

13/01

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



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
DER de Génie Electrique et informatique

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

Thème



Dirigé par :

M^r. M.Teguar
M^r. A.Mekhladi

Etudié par :

M^r. T. Zerrouk
M^r. A. Boudjerda

Soutenu le 24 Juin 2001 devant le Jury :

M^r. A. Boubakeur
M^{me}. D. Namane
M^r. M. Teguar
M^r. A. Mekhaldi

Professeur, ENP, Président
Maître Assistance, ENP, Examinatrice
Chargé de Cours, ENP, Rapporteur
Maître de Conférences, ENP, Rapporteur

Juin 2001.

Sommaire

Introduction Générale

01

Chapitre I : Phénomène de Pollution des Isolateurs

1	Caractéristiques de la Pollution	03
1.1	Formation et répartition de la couche de pollution	03
1.2	Types de pollution	03
2	Conséquences de la pollution	04
3	Degré de pollution	04
4	Les isolateurs	05
4.1	Fonctionnement et constitution d'un isolateur	05
4.2	Principaux types d'isolateur	07
4.2.1	Isolateur de type rigide	07
4.2.2	Isolateur à capot et tige	08
5	Comportement des isolateurs sous pollution	10
5.1	Dépôt de la pollution	10
5.2	Humidification de la pollution	11
5.3	Développement de zone sèche et apparition d'arcs	11
5.4	Comportement des arcs	11
6	Techniques de lutte contre la pollution	11
7	Conclusion	12

Chapitre II : La Non-uniformité de la Pollution

1	Classification des différents types de la non-uniformité	13
1.1	La non-uniformité longitudinale par groupe	13
1.2	La non-uniformité transversale	13
1.3	La non-uniformité longitudinale périodique	13
2	Travaux sur isolateurs réels	14
2.1	Travaux sous pollution naturelle	14
a	Pollution marine	14
b	Pollution désertique	14
2.2	Travaux sous pollution artificielle	15
a	Travaux sur la non-uniformité longitudinale par groupe	15
b	Travaux sur la non-uniformité transversale	16
c	Travaux sur la non-uniformité longitudinale périodique	17
3	Travaux sur des modèles de laboratoire	17
3.1	Modèle de J. Danis	18
3.2	Modèle de M. N. Rayes et M. Zhirh	19
3.3	Modèle de A. Mekhaldi, D. Naâmane, S. Bouazabia et A. Beroual	20
3.4	Modèle de Wilkins	21

Chapitre III : Techniques Expérimentales

1	<i>Circuit d'essais</i>	24
1.1	<i>Circuit d'alimentation</i>	25
1.2	<i>Circuit de mesure</i>	25
2	<i>Modèle expérimentale</i>	26
2.1	<i>Préparation du modèle</i>	27
2.2	<i>Procédé d'application et de répartition de la couche de la pollution</i>	27
3	<i>Procédé d'essais</i>	30
3.1	<i>Tension de contournement</i>	30
3.2	<i>Courant de fuite</i>	30
3.3	<i>Longueur d'arc</i>	30

Chapitre IV : Interprétation des Résultats

1	<i>Tension de contournement</i>	31
2	<i>Décharge électrique</i>	33
2.1	<i>Forme de l'arc électrique</i>	33
2.2	<i>Longueur d'arc</i>	35
3	<i>Courant de fuite</i>	38
3.1	<i>Evolution de la forme de courant de fuite</i>	38
3.2	<i>Courant de fuite en fonction du facteur de non-uniformité</i>	41
3.3	<i>Courant de fuite en fonction de la tension appliquée</i>	44
4	<i>Expression empirique du courant de fuite</i>	45
	Conclusion générale	47
	Annexes 1	48
	Annexes 2	48
	Bibliographie	60

Avant- Propos

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectués au laboratoire de Haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique et dirigé par Messieurs **A. Mekhaldi** et **M. Tegar**.

Que Messieurs **M. Tegar** et **A. Mekhaldi** trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour tous leurs précieux conseils, leurs encouragements et leurs suivis permanents jusqu'à l'achèvement de ce travail. Nous leurs sommes reconnaissants pour tous leurs efforts.

Nous adressons nos sincères remerciements à : Monsieur Le Professeur **A. Boubakeur** (Président du jury) et Madame **D. Namane** (membre de jury) pour l'honneur qu'ils nous ont fait pour avoir bien voulu juger notre travail.

A tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, nous présentons notre profonde gratitude.

Nos reconnaissances les plus dévouées à Monsieur **A. Bouhafs** pour sa disponibilité et ses nombreux conseils.

Merci à toute l'équipe de la bibliothèque et périodique.

A.Boudjerda-T.Zerrouk

Dédicaces

Ce mémoire est dédié :

A la mémoire de mon père.

A ma très chère mère.

A mes frères et sœurs et leurs enfants.

A toute ma famille.

A la famille Zerrouk.

A tous mes amis et spécialement Aboud.

A la promotion Electrotechnique 2001.

A tous ceux qui me sont chers.

A. Boudjerda

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE



L'isolement électrique des lignes aériennes et les postes du réseau de transport est réalisé en maintenant les conducteurs à une distance suffisante de la masse, pour éviter tout risque d'amorçage.

Dans le but de supporter les conducteurs et conserver en toutes circonstances les distances de la masse, on utilise des isolateurs qui en plus d'une bonne résistance mécanique, doivent aussi répondre à certaines exigences du point de vue électrique.

Les isolateurs utilisés à l'extérieur peuvent être soumis à plusieurs contraintes. Parmi celles-ci, la pollution qui constitue un sérieux problème pour l'exploitation des réseaux de haute tension. En effet, suite à une interaction entre l'air transportant des grains de poussières et l'isolateur, une couche étrangère se dépose sur les surfaces de celui-ci. Une fois cette couche est humidifiée, la tension de tenue diminue considérablement et provoque des incidents très graves dûs au contournement des chaînes d'isolateurs.

Afin de mettre en évidence l'impact de la répartition non-uniforme de la pollution sur le comportement des surfaces isolantes, nous tenterons d'étudier expérimentalement cette caractéristique en utilisant un modèle de laboratoire soumis à une tension alternative 50Hz.

Quatre chapitres font les principaux objets de notre travail .

Dans le premier chapitre, nous présenterons brièvement les phénomènes de pollution des isolateurs et leurs conséquences sur le transport de l'énergie électrique ainsi que les techniques de lutte contre la pollution.

A travers le deuxième chapitre, nous exposerons certains travaux effectués sur la non-uniformité de la pollution. Nous rappellerons également, pour ce type de configuration, les principaux modèles de contournement rencontrés dans la littérature.

Les techniques expérimentales seront présentées dans le chapitre trois.

Le quatrième chapitre concerne les résultats des essais effectués sur un modèle plan au laboratoire de haute tension de l'ENP portant sur l'effet de la non-uniformité ainsi que leurs interprétations. En se basant sur les résultats expérimentaux, nous présenterons une expression empirique donnant le courant de fuite en fonction des différents paramètres auxquels est soumis le modèle de laboratoire.

CHAPITRE I

PHENOMENES DE POLLUTION DES ISOLATEURS H.T.

Les divers dépôts qui se déposent sur les surfaces isolantes de tout appareillage électrique de type extérieur, abaissent considérablement par temps de pluie ou de brouillard leur résistivité superficielle. En effet, lorsqu'un isolateur est propre ou recouvert d'une couche de pollution sèche, un très faible courant capacitif circule. Ceci est dû aux très faibles valeurs de la conductivité volumique de l'air, de l'isolant solide et de la couche de pollution. Par contre, le dépôt de pollution humidifié favorise la circulation d'un courant de fuite à la surface *des isolateurs*. Dans certains cas, la conductivité de la couche polluante est telle que ces arcs se développent jusqu'à provoquer le contournement de l'isolateur et la mise hors service de l'ensemble de l'installation.

1. CARACTERISTIQUES DE LA POLLUTION

1.1. Formation et répartition de la couche de pollution

Les isolateurs forment un obstacle à l'écoulement d'un air transportant de la poussière. L'interaction entre les isolateurs et la poussière, en présence de l'humidité, forme une couche de pollution [1]. La répartition de cette couche dépend de profils des isolateurs utilisés, du niveau de tension appliqué, de la position de l'isolateur par rapport à la borne **H.T**, de la hauteur de l'isolateur par rapport au sol, du type de la pollution, des conditions climatiques (direction du vent, taux de pluie,...) et de la disposition de la chaîne des isolateurs (verticale, horizontale, oblique).

1.2. Types de pollution

Les principaux types de pollution qui peuvent être rencontrés sont : la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte.

- La pollution naturelle provient des dépôts de poussière naturelle, de sable véhiculé par les vents en régions désertiques, de pluie, des embruns portés par le vent est déposée progressivement sur des isolateurs installés au bordure de la mer ...etc [2, 3].
- La pollution industrielle provient des fumées des usines, de cimenteries, de complexes sidérurgiques, chimiques ou même aux bords des centrales thermiques. Cette pollution peut être d'origine domestique (véhicules automobiles,...) ou agricole (engrais...) [4, 20].

- Les pollutions mixtes représentent la forme de pollution la plus sévère car elle résultent de la combinaison d'une ou plusieurs pollutions précitées [4, 5] et [22, 24].

2. CONSEQUENCES DE LA POLLUTION

La pollution des isolateurs engendre une conductivité électrique superficielle. Alors que la tension de rupture diélectrique de l'air peut être atteinte entre deux points de la surface de l'isolateur entraînent l'amorçage d'un arc électrique qui court-circuite une partie de la ligne de fuite.

Trois cas peuvent se présenter selon les contraintes aux quelles est soumis l'isolateur [26, 28]:

- Arc non localisé : L'arc électrique s'éteint rapidement, puis se réamorçage à un autre endroit et ainsi de suite. Il y a apparition de courants de fuite entraînant une faible perte d'énergie, généralement supportable par l'installation.
- Arc fixe : L'arc électrique se fixe sur la surface, soit en s'y maintenant (courant continu), soit en se réamorçant au même endroit (courant alternatif). Cet arc peut entraîner, par effet thermique, une dégradation du support isolant de l'élément défailant.
- Contournement des isolateurs : Le contournement d'un isolateur pollué est en général précédé par l'apparition brutale d'un courant de fuite accompagné de la formation d'une bande sèche et d'arc partiels. Un arc peut s'allonger jusqu'au contournement total.

3. DEGRE DE POLLUTION

Afin de dimensionner convenablement les isolateurs susceptibles d'assurer un service sans défaillance d'un site pollué [4], il est nécessaire de déterminer le degré de pollution de ce site. Les principales méthodes qui ont été utilisées pour mesurer ce degré de pollution sont :

- La densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) : Elle consiste à la détermination de dépôt équivalent, exprimée en milligramme de NaCl / cm² de la surface d'un

isolateur, dont la conductivité est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau [29].

- La conductance superficielle : la conductance s'exprime par le rapport du courant, parcourant l'isolateur à la tension appliquée [6].

La conductivité superficielle est obtenue en multipliant la conductance par un facteur de forme de l'isolateur.

- Le courant de fuite : Il s'effectue en deux étapes. On enregistre, d'abord, sur une période relativement longue, le nombre d'impulsions du courant de fuite dépassant une valeur donnée (comptage d'impulsions). Par la suite, on mesure la plus grande valeur de crête de ce courant [30, 19].
- Mesure de la pollution de l'air : Cette méthode est basée sur l'analyse physico-chimique de l'air. Elle s'effectue sur une période de temps donnée et permet d'évaluer l'intensité et les caractéristiques de la pollution de l'air pour un site.
- Mesure optique : Cette méthode permet la détermination de l'épaisseur de la couche polluante disposée sur la surface de l'isolateur, ainsi que la constante diélectrique par le biais d'un dispositif à rayons laser [6].
- Densité de dépôt non soluble (DDNS) : Elle correspond à la quantité de dépôts polluants non solubles présents dans une couche de pollution. Elle s'exprime en mg/cm^2 .

4. LES ISOLATEURS

L'isolateur est un matériau isolant solide présentant une très grande résistance au passage du courant et dont la conductivité est pratiquement nulle [7]. 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.

4.1. Fonctionnement et constitution d'un isolateur

Les isolateurs sont des composants indispensables au transport et à la distribution de l'énergie électrique. Ils sont utilisés pour assurer une liaison mécanique entre les 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) [8].

Les isolateurs utilisés dans les réseaux électriques peuvent être classés selon leurs constitutions en deux groupes :

- Les isolations internes qui sont hermétiquement isolées (isolation des câbles, des transformateurs, gaz comprimés,.....etc).
- Les isolations externes sont constituées par les distances dans l'air et par les lignes de fuite le long des isolants solides tels que les supports de l'appareillage, les traversées de transformateurs et les chaînes d'isolateurs.

Les matériaux isolants solides les plus utilisés sont essentiellement le verre trempé et la porcelaine. Mais les résines synthétiques commencent aussi à être utilisées.

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 [9] :

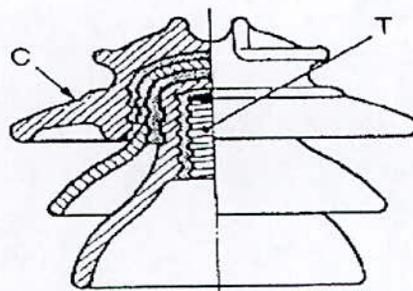
- L'intervalle d'air ;
- Le matériau diélectrique ;
- L'interface air-matériau diélectrique.

4.2. Principaux types d'isolateurs

On peut distinguer deux principaux types d'isolateurs [23]:

4.2.1. Isolateurs de type rigide

Un isolateur rigide [Fig. I.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 [7].



C : Cloche
T : Logement de tige.

Fig. I.1.a. - Isolateur rigide en verre

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. I.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) [9].

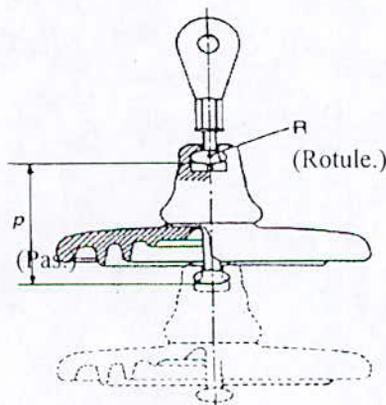
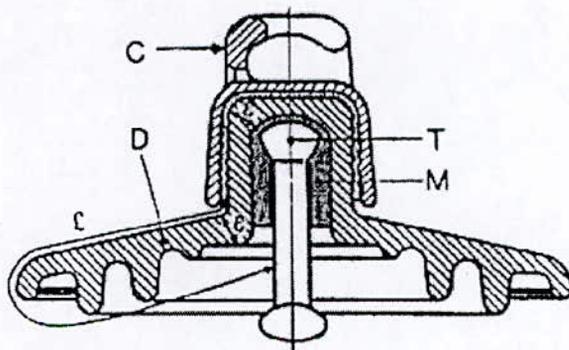


Fig. I.1.b. - Assemblage à rotule

4.2.2. 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 [1, 5]. 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 [5].

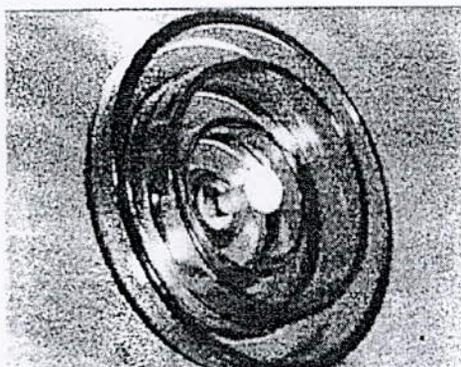
La coupe de l'isolateur capot-tige est schématisée sur [Fig. I.1.c.].



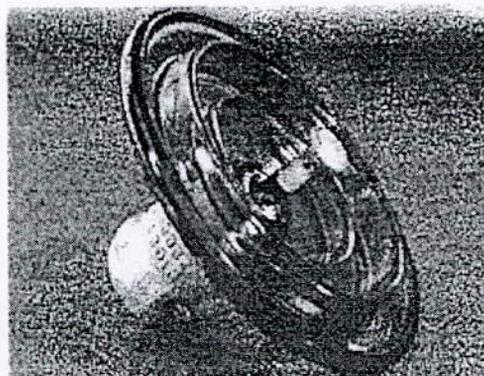
- C : Capot (fonte malléable, galvanisée à chaud)
- D : Diélectrique (verre trempé ou céramique)
- M : Mortier de ciment alumineux ou Portland
- T : Tige (acier, galvanisé à chaud)
- L : Plus courte distance dans l'air, extérieure à l'isolateur
- ε : Longueur du canal de perforation, $\epsilon \ll L/2$

Fig. I.1.c. - Isolateur à capot et tige

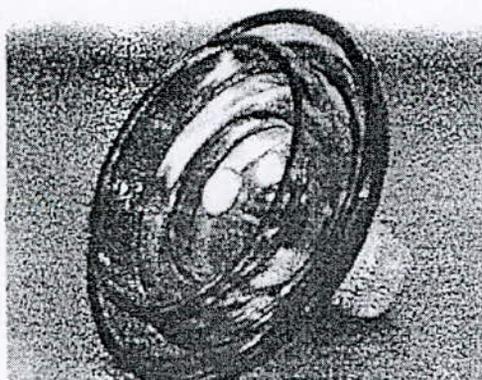
Différents profils des isolateurs à capot et tige: [Fig. I.1.d.]



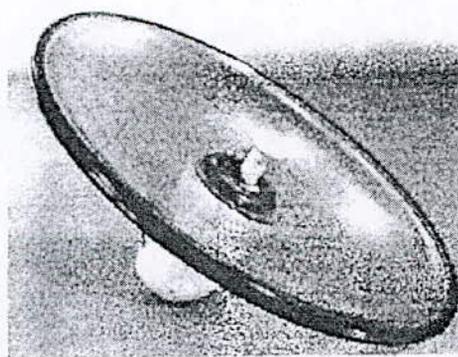
Profil standard



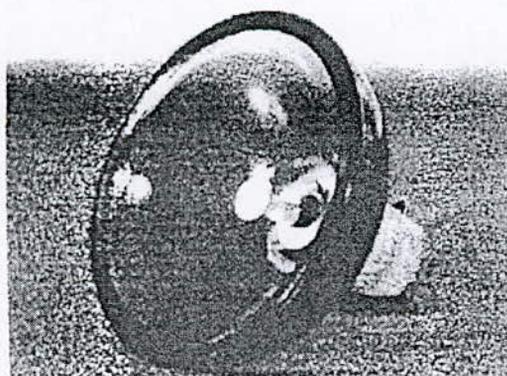
Profil antibrouillard (A)



Profil antibrouillard (B)



Profil ouvert



Profil sphérique

Fig I.1.d. : Différents profils des isolateurs à capot et tige

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.

5.COMPORTEMENT DES ISOLATEURS SOUS POLLUTION

La connaissance du comportement des isolateurs sous pollution est un facteur essentiel pour la conception et l'exploitation des lignes en zones polluées.

Quatre étapes distinctes peuvent définir le comportement d'un isolateur, qui sont les suivantes [5] :

5.1. Dépôt de la pollution :

Les couches polluantes s'accumulent à la surface des isolateurs et se concentrent surtout entre les nervures. Les facteurs de vitesse d'accumulation sont : la nature du dépôt, conductivité, la vitesse du vent, l'orientation de la chaîne et la forme de l'isolateur et son aptitude d'auto-nettoyage.

L'accumulation du dépôt est continue et n'est modifiée que par la pluie et le vent. Ce nettoyage est plus efficace sur le dessus de l'isolateur que le dessous. En général, la quantité de dépôt se stabilise à une valeur limite après un certain temps[19].

5.2 . Humidification de la pollution :

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

5.3 . Développement des zones sèches et apparition d'arcs :

Par effet joule, la température s'élève, l'eau s'évapore et le dépôt cesse d'être conducteur. Le courant de fuite est alors interrompu par la présence de bande sèche. La répartition de potentiel sur l'isolateur est alors modifiée. La plus grande portion du potentiel est appliquée aux bornes de la bande sèche. Si sa largeur est insuffisante pour supporter le potentiel, un arc se crée.

5.4 . Comportement des arcs :

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

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

6. TECHNIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION

L'augmentation du degré de pollution par l'apparition de nouvelles sources de pollution, représente un risque immense pour l'isolateur en service malgré le dimensionnement initialement correct. Pour cela, plusieurs techniques de lutte sont utilisées, entre autres :

- Allongement de la ligne de fuite : le changement de type d'isolateur ou l'utilisation de prolongateur de ligne de fuite en matériaux polymères.
- Changement de forme d'isolateur (isolateur plat).
- Graissage périodique.
- Revêtement silicones.
- Les isolateurs composites.
- Nettoyage des isolateurs : le lavage hors tension, le lavage sous tension et le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif.

7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une synthèse générale des différents aspects de la pollution et les mécanismes de contournement ainsi que les techniques de quantification de la sévérité de la pollution. Il en ressort que la pollution est un facteur déterminant dans le dimensionnement des isolateurs et que la connaissance du degré de pollution est également une condition indispensable pour un dimensionnement convenable.

CHAPITRE II

LA NON-UNIFORMITE DE LA POLLUTION

En pratique, la couche de pollution se concentre sur les éléments de la chaîne d'isolateurs situés du côté du conducteur de haute tension et dans les parties les mieux protégées contre les facteurs d'auto nettoyage. Par conséquent, la répartition de la pollution le long des chaînes d'isolateurs est non-uniforme.

1. CLASSIFICATIONS DES DIFFERENTS TYPES DE LA NON-UNIFORMITE

Nous nous intéressons dans cette partie aux différents types de la non-uniformité qui peuvent être classés en trois catégories [16].

1. 1. La non-uniformité longitudinale par groupe

Ce type de pollution est caractérisé par un ensemble de groupes d'isolateurs soumis à différentes conductivités de la couche de pollution dont la valeur est constante dans chaque groupe. Nous la trouvons dans les cas suivants :

- Temporairement pendant le lavage sous tension.
- Dans les chaînes d'isolateurs en forme de "T".
- Par effet de champ électrique où la concentration de la pollution est accentuée sur les isolateurs les plus proches de la borne Haute Tension.

1.2. La non-uniformité transversale

Ce type est caractérisé par des bandes de différentes conductivités superficielles de la couche polluante et répartis transversalement autour de la surface de chaque isolateur de la chaîne. La conductivité dans chaque secteur est la même le long de toute la longueur de la ligne de fuite.

Ce type de pollution est dû principalement à l'existence d'une direction privilégiée des vents et des pluies.

1.3. La non-uniformité longitudinale périodique

Ce type est le plus fréquent, il est caractérisé par, une variation périodique de la conductivité de la couche de pollution le long de la ligne de fuite, mais elle garde une symétrie circulaire.

2. TRAVAUX SUR ISOLATEURS REELS

2.1. Travaux sous pollution naturelle

Ces travaux ont été effectués dans des stations d'essais installées dans des sites pollués à travers le monde, des stations où règne une pollution naturelle (pollution marine et pollution désertique).

a- Pollution marine

T.Keller et Jacobsen [10] ont effectué des travaux sur sites situés dans les régions côtières. Ils ont utilisé la méthode de *DDSE* en prenant soin de différencier le côté dessus du côté dessous des surfaces de l'isolateur. Ils ont remarqué que :

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

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

b- Pollution désertique

Plusieurs chercheurs ont effectué des travaux sur les stations d'essais contaminées par la pollution désertique. Ils ont montré une grande similitude avec celles situées en bord de mer, malgré la nature différente des deux pollutions.

A titre d'exemple, après une exposition de six mois de chaînes d'isolateurs, *M.A.B.EL-Koshairy et al* [1] ont remarqué que :

- ❖ Une densité de pollution maximale sur les isolateurs situés le plus près des conducteurs sous tension, alors qu'elle est minimale sur les éléments reliés à la console.
- ❖ La quantité de pollution déposée sur un isolateur augmente lorsque la tension qui lui est appliquée augmente.

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

Par ailleurs, des travaux portant sur l'état de distribution non-uniforme, d'une durée de trois mois, ont été faits par *A.EL-Arabaty et A.Nosseir* [11]. Ces travaux ont concerné en plus le degré de pollution et la répartition de la pollution sur différents types d'isolateurs.

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

2.2. Travaux sous pollution artificielle

a- Travaux sur la non-uniformité longitudinale par groupe

Dans le but de simuler la non-uniformité longitudinale par groupe, *L.E.Zaffanella et H.M.Schneider* [12] ont comparé le comportement des chaînes polluées d'une façon uniforme et celles à pollution non-uniforme. Leurs résultats d'essais sous pollution artificielle montrent que la tension de contournement d'une chaîne polluée uniformément, avec la même DDSE, était de 20% inférieure à celle de la chaîne non-uniformément polluée.

Par contre *H.Streubel* [13] affirme qu'il peut y avoir une diminution notable de la tension de contournement dépendant de la conductivité intrinsèque de chaque groupe.

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

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

Afin d'établir un modèle théorique de contournement, H.Streubel a considéré que la tension de contournement total est composée par la tension de contournement de la partie avec la conductivité faible et la chute de tension aux bornes de l'autre partie, qui présente une conductivité plus grande. En effet, la tension aux bornes de la partie avec la conductivité la plus faible étant autant élevée que la tension de contournement est exigée. Ce même auteur a prouvé que ce comportement de la tension de contournement montre une bonne concordance avec l'expérimentation.

b- Travaux sur la non-uniformité transversale

Contrairement aux études mathématiques, dont on estime que la tension de contournement est proportionnelle à l'angle du secteur pollué. H.Streubel[13], a constaté dans le cas extrême où seulement un demi, un quart ou un huitième de la circonférence de l'isolateur est contaminée (le reste de l'isolateur étant propre). Qu'on obtient une légère augmentation de la tension de contournement par rapport à celle mesurée sur un isolateur entièrement pollué. La différence n'est considérable que si la pollution est réduite à 10° de la circonférence (360°).

Il souligne aussi que, lorsque la pollution est constituée par plus d'un secteur pollué, la tension de contournement est imposée par le secteur de la plus grande conductivité.

c- Travaux sur la non-uniformité longitudinale périodique

L.E.Zaffanella et H.M.Schneider [12] ont étudié l'effet d'une pollution non-uniforme. Cette dernière diffère des surfaces inférieures à celles supérieures de l'isolateur. Ces auteurs ont procédé comme suit :

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

$$n = \frac{DDSE \text{ (côté dessus)}}{DDSE \text{ (côté dessous)}}$$

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

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

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

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

3. TRAVAUX SUR DES MODELES DE LABORATOIRE

Les modèles de laboratoire ont été adoptés par un certain nombre de chercheurs, afin de contourner la difficulté liée à la configuration souvent complexe de l'isolateur.

Nous citons brièvement quelques-uns de ces modèles qui tiennent compte de la non-uniformité.

3.1. Modèle de *J.Danis*

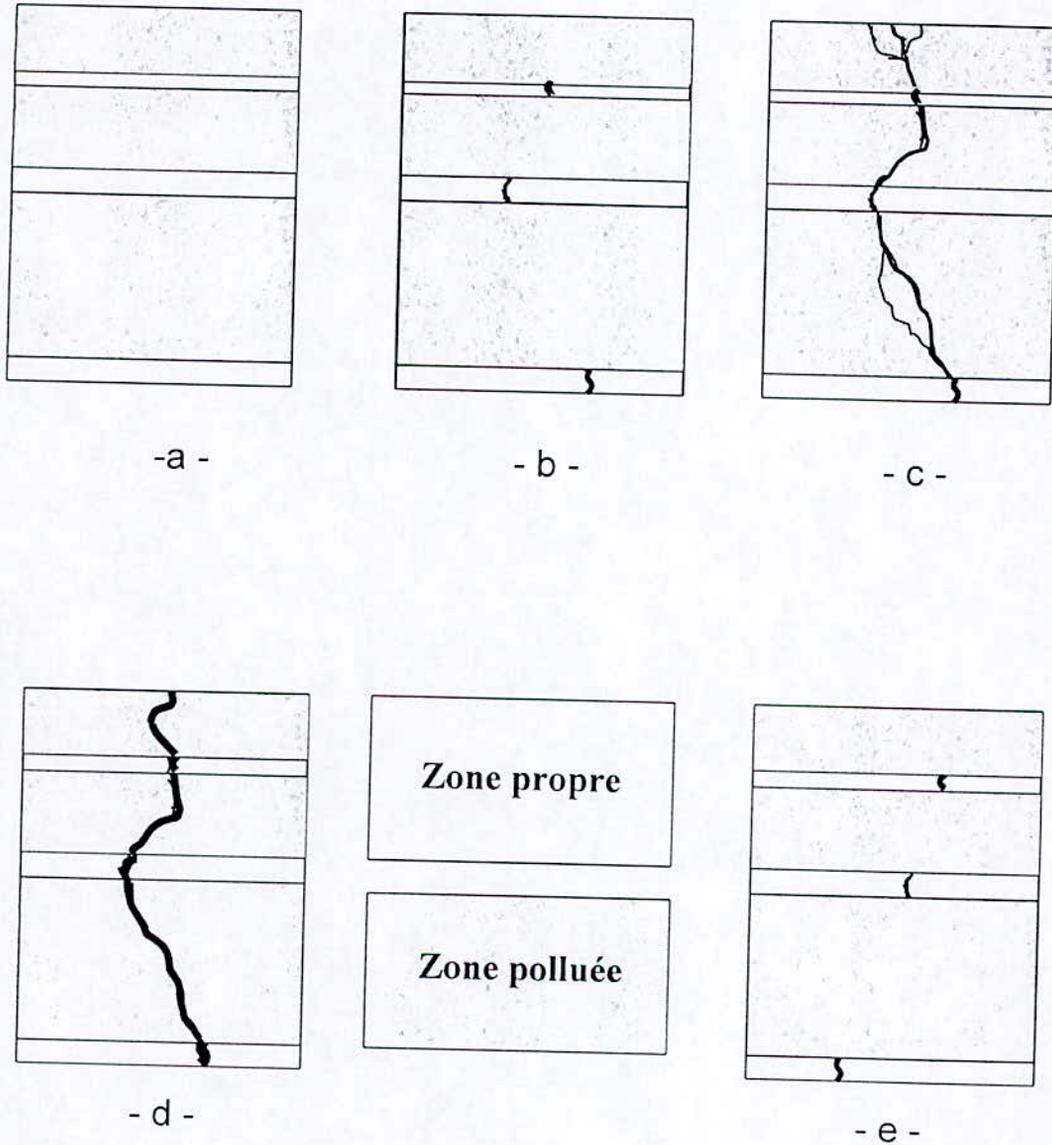
Ce modèle [14] prend en considération la discontinuité de la couche de pollution. En effet, celui-ci comprend plusieurs zones sèches en alternance avec celles polluées.

L'auteur a utilisé un modèle de forme géométrique simple (surface rectangulaire ou cylindrique), munie de deux électrodes identiques, rectangulaires et placées aux deux extrémités de la surface [Fig. II.1.].

J.Danis [14] a abouti aux constatations suivantes :

- ❖ L'arc se développe toujours d'abord à travers la zone sèche, puis dans la zone humide.
- ❖ L'arc peut se développer à n'importe quelle position le long de la zone sèche et aucune position n'est donc privilégiée par rapport à une autre [Fig. II.1.b].
- ❖ Dans le cas d'une alimentation continue, l'aspect de l'arc dépend de la polarité de l'électrode qui se trouve juste à proximité de l'arc (en cas de zone humide). Il semblerait que l'anode provoque un arc en forme de simple décharge lumineuse. La cathode, par contre, provoque un arc aux multiples ramifications fines. De plus, le développement de l'arc à proximité de cathode est plus rapide que celui à proximité de l'anode.
- ❖ Plusieurs arcs peuvent se développer en parallèle aux premiers stades du processus. Ces arcs disparaissent ensuite lorsque le courant augmente et un seul arc dominant persiste au cours des étapes suivantes. Celui-ci se développe donc, seul, à travers la zone humide.
- ❖ Dans le cas de plusieurs zones sèches, le développement de l'arc d'une zone sèche à travers la zone humide s'effectue de manière à rejoindre l'arc développé sur la zone sèche voisine [Fig. II.1.c].
- ❖ Le contournement se fait à travers les chemins déjà préétablis par les différents arcs de chaque zone sèche [Fig. II.1.d].
- ❖ Le claquage des zones sèches se fait aléatoirement. En effet pour chaque expérience, l'auteur a constaté une nouvelle distribution [Fig. II.1.e.] d'arcs partiels qui n'est obligatoirement la précédente.

A travers ces constatations, l'auteur conclut que l'endroit de rupture des zones sèches le long de la largeur de la plaque survient d'une manière aléatoire. Il a donc associé une longueur de fuite différente pour chaque emplacement de ces arcs initiaux. Comme la tension de contournement est liée directement à la longueur de fuite, elle aura également le même caractère, c'est à dire aléatoire.



a : absence d'arcs

b : formation d'arcs

c : connexion des arcs

d : le contournement

e : création d'arcs (2^{ème} expérience)

Fig. II.1. : Modèle de J.Danis

3.2. Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh

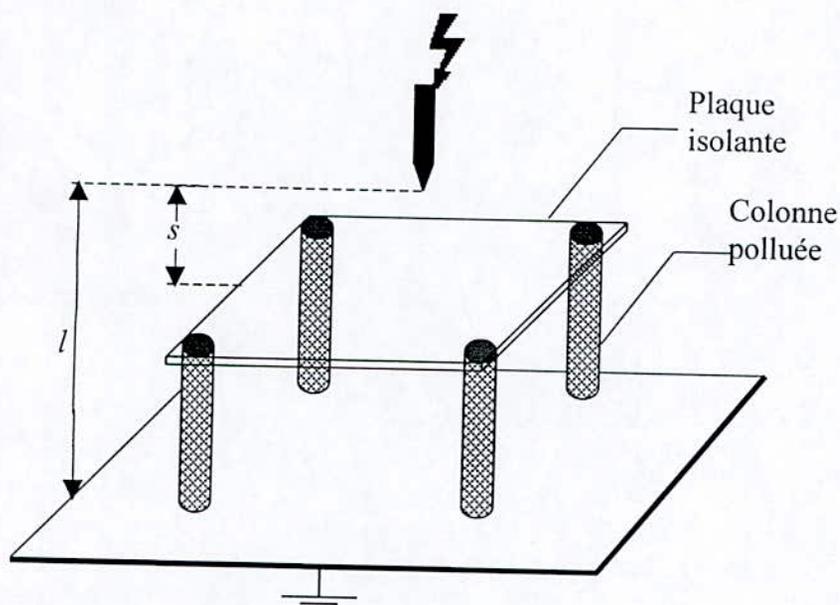


Fig. II.2. : Modèle de M.N.Rayes et M.Zhirh.

Ces auteurs [15] considèrent un modèle constitué d'une électrode placée au-dessus d'une plaque isolante, à une distance s , considérée égale à la largeur de la zone sèche [Fig II.2.]. Cette plaque est soumise à une tension alternative 50 Hz et placée sur quatre colonnes uniformément polluées et situées à une distance $(l-s)$ de la terre [15].

Ils se sont intéressés à la variation de la tension de contournement en fonction de la largeur s de la zone sèche pour plusieurs conductivités.

Les résultats d'essais ainsi obtenus par ces auteurs sont :

- ❖ Les caractéristiques de la tension de contournement U_c en fonction de s sont des courbes en forme de V qui atteignent un minimum, correspondant à une largeur s_{min} . Elle se situe à environ 45-50% de la longueur totale.
- ❖ La tension de contournement, pour une même largeur de la zone sèche diminue avec la conductivité des couches polluantes.
- ❖ La tension de contournement de l'ensemble zone sèche-zone polluée semble être confondue avec celle de la zone polluée lorsque $s < s_{min}$, et avec celle de la zone sèche pour $s > s_{min}$.

Les auteurs ont conclu que :

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

3.3. Modèle de A.Mekhaldi, D.Namane, S.Bouazabia et A.Beroual

Ces auteurs ont étudié l'influence de la répartition discontinue de la couche de pollution sur le comportement d'un modèle de laboratoire à l'Ecole Nationale Polytechnique [27]. Ce modèle est soumis à des contraintes bien définies. La première étant la discontinuité de la pollution en variant de manière régulière la largeur de la pollution de 0 à L . La deuxième contrainte concerne la position de la pollution. En effet, deux configurations de la pollution ont été considérées, à savoir, la pollution côté électrode circulaire de haute tension [Fig. II.3.a.] et la pollution côté électrode rectangulaire de terre [Fig. II.3.b.].

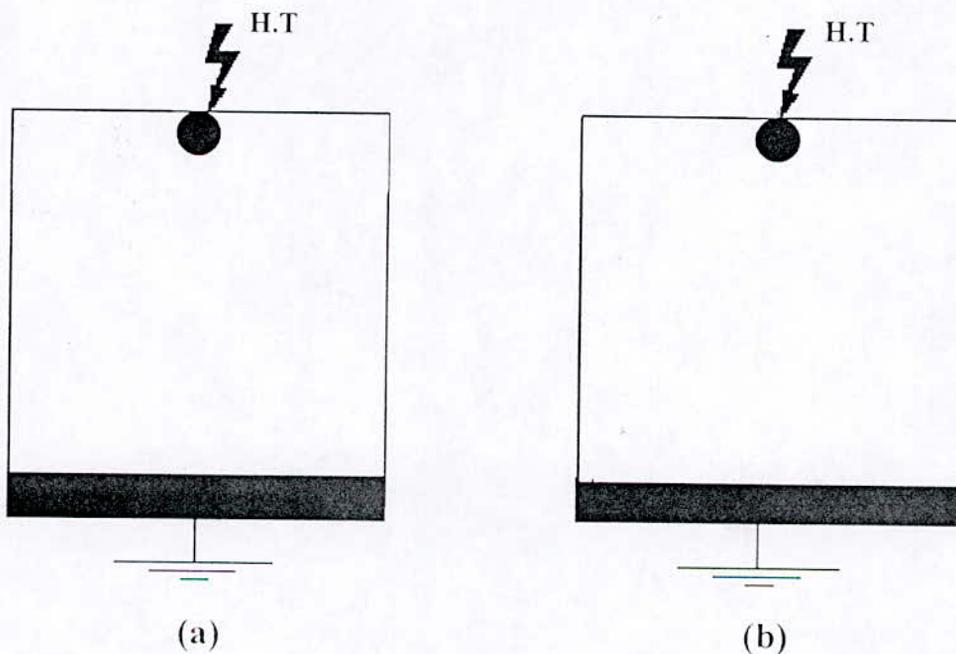


Fig. II.3. : Les deux configurations de pollution

Plusieurs conductivités de la couche polluante et plusieurs niveaux de tension ont été considérés.

Les principales conclusions tirées sont :

- Il existe un régime critique à partir duquel on obtient une hausse brutale du courant de fuite. Ce régime est atteint pour les grandes largeurs de couche polluante, lorsque la tension et/ou la conductivité sont élevées.
- Le courant de fuite est toujours plus élevé lorsque la couche polluante est du côté de l'électrode rectangulaire, mise à la terre.
- La position a peu d'influence sur la tension d'entretien de l'arc.
- La tension d'entretien d'arc diminue sensiblement, pour une même largeur de la zone sèche, lorsque la conductivité augmente.
- La position de la pollution n'a apparemment pas d'influence sur la tension de contournement pour les conductivités utilisées.
- Il existe une longueur critique de la zone sèche à partir de laquelle on ne peut plus maintenir un arc stable. Cette longueur, évaluée au tiers de la longueur de la plaque.
- La longueur critique de la zone sèche est toutefois indépendante de la conductivité.
- Les auteurs ont tenté de déterminer la conductivité limite, à partir de laquelle, en cas de zones sèches préétablies, la couche polluante peut être considérée comme un court-circuit. Une conductivité comprise entre 500 et 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ semble correspondre à cette limite puisque les résultats d'essais sont assez proches.

3.4. Modèle de wilkins

Celui-ci est constitué d'un électrode mis sous tension et situé au-dessus d'un bac rempli d'eau additionné de sel, permettant de simuler la zone polluée [18]. La zone sèche étant considérée comme l'espace compris entre l'électrode et l'eau [Fig II.4.]. Ce modèle est très utilisé pour étudier le critère de propagation de l'arc.

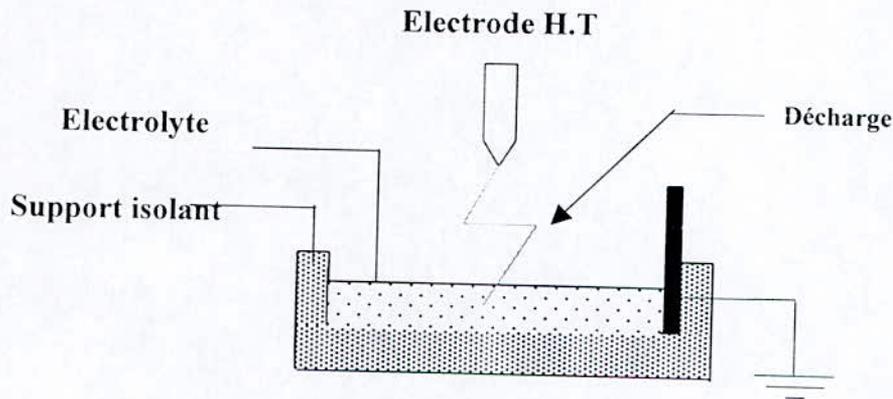


Fig. II.4. : Modèle de Wilkins

Ce modèle a été utilisé également par Rahal [26] qui a essayé de mettre en évidence l'existence d'une force électrostatique s'exerçant sur la décharge, responsable du déplacement de l'arc. Il a démontré que du point de vue électrique macroscopique. Cette force était due à la dissymétrie de la distribution du potentiel, elle-même causée par le passage du courant dans le liquide couvrant la surface isolante. Cette force a provoqué la courbure de la décharge vers l'électrode de masse. Une fois les conditions critiques satisfaites, la décharge se déplacera alors vers l'électrode de masse.

4. CONCLUSION

La couche de pollution qui se dépose sur l'isolateur est loin d'être uniforme. Cependant, on ignore la forme ou la nature de cette pollution car c'est un phénomène très aléatoire.

Dans ce chapitre, nous avons présenté certaines configurations traitant l'impact de la pollution non-uniforme sur la tenue diélectrique des isolateurs.

En effet, les principales conclusions que l'on peut tirer de ces travaux sont :

1. La face inférieure de l'isolateur présente une conductivité plus grande que la face supérieure.
2. La concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.
3. La pollution est plus accentuée entre les nervures.

4. La densité de la pollution est maximale au coté **HT**, et minimale à coté terre.
5. La tension de contournement est imposée par le secteur de la plus grande conductivité, lorsque la pollution est constituée par plus d'un secteur pollué.
6. La longueur critique de la zone sèche est toutefois indépendante de la conductivité.

CHAPITRE III

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Des essais au laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique sous tension alternative à fréquence industrielle 50Hz, ont été effectués dans le but d'étudier l'influence d'une configuration non-uniforme de la couche de pollution sur le comportement d'une surface isolante plane.

1. CIRCUIT D'ESSAIS

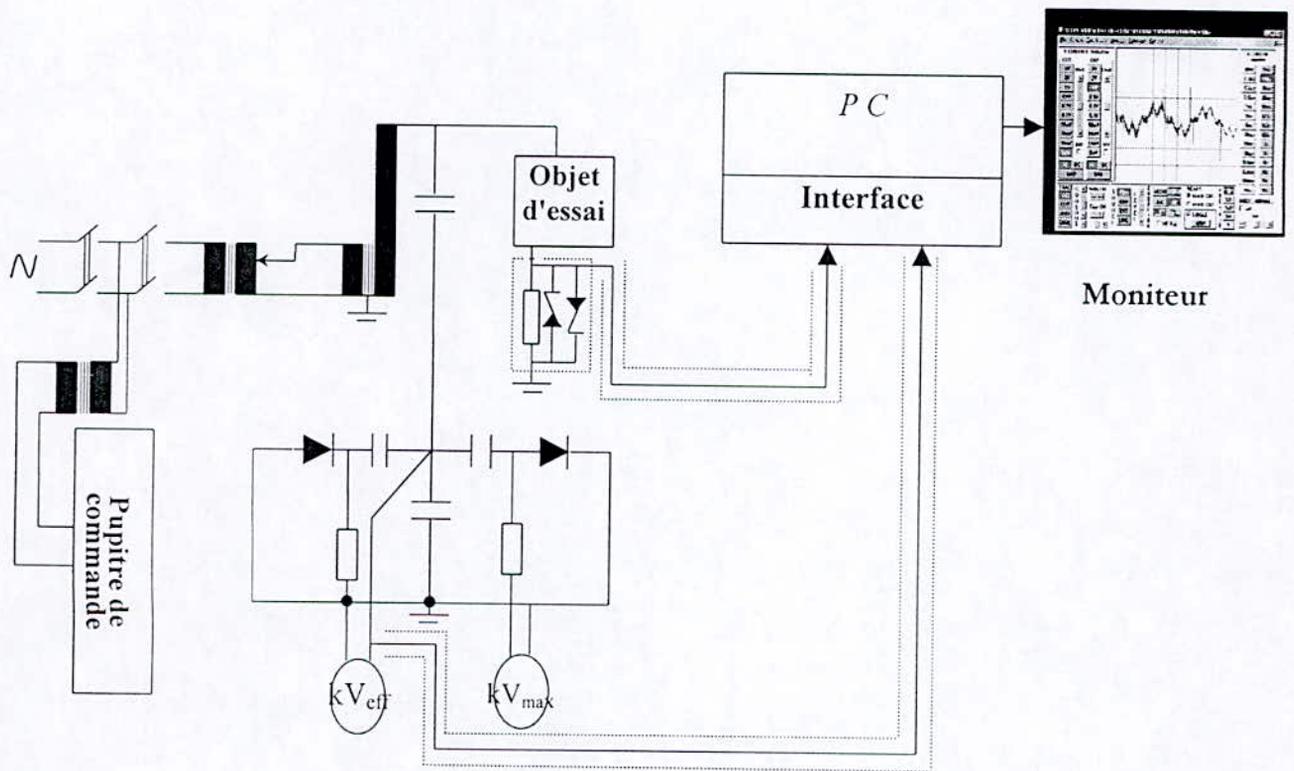


Fig.III.1. Circuit d'essais

1.1. Circuit d'alimentation

Le circuit d'essai est constitué d'une alimentation alternative à fréquence industrielle 50 Hz de marque HEAFLY comprenant :

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. Pupitre de commande.

1.2 Circuits de mesure

➤ Le circuit de mesure de courant de fuite constitué :

1. D'une résistance de $100\ \Omega$ dans une boîte métallique (en aluminium)
2. D'une interface dotée d'un logiciel (software). Les principales caractéristiques de cette interface sont :

- Nombre de canaux : 2
- Mode de tracu : CH1 ; CH2 ; DUAL ; INVERT ; ADD.
- Bande passante : DC jusqu'à 20MHz (-3dB).
- Résolution : 8 Bits (256 niveaux).
- Longueur d'enregistrement : 1024pts (10Bits)

3. D'un micro-ordinateur (PC)

➤ La tension de contournement est mesurée à l'aide d'un voltmètre de crête.

➤ La longueur d'arc est déterminée à l'aide d'une appareil numérique.

2. MODELE EXPERIMENTAL

Notre modèle représenté sur la figure III.2. (dimensions en mm) est simple et semblable à celui considéré notamment par A.MEKHALDI et al[27], 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. Cette plaque est munie de deux électrodes planes. L'une est circulaire mise à la haute tension et l'autre est rectangulaire mise à la terre. Ces électrodes sont réalisées avec du papier aluminium dont l'épaisseur est de $2\mu\text{m}$.

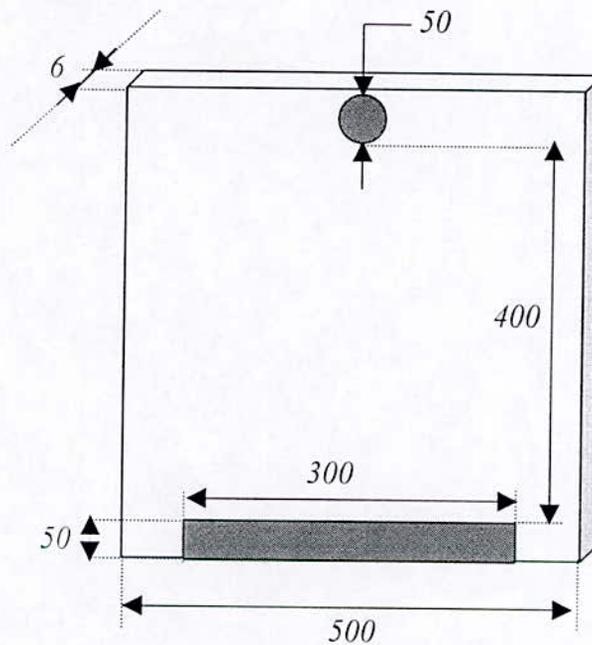


Fig.III.2. : Modèle expérimental

Lors des essais, nous avons adopté deux configurations de la pollution. Pour la première configuration, la plaque est entièrement recouverte par une eau de conductivité la plus élevée égale à $620\mu\text{S}$ (eau de robinet). Cette eau est attaquée, d'une part et d'autre, par une eau distillée de longueur équidistante ayant une conductivité beaucoup plus faible égale à $42\mu\text{S}$ [Fig.III.2.].

Les longueurs globales de la couche de pollution de faible conductivité considérée sont : 0 , 12.5 , 20 , 33.33 , 50 , 66.66 , 80 , 87.5 , 100% de la ligne de fuite totale du modèle. Concernant la deuxième configuration, nous reprenons les mêmes essais en commençant cette fois-ci par une plaque totalement recouverte par une pollution réalisée à l'aide de la pulvérisation de l'eau distillée. Cette répartition sera attaquée des deux côtés et avec les mêmes pourcentages par l'eau de robinet.

2.1 Préparation du modèle

Avant chaque série d'essais, la plaque isolante est bien nettoyée, puis imbibée de gaz oil dans les endroits d'emplacement des électrodes en papier aluminium. Cette opération doit être faite de manière à ce qu'aucun espace d'air ne reste entre la plaque et les électrodes. Par la suite, nous essayons la surface isolante avec du coton imbibé d'alcool isopropylique pour éliminer toute trace de gaz oil.

Le modèle est disposé horizontalement sur trois colonnes isolantes, elles-mêmes posées sur un support en bois. Le modèle se trouve ainsi placé à environ un mètre du sol, et à une distance suffisamment grande du transformateur d'essai (1.5 m environ) [21]. Avec un fil bien tendu, de manière à éviter tout phénomène de parasite dû au sol et aux bobinages du transformateur. Ces dispositions sont prises afin de respecter une distance d'au moins 1.5 fois le plus court trajet possible de contournement [31].

2.2. Procédé d'application et de répartition de la couche de la pollution

Pour normaliser notre méthode d'essais et pour assurer la même densité superficielle de la couche polluante, nous avons gardé, durant tous les essais, même méthodes de pulvérisation (même nombre de pulvérisation de chaque coté de la plaque, même distance, même angle d'inclinaison et même pulvérisateur). Avant chaque pulvérisation, nous avons mélangé bien la solution pour éviter la précipitation du sel.

La plaque isolante est polluée de façon à obtenir trois couches de pollution, deux couches de même conductivités au deux cotés et la troisième avec une conductivité différente au milieu. Ainsi, nous associons à chaque couche de pollution une largeur donnée [Fig. III.3.1].

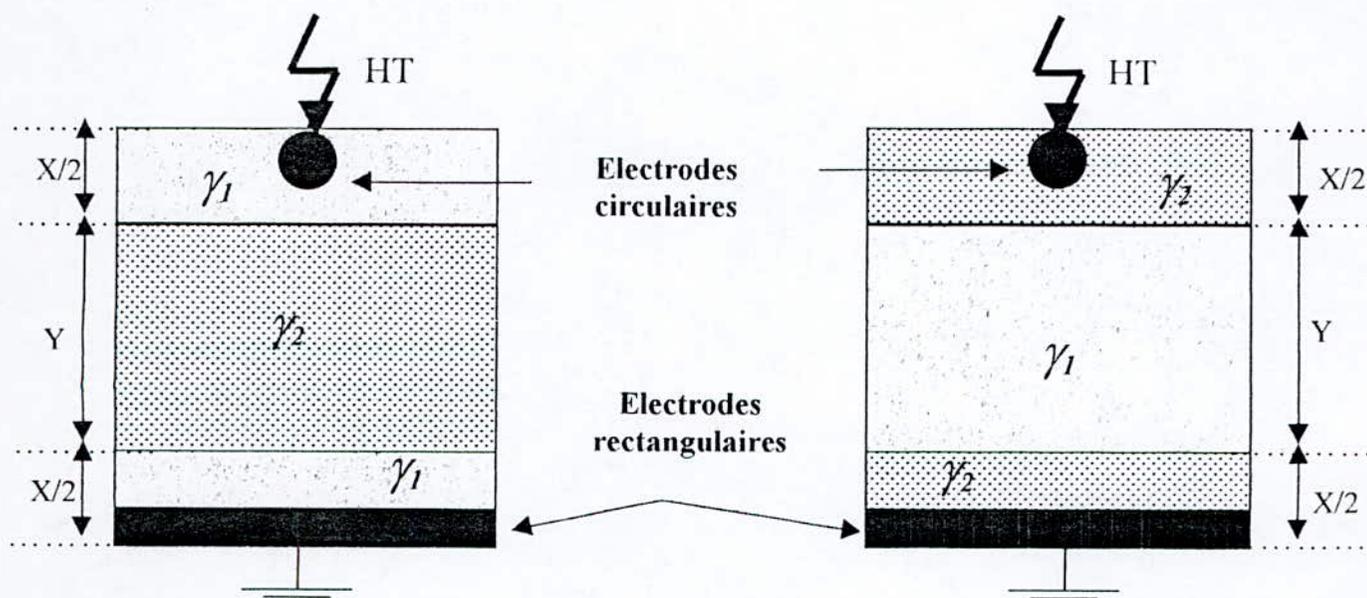


Fig.III.3.1.a : première configuration

Fig.III.3.1.b : deuxième configuration

avec : γ_1 : conductivité de l'eau distillée.
 γ_2 : conductivité de l'eau de robinet.

Fig.III.3.1 : Modes d'application de la couche polluante

La couche de pollution non uniforme est obtenue par pulvérisation des eaux distillée et de robinet sur les zones considérées. Cette pulvérisation est effectuée avec soin de manière à recouvrir toute la distance inter-électrodes de la surface isolante.

Lors de la pulvérisation sur la partie centrale, deux plaques sont placées horizontalement dans les deux cotés et au-dessus de la plaque isolante [Fig. III.3.2.a].

En ce qui concerne la pulvérisation des deux autres cotés, une plaque est placée au-dessus de la plaque isolante de manière à éviter l'interférence entre les zones à conductivités différentes. [Fig. III.3.2.b].

En effet, nous avons procédé à la pulvérisation de manière à éviter l'interférence entre les couches de pollution de conductivités différentes et à éviter une éventuelle construction d'une couche sèche (propre) entre les deux zones de pollution. Ainsi, nous obtenons la répartition value présentée sur la Figure III.3.2.d.

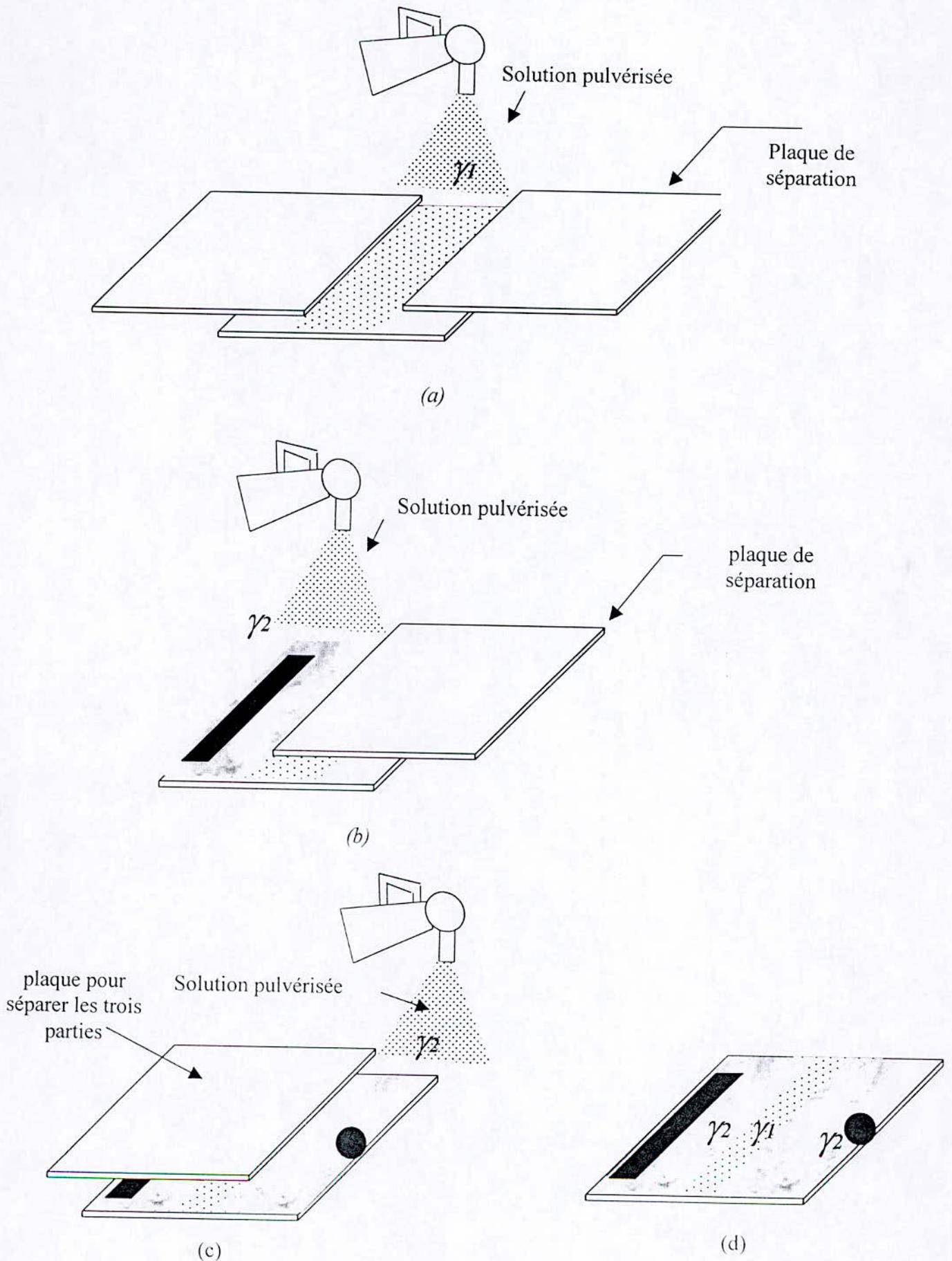


Fig. III.3.2 : Procédé d'application de la pollution

3. PROCEDE D'ESSAIS

Le comportement du modèle de laboratoire est étudié en analysant l'évolution du courant de fuite ainsi que la tension de contournement

3.1. Tension de contournement

La mesure de la tension de contournement a été effectuée pour chaque répartition de la pollution. Au moins cinq mesures ont été relevées à l'aide d'un voltmètre de crête [20].

Leur moyenne arithmétique est désignée pour représenter la tension de contournement moyenne.

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

3.2. Courant de fuite

Le courant de fuite est déduit de la tension aux bornes d'une résistance non inductive 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). Cette boîte métallique nous permet d'éviter l'influence des parasites sur le signal capté. L'onde du courant est visualisée et reportée à l'aide d'un câble coaxial bien tendu, sur une interface analogique/digitale (canal 1), connecté en série avec un ordinateur PC, forment ainsi un oscilloscope numérique. Cette interface échantillonne le signal analogique ainsi, capté et le transforme en données numériques puis les envoie instantanément vers l'ordinateur à travers un câble parallèle.

Pour une configuration donnée de la pollution, une série de mesures est effectuée en faisant varier la tension de 5 à 35 kV avec un pas de 5 kV. La dernière valeur étant loin de celle de contournement afin d'éviter la répercussion des incidents engendrés par le contournement sur l'oscilloscope numérique (interface + PC.) Pour chaque niveau de tension, le signal est mémorisé sur le disque dur de l'ordinateur PC.

3.3. longueur d'arc

La mesure de longueur de l'arc électrique se développant sur la surface isolante polluée est effectuée à l'aide d'un appareil photographique numérique. Ce dernier permet d'enregistrer des séquences vidéo de 15 secondes. Pour les deux configurations considérées, la tension d'essais est augmentée de zéro jusqu'à celle de contournement par paliers de 10 kV.

CHAPITRE IV

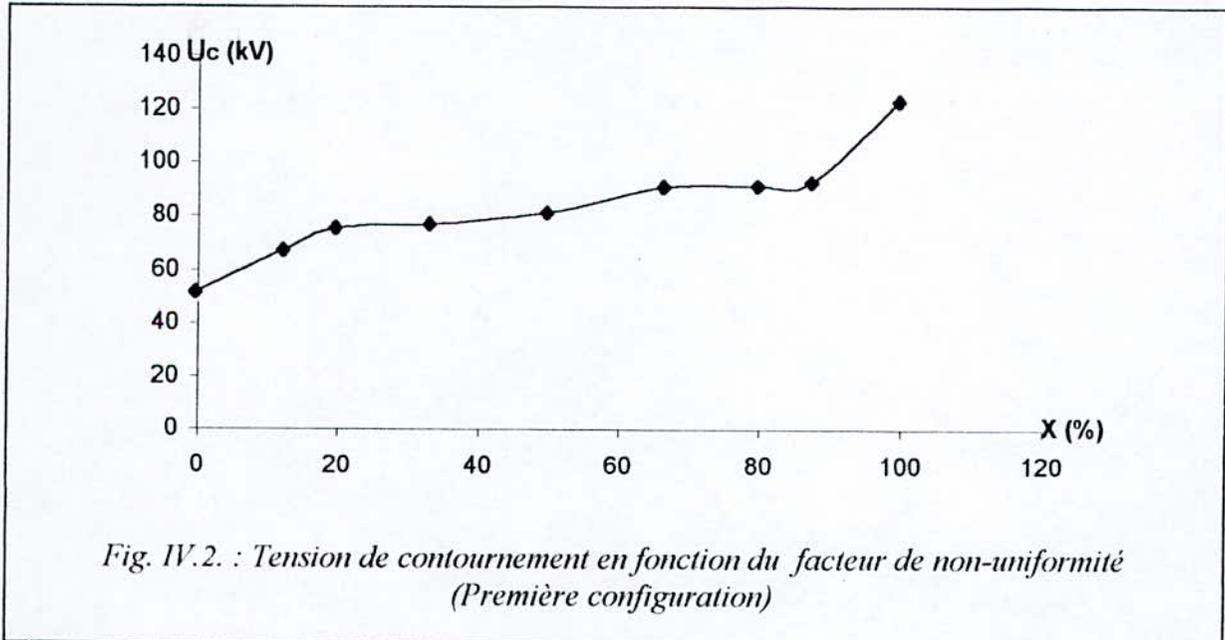
INTERPRETATION DES RESULTATS

Les arcs électriques à travers les bandes sèches provoquent une augmentation du courant de fuite. L'amplitude de ce courant est considérée comme étant une indication importante pour la qualité de l'isolation. Sachant qu'il existe une valeur maximale du courant de fuite à partir de laquelle le contournement est inévitable. Dans cette section, nous définissons un facteur de non-uniformité $X\%$ comme étant le rapport de la largeur (au total pourcentage) de la couche de pollution du modèle de laboratoire coté électrodes sur la ligne de fuite totale.

Les résultats expérimentaux concernent la valeur de crête du courant de fuite ainsi que la tension de contournement.

1. TENSION DE CONTOURNEMENT

Nous commençons par relever la tension de contournement pour une plaque humidifiée complètement par l'eau de robinet (configuration 1). Nous relevons par la suite les différentes tensions de contournement en attaquant par bond la configuration précédente, de part et d'autre par l'eau à conductivité faible (eau distillée), jusqu'à ce que cette dernière recouvre toute la surface isolante. Les résultats ainsi obtenus sont présentés sur la figure IV.1.



Par une méthode analogue, nous avons tracé pour la deuxième configuration l'évolution de la tension de contournement en fonction du facteur de non-uniformité [Fig IV.2.].

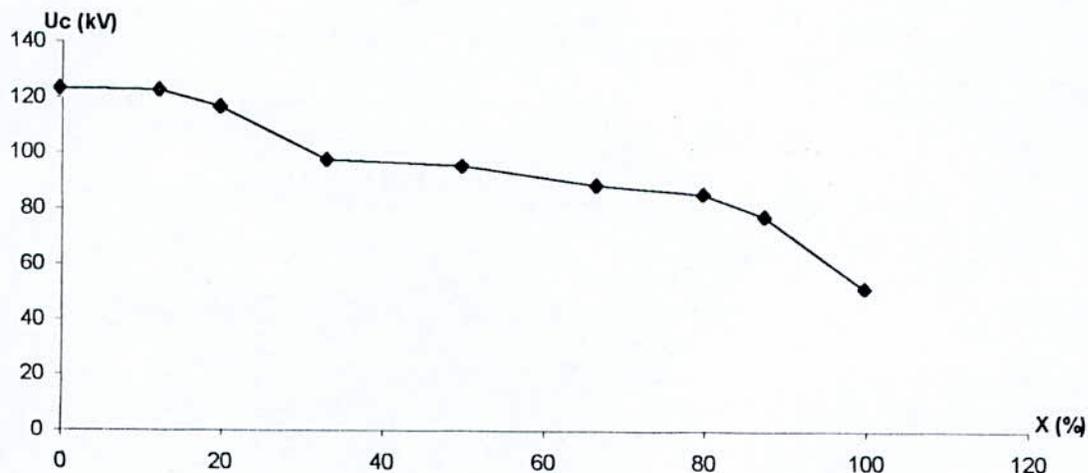


Fig. IV.1. : Tension de contournement en fonction du facteur de non-uniformité (Deuxième configuration)

Selon les deux courbes précédentes, nous observons une nette augmentation (respectivement diminution) de la tension de contournement en fonction du facteur de non-uniformité pour la première configuration (respectivement pour la deuxième configuration).

Ce résultat est prévisible puisque la conductivité de l'eau de robinet ($\gamma_2 = 620 \mu\text{s}$) est beaucoup plus grande que celle de l'eau distillée ($\gamma_1 = 42 \mu\text{s}$). Nous remarquons également que les arcs partiels, court-circuitant les zones polluées (contaminées) de l'eau de robinet restent à la limite de la couche de l'eau distillée, donc cette dernière joue le rôle d'une barrière isolante.

Par contre, pour la deuxième configuration, l'apparition des arcs partiels s'effectue dans les zones à conductivité faible (eau distillée). D'après T.Keller-Jacobsen [10] cette dernière configuration est plus proche de la réalité (car une partie importante de la tension appliquée se trouve reportée sur les bandes de conductivité faible) du moment que la concentration de la pollution augmente de la zone périphérique vers la zone centrale.

2. DECHARGE ELECTRIQUE

2.1. Forme de l'arc électrique

La forme de l'arc est déterminée à l'aide d'un appareil numérique, Possédant un lecteur de disquette, il permet d'enregistrer des séquences vidéo de 15 secondes sur une seule disquette. Pour une plaque recouverte par l'eau de robinet, l'arc prend naissance autour de l'électrode circulaire (électrode de HT) (Photo 01).

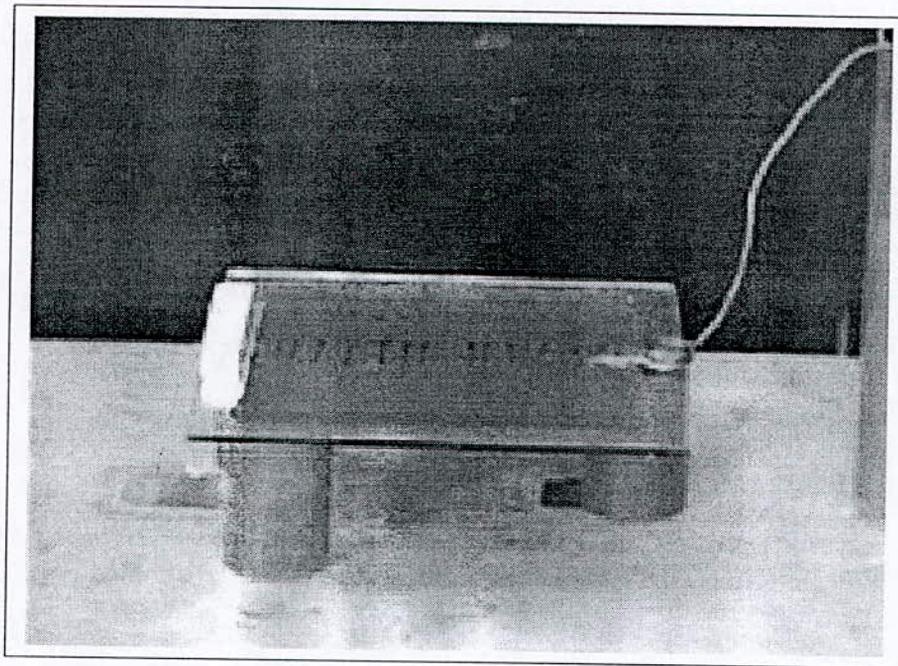


Photo 1. Initiation d'arc au coté HT (U=15kV)

En augmentant la tension, la longueur de ces arcs s'allonge sur toute la périphérie de la même électrode. En outre, nous remarquons l'apparition d'arcs sur l'autre électrode (électrode rectangulaire) dont la longueur augmente avec le niveau de tension appliquée. (Photo 02.).

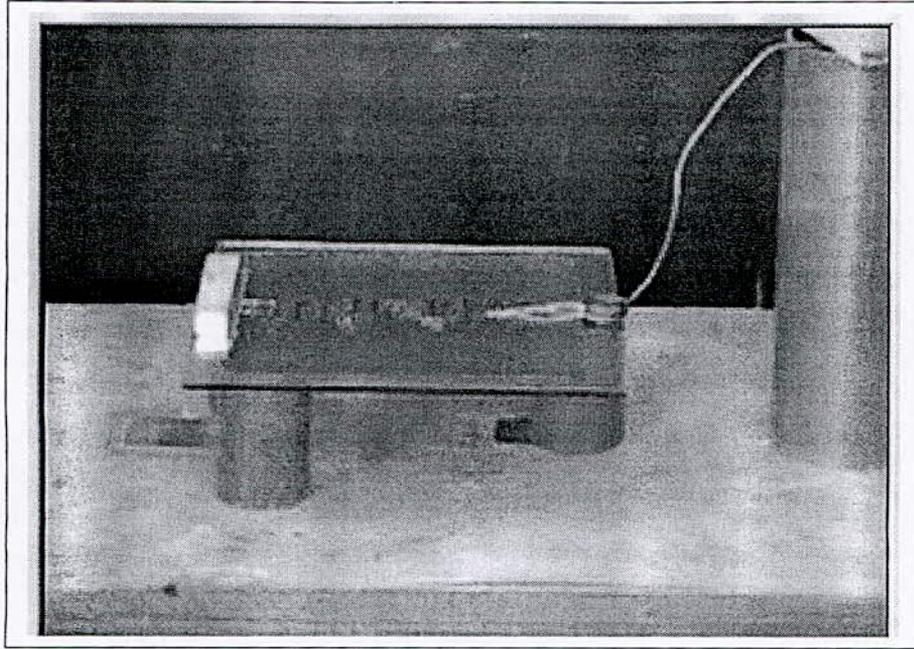


Photo 2. Développement d'arc ($U = 46 \text{ kV}$)

Si les arcs dépassent une certaine longueur, un contournement brutale se produit suivant un chemin, qui n'est pas toujours le plus court (Photo 03.).

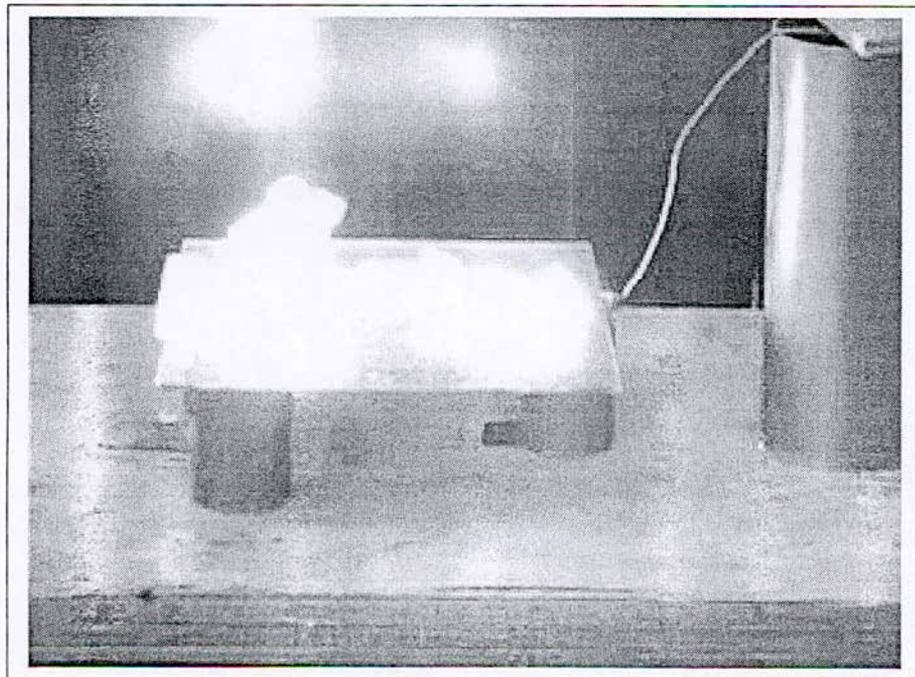
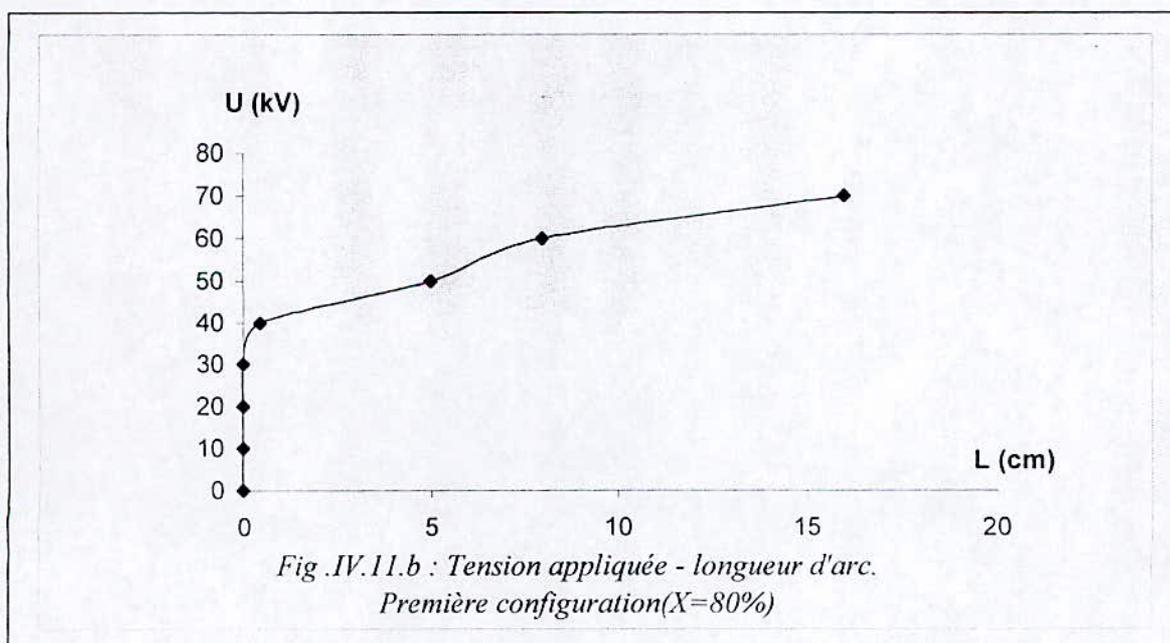
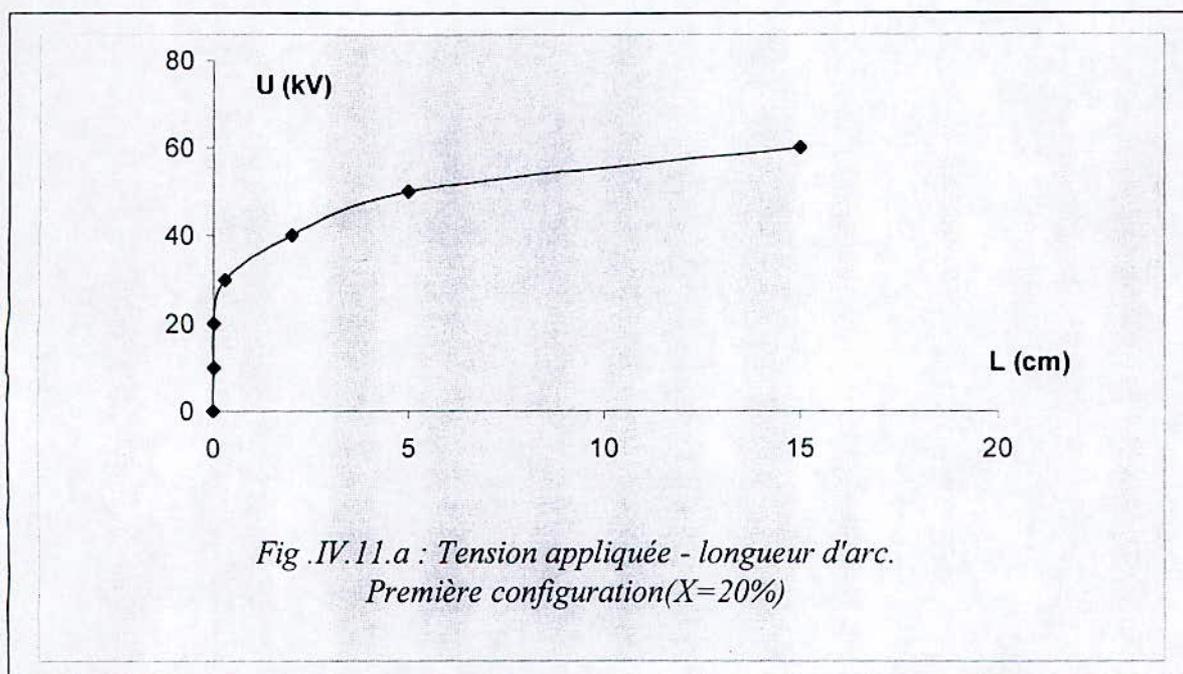
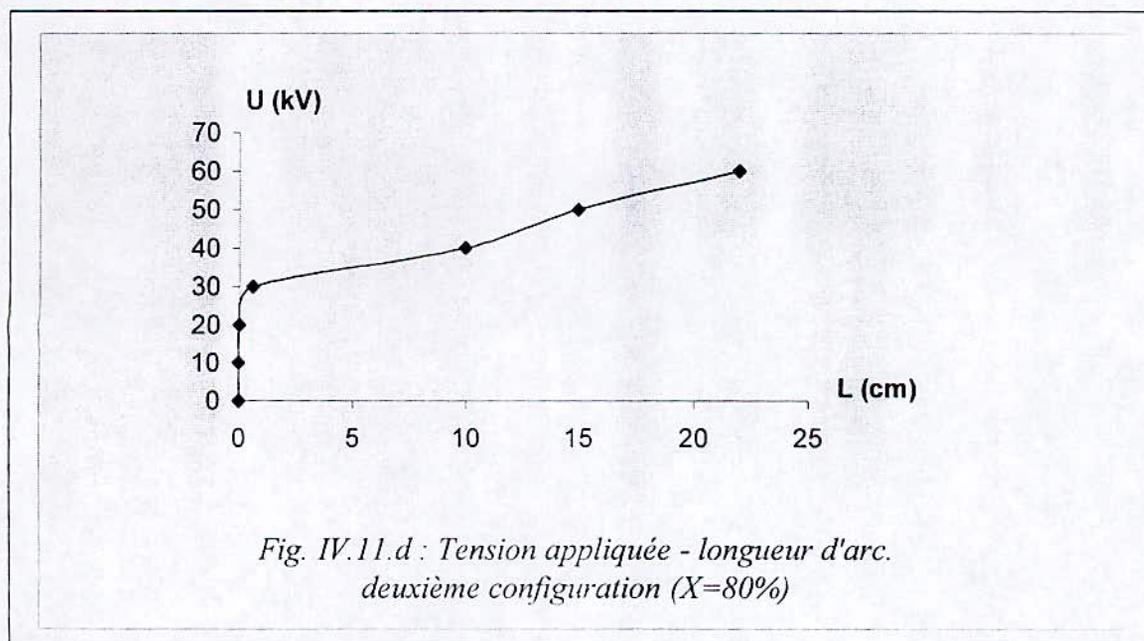
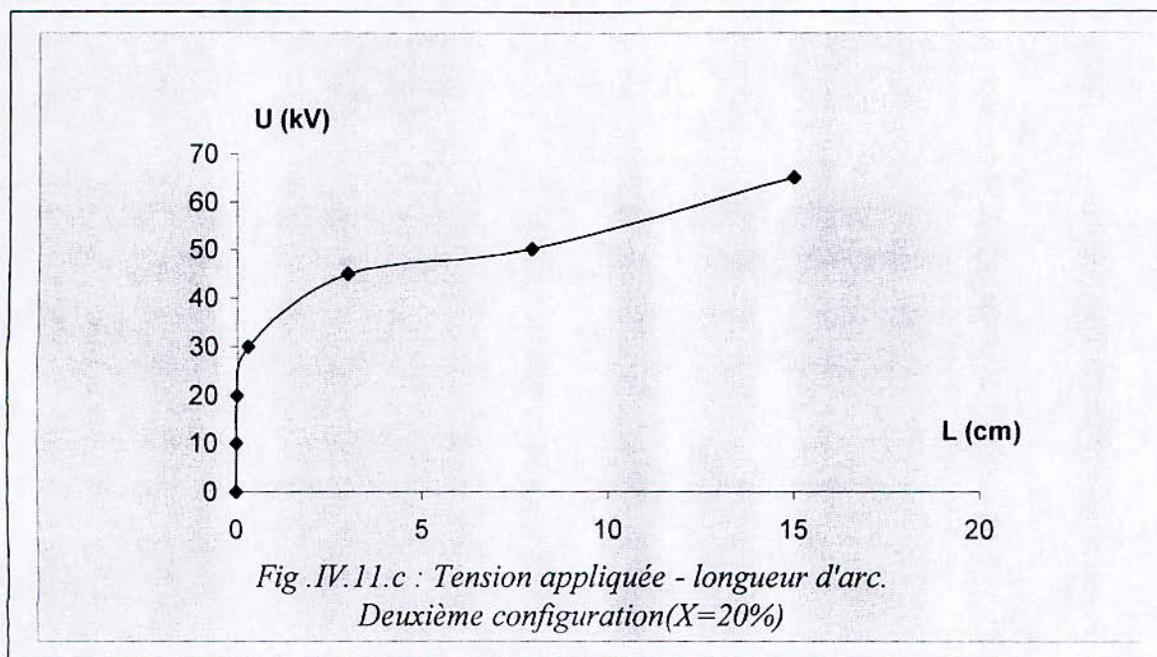


Photo 3. Contournement total ($U = 51 \text{ kV}$)

2.2 Longueur d'arc





Les figures IV.11 (a, b, c, et d) illustrent la variation de la longueur d'arc en fonction de la tension appliquée pour les deux configurations de la pollution et pour deux valeurs du facteur de non-uniformité ($X=20\%$, et $X=80\%$). Notons que la longueur totale de la décharge électrique représente la somme des longueurs partielles des arcs.

Nous observons une augmentation régulière, de la longueur d'arc en fonction de la tension appliquée. Ce résultat était prévisible puisque lorsque l'assèchement est important, la tension reportée sur la zone sèche doit être suffisamment élevée pour provoquer le court-circuit de cette dernière. Nous constatons la même allure pour les deux configurations.

Nous observons également que pour même niveau de tension appliqué, la deuxième configuration présente des longueurs d'arc plus grandes. Les deux caractéristiques précédentes représentent l'évolution des décharges électriques dans la phase stable.

Le dernier niveau de tension représente la valeur critique au-delà de laquelle, l'arc se développera en provoquant le contournement total. En effet, la longueur critique de l'arc électrique pour $X=80\%$ est égale à 15cm (soit 37,5% de la longueur de fuite total) pour la première configuration et 22cm pour la deuxième configuration (soit 55 % de la longueur de fuite total).

Pour un facteur de non-uniformité constant et inférieur à la valeur critique ($X=60\%$), la tension disruptive pour la première configuration est inférieure à celle de la deuxième configuration. Par contre pour $X>60\%$ la tension disruptive pour la première configuration est supérieure à celle de la deuxième.

3. COURANT DE FUITE

La pollution engendre la circulation d'un courant de fuite dépendant de la nature, de la densité et surtout de l'humidification de cette pollution.

3.1. Évolution de la forme de courant de fuite

En augmentant graduellement la tension d'alimentation, l'évolution du signal du courant de fuite s'effectue à travers cinq étapes.

Etape 1

La forme du courant de fuite pour les faibles niveaux de tension ($U \leq 10 \text{ kV}$), est une sinusoïde plus ou moins déformée. [Fig. IV.3.] :

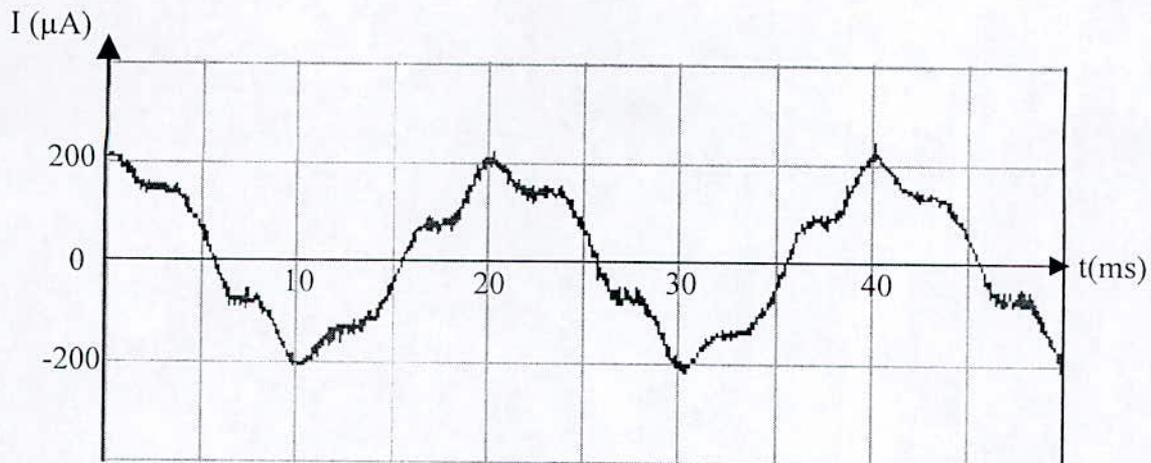


Fig. IV.3. : Forme du courant de fuite pour $U = 10 \text{ kV}$

Etape 2

La distorsion du signal du courant et l'apparition des pics de faible amplitude et de courte durée, sont dus au phénomène d'effet de couronne. En général, ces pics apparaissent d'abord durant l'alternance négative du signal [Fig. IV.4.].

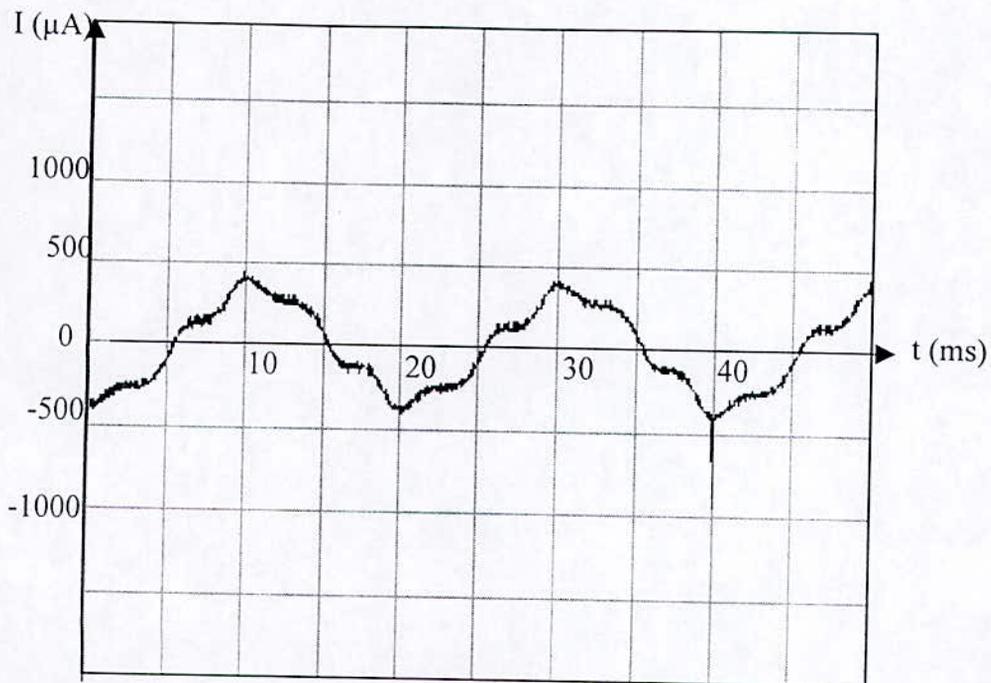


Fig. IV.4. : Apparition de la première pic sur l'alternance négative ($U=20 \text{ kV}$)

Etape 3

Nous observons l'apparition d'arcs partiels. Ces arcs donnent naissance à des pics (impulsions) importantes accompagnant le signal du courant de fuite. En augmentant la tension d'avantage, d'autres pics de courte durée et d'amplitude plus élevée apparaissent. Ces amplitudes sont proportionnelles à la tension appliquée [fig. IV.5.].

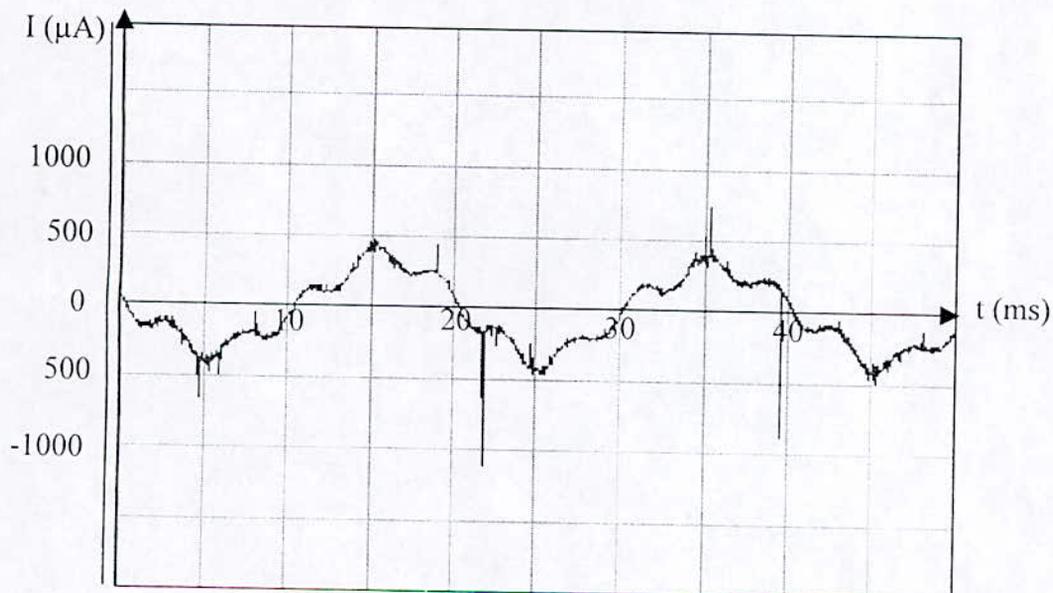


Fig. IV.5. : Augmentation du nombre des pics. $U=25 \text{ kV}$

Etape 4

Pour des niveaux de tensions relativement élevés, les amplitudes des impulsions deviennent excessives. En outre, le nombre d'impulsions ainsi que la déformation augmente avec la tension appliquée. Généralement, les impulsions précèdent la phase de contournement de la surface isolante [Fig. IV.6.].

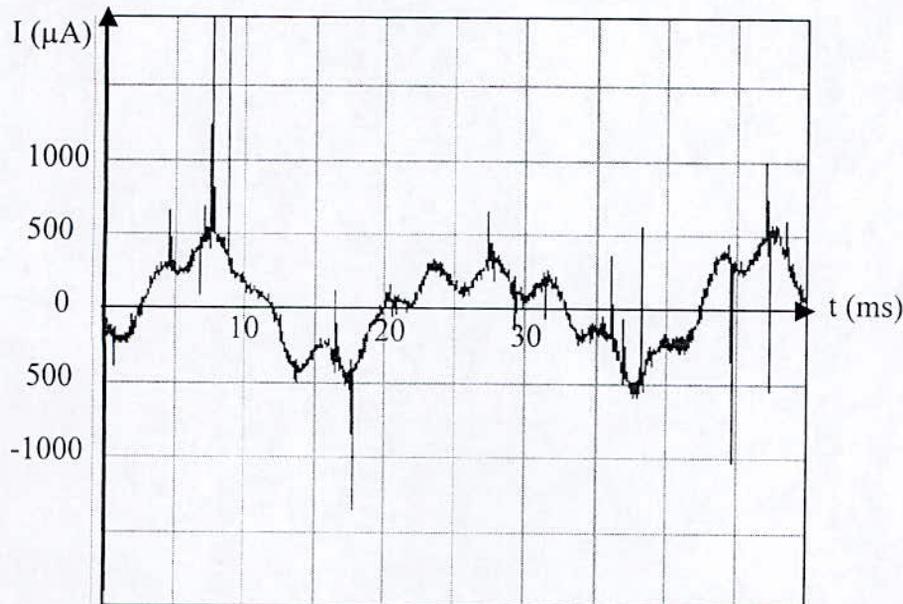
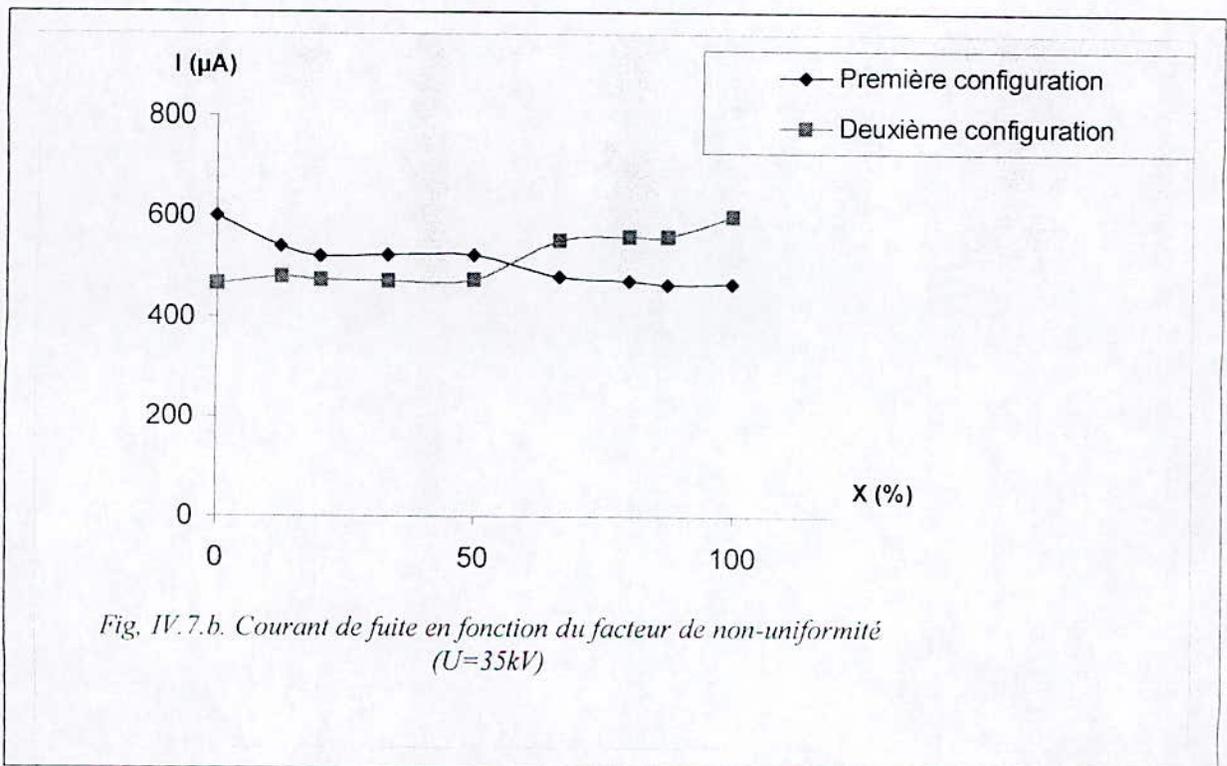
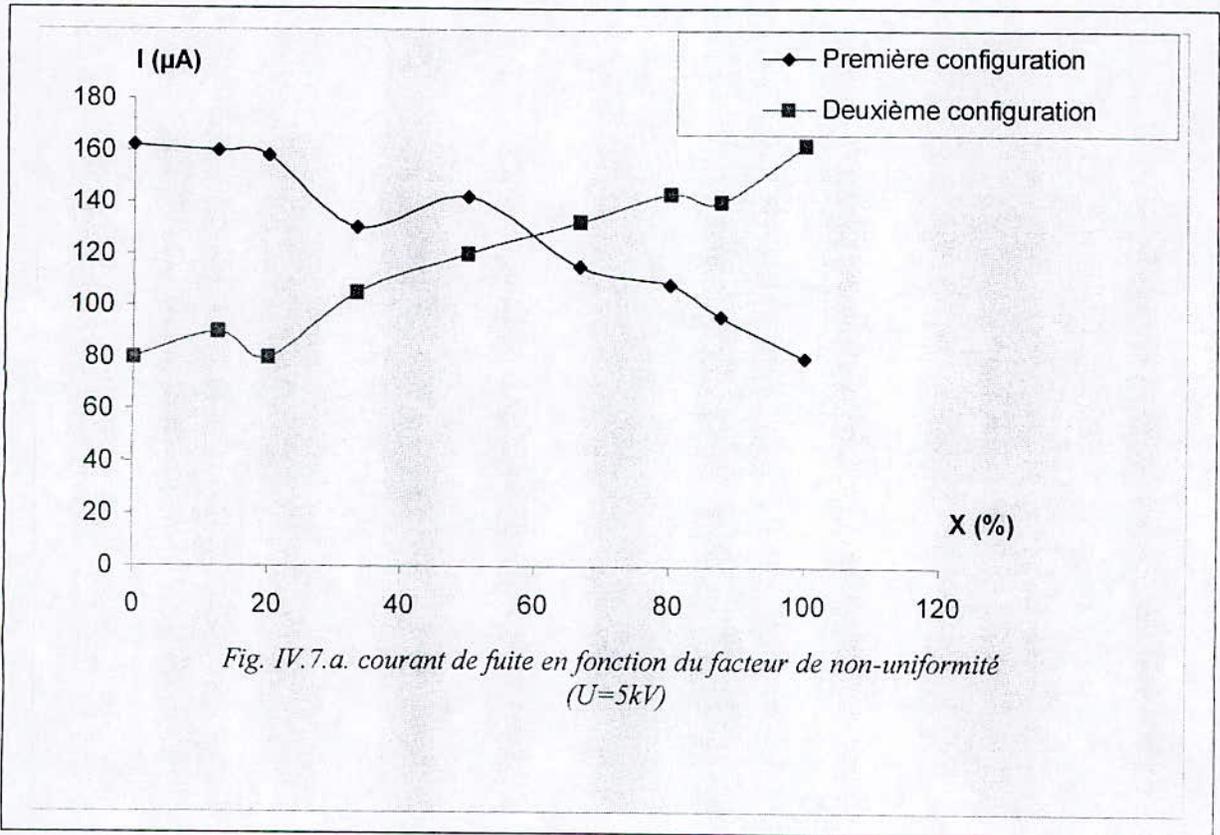


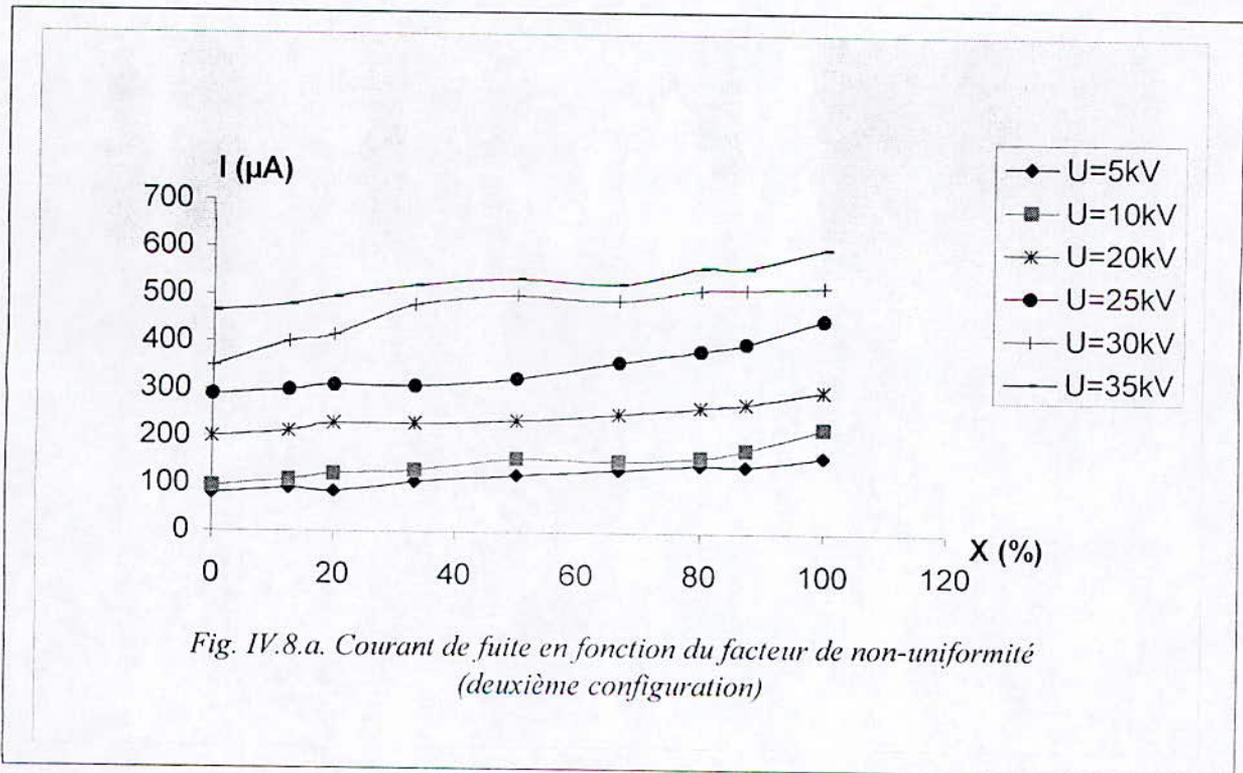
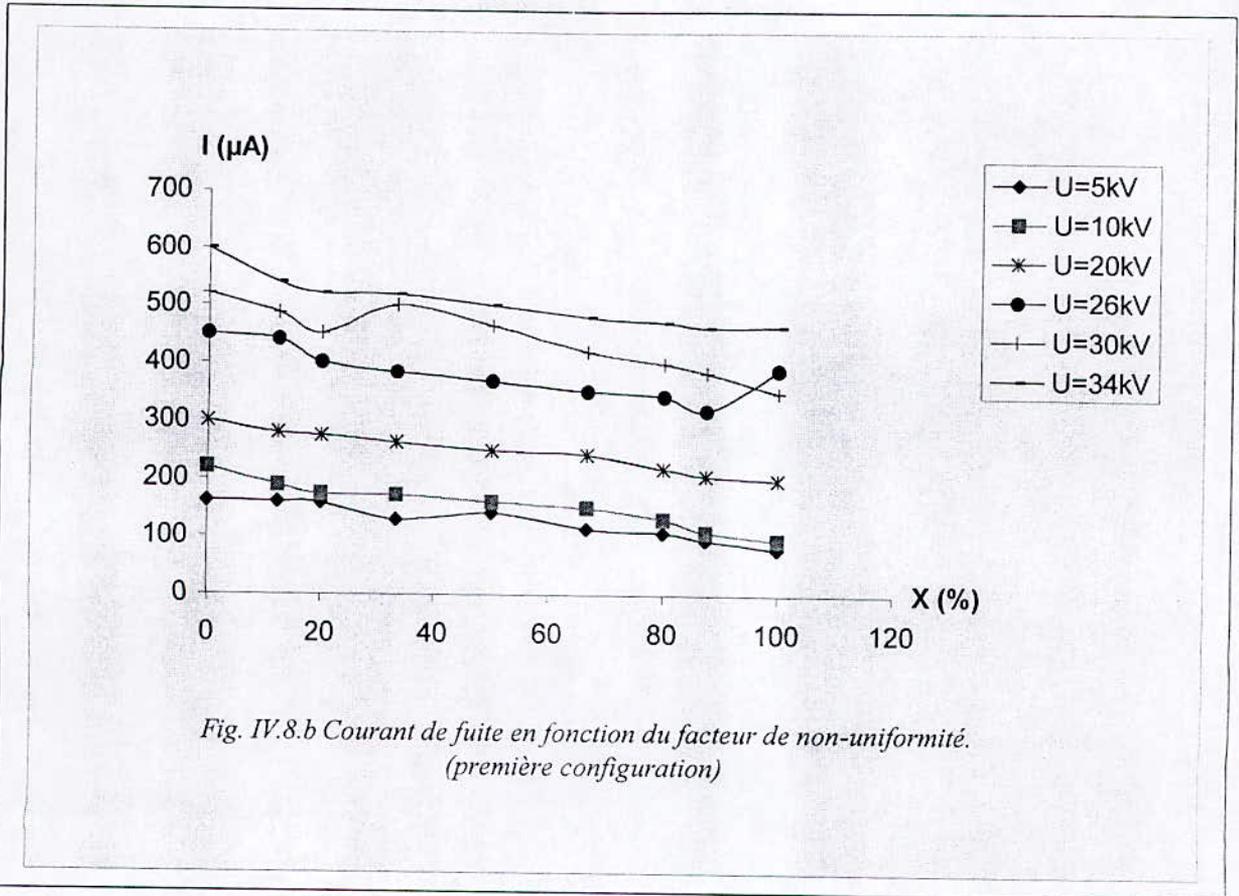
Fig. IV.6. :Signal du courant de fuite enregistré pour $U=35kV$

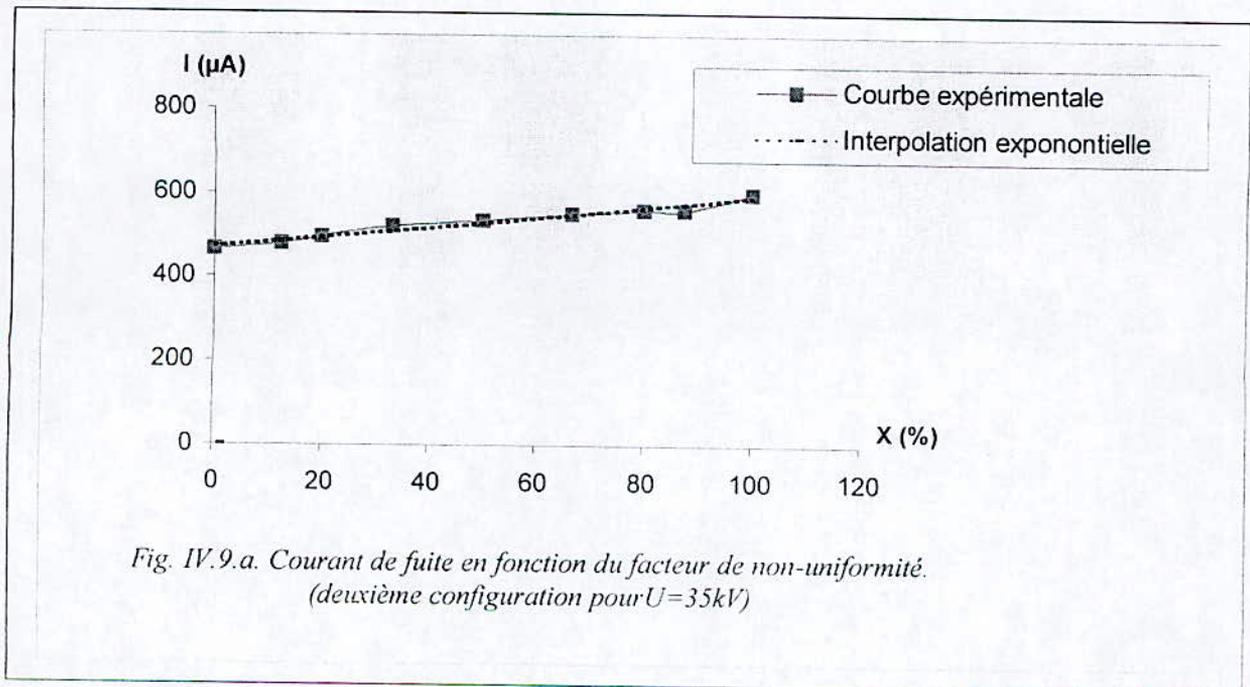
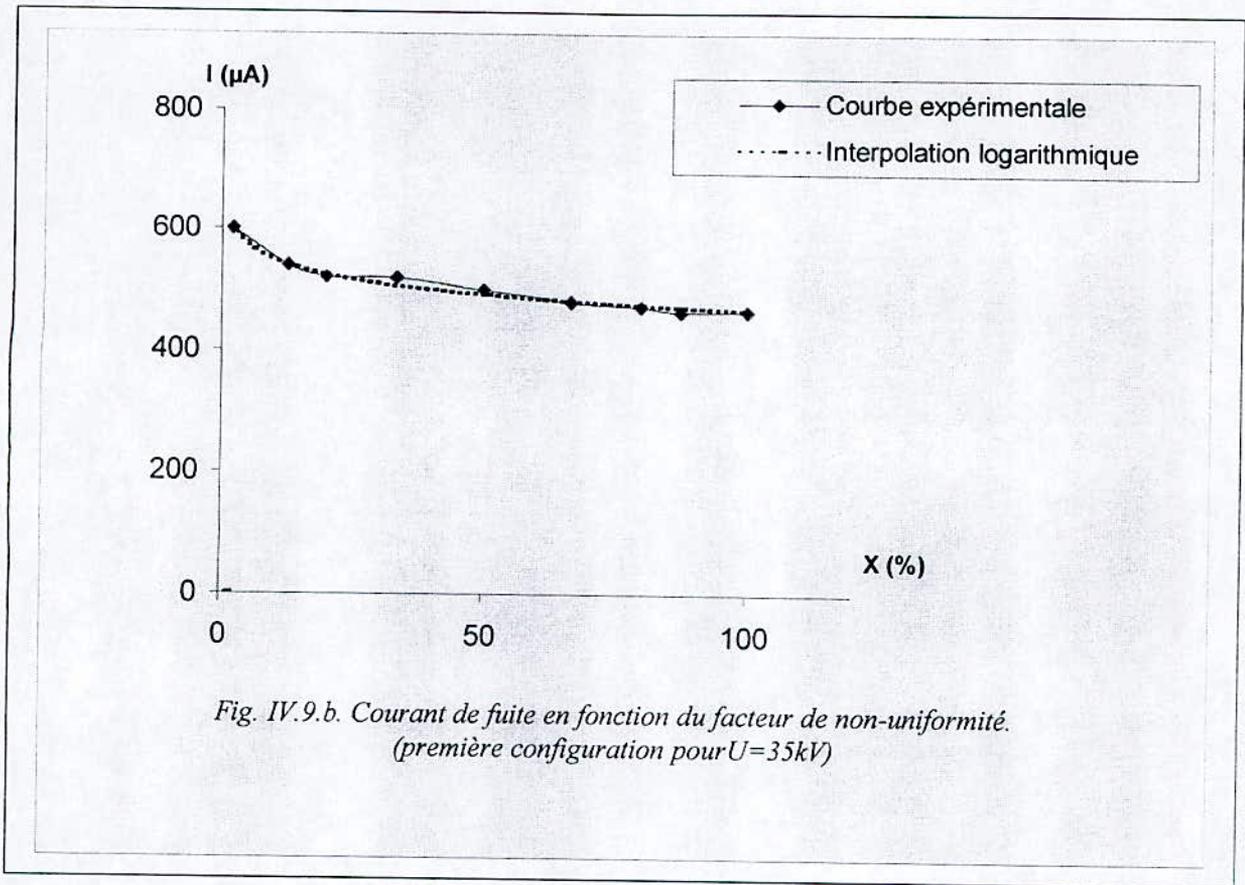
Etape 5

Le nombre et l'amplitude des pics augmentent avec la tension d'essais. Le courant de fuite cesse d'être périodique pour n'être plus constitué que d'impulsions de niveau variable. Si ce courant dépasse certain seuil dit « courant critique », un contournement se produit.

3.2. Courant de fuite en fonction du facteur de non-uniformité



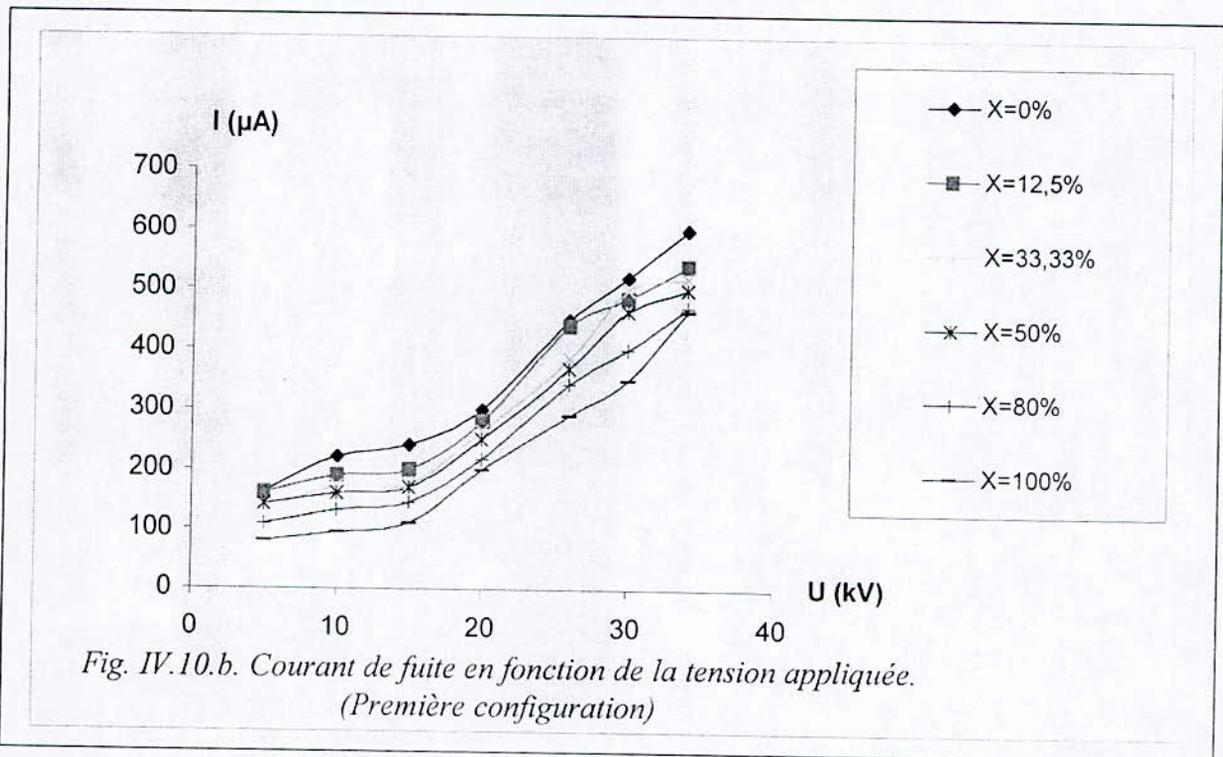


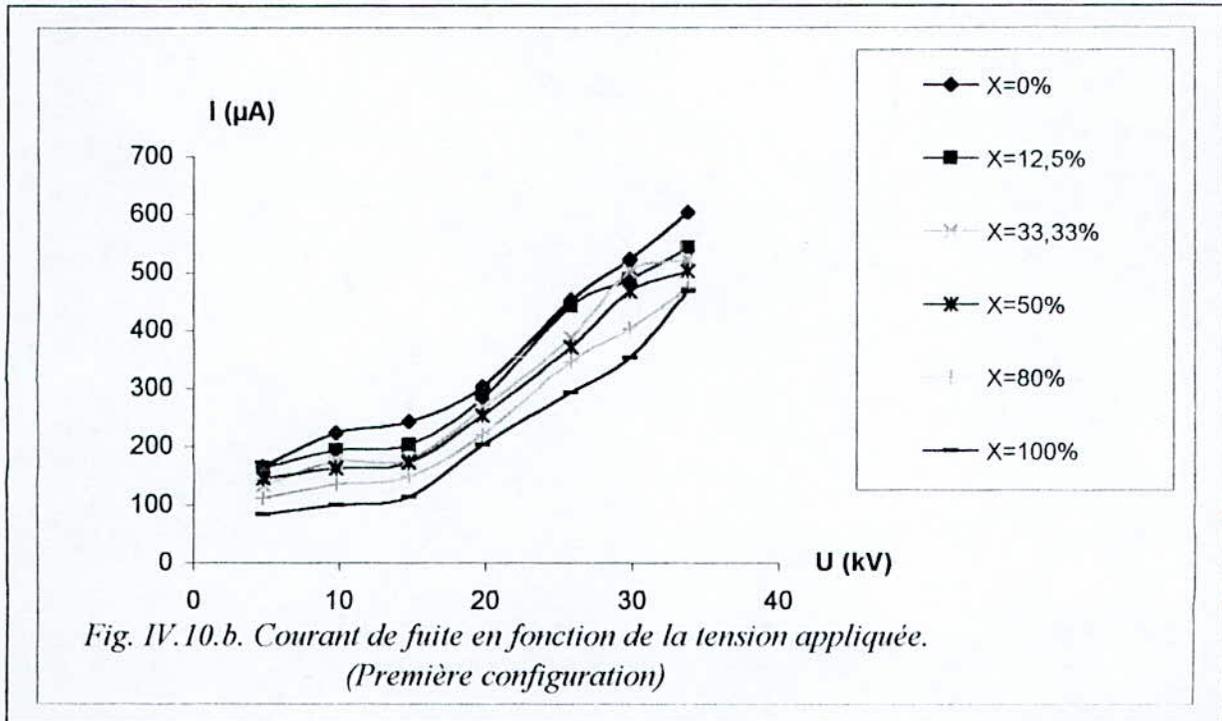


Pour la première configuration et pour un même niveau de tension appliqué, le courant de fuite diminue avec l'augmentation du facteur de non-uniformité soit (la largeur de l'eau distillée)[Fig.IV.8.b.]. Par contre, concernant la deuxième configuration et pour une tension donnée, nous constatons que le courant de fuite augmente avec le facteur de non-uniformité [Fig.IV.8.a.].

Pour une même tension appliquée, les deux courbes possèdent un point d'intersection pour un facteur de non-uniformité aux environs de $X=60\%$. Par conséquent, en ce point les deux modèles sont équivalents [Fig. IV.7.(a. et b.)].

3.3.Courant de fuite en fonction de la tension appliquée :





Les caractéristiques donnant la tension appliquée en fonction de courant de fuite montrent que, quelle que soit la configuration de la pollution et pour un même facteur de non-uniformité, le courant de fuite augmente avec la tension appliquée [Fig. IV.10.].

4. Expression empirique du courant de fuite

En se basant sur les caractéristiques expérimentales, nous pouvons déduire pour chaque configurations de la pollution, une expression empirique donnant la variation de courant de fuite en fonction de la tension appliquée, la conductivité de la couche de pollution, et le facteur de non-uniformité (voir Annexe 1).

En effet, pour la première configuration :

$$I = [(0,00001\gamma_2 - 0,375) Y + (-0,00001\gamma_1 + 0,375) X - 0,00175\gamma_1 - 0,0035\gamma_2 + 88] \exp(0,050U)$$

et pour la deuxième configuration

$$I = [(0,00001\gamma_1 - 0,375) Y + (-0,00001\gamma_2 + 0,375) X - 0,00175\gamma_2 - 0,0035\gamma_1 + 88] \exp(0,050U).$$

Sachant que:

La conductivité (γ) est exprimée en [μS], la tension appliquée (U) en [kV], facteur de non-uniforme (X et Y) en [%], tel que $X+Y=10$, le courant de fuite (I) en [μA].

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous a permis de mieux comprendre l'impact de la non-uniformité de la pollution sur le mécanisme des isolateurs de haute tension.

Dans la partie théorique, nous nous sommes intéressés aussi bien aux phénomènes de pollution des isolateurs qu'à la présentation des différentes études et travaux ayant mis l'accent sur le comportement des isolateurs sous pollution non-uniforme.

A la lumière des résultats obtenus dans la partie expérimentale, les principales conclusions sur lesquelles porte ce travail, sont les suivantes:

