonger la ligne de fuite des isolateurs, l'utilisation d'isolateurs plats conduit à la diminuer. En effet, ces isolateurs sans nervures ont la propriété d'accumuler moins de pollution que les isolateurs traditionnels et

s'auto-nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont principalement utilisés dans les régions désertiques et soumis à des tempêtes de sable où la principale source d'humidification est la condensation.

### **B. 7. 3. Graissage périodique**

Grâce à ses propriétés hydrophobes, le graissage protège temporairement les isolateurs. La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit. Elle est généralement comprise entre 1 et 4 ans. Le graissage est largement utilisé dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de regraisage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite, par ailleurs, une interruption de service.

### **B. 7. 4. Revêtement silicones**

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Comme pour le graissage à ses propriétés hydrophobes, ce revêtement protège et améliore leur tenue sous pollution. Par contre sa longévité est, en général, nettement supérieure à celle des graissages.

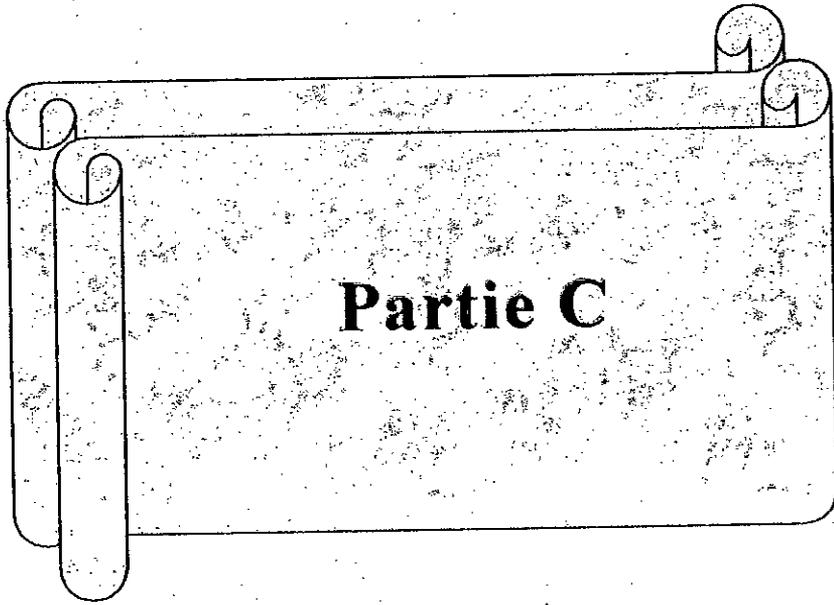
### **B. 7. 5. Les isolateurs composites**

Ils sont constitués d'un noyau en fibres de verre imprégnées d'une résine et d'un revêtement à ailettes de type élastomère. Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté alliée à une haute résistance mécanique que lui confère le noyau. Ils ont de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollution très sévères.

Cependant, ces isolateurs présentent le désavantage de vieillir sous l'effet des différentes contraintes auxquelles ils sont soumis (électrique et mécanique).

### **B. 7. 6. Nettoyage des isolateurs**

- ◆ **Le nettoyage manuel** (essuyage à sec de l'isolateur) ou **le lavage hors tension** peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes. Comme ces méthodes sont utilisées hors tension, elles entraînent nécessairement des interruptions de service parfois assez longues. Aussi, il faut limiter, autant que possible, leur utilisation.
- ◆ **Le lavage sous tension** permet d'éviter ces coupures. Dans son principe, ce type de lavage permet de garder propre l'isolateur. Ce dernier est réalisé à l'aide d'installations fixes ou mobiles. Dans ces cas, il est effectué selon des règles strictes concernant la qualité de l'eau de lavage, le processus de lavage et les distances de sécurité à respecter afin d'éliminer tout risque de contournement pendant le lavage.
- ◆ **Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif** pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certains pays (Amérique du nord en particulier). Cette technique permet le nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment, par exemple) et peut être utilisé pour dégraisser les isolateurs.



**Partie C**

## Principaux modèles de contournement

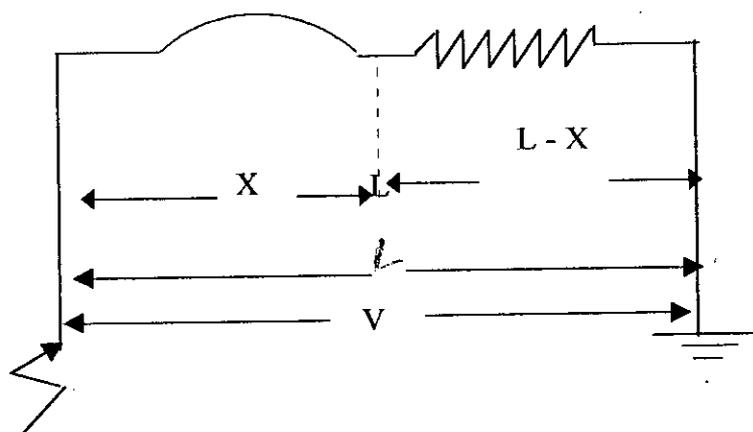
Pour l'étude du contournement engendré par la pollution, les modèles considérés doivent être très différemment dans le cas du courant continu et celui du courant alternatif.

Les principaux modèles développés pour l'étude de la propagation de l'arc électrique sur la surface d'un isolateur pollué, sont les suivants :

### C.1.1. Modèle en courant continue

De nombreux auteurs ont imaginé de reproduire les phénomènes d'arc qui se produisent sur les surfaces des isolateurs contaminés, sur des modèles simplifiés afin de pouvoir décrire le contournement par des équations simples. Nous pouvons citer notamment : Obenaus [19], Neumarker [20], Alston [21], ainsi que Danis [22]. Ces modèles sont représentés à la figure (3).

Le premier modèle électrique a été proposé par Obenaus [19] en 1958. Ce modèle a été établi pour une tension d'alimentation continue et décrit un fonctionnement statique de l'arc. Il est représenté schématiquement à la figure 4. Il est constitué d'une décharge de longueur  $x$  en série avec une résistance  $R(x)$  représentant la couche de pollution humide.



**Fig. 4** Circuit électrique équivalent

L'équation électrique de base s'établit en appliquant la loi d'ohm en tenant compte de la chute de tension aux électrodes.

Cette équation s'écrit comme suit :

$$U = U_e + U_{\text{arc}} + R(x) I \quad (1-1)$$

Avec :

$U$  : la tension appliquée.

$\Delta U_e$  : la chute de tension totale aux bornes des électrodes.

$R(x)$  : la résistance de la couche polluée.

$$U_{\text{arc}} = R_{\text{arc}} X I \quad (1-2)$$

$R_{\text{arc}}$  : la résistance d'arc par unité de longueur .

$X$  : la longueur d'arc .

$I$  : le courant qui traverse la couche polluée .

La décharge est caractérisée par le champ électrique longitudinal  $E_a$ , donné sous la forme suivante :

$$E_a = U_{\text{arc}} / X = A I^{-n} \quad (1-3)$$

d'où l'équation :

$$U_{\text{arc}} = A X I^{-n} \quad (1-4)$$

Avec  $A$  et  $n$  les constantes empiriques qui caractérisent l'état statique de l'arc.

En résumé, l'équation électrique de base se met sous la forme :

$$U = U_c + A X I^{-n} + R(x).I \quad (1-5)$$

Cette équation décrit le fonctionnement statique de la décharge et a pour conséquence immédiate, que pour une longueur donnée de la zone sèche (donc de l'arc), il existe une tension limite  $U_M$  (fig. 5) au-dessous de laquelle le courant ne peut plus circuler.

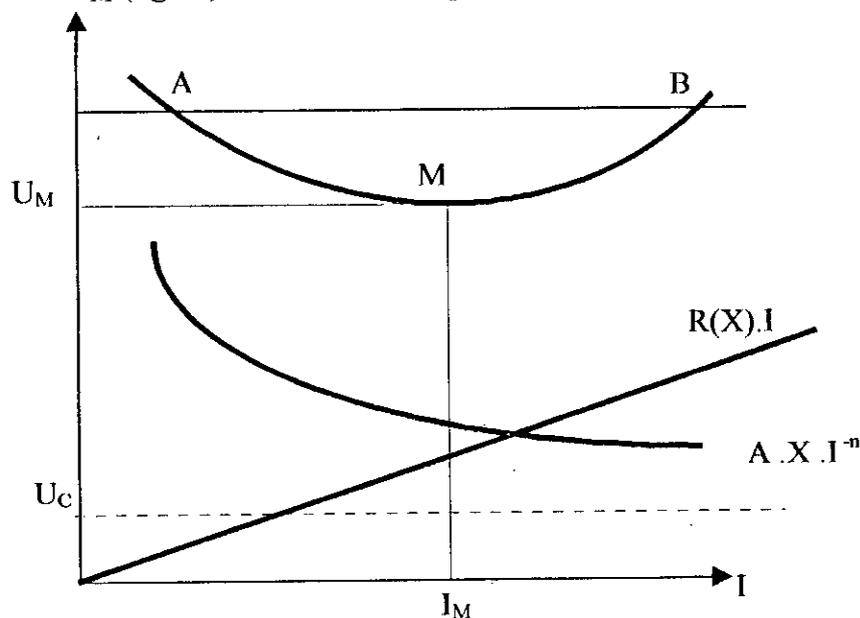


Fig. 5 Caractéristique courant-tension continue

Si la tension appliquée est supérieure à  $U_M$ , il existe théoriquement deux points A et B de fonctionnement possible. L'étude expérimentale a vérifié qu'aucune décharge stable ne pouvait être observée pour une valeur de courant  $I < I_M$ , et de là Hesketh [23] a proposé l'hypothèse suivante :

Pour une tension donnée  $U$ , la décharge est stable lorsque  $dI/dX < 0$ , et que l'arc électrique atteint sa longueur critique  $X_c$  au delà de cette longueur le contournement est observé lorsque  $dI/dX > 0$ .

Obenaus a établi également la tension nécessaire pour l'entretien d'un arc de longueur  $X$  pour une couche de pollution  $R(X)$ , elle est donnée par :

$$U_{c_x} = \frac{(n+1)}{n} \left[ A X R(X)^n \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (1-6)$$

Utilisant le même modèle d'essai, Neumarker [20] a fait l'hypothèse supplémentaire d'une résistance de pollution uniforme par unité de longueur de fuite et a posé ainsi :

$$R(X) = r(L - X) \quad (1-7)$$

où  $L$  représente la longueur de fuite totale et  $r$  la résistance moyenne par unité de longueur. d'où l'équation (1-5) devient :

$$U = U_c + A X I^n + r(L - X) I \quad (1-8)$$

Il a établi alors la relation donnant la tension minimale nécessaire pour entretenir un arc de longueur  $X$  :

$$\frac{A \cdot n}{r} \left( \frac{U_{c_x}}{(1+n)AL} \right)^{\frac{n}{n+1}} = \left( \frac{X}{L} \right)^{\frac{1}{n}} - \left( \frac{X}{L} \right)^{\frac{1+n}{n}} \quad (1-9)$$

Le courant de fuite critique et la tension critique sont donnés par :

$$I_{c_r} = \left( \frac{X}{L} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (1-10)$$

$$U_{c_r} = \left( \frac{L}{An^n} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (1-11)$$

En tenant compte de l'hypothèse de Neumarker et pour une tension d'application dépassant quelque kilos volts, Alston et Zoledziowski [22] ont déterminé la condition de maintien de l'arc électrique dans le cas d'un isolateur cylindrique de longueur  $L$ .

$$U_{c_x} = (n+1) (A X)^{1/n+1} \left( r \frac{L-X}{n} \right)^{\frac{n}{n+1}} \quad (1-12)$$

Afin de reproduire des couches similaires à celles observées sur les isolateurs pollués dans les conditions naturelles, J. Danis [22] a utilisé un modèle de forme géométrique simple (plane ou cylindrique) possédant plus d'une zone sèche (fig.3), en considérant que la résistance de la couche polluante est linéaire.

L'équation qui régit ce modèle est :

$$U = A I^n + \rho (L - X) I \quad (1-13)$$

Avec :

$\rho$  : résistance spécifique

$n \geq 0.5$  et  $400 \geq A \geq 200$

### C.1.1. Amélioration des modèles en courant continu

En vue de développer quelques hypothèses simplificatrices, plusieurs expériences ont été effectuées.

#### a- Modèle de la couche mixte

Obenaus et Boheme [18] ont développé le modèle de la couche mixte. Ils ont représenté la résistance superficielle d'un isolateur à long fût par deux couches de pollution de résistances linéiques  $r_1$  et  $r_2$  en série sur des longueurs  $L_1$  et  $L_2$  correspondant respectivement au fût et aux ailettes (fig. 3).

L'application du critère d'Hesketh leur a permis de déduire la relation donnant le gradient du contournement critique en fonction du courant de fuite  $I$  (en faisant certaines hypothèses et en choisissant l'exposant  $n=1$ ) [13] :

$$U_c / L = 0.8 A r I^{0.5} \quad (1-14)$$

Avec :

$r$  : résistance linéique sur une longueur partielle,  $A$  : constante égale 80VA/cm.

Le modèle concorde assez bien avec les résultats d'essai obtenus en régime alternatif.

#### b- Modèle du disque circulaire

Woodson et Mc.Elroy [24] ont essayé de reproduire la surface d'un isolateur par une configuration géométrique circulaire (fig. 3).

Ce modèle n'a pas donné de résultats satisfaisants. Ils l'ont imputé à la non-uniformité de la résistance superficielle de l'isolateur [17].

### C.1.2. Modèles en courant alternatif

Les modèles existant en alternatif peuvent être classés en deux catégories, les modèles théoriques et les modèles expérimentaux.

**a- Modèles théoriques :**

En courant alternatif, l'arc électrique s'éteint chaque fois que le courant s'annule. En général, le réallumage de l'arc à la suite de l'annulation de courant, se fait par rupture énergétique ou par rupture diélectrique. La rupture énergétique se produit immédiatement après l'annulation de courant, lorsque l'espace où se maintient l'arc résiduel ne parvient plus à dissiper l'énergie injectée dans la couche.

La rupture diélectrique se maintient bien plus tard, après la perte de la résistivité de l'espace résiduel.

Plusieurs modèles de réallumage par rupture énergétique furent élaborés par Aikappor, Mayr, Browne, Rizk et Maecker [25].

D'après les résultats de mesures effectuées par Claverie et Porcheron, le modèle à rupture diélectrique s'avère plus représentatif [17].

**b- modèles expérimentaux :**

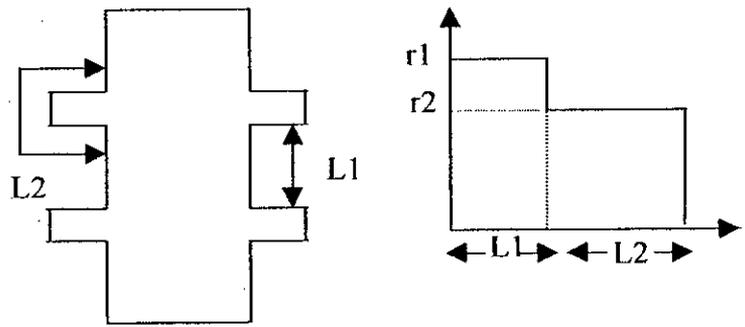
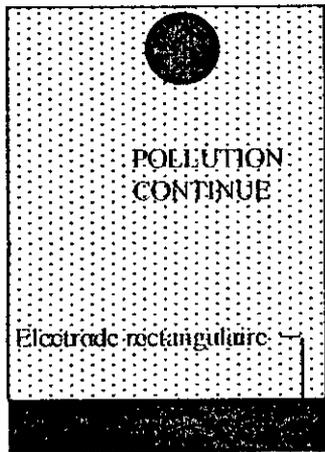
Parmi les travaux de recherche effectués dans le cas du courant alternatif, nous citons le modèle de Claverie et Porcheron [28]. Il est constitué d'une plaque de porcelaine vernie avec deux électrodes (fig.3).

La couche polluante était réalisée en pulvérisant à la surface de la plaque une solution de NaCl, plus ou moins concentrée, suivant la conductivité désirée. Une résistance de  $50 \Omega$  est insérée dans le retour de la terre de la plaque permettant de mesurer le courant de fuite.

Une tension de quelques kilovolts est appliquée entre les deux électrodes. Le courant sinusoïdal croît à mesure que l'électrolyte s'échauffe, et la conductivité du milieu augmente. Après quelques périodes nous avons sur la périphérie de l'électrode circulaire une grande densité de courant, qui entraîne l'évaporation de liquide et une étroite zone sèche apparaît, d'où l'établissement de l'arc, et le courant sera constitué d'impulsions de niveaux variables.

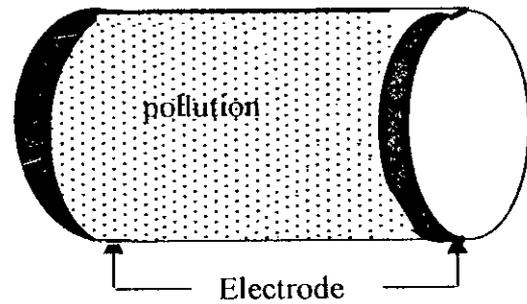
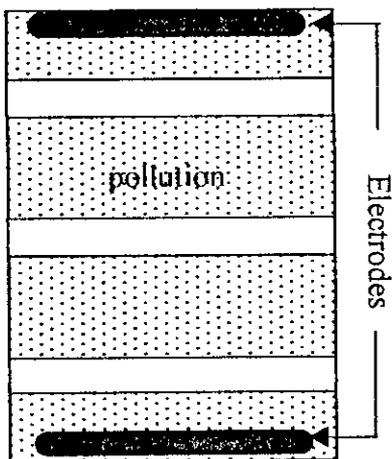
L'arc s'amorce à chaque alternance, deux cas sont à considérer :

- ◆ si la pulvérisation est interrompue, le phénomène s'arrêtera.
- ◆ par contre, lorsque la couche polluante est constamment régénérée par pulvérisation continue de la solution, un régime permanent s'établit, caractérisé par des arcs radiaux tournant autour de l'électrode circulaire en balayant une surface bien délimitée. L'augmentation progressive de la tension engendre un état critique au delà duquel toute nouvelle augmentation provoque le contournement.



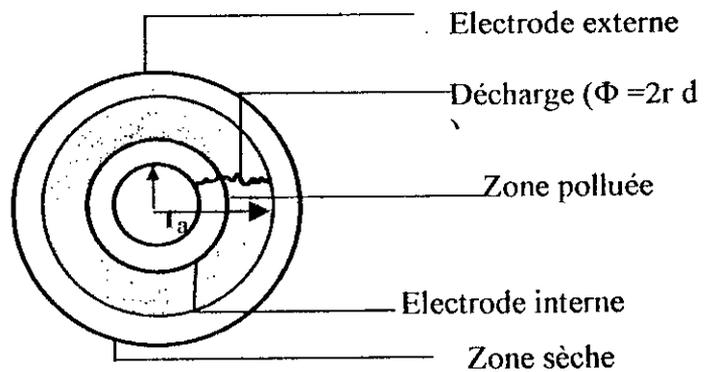
b - Modèle de Boheme et Obenaus

a- Modèle de Claverie et Procheron



d - Modèle d'Alston et Zlodelzowski

c - Modèle de J. Danis



e- Modèle de disque circulaire selon Woodson et Elroy

Fig. 3 Modèles de laboratoire

### **C.3. Influence de divers paramètres sur le contournement**

Les différentes études et recherches dans le domaine des isolateurs pollués de haute tension, ont montré qu'il est très difficile de prendre en considération tous les paramètres intervenant dans le phénomène de propagation de l'arc électrique.

D'autre part, nous pouvons dire que le courant de fuite est un facteur très significatif pour le comportement de l'isolateur sous pollution, car sa valeur en présence d'un arc électrique nous informe sur l'état de dégradation de système d'isolateur.

Donc le phénomène du contournement des isolateurs est affecté par plusieurs paramètres, dont les influences pourraient être déterminées par deux approches.

#### **C.3.1. Approche expérimental**

##### **a- L'influence de la distance inter-électrodes : [11]**

les résultats des essais effectués sur un modèle plan, montrent que le courant de fuite diminue avec l'augmentation de la distance inter-électrode.

##### **b - L'influence du diamètre de l'électrode circulaire : [11]**

Sur le même modèle, en gardant la distance inter-électrode et la tension constantes, il a été remarqué que le courant de fuite augmente avec l'augmentation du diamètre de l'électrode circulaire.

##### **c - L'influence du degré de pollution :**

L'étude expérimentale d'un grand nombre d'isolateurs au moyen de la méthode du brouillard salin [11], a permis d'établir une courbe moyenne. Cette courbe donne la tension de contournement par unité de longueur de la ligne de fuite en fonction de la salinité du brouillard.

Nous observons que la tension de contournement diminue avec l'augmentation de la salinité.

##### **d - L'influence du niveau de tension sur la longueur d'arc :**

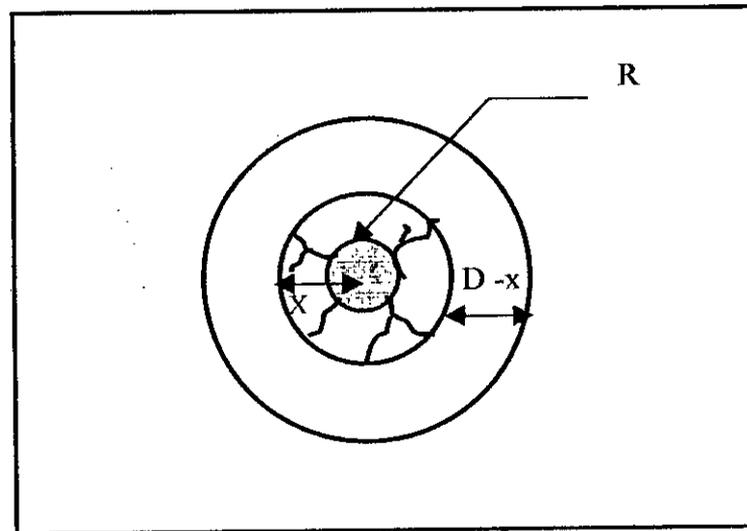
D'après les résultats [14], nous pouvons dire que l'augmentation de la tension d'essai engendre l'allongement de l'arc électrique, pour une conductivité et diamètre constants.

##### **e - L'influence des facteurs climatiques :**

L'humidité relatif de l'air est le principal facteur qui provoque la décharge, d'où les facteurs climatiques ont une influence directe sur le comportement des isolateurs pollués, nous citons aussi : le brouillard, la pluie, ainsi que le vent. Pour les région désertique l'écart de la température entre le jour et la nuit, les tempêtes et les pluies fines sont les facteurs les plus importants.

### C. 3. 2. Approche théorique :

Le modèle théorique qui a été proposé [26], est constitué de deux électrode cylindriques concentriques de rayon  $R$  et  $R+D$ .



Avec les conditions aux limites du système :

$$V(R+x) = U$$

$$V(R+D) = 0$$

Et d'après la résolution de l'équation de Laplace  $\nabla^2 V = 0$ , on obtient :

$$V(r) = \frac{u \cdot \ln(R+D)/r}{\ln(R+D)/(R+x)} \quad (1-16)$$

Pour montrer les différents paramètres qui influent sur le courant de fuite, il est nécessaire de calculer le courant, où :

$$I = \gamma \frac{U}{\ln(R+D)/(R+x)} e \operatorname{arctg}\left(\frac{a}{2(R+D)}\right) \quad (1-17)$$

Avec

$a$  : longueur de l'électrode rectangulaire .

$R$  : le rayon de l'électrode circulaire .

$D$  : distance inter - électrode .

$x$  : longueur de l'arc.

$U$  : niveau de tension .

$e$  : l'épaisseur de la couche polluante.

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

La forme de courant de fuite obtenue par ce modèle théorique, met en évidence les différents paramètres qui influent sur le comportement des isolateurs.

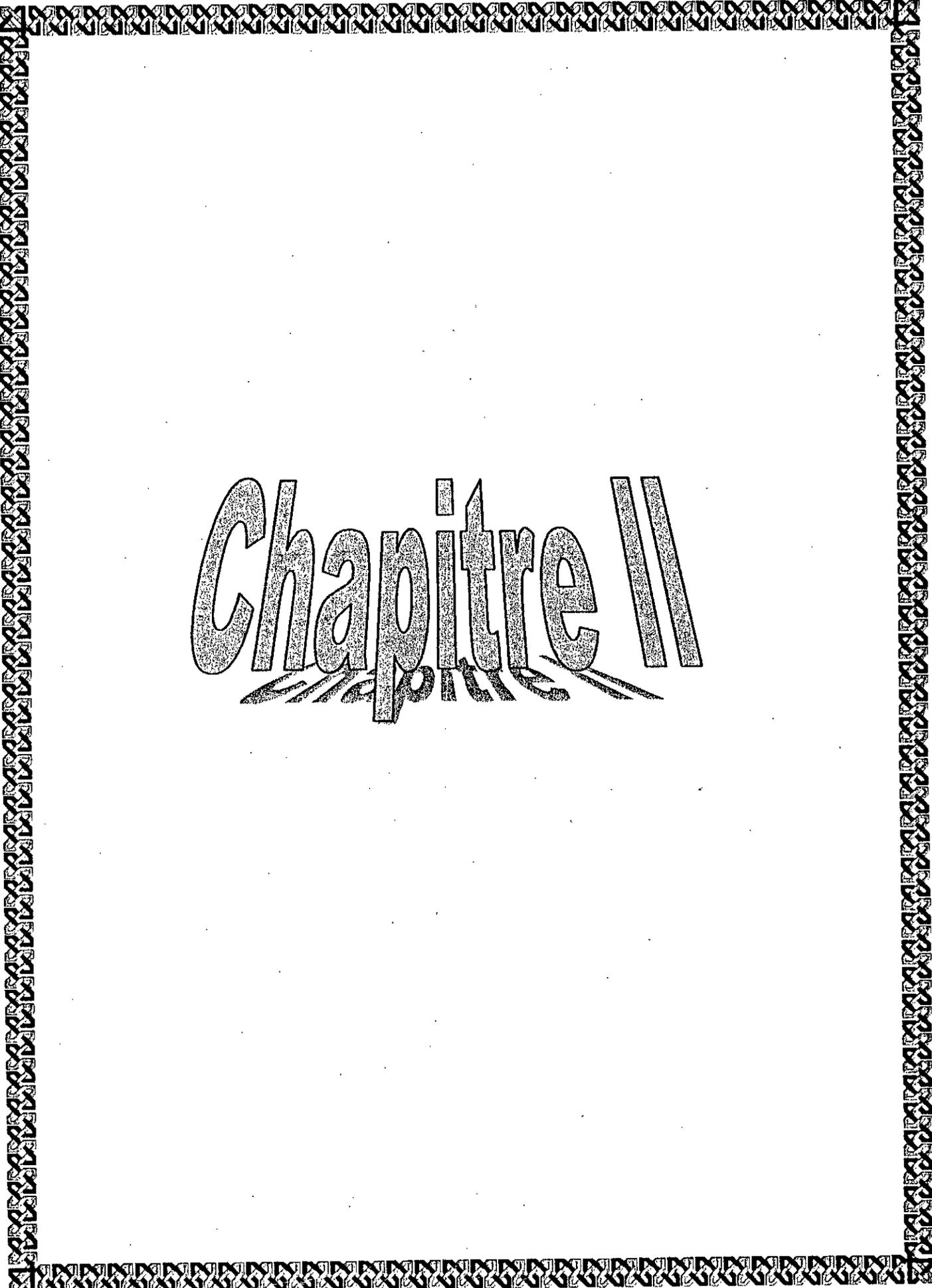
**Conclusion :**

Nous avons présenté, dans cette synthèse bibliographique, l'état des connaissances actuelles sur le phénomène de pollution des isolateurs, les techniques de lutte ainsi que les modèles utilisés pour l'étude de développement de l'arc électrique.

Les modèles mathématiques présentés dans cette étude s'avèrent insuffisants lors du passage à l'application pratique, principalement à cause des hypothèses simplificatrices rendues nécessaires par le traitement mathématique : géométrie de la surface isolante, homogénéité de la pollution, ....

La différence rencontrée très souvent entre les résultats calculés, à partir des équations mathématiques correspondant à ces modèles et ceux obtenus expérimentalement proviennent sans doute de la négligence de plusieurs facteurs dans la modélisation des isolateurs pollués.

Une modélisation rigoureuse nécessite d'une part, la prise en considération de tous les paramètres et facteurs, et d'autre part, une bonne compréhension de phénomène physique entourant le processus de la propagation de l'arc électrique sur la surface isolante .



# Chapitre II

# Etude Expérimentale

## II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons exposer les résultats de l'étude expérimentale que nous avons effectuée au laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique. Le modèle expérimental que nous avons utilisé est semblable à celui utilisé par Claverie et Porcheron [17].

Notre but d'apprécier l'influence de la largeur transversale de la couche polluante sur le comportement des isolateurs pollués d'une façon discontinue.

Les essais effectués consistent à mesurer pour chaque largeur de la couche polluante, le courant de fuite et le déphasage ( facteur de puissance ) correspondant, et ce pour plusieurs niveaux de tension.

## II.2. Circuit d'essai

Le circuit d'essai est constitué d'une alimentation alternative à fréquence industrielle 50 Hz de marque HEAFLY comprenant : [fig. II.1 ]

1. Interrupteur d'alimentation générale.
2. Contacteur de commande.
3. Transformateur d'isolement.
4. Transformateur de réglage 220/ 500 V (50 Kva ).
5. Transformateur d'essai 500 / 300KV (50 KVA ).
6. Diviseur de tension capacitif 400pF.
7. Objet d'essai .
8. Pupitre de commande .

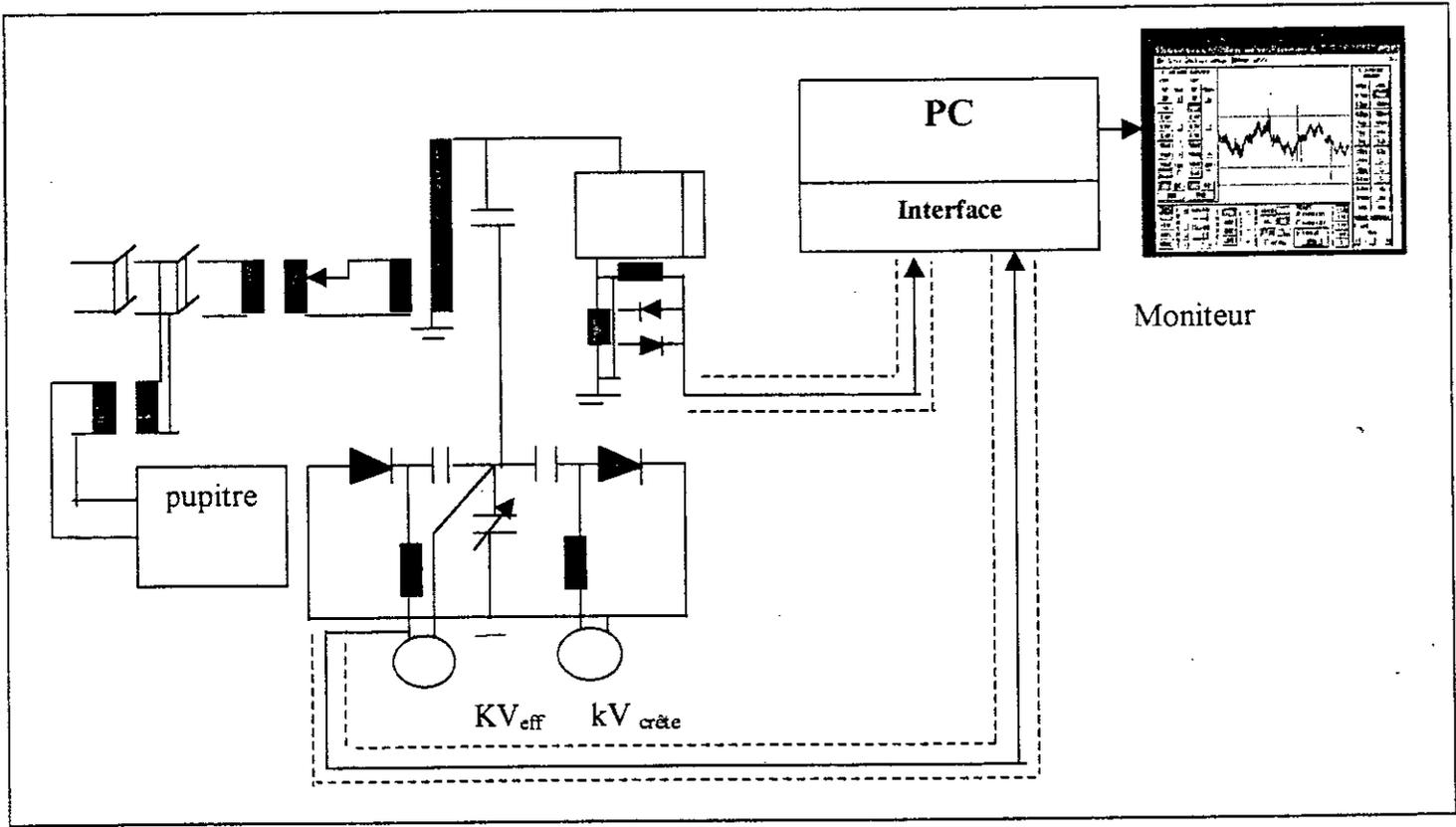


Fig .II .1 Circuit d'essai

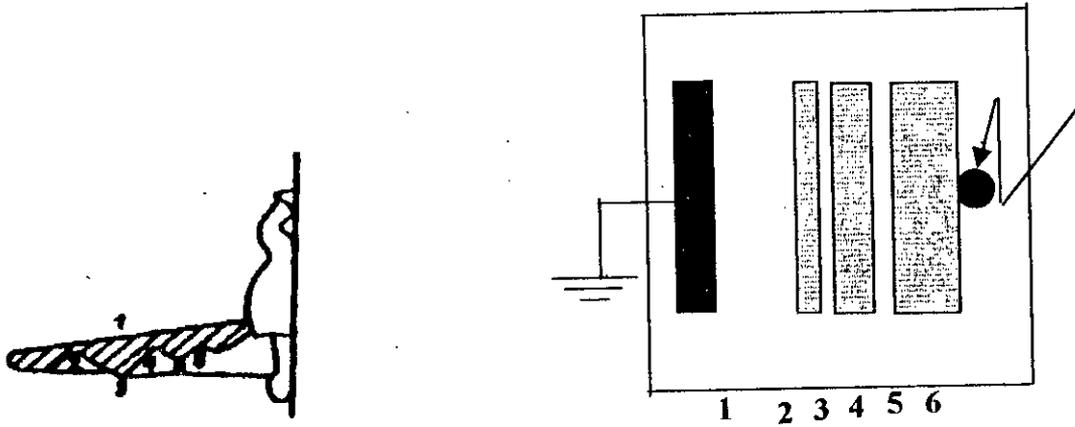


Fig.II.2 le modèle de laboratoire

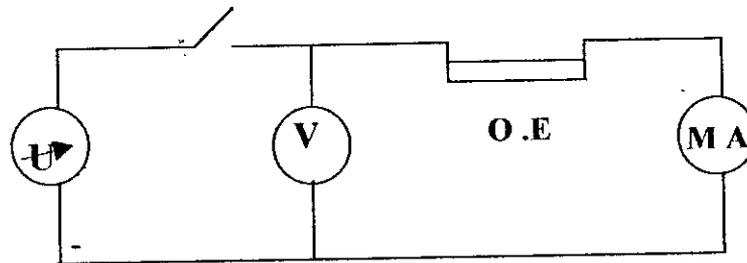


Fig.II.3.1 Circuit de mesure de la résistance superficielle

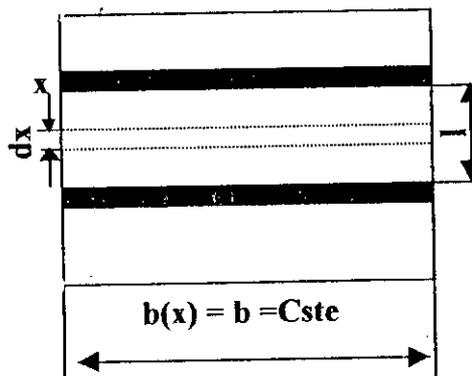


Fig.II.3.2 Modèle de mesure de la résistance superficielle

### **a- Circuit d'alimentation**

Le circuit d'alimentation est constitué d'un transformateur d'essai 500V / 300KV, 50 KVA, 50Hz, dont le primaire est relié à un transformateur de réglage permettant d'ajuster la tension à la valeur désirée

### **b- Circuit de mesure**

#### **• Mesure du courant de fuite**

Afin de mesurer le courant de fuite nous avons inséré dans le retour de terre de l'isolateur, une résistance de  $100\Omega$ . Cette dernière est introduite dans une boîte métallique (en aluminium) mise à la terre, formant ainsi un écran (le champ à l'intérieur étant nul). Elle nous permet d'éviter l'influence des parasites dans le signal capté. L'onde de courant est visualisé et enregistré à l'aide d'un câble coaxial sur une interface analogique / digitale (canal 1), connecté en série avec un ordinateur PC. Cette interface échantillonne le signal analogique capté et le transforme en données numériques puis les envoie instantanément vers l'ordinateur à l'aide d'un câble parallèle.

Cette interface avec son logiciel software constituent un oscilloscope numérique, caractérisé par :

- Nombre des 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)

#### **• Mesure de la tension appliquée**

L'onde de tension est mesurée à l'aide d'un diviseur de tension capacitif, relié au secondaire du transformateur d'essai (figure II .1 ). Cette tension est captée aussi par la même interface qui nous permet ainsi de traiter les ondes tension, courant simultanément, afin de relever le déphasage (facteur de puissance ) correspondant (canal 2).

La procédure d'enregistrement est accomplie par les étapes suivantes :

- Application d'un palier de tension loin de celui du contournement.
- Mémoire simultanée des deux signaux, courant de fuite et tension (pour déterminer le déphasage ).
- Enregistrement des signaux.
- Mémoire et enregistrement 5 fois le signal courant, (pour avoir la moyenne ).

La protection de l'interface et la résistance sont assurées par deux diodes rapides montées parallèlement en tête bêche.

### C-Modèle expérimental

Pour contourner la difficulté liée à la forme, souvent complexe, de l'isolateur et afin de faciliter toutes les observations ainsi que les mesures nécessaires à l'analyse du phénomène de contournement, nous avons utilisé un dispositif simple. Ainsi nous essayons de reproduire le mieux possible les couches polluantes d'une façon semblables à celles observées sur ces isolateurs dans les conditions naturelles d'exploitation.

Notre modèle est simple et semblable à celui considéré notamment par Claverie et Porcheron [17]. Il est constitué d'une plaque isolante en verre ayant la propriété de résister à la chaleur due à l'arc électrique, lors des essais.

La dimension de la plaque est de  $(50 \times 50 \times 0.6)$  cm<sup>3</sup>, elle est munie, de deux électrodes planes, l'une circulaire de rayon 2.5 cm mis à la haute tension. L'autre est rectangulaire de dimension  $(30 \times 5)$  cm<sup>2</sup>. Ces électrodes sont réalisés avec du papier aluminium dont l'épaisseur est de 2µm.

La distance entre ces électrodes a été choisi égale à 29.2 cm. Celle ci correspond à la ligne de fuite de l'isolateur du type 1512L (fig.II.2). Cette distance ainsi que les dimensions des électrodes sont gardées constantes durant tous les essais.

Afin de reproduire le mieux possible l'état critique de l'isolateurs 1512L observé dans les conditions naturelles d'exploitation en région électrique de Hassi-R'mel, les zones propres et celles polluées ont été telles que [3].

Le modèle de laboratoire est caractérisé par les dimensions des différentes zones polluées :

- Zone 1 : 106 mm
- Zone 2 : 30 mm
- Zone 3 : 13 mm
- Zone 4 : 52 mm
- Zone 5 : 4 mm
- Zone 6 : 87 mm

## II. 3. Modes opératoires

### a – Préparation du modèle

La plaque isolante doit être initialement bien lavée et nettoyée avant chaque essai, puis imbibée d'une façon uniforme en gas-oil dans les endroits d'emplacement des électrodes d'aluminium, d'une manière à ce qu'aucun espace d'air ne reste entre la plaque et les électrodes. Par la suite, nous essuyons la plaque avec du coton imbibé d'alcool isopropyline pour éliminer toute trace de gaz-oil sur la surface isolante.

Le modèle est disposé horizontalement sur trois colonnes isolantes, elles mêmes posées sur un support en bois. Le modèle est placé environ un mètre du sol et à distance suffisamment grande du transformateur d'essai, de manière à éviter tout phénomène parasite dû au sol et aux enroulements des bobinages du transformateur.

### **b – Préparation de l'agent polluant**

Pour changer la résistivité superficielle des surfaces isolantes polluées, plusieurs méthodes sont possible. La recommandation de la CEI-60-1 propose deux méthodes, celle du brouillard salin et celle de la pollution prédisposée. Ces deux méthodes présentent un inconvénient inévitable car les couches doivent être humides durant tous les essais pour que la résistivité superficielle puisse être restée constante.

Pour notre étude, nous avons utilisé des couches à base de peinture semi-conductrice, qui nous permettent d'avoir des conductivités superficielles relativement constantes durant les essais. Cette peinture semi-conductrice est réalisée au laboratoire par un mélange des éléments suivants :

- ❖ Graphite.
- ❖ Bioxyde de Silicium :  $\text{SiO}_2$ .
- ❖ Résine cellulosique diluée.
- ❖ Alcool esopropylique.

Cette peinture a l'avantage de garder après séchage une conductivité constante durant les essais et indépendante des conditions atmosphériques en laboratoire. Elle nous permet d'éviter les difficultés liées à la reproductibilité lors d'utilisation des méthodes de mouillage.

la conductivité superficielle désirées obtenu en variant la concentration du graphite comme élément conducteur, par rapport à celle du Bioxyde de Silicium comme élément isolant. Alcool esopropylique est utilisé afin d'avoir la dissolution du mélange tandis que la résine est un agent inerte liant.

### **c – Procédé d'application de la couche de pollution**

La couche polluante est réalisé en appliquant cette peinture polluante préparer d'avance sur la surface de plaque à l'aide d'un pinceau soigneusement, afin d'obtenir une répartition discontinue désirée, qui correspond au modèle choisi. Cette répartition est établie d'une façon uniforme sur toute la plaque .

La peinture est appliquée après le placement des électrodes pour s'assurer qu'elle recouvre bien les bords de ces dernières.

La conductivité superficielle est mesurée par la méthode volt-ampermitrique, en mesurant la résistance de fuite entre deux électrodes en aluminium, placé sur le modèle d'essai (fig.II.3.1). Elle est prise égale à l'inverse de la résistivité de fuite multiplié par un facteur de forme, dépendant de la forme des électrodes et de leur distance de séparation. Ces mesure ont été effectuées conformément aux recommandations de la CEI-60-1. La mesure n'est effectuée qu'après une durée suffisantes environ 16h afin d'avoir une peinture sèche et prête pour les mesures.

Nous avons déterminé la conductivité superficielle à partir de la résistance de fuite (fig. .II.3.2):

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

## **II.5. Résultats et interprétations**

Lors des essais, la distance inter-électrode était considérée constante (29.2 cm), la largeur de pollution de pollution maximale est pour  $L=100\% L_a$  (=30cm) cela pour toutes les conductivités utilisées (0.1, 20, 85, 700, 1000  $\mu$ s).

### **II.5.1. Observations :**

En augmentant progressivement la tension d'application environ (2kV/s) et quand celle-ci atteint la tension de l'apparition de l'effet de couronne, les premières décharges en étincelles, apparaissent au niveau de la bordure de la première couche pré-éablit sous formes d'aigrettes lumineuses.

Nous avons remarqué que Le contournement se produit directement sans étapes intermédiaires, autrement dit, les arcs partiels ne sont générées qu'à la phase finale. Ce comportement est obtenu si la longueur de la zone propre constitue un tiers de la ligne de fuite totale [13]. Dans notre cas, la zone propre a pour longueur égale 42.2% de la ligne de fuite.

Nous mentionnons que la dispersion lors des mesures de la tension de contournement était restreinte, car ces valeurs, pour une même conductivité, changent légèrement.

### **II.5.2. Caractéristiques :**

#### **II.5.2.1. Tension de contournement**

Pour déterminé la tension de contournement, nous avons calculé la moyenne de cinq essais, pour chaque largeur de pollution et chaque conductivité superficielle ainsi que pour les cas extrêmes à savoir la conductivité nulle ( plaque propre), la conductivité infinie (zones polluées remplacées par papier d'aluminium).

Le courbe de la figure (Fig. II.4.a), présente la tension de contournement en fonction de la conductivité superficielle. Nous observons que pour une largeur de pollution donnée ( $L=30$  cm), la tension de contournement diminue avec l'augmentation de la conductivité superficielle. Cela s'explique par la diminution de la rigidité diélectrique des surface isolantes polluées.

Ainsi, nous constatons d'après la figure (Fig. II.4.b), une légère diminution de la tension de contournement avec l'augmentation la largeur de pollution. Par conséquent, l'élargissement de la pollution engendre fortement une augmentation de la conductivité superficielle des isolateurs, donc diminution de la tenue diélectrique.

Par contre, pour une conductivité infinie (aluminium), l'augmentation de la largeur de pollution engendre une faible augmentation de la tension de contournement.

En effet, la diminution de la largeur de pollution engendre d'une part, l'augmentation de la tenue diélectrique de la surface isolante en défavorisant le contournement ; ceci est valable pour des conductivités superficielle partielles. D'autre part, cette diminution rend les zones polluées se comporter comme étant des pointes en engendrant un dégradation de la rigidité diélectrique du système.

d'après le modèle utilisé nous:

$$\sigma_s = (I / U) \times (l / b)$$

avec :

$l = 29.2 \text{ cm.}$

$B = 30 \text{ cm.}$

#### **d – Application de la tension d'essai**

Nous avons appliqués des niveaux de tension par paliers constants pendant une durée suffisante, pour l'enregistrement des grandeurs désirés. Cinq niveaux de tension ont été considérés : 10, 15, 20, 25, 30 kV, ceux-ci été choisie de telle sorte que la dernière valeurs soit loin de contournement.

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour les différentes conductivités et pour chaque largeur de la couche polluante. Cinq mesure ont été effectués conformément aux normes utilisées 0.1, 20, 85, 700, 1000  $\mu\text{s}$ .

Pour chaque paliers de tension nous relevons la valeur de courant de fuite, l'onde de la tension appliquée et le déphasage correspondant, ceci pour différentes largeurs et conductivités de la couche polluante.

Le premier essai est effectué pour une longueur totale ( $L=30\text{cm}$ ). Ensuite, nous avons varié la largeur transversale de la zone polluante ( les zones 2, 4, 9) suivant une plage de variation allant de  $0.2L_a$  à  $L_a$  par un pas de  $0.2 L_a$ .

#### **e – Courant de fuite**

Après application de dépôt polluant sur la plaque, nous soumettons celle-ci à un niveau de tension déterminé. Pour chaque largeur de pollution et à chaque conductivité nous relevons le courant de fuite et le déphasage.

#### **II.4. Essais complémentaires :**

Nous avons effectué quelques essais complémentaires, qui nous permettent de mieux comprendre le comportement de la plaque lorsqu'elle soumise à une pollution parfaitement conductrice (aluminium), et pour une pollution nulle ( plaque propre ). Pour les deux cas, nous avons relevé la caractéristique de la tension de contournement et le déphasage.

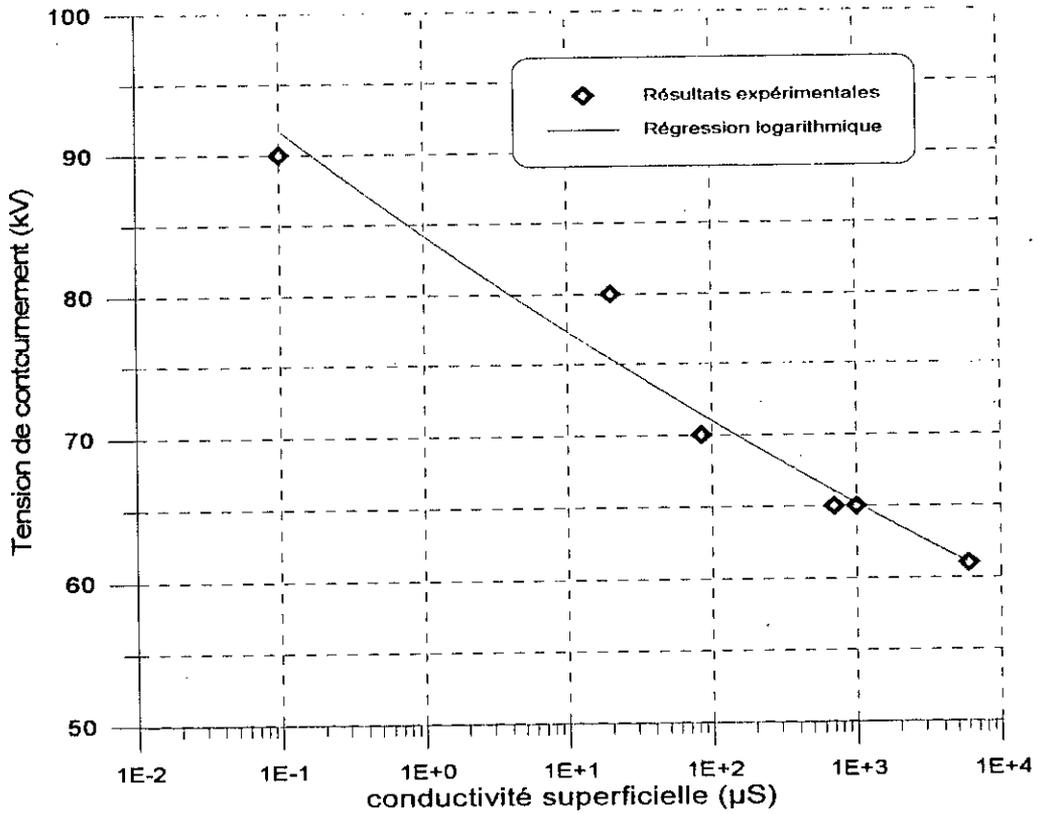


Fig.II.4. a. Tension de contournement – Conductivité superficielle

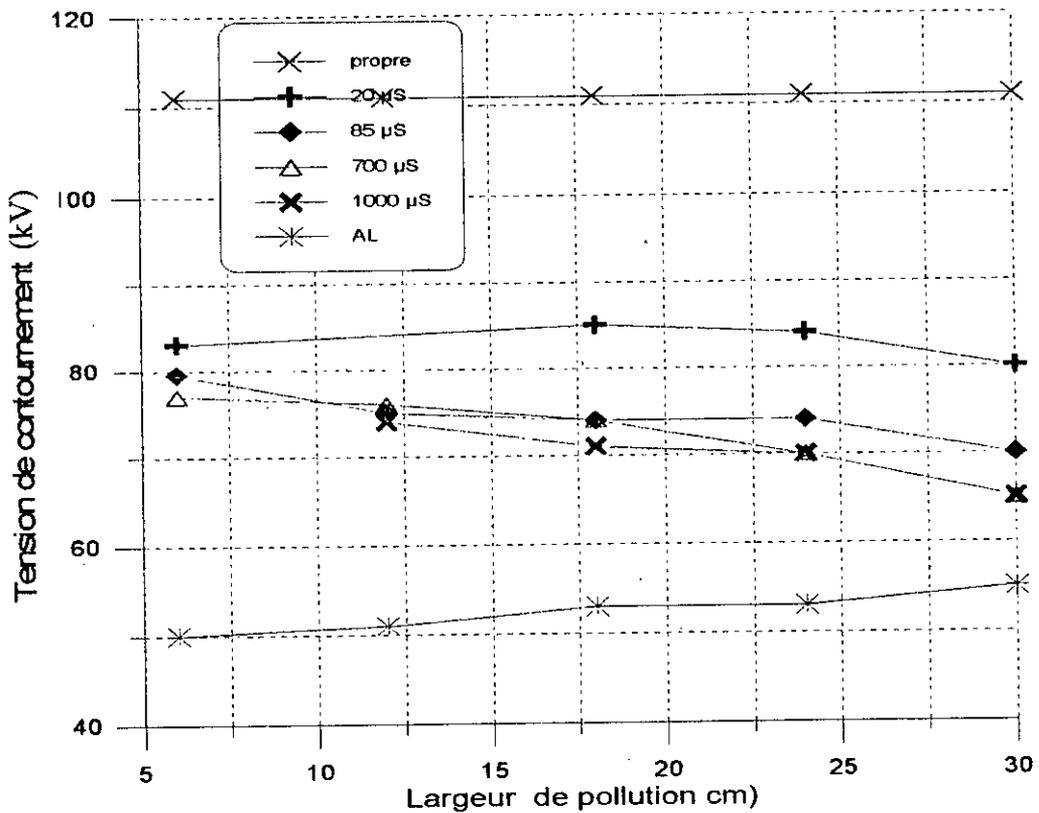


Fig. II.4.b. Tension de contournement – largeur de pollution

### **II.5. 2.2. Caractéristiques courant de fuite - tension appliquée**

#### **a- Conductivité superficielle constante :**

Nous avons représenté sur les figures (Fig. II.5.a.b.c) les variations du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour plusieurs largeurs de pollution. Nous constatons une augmentation assez stable et faible du courant pour les faibles niveaux de tension ( $U \leq 20 \text{ kV}$ ) et pour toutes les conductivités, car ces tensions sont faibles pour provoquer une circulation de courant. La différence n'est visible que pour les tensions plus élevées où nous observons une croissance considérée et régulière du courant.

#### **b- Largeur de pollution constante :**

Nous remarquons que pour une conductivité superficielle donnée et pour des niveaux de tensions faibles ( $U \leq 20 \text{ kV}$ ), le courant de fuite est pratiquement constant tant que la largeur de pollution ne dépasse pas 24cm, au delà de laquelle le courant augmente brusquement (Fig. II.6.a.b.c). Ainsi nous observons que l'augmentation de ce dernier est rapide en fonction de largeur de pollution pour des niveaux de tension élevée ( $U \geq 25 \text{ kV}$ ). Ceci s'explique par le fait que le nombre de porteur de charges augmente avec l'augmentation de la largeur de pollution et de la tension appliquée.

### **II.5. 2. 3. Caractéristiques courant de fuite –largeur de pollution**

#### **a- Conductivité superficielle constante :**

Les caractéristiques courant de fuite–largeur de pollution pour différents niveaux de tension et pour les cinq conductivités superficielles utilisées, présentent une augmentation régulière (Fig.II.7.a.b.c) et ce pour des faibles tensions ( $U \leq 24 \text{ kV}$ ) et des largeurs de pollution ne dépassant pas 24cm. Au delà de cette largeur augmentation la quelle l'augmentation de courant est brutale avec la tension appliquée même pour les faibles conductivités superficielles.

#### **b- Tension appliquée constante :**

Nous constatons d'après les figures ( II.8.a.b.c ) que l'augmentation du courant de fuite avec la largeur de pollution est faible pour des conductivité faibles ( $\leq 85 \mu\text{s}$ ). Tandis que pour les conductivités supérieures nous obtenons une augmentation rapide et remarquable. Cette croissance s'explique par la diminution de la résistivité superficielle des plaques.

### **II .5. 2. 4. Caractéristiques courant de fuite –conductivité superficielle**

#### **a- Tension appliquée constante :**

Indépendamment de la tension appliquée et pour les largeurs de pollution relativement faible ( $L < 24 \text{ cm}$ ), le courant de fuite augmente avec l'augmentation de la conductivité superficielle ( II.9.a.b.c ). Cette augmentation est faible pour des conductivité ne dépassant 20  $\mu\text{s}$ .

Une fois cette conductivité est dépassée, l'augmentation du courant de fuite est rapide. Cette dernière s'explique par la diminution de la résistivité superficielle des plaques. Ainsi nous notons que pour une largeur donnée ( $L=30$  cm), une croissance régulière sauf pour les tensions (10, 15 kV) où nous observons une augmentation rapide et brusque à partir de (700 $\mu$ s).

#### **b- Largeur de pollution constante :**

Même pour les faibles tensions, ces caractéristiques présentent une croissance régulière, cela est vérifié pour toute les largeurs de pollution (Fig. 10.a,b,c ). Notons ainsi, qu'à partir des niveau de tension élevés ( $U \geq 25KV$ ), ces caractéristique considérées divergent vis à vis de la conductivités et présente ainsi qu'une forte augmentation.

#### **II.5. 2. 5. Déphasage**

L'onde de courant de fuite, pour les différentes largeurs et conductivités de la pollution est sinusoïdale un peu perturbée (Fig. 11.a, Fig. 12.a, Fig. 13.a ), où la gamme de variation du courant de fuite est ( inférieur à 400 $\mu$ A).

Afin, d'obtenir le déphasage courant-tension pour chaque largeur de pollution et chaque conductivité, nous enregistrons simultanément le courant de fuite et la tension appliquée. Mais ce enregistrement nous ne permet pas d'évaluer facilement ce déphasage. Cependant, le calcul simultané des fondamentaux de signal de courant et de la tension, permet d'obtenir aisément ce déphasage et définir sa nature (Fig. 11.b, Fig. 12.b, Fig. 13.b ). Donc le déphasage entre deux signaux est la différence entre les phases de leurs fondamentaux, sa nature (avance ou retard) est déterminée à partir de l'exposition des deux signaux.

Pour notre étude, et pour une conductivité constante, le déphasage courant-tension diminue avec l'augmentation de la largeur de pollution. D'autre part, la diminution de la conductivité superficielle engendre, pour une même largeur de pollution, une légère augmentation du déphasage.

le déphasage courant-tension n'est pas affecté par la tension appliquée même, pour une largeur de pollution et de conductivité superficielle constantes, le déphasage courant-tension n'est pas affecté par la tension appliquée où il reste constant. Notons que le déphasage est capacitif pour toutes les largeurs et conductivité de la pollution, car l'onde de courant est en avance par rapport à celle de tension ( Fig. 14).

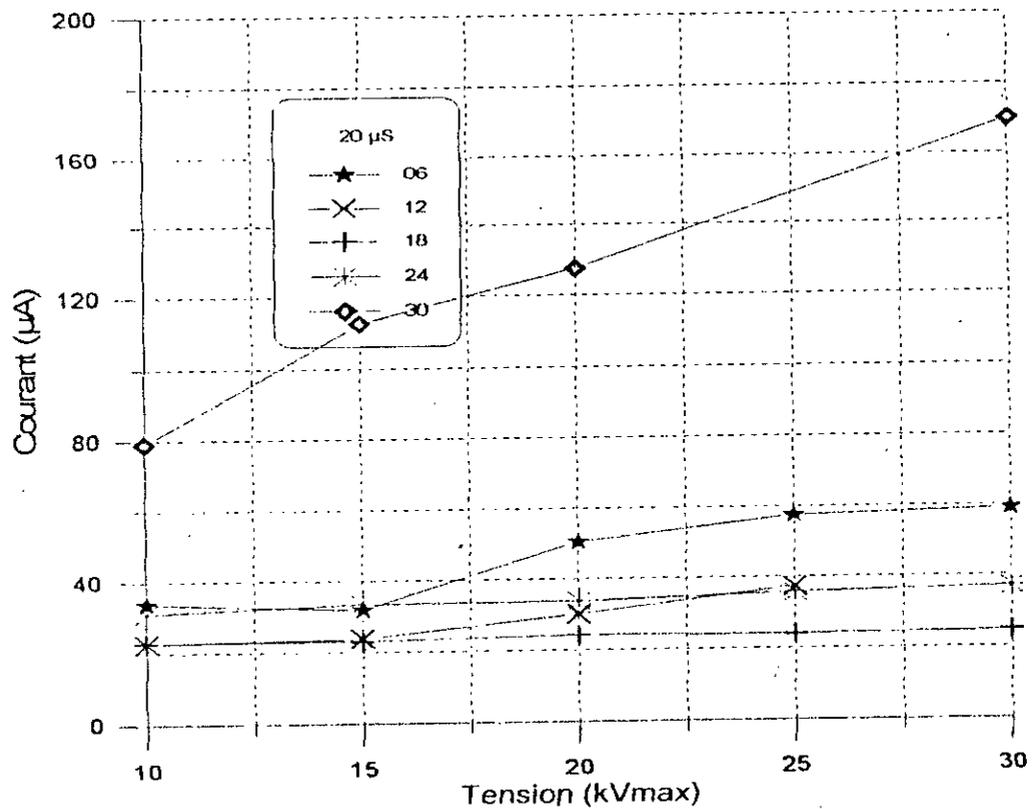
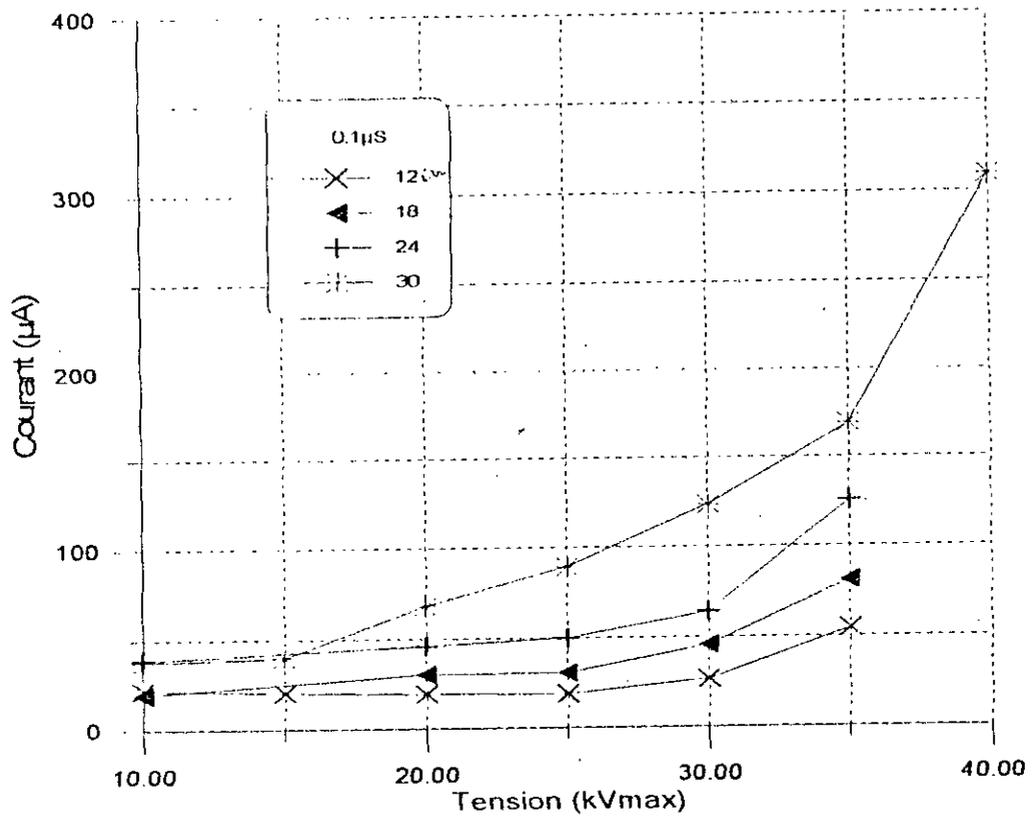


Fig. II.2..a Courant de fuite - Tension d'application  
σ - cle

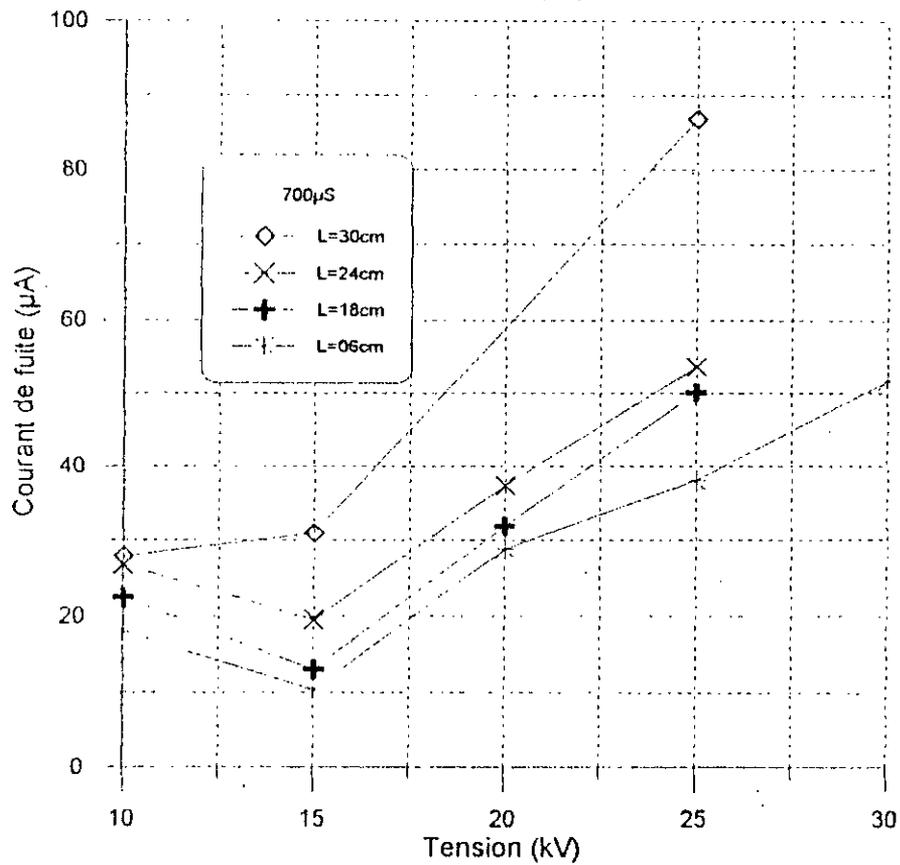
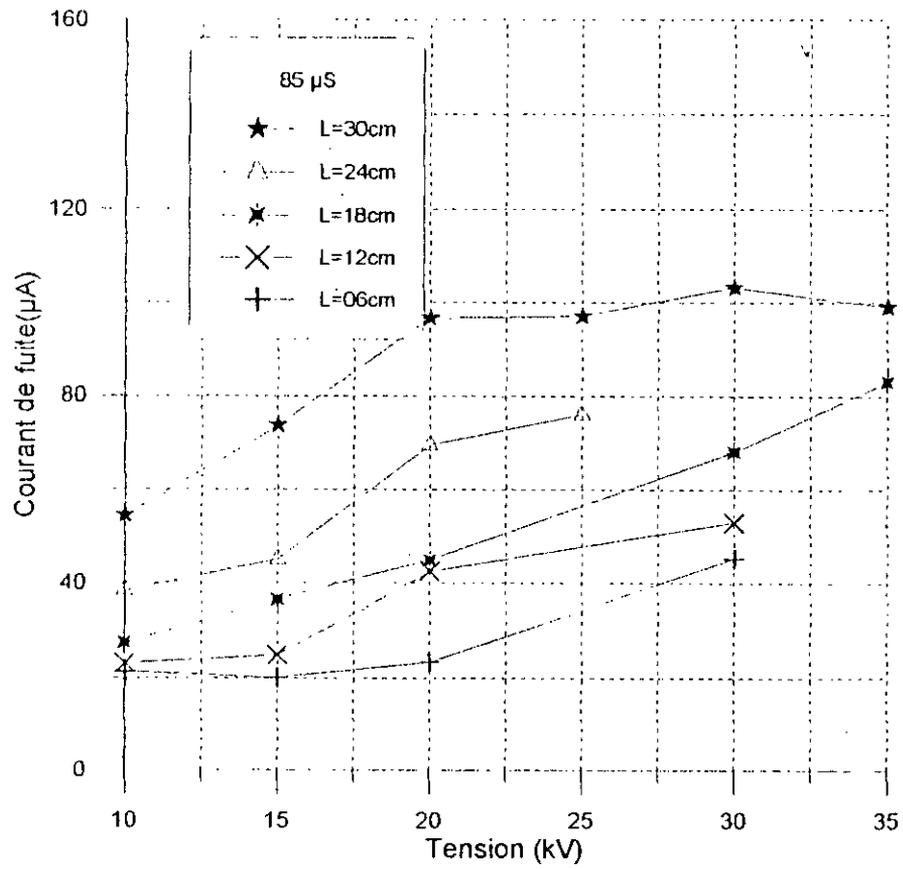


Fig.II 2.b Courant de fuite - Tension d'application  
 $\sigma : cte$

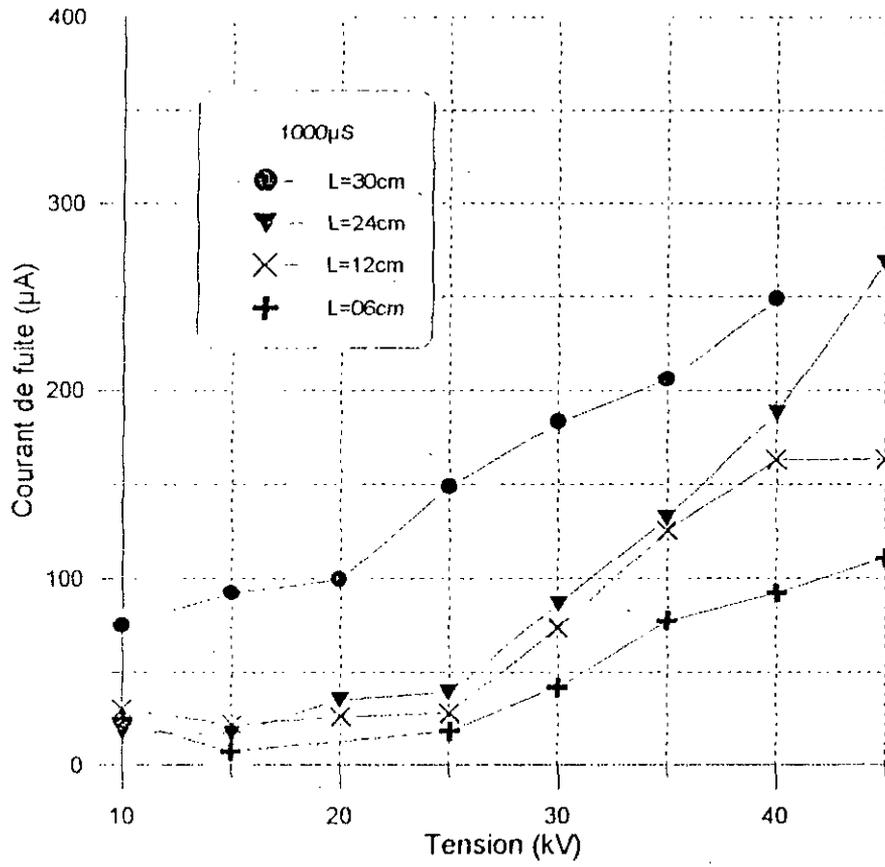


Fig.II .2.c Courant de fuite –Tension d'application  
 $\sigma$  cte

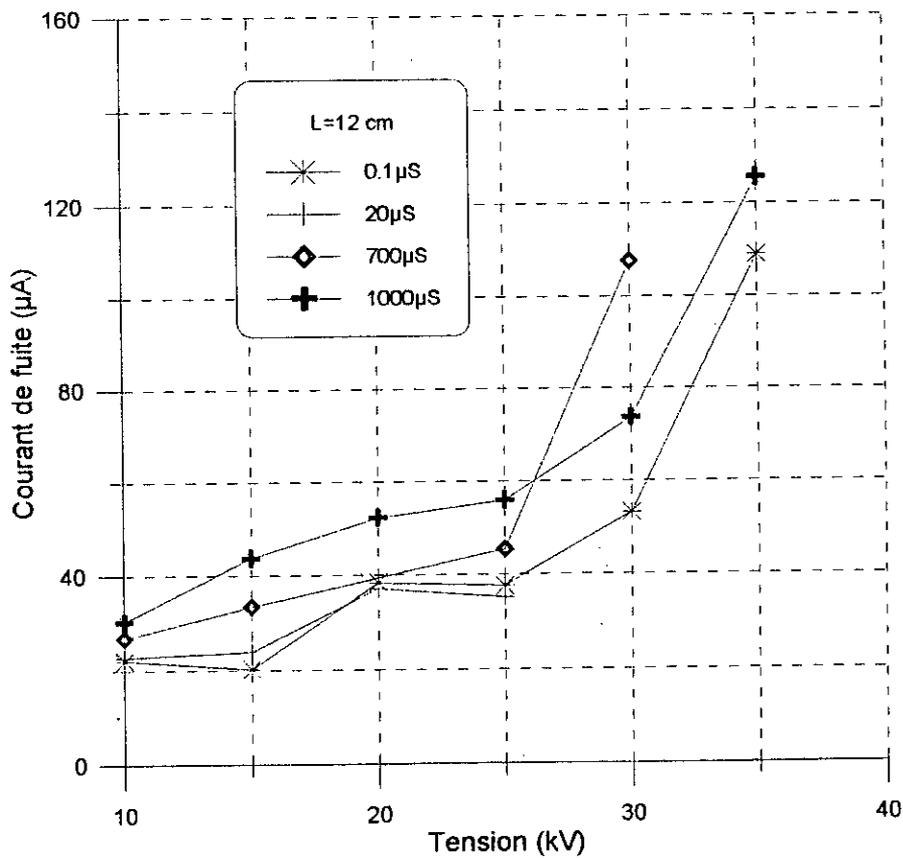
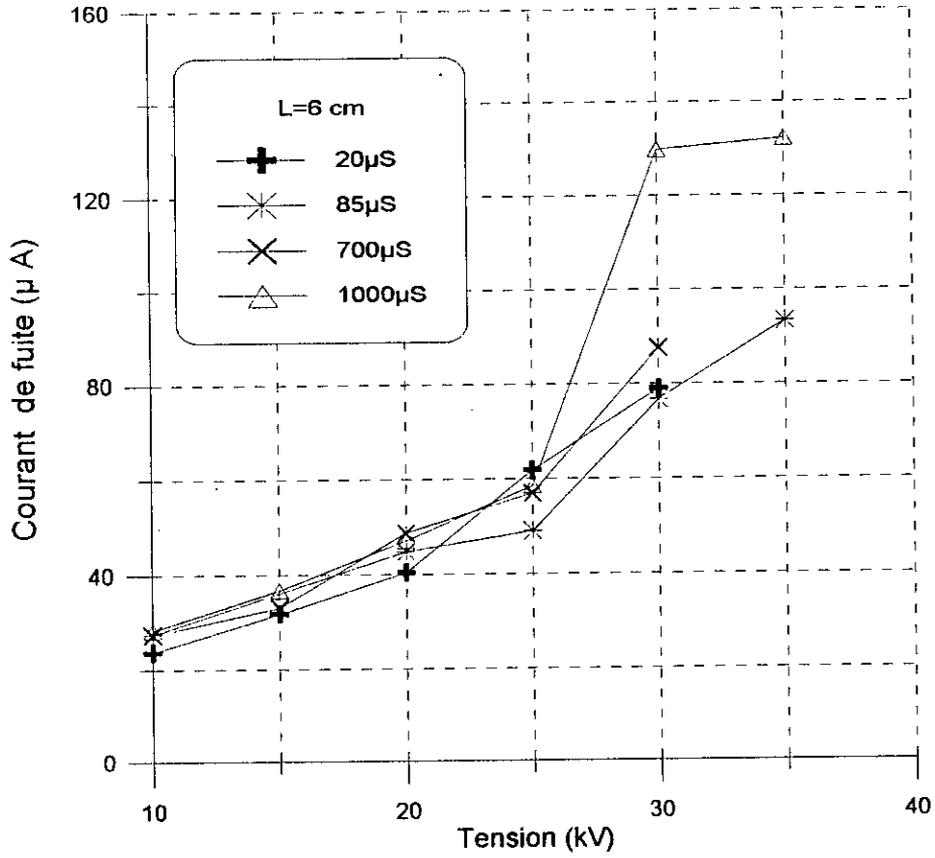


Fig.II.6..a Courant de fuite – Tension d'application  
L= cte

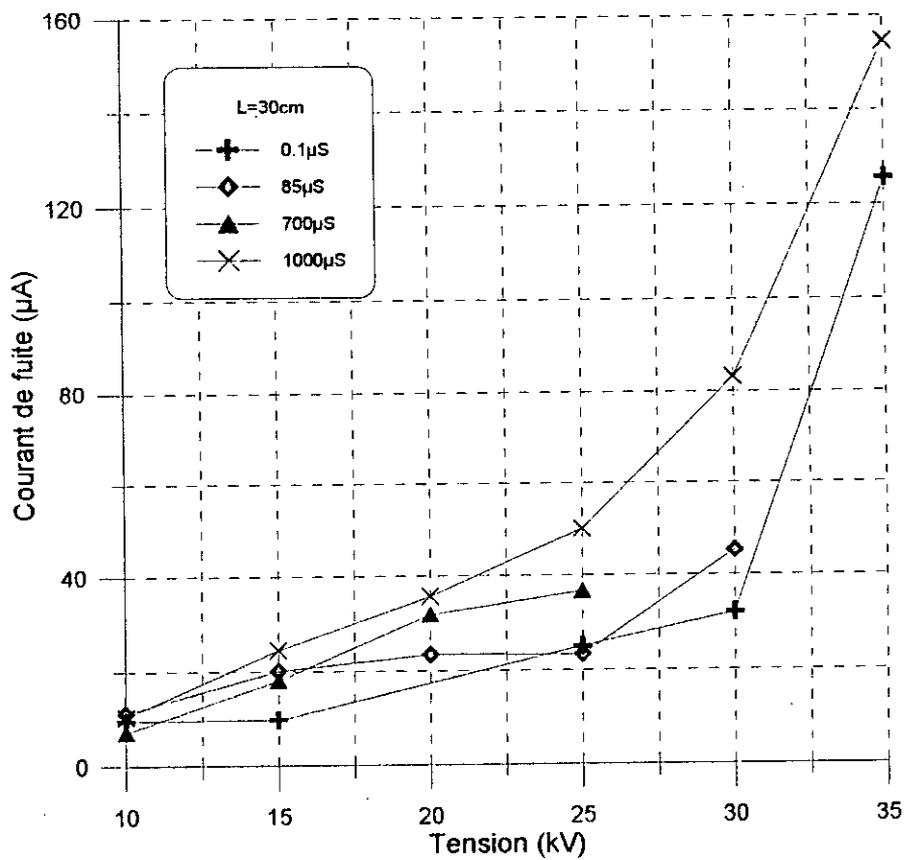
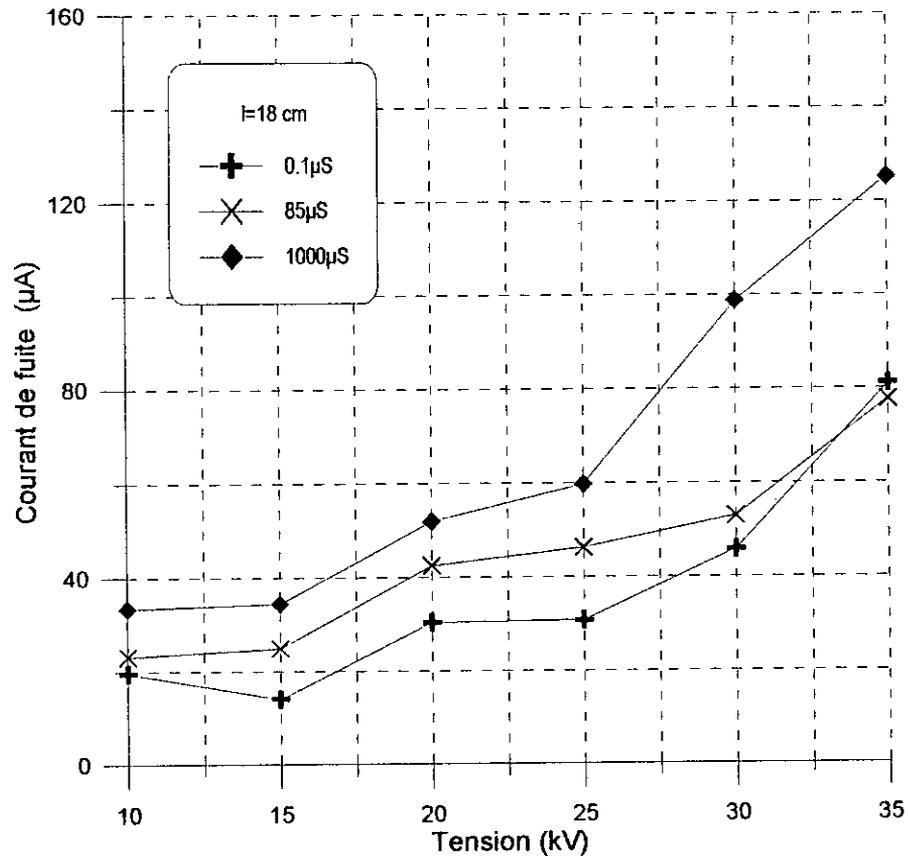


Fig.II.6..b Courant de fuite – Tension d'application  
L= cte

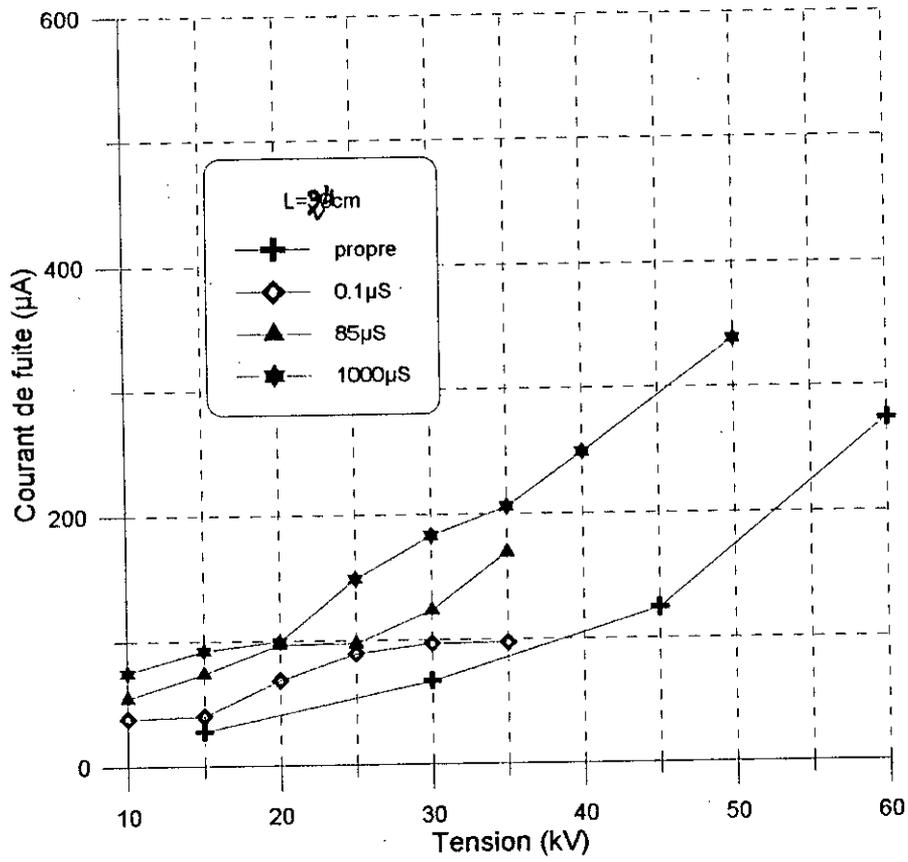


Fig.II.6.c Courant de fuite –Tension d'application  
L= cte

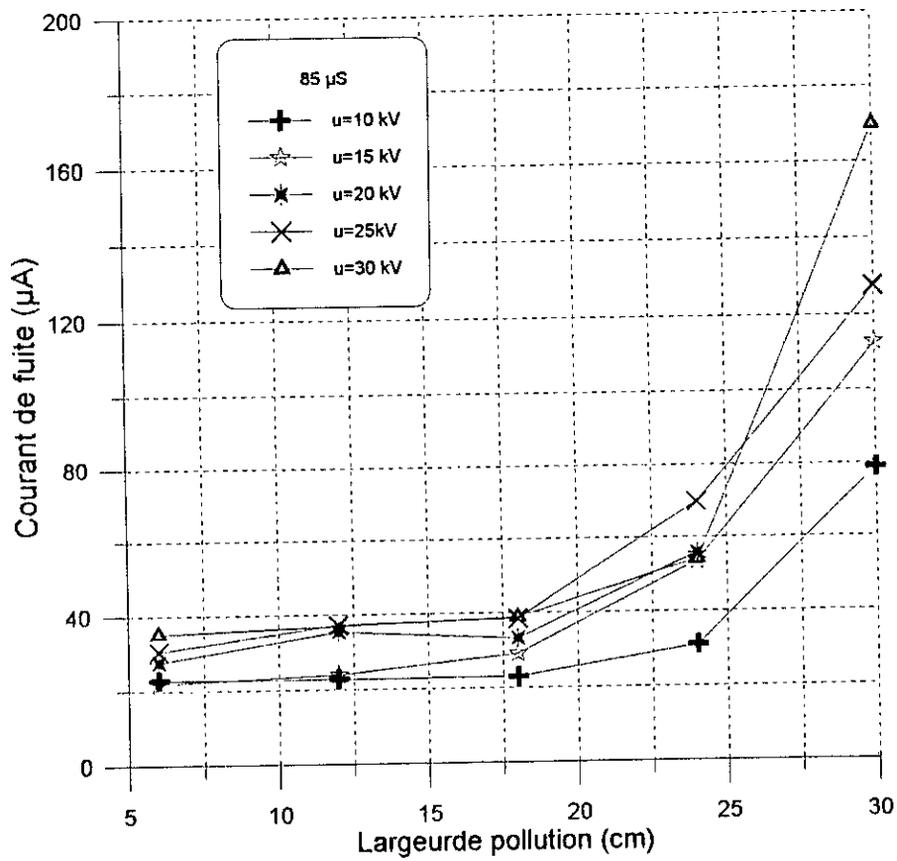
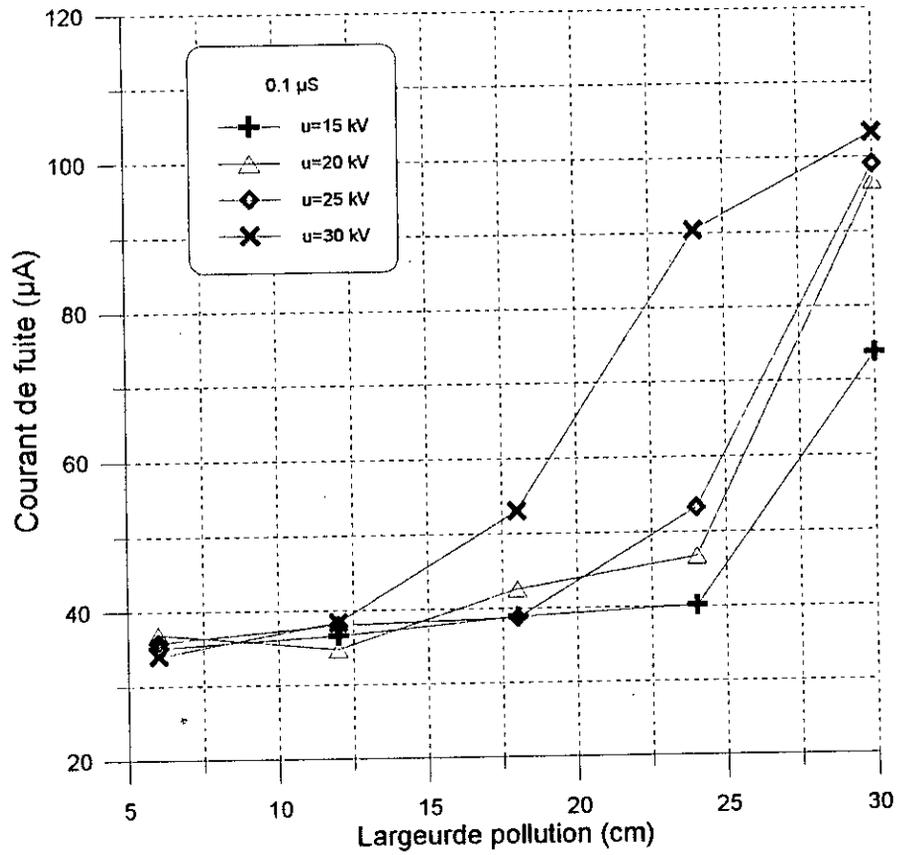


Fig.II.7.a. Courant de fuite –largeur de pollution  
 $\sigma =cte$

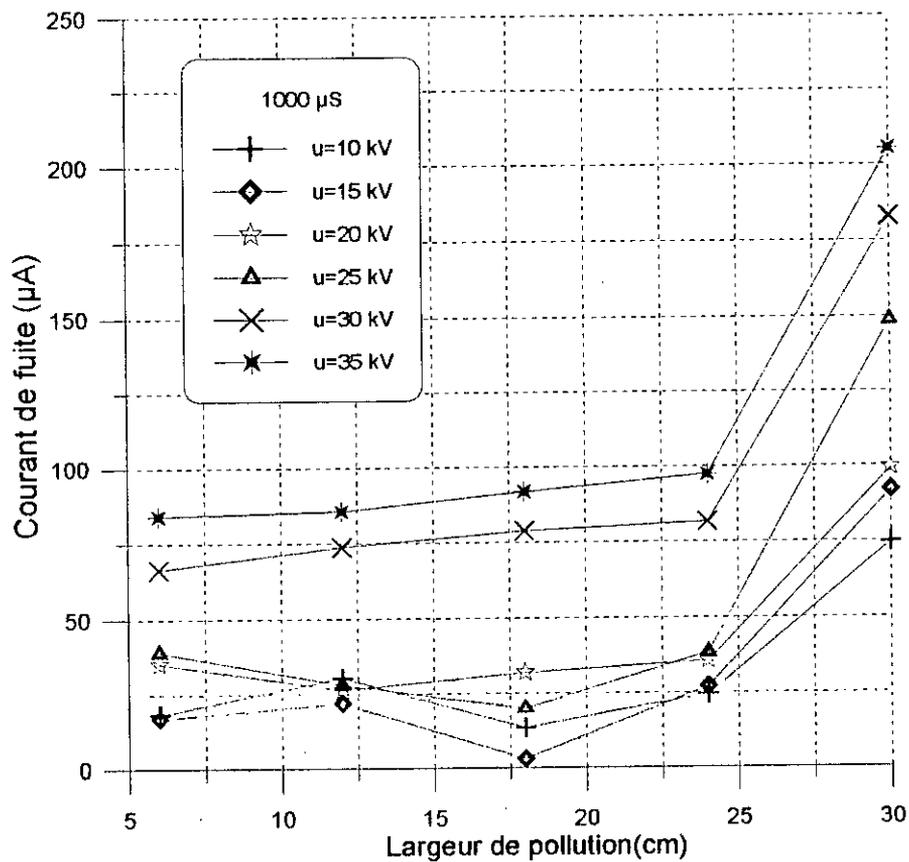
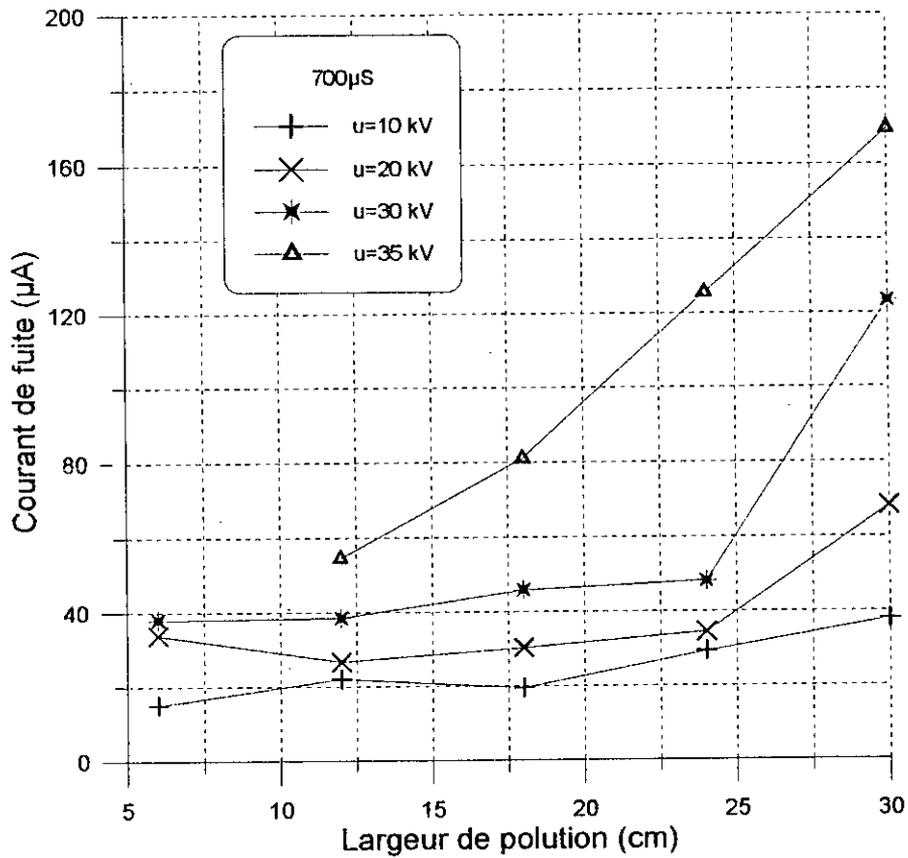


Fig.II.7..b. Courant de fuite –Largeur de pollution  
 $\sigma = cte$

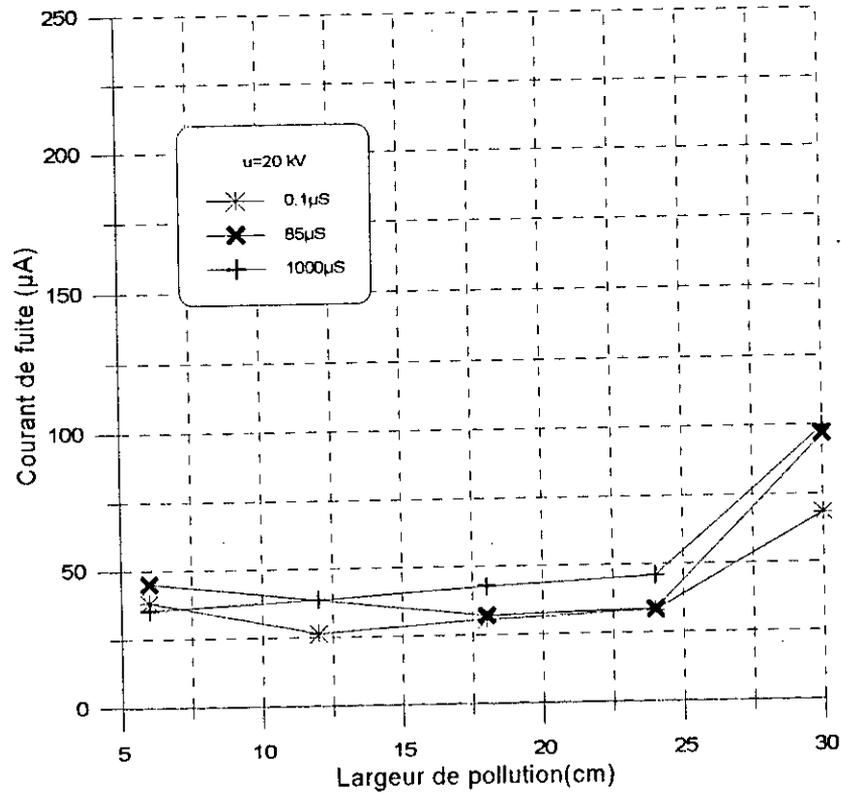
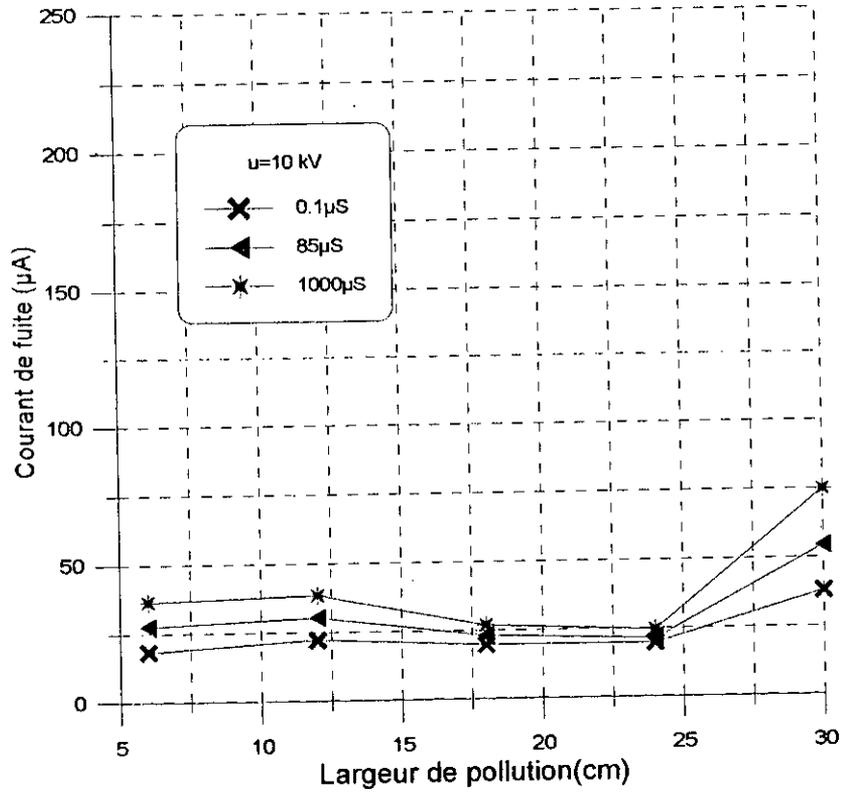
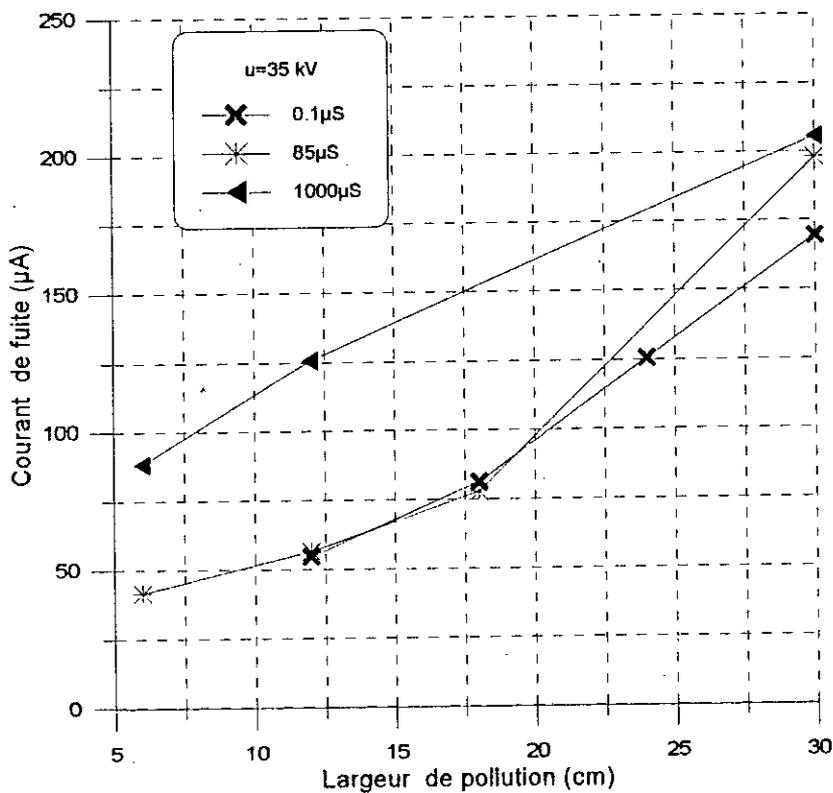
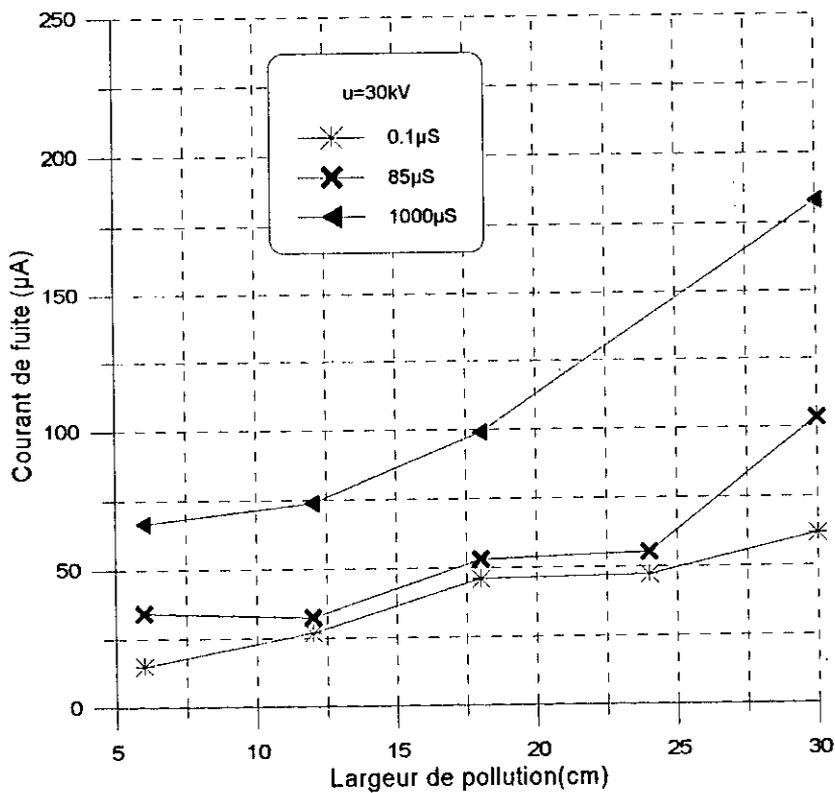


Fig.II.8.a. Courant de fuite –largeur de pollution  
 $U = cte$



**Fig.II.8.b. Courant de fuite –largeur de pollution**  
 $U=cte$

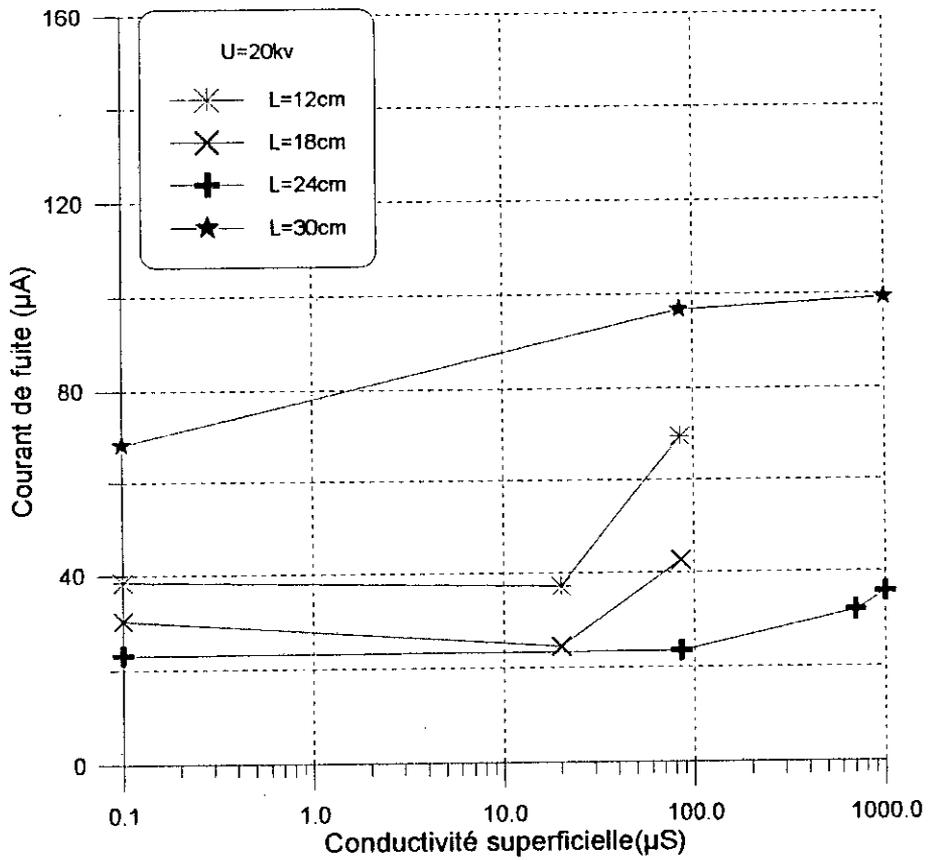
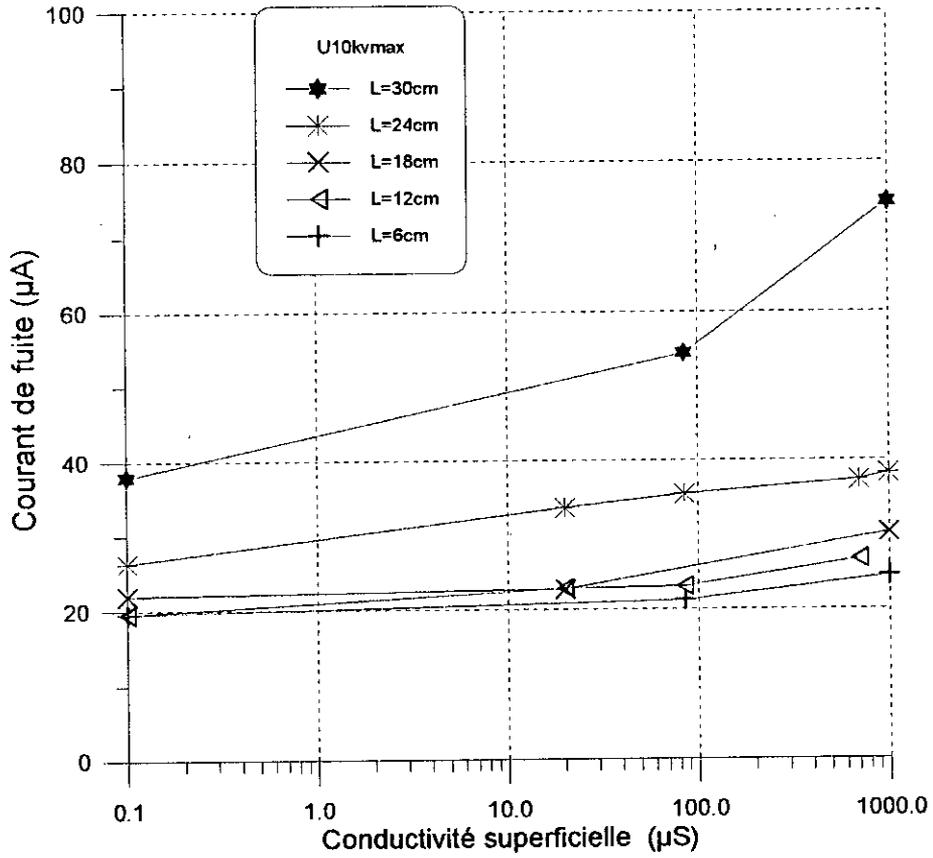


Fig.II.9.a Courant de fuite – Conductivité superficielle  
U= cte

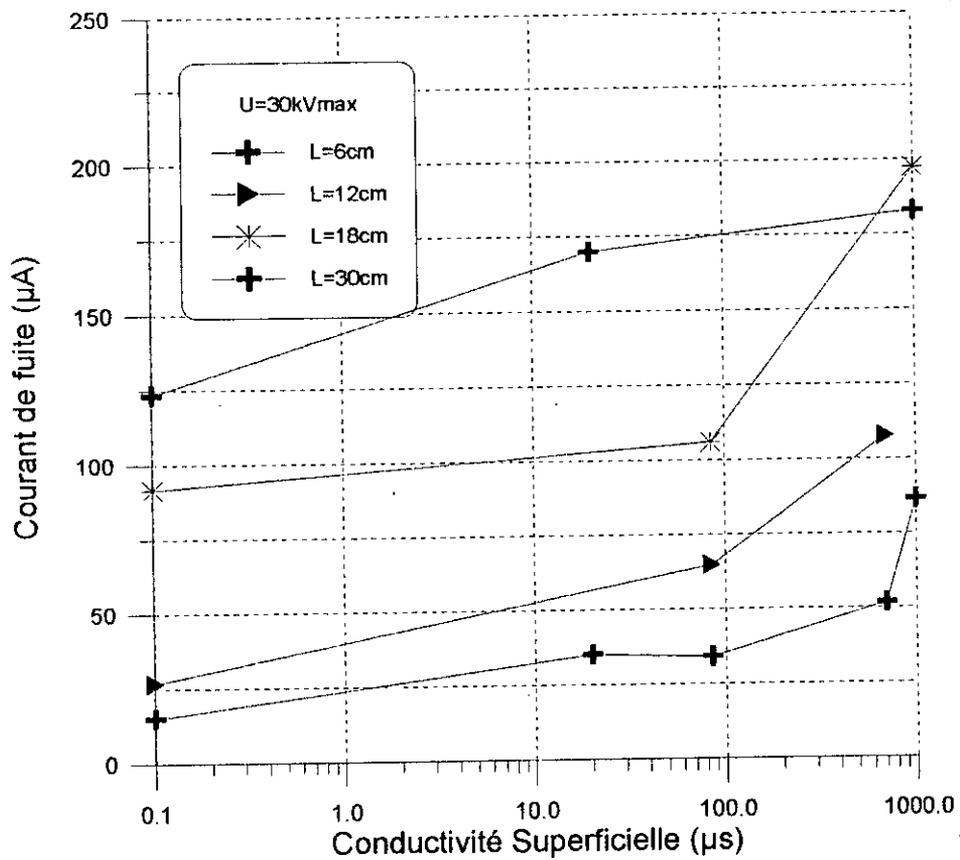
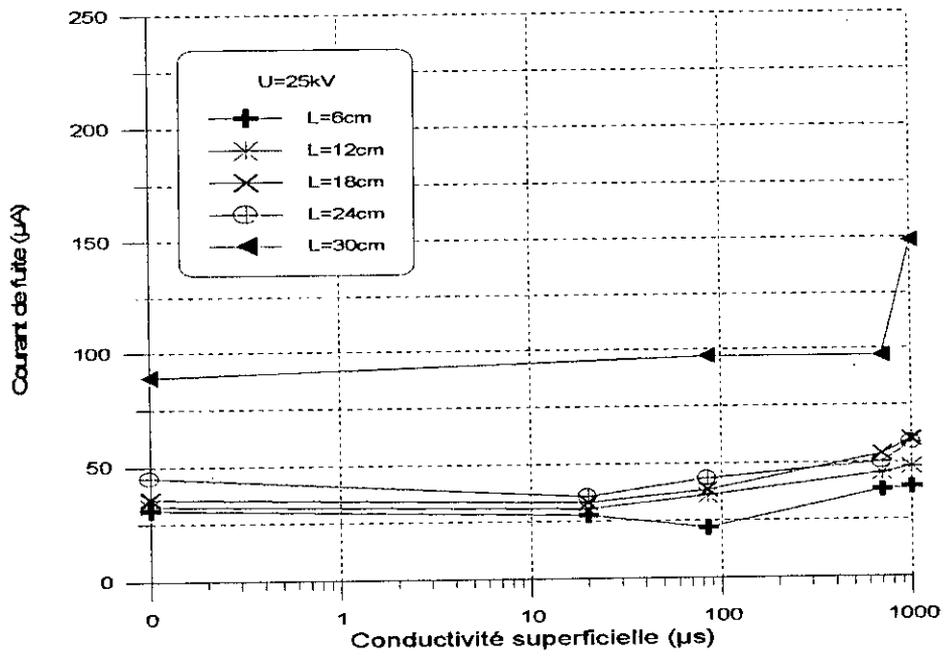
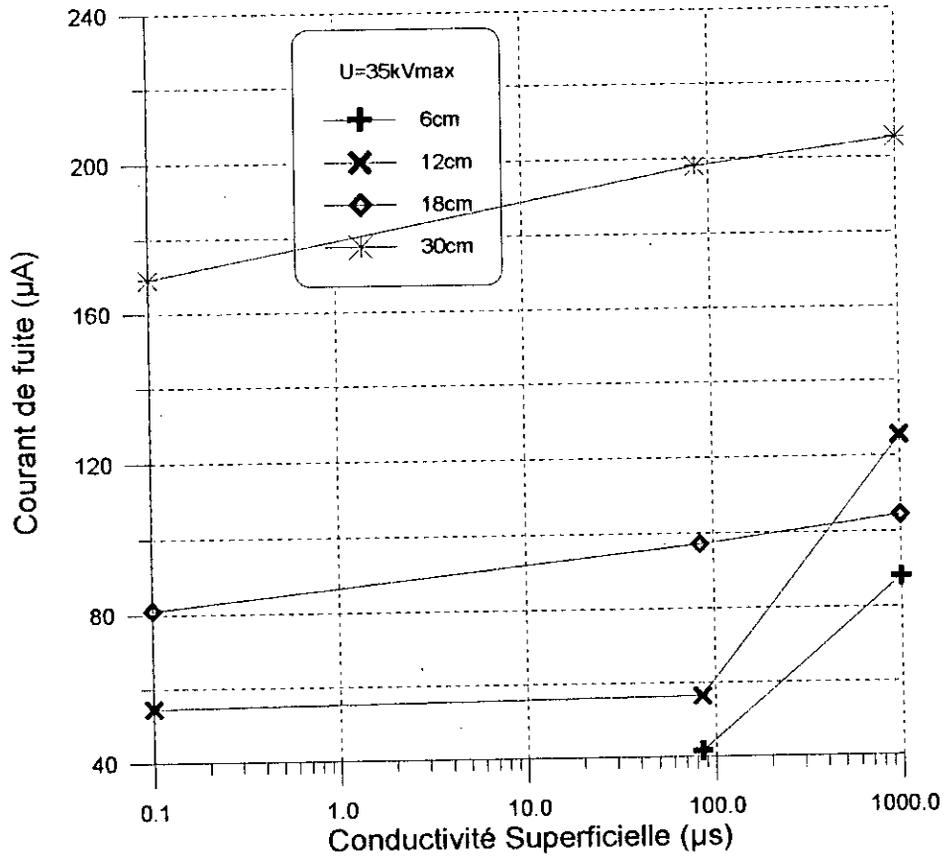


Fig.II.9.b Courant de fuite – Conductivité superficielle  
U= cte



**Fig.II.9.c** Courant de fuite – Conductivité superficielle  
 U= cte

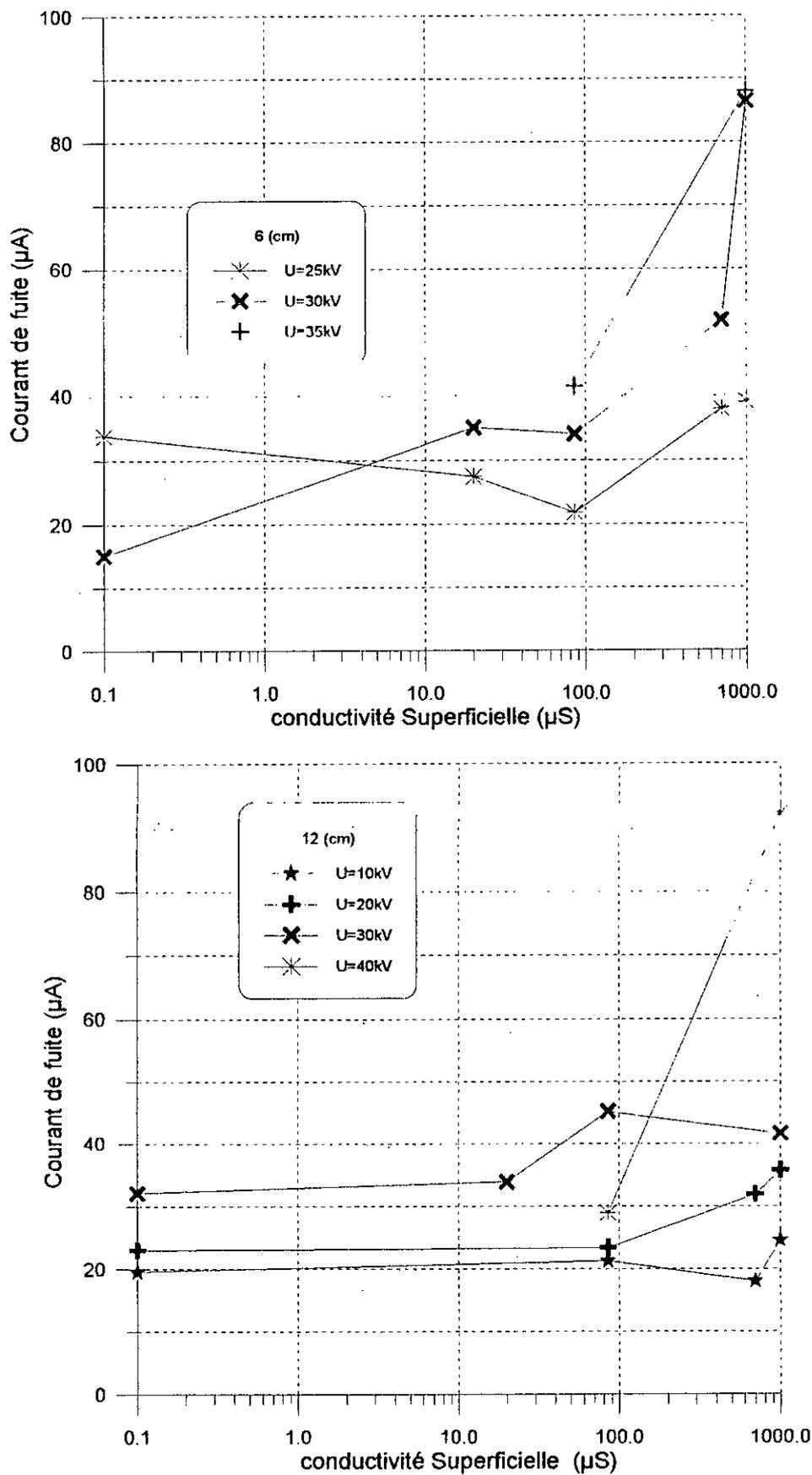


Fig.II.10.a Courant de fuite-Conductivité superficielle  
L=cte

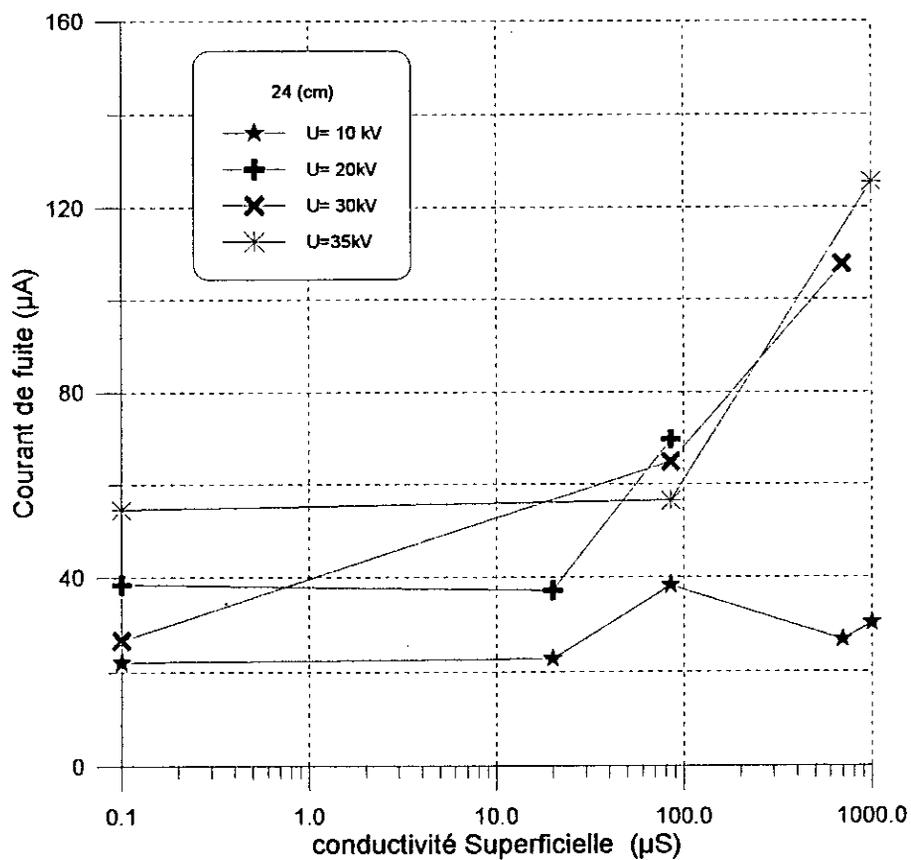
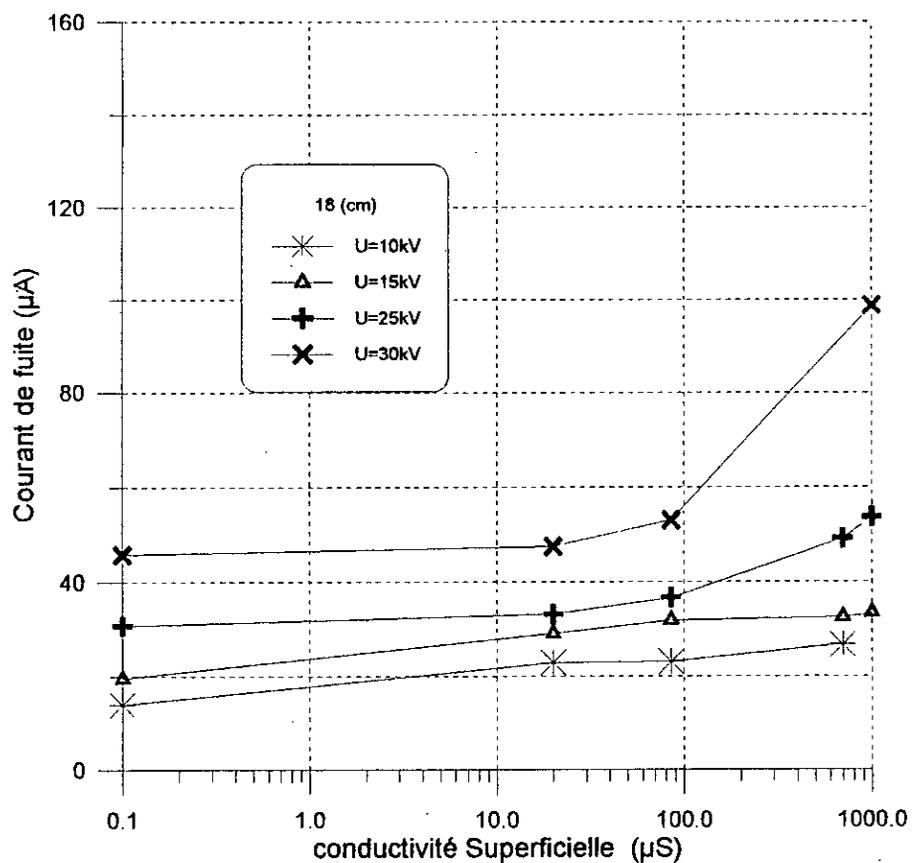
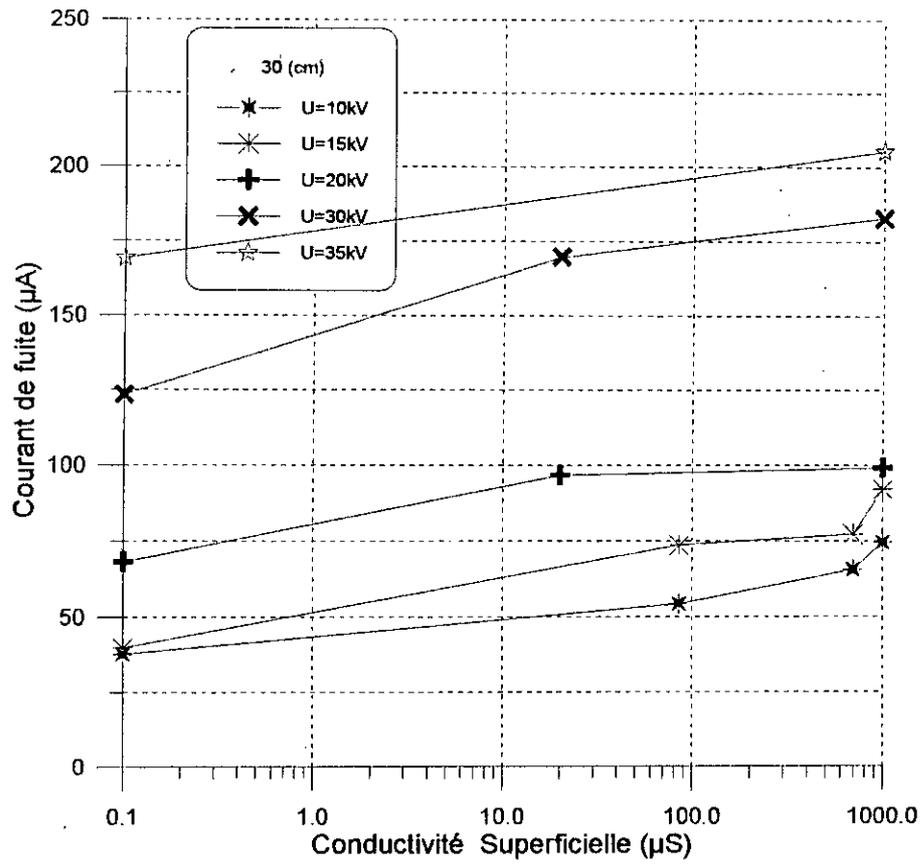


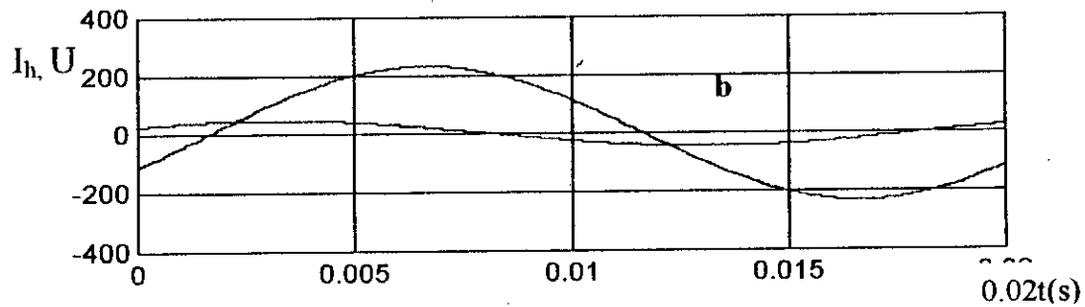
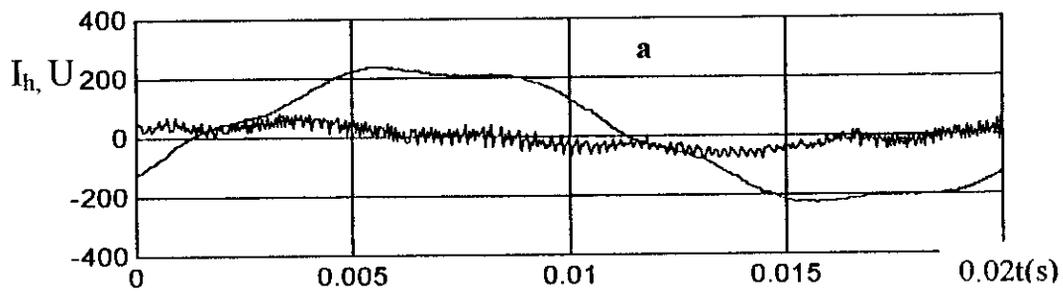
Fig.II.10.b Courant de fuite-Conductivité superficielle

$L = cte$



**Fig.II.10.c** Courant de fuite-Conductivité superficielle  
 $L = cte$

Largeur de pollution 6cm



Largeur de pollution 12cm

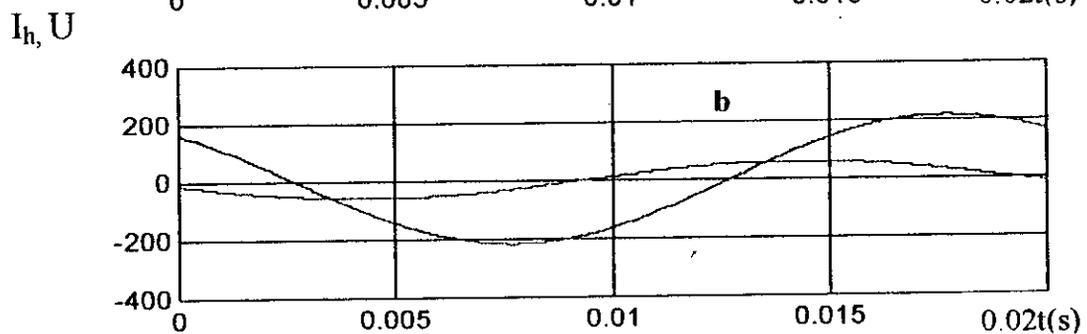
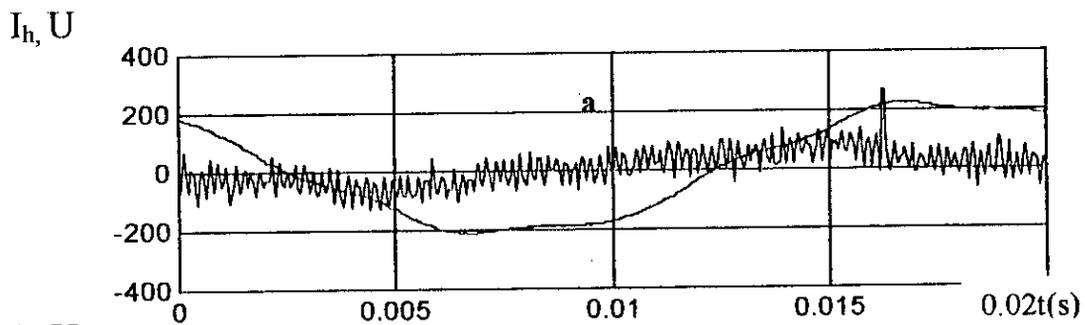
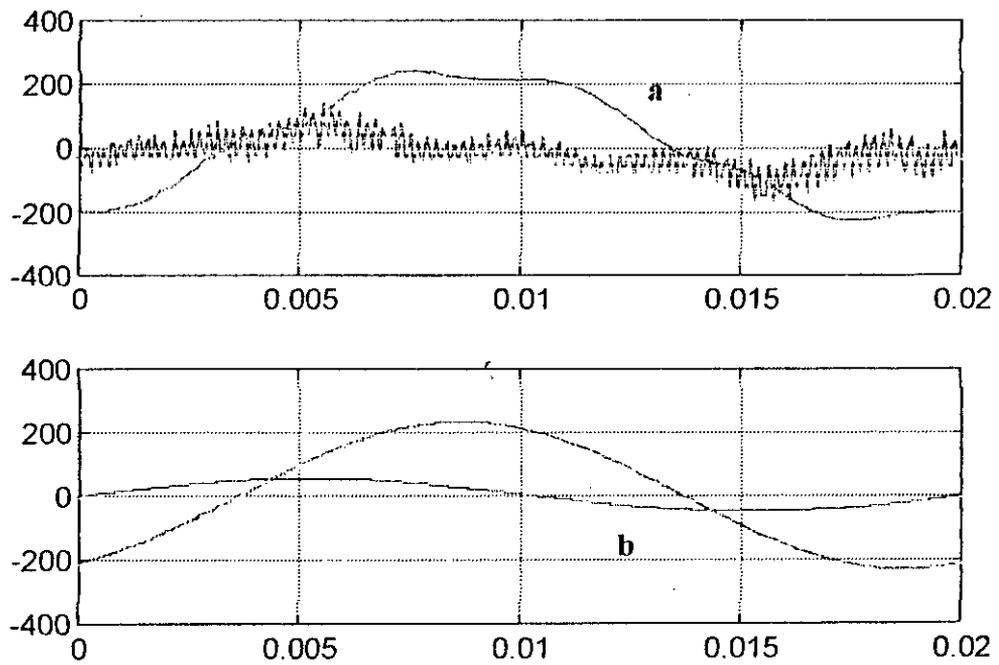


Fig. II.11.1. Conductivité  $0.1\mu s$

— Courant de fuite  
 — Tension appliquée  $U=30\text{ kV}$

(a) courant de fuite- tension appliquée  
 (b) courant fondamentale- tension appliquée

Largeur de pollution 18cm



Largeur de pollution 30cm

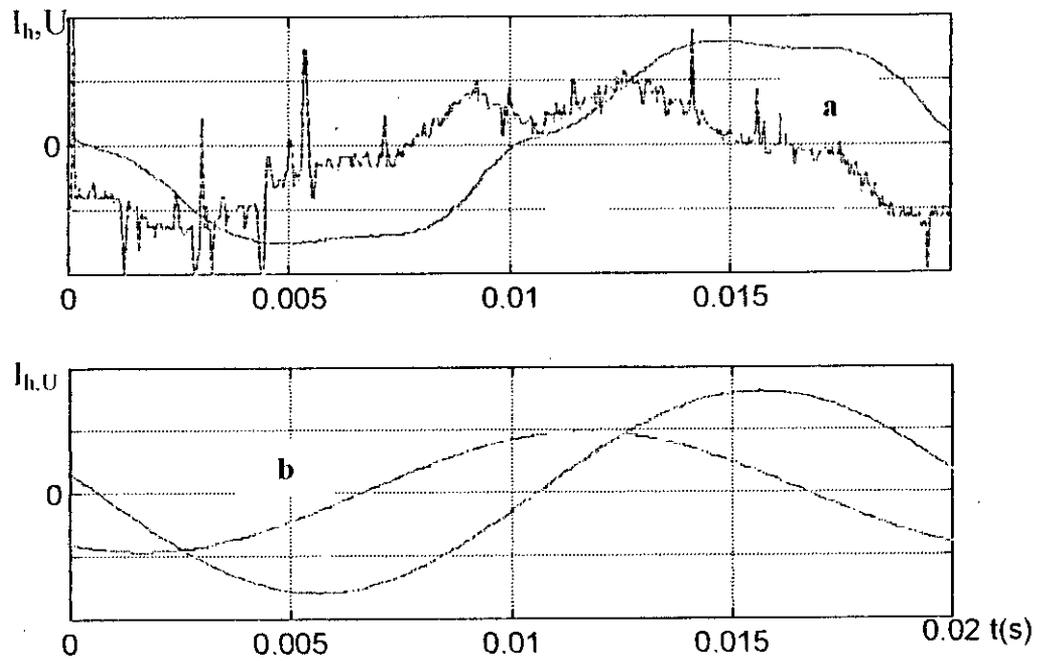
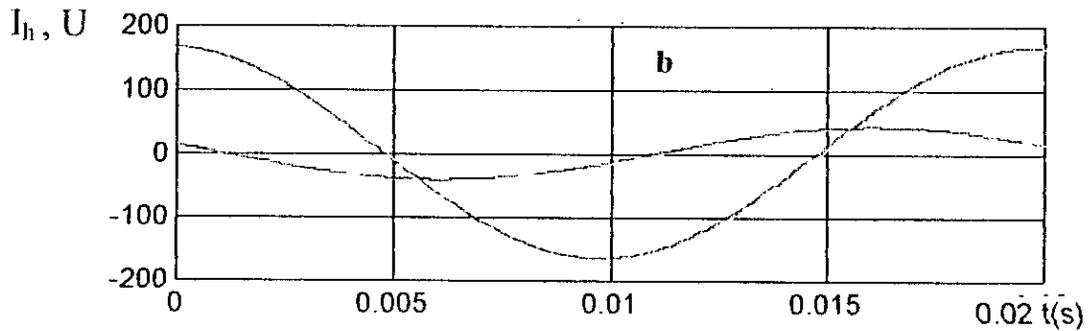
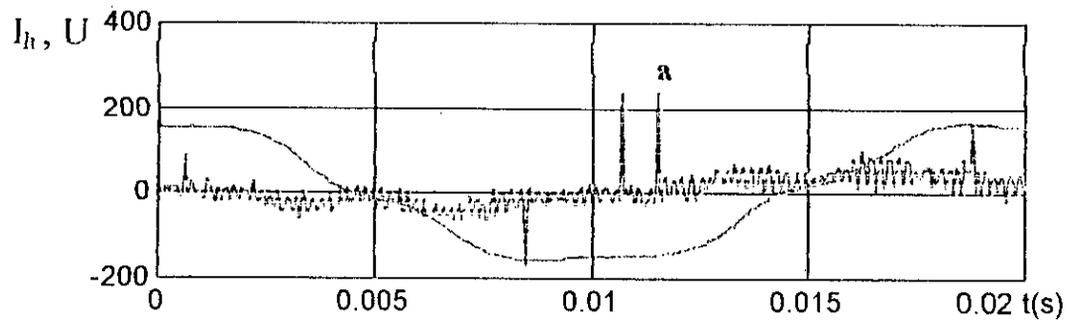


Fig. II.11.1. Conductivité  $0.1\mu s$

— Courant de fuite  
 — Tension appliquée  $U=30\text{ kV}$

(c) courant de fuite- tension appliquée  
 (d) courant fondamentale- tension appliquée

Largeur de pollution 6cm



Largeur de pollution 12cm

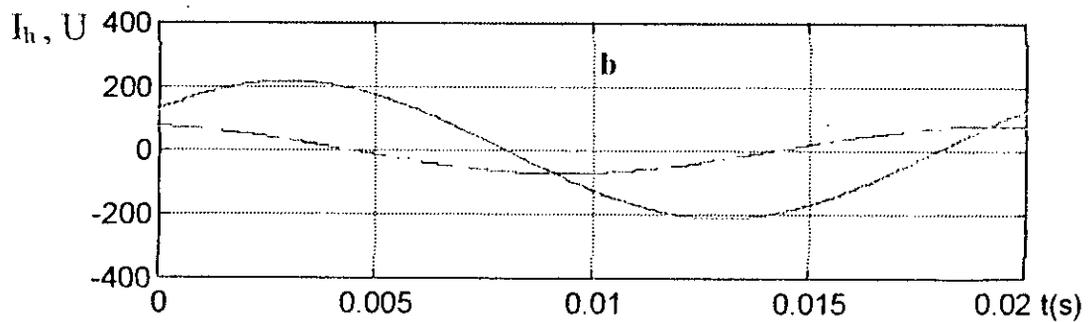
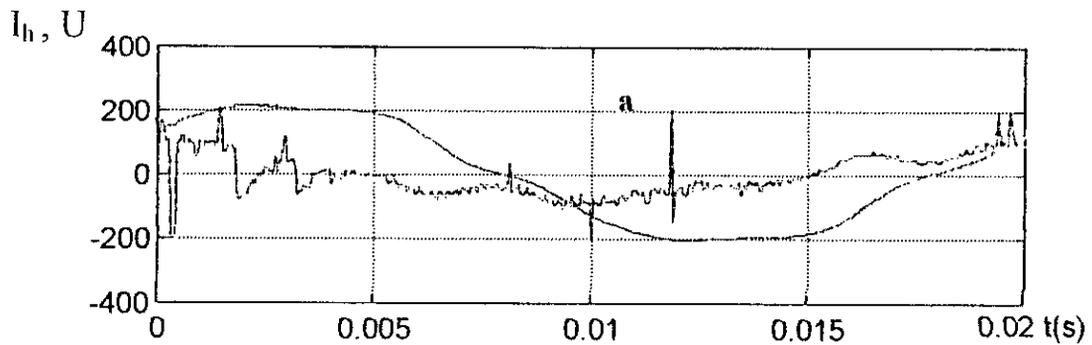
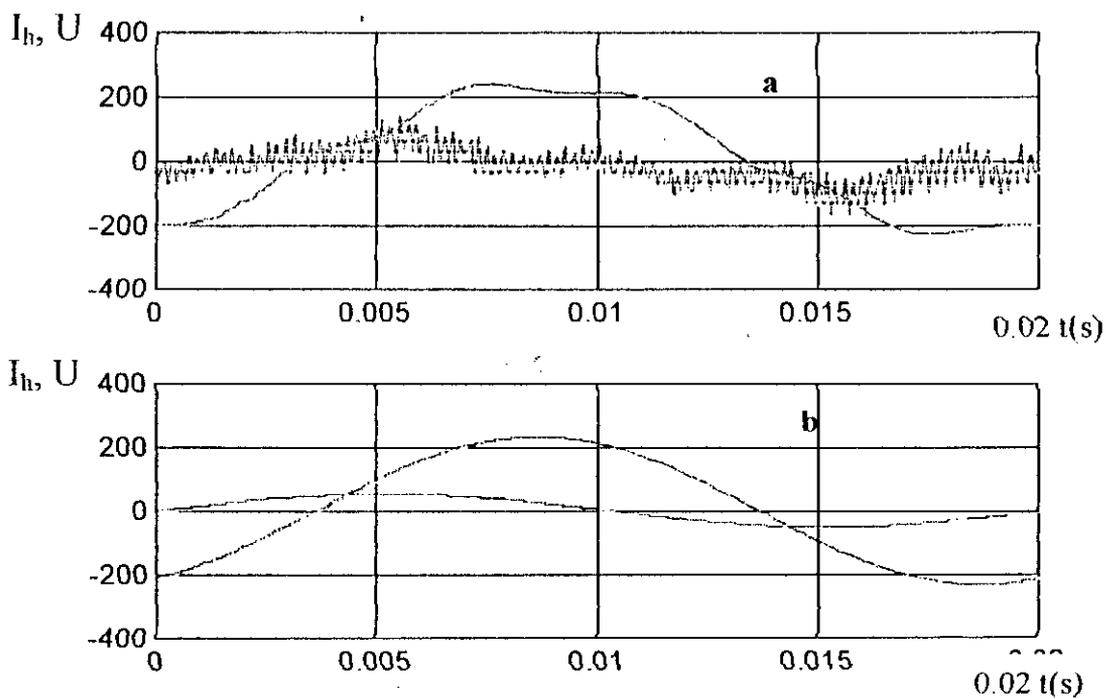


Fig. II.12.1. Conductivité 85 $\mu$ s

..... Courant de fuite  
 ——— Tension appliquée U=30 kV

(a) courant de fuite- tension appliquée  
 (b) courant fondamentale- tension appliquée

Largeur de pollution 18cm



Largeur de pollution 50cm

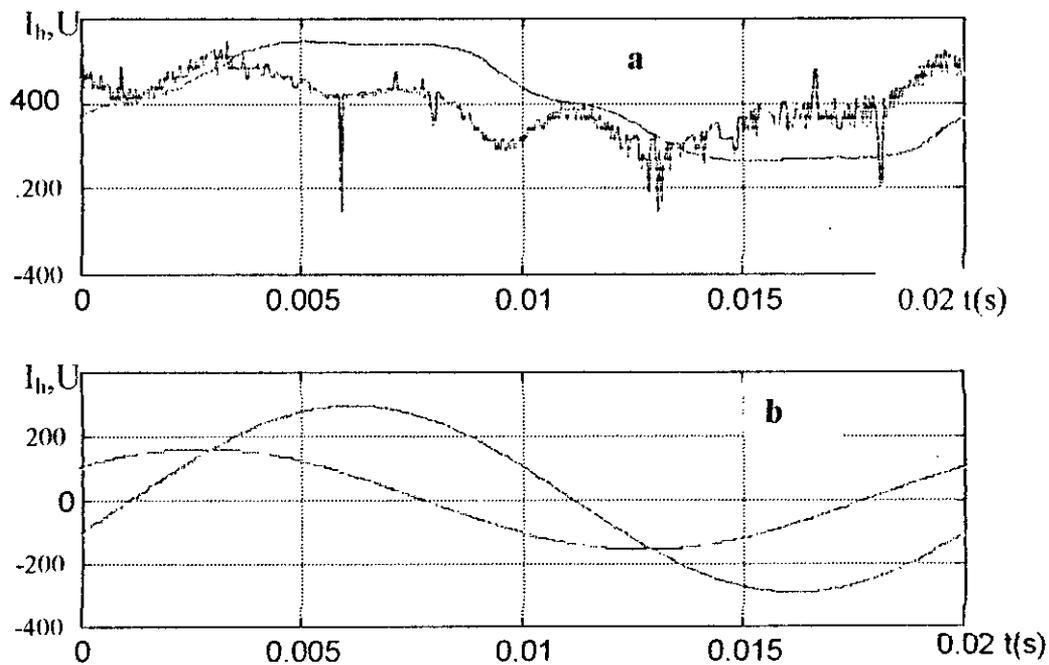
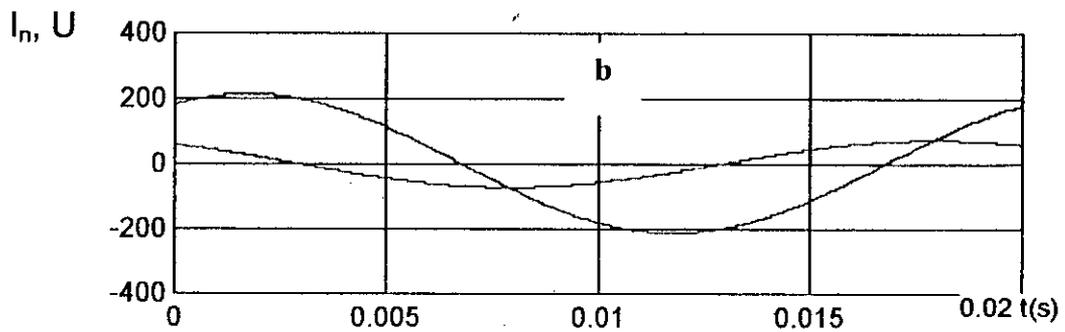
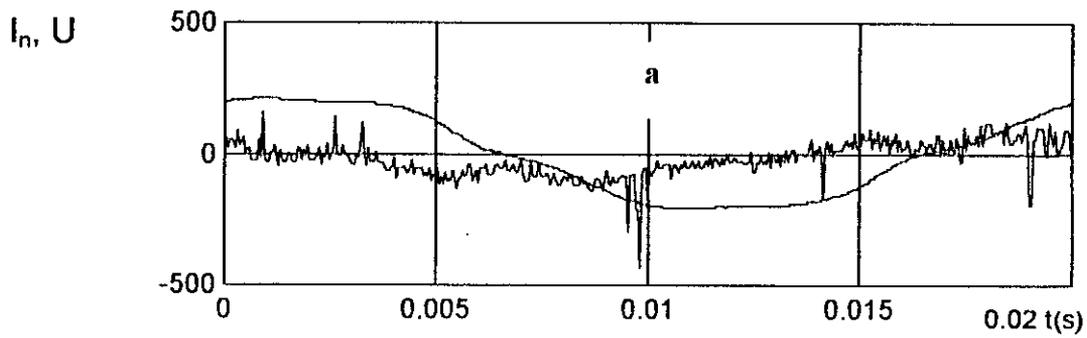


Fig. II.12.2. Conductivité 85 $\mu$ s

— Courant de fuite  
 - - - Tension appliquée  $U=30$  kV

(a) courant de fuite- tension appliquée  
 (b) courant fondamentale- tension appliquée

Largeur de pollution 18cm



Largeur de pollution 30cm

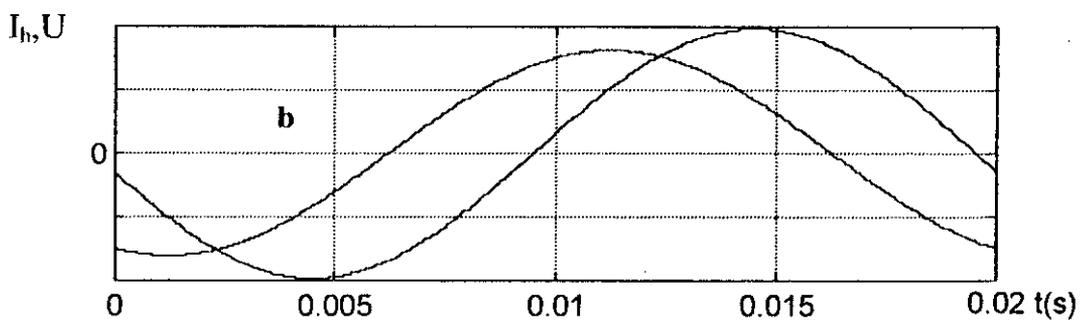
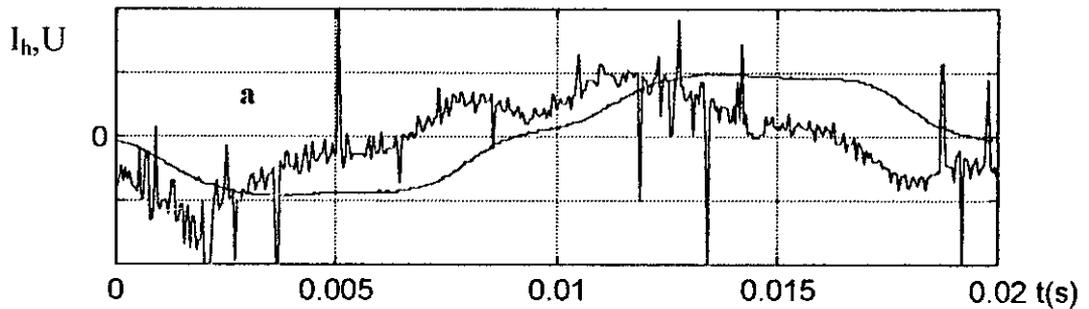


Fig. II.13.2. Conductivité 1000 $\mu$ s

— Courant de fuite  
 — Tension appliquée  $U=30$  kV

(a) courant de fuite-appliquée  
 (b) courant fondamentale- tension appliquée

### II.5.3. Conclusion

Les considérations expérimentales que viennent d'être présentées sont utiles, pour un bon dimensionnement des isolateurs. Elles ont pour objectif d'observer l'impact de la largeur de la couche de pollution sur le comportement des isolateurs pollués.

Les essais effectués permet de conclure que :

- ◆ L'utilisation de la peinture semi-conductrice nous permet de limiter la dispersion effectuées lors des essais.
- ◆ Le courant de fuite augmente avec l'augmentation de la tension appliquée et avec la conductivité superficielle.
- ◆ Le courant de fuite augmente avec l'augmentation de la largeur de pollution même pour un de tension constant. Cette augmentation est importante pour les grandes largeurs ( $L > 24$  cm).
- ◆ L'influence de la largeur sur le courant de fuite est plus grand par rapport à celle de contournement.
- ◆ Le contournement, pour une telle répartition de la pollution, se produit directement sans étapes intermédiaire, où les arcs ne sont générés qu'à la phase finale.
- ◆ La tension de contournement est très affecté par la largeur de pollution , où elle diminue avec l'augmentation de largeur de pollution.
- ◆ Le contournement pour une conductivité infinie, présente une caractéristique différente à celle observés pour les autres conductivités partielles utilisés.
- ◆ L'augmentation de la conductivité réduit la tenue diélectrique des surfaces isolantes polluées, surtout pour les grandes largeurs de pollution.
- ◆ Le déphasage courant-tension, pour une conductivité constante diminue avec l'augmentation de la largeur de pollution.
- ◆ L'augmentation de la conductivité engendre une faible diminution du déphasage.
- ◆ L'influence de la largeur sur le déphasage est presque similaire à celle sur le contournement.
- ◆ Le déphasage mesuré, pour les différentes largeurs et conductivités illustre que le caractère capacitif est dominant ( le courant de fuite est toujours en avance par rapport à la tension appliquée).

# Conclusion Générale

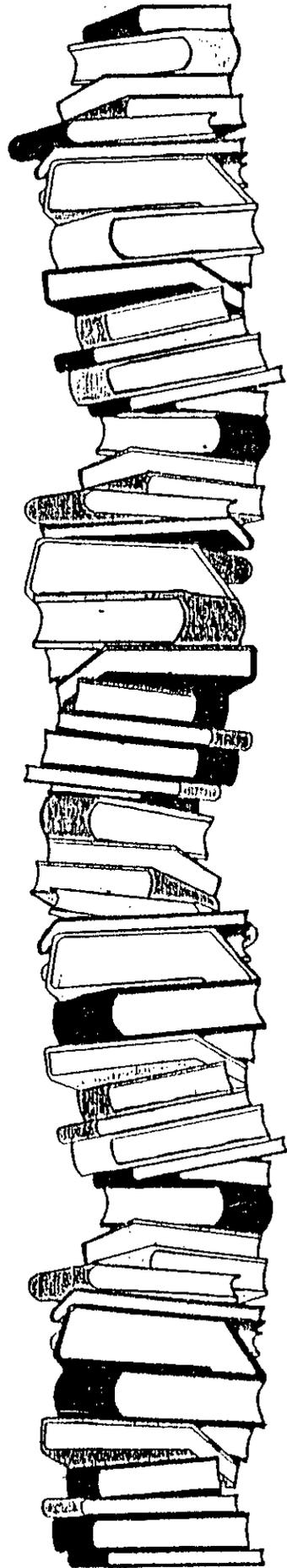
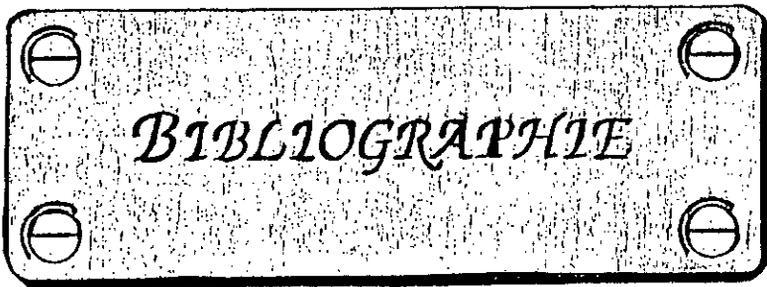
## Conclusion générale

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances sur le comportement des isolateurs pollués en haute tension en général, et plus particulier celles concernant les paramètres influant sur le phénomène de contournement.

Vu la forme complexe de l'isolateur 1512L, nous l'avons représenté par un modèle plan rectangulaire équivalent. Cependant, ce modèle ne reflète pas exactement le comportement de l'isolateur réel, il facilite, par contre, les observations et les mesures nécessaires pour une bonne analyse des phénomènes physiques de contournement. En effet, la plupart des modèles, aussi bien expérimentaux que théoriques, qui ont été proposés ont considéré des géométries simples de préférence d'un isolateur réel.

Nous nous sommes intéressés, malgré les difficultés rencontrées lors des essais au laboratoire de haute tension, à l'étude de l'influence de la largeur de la couche polluante sur le comportement des surfaces isolantes. Les principales conclusions que nous pouvons tirer de cette étude sont les suivantes :

- La forme du courant de fuite pseudo-sinusoïdal comporte des impulsions dès l'apparition de l'effet couronne. Le nombre et les amplitudes de ces impulsions ainsi que la distorsion augmentent avec l'accroissement de la tension appliquée.
- Il existe un régime critique à partir duquel le courant de fuite augmente brutalement. Ce régime est obtenu pour les grandes largeurs de la couche polluante, lorsque la tension appliquée est élevée.
- Les caractéristiques concernant le courant de fuite sont très affectés par la variation de la largeur de pollution. Par contre, l'élargissement de la pollution influant légèrement sur le déphasage et sur la tension de contournement.
- La plage de variation du déphasage montre que le courant de fuite, circulant à travers les surfaces isolantes polluées, possède un caractère capacitif important; Ceci s'explique par la domination des zones propres par rapport à celles polluées.
- La tension de contournement en fonction de la largeur pour la plaque d'aluminium (conductivité infinie) présente une caractéristique un peu spéciale par rapport à celles concernant les conductivités.
- L'augmentation de la conductivité réduit la rigidité diélectrique des surfaces isolantes polluées.



# Bibliographie



- [1] **G. Riquel, E. Span genberg** "De la céranique au synthétique "  
EDE-Epure N° 58- Avril 1998
- [2] **Y. Porcheron** " Lignes aériennes : Matériels entrant dans la constitution d'une ligne  
aerienne " Technique de l'ingénieur " D 4425
- [3] **A. Mekhaldi** "Etude du développement d'un arc électrique sur des surface isolantes  
contaminées par la pollution désertique " thèse de Magister ENP. Juin 1990
- [4] **M.A.B.Elkosaïrg , E.E.I. Sharaine , M.M Awad , H.E.M Zoroura , M.M.  
Khalifa , A. Nossier** "Performance de chaînes d'isolateurs haute tension soumises à  
la pollution du désertique , France , rapport 33-05 ,1970
- [5] **D. Dumora** " Matériaux isolants céramiques en électrotechnique " technique de  
l'ingénieur D275
- [6] **A. beronal** " les phénomènes de pollution et leurs conséquence sur le transport  
d'énergie électrique " cour de poste- gradation, département Génie électrique ,  
laboratoire de haute tension .ENP , 1992
- [7] **F. Amidi , k. Ouerdane** " Les effets de la pollution sur les ouvrage électrique  
à 30kV en région littorales " PFE, USTHB ,juin 1998
- [8] **A. Cinador ,S .vitet** " la pollution des isolateurs " EDF – Epure N °27- juillet 1990
- [9] **S. Bouzabia , T chikhaoui** " Methodes d'essais sur des isolateurs pollués dans les  
conditions désertiques" PFE . ENP . juin . 1988
- [10] **W. Heise, G.F , luxa , G.Revery , M.P. Verma** " Estimation de la méthode d'essais  
sous pollution artificielle par couche solide " cigré , rapport 33- 09 1982
- [11] **M. Tegar** " Etude mathématique des mécanismes de développement des décharges é  
lectrique sur des isolateurs installés en région pollués " thèse de magister ENP . 1993
- [12] **P.G. Lambeth, H. Aurel et 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.

- [13] **D. Namane** . " Effet de la discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolateurs haute tension , sous la fréquence 50Hz" thèse de magistère ENP 1998.
- [14] **C.E.I-60** " technique des essais à haute tension , Définitions et prescription générales aux essais " première édition 1973.
- [15] **G. leroy , C . gary** " les propriétés diélectriques de l'eau et très haute tension " Eyrolles , paris 1984
- [16] **A. Boubakeur** " Essais d'isolateurs pollués dans les conditions naturelles " rapport interne, I.W.N Pollitechnika warszawka Varsovie, 1978.
- [17] **F. Obeneus** " Fremdschichtüberschlag und Kriechweglänge " Deutsche Elektrotechnik, volu, 1958.
- [18] **G. Nenamarker** " Verschmutzungs Zustand und Kriechweg " Monaster, d. Dent .Akad. Wiss, Berlin , vol .1, 1959
- [19] **L.L. Alston , S zoled zioweski** " Growth of discharge on polluted insulator " IEEE trans, N°7 juillet 1970
- [20] **J. Danis** " A stochastic pollution flashover model " forth international symposium on high Engineering, Athens , Greece, rapport N° L 6-12 septembre 1983
- [21] **Hesketh** " General criterion for the prediction of pollution flashover " proc IEE , N°4. 1967
- [22] **H. Boehm , F obenaus** " Essais de contournement sur des isolateurs pollués en laboratoire et en lien de service du point de vue de la conception . d'un modèle d'amorçage par courant rampant " ligné 1966
- [23] **P. Claverie et V. porcheron** " les phénomènes de pollution des isolateurs et l'isolement des ouvrages en région pollués " RGE . tome 82 , N° 3 Mars 1973
- [24] **H.H woodson , A.j. Mclerog** " Insulators with contaminated surface part II : modeling of discharge mechanism " IEEE trans N°8 novembre , décembre. 1970.
- [25] **F.A.M. Rizk** " Méthodes mathématiques du contournement des isolateurs sous pollutions " Electra N° 78
- [26] **Fellah et Dnibine** " Etude de l'influence de l'épaisseur de la couche polluante sur le contournement des isolateurs pollués " PFE ENP juin 1996
- [27] **A.Mekhaldi, S.Bouzabi** " conduction phenomena on polluted insulating surface A.c high voltages " international symposium on high voltage engineering , septembre 1995

## المهدف

المهدف من عملنا هو دراسة ظواهر النقل و الشحن الكهربائية فوق مساحات عازلة متلثة تحت تأثير توتر متناوب 50 هارتز . هذه الدراسة تبين تأثير عرض الطبقة الملوثة على تصرف المساحة العازلة المتلثة في حالة الطبقات المتلثة المتقطعة حيث تسمح لنا بتقدير توتر الشرارة الكهربائية و التيار المتسرب و كذا الفرق في الصفحة بين التوتر و التيار المتسرب .

الكلمات المفتاحية : التيار المتسرب ، عرض الطبقة المتلثة ، فرق الصفحة ، الطبقة النصف الناقلية .

## **RÉSUMÉ**

Le but de notre travail est l'étude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz. Cette étude met en évidence l'influence de la largeur de la couche polluante sur le comportement de la surface isolante, dans le cas des couches de pollution discontinues, afin de mesurer le courant de fuite, la tension appliquée et le déphasage (facteur de puissance) .

**Mot clé** : courant de fuite, largeur de pollution, le déphasage, couche semi- conductrice

## **ABSTRACT**

The aim of our work is to study the conduction and the electrical discharge phenomena on polluted insulating surfaces under ac high voltage. It shows the influence of the largers of pollution on the behaviour of the polluted insulating surface. We have proposed the case of discontinuous pollution layer in order to measure the transferred voltage and the dry zone, the leakage current and the factor of puissance .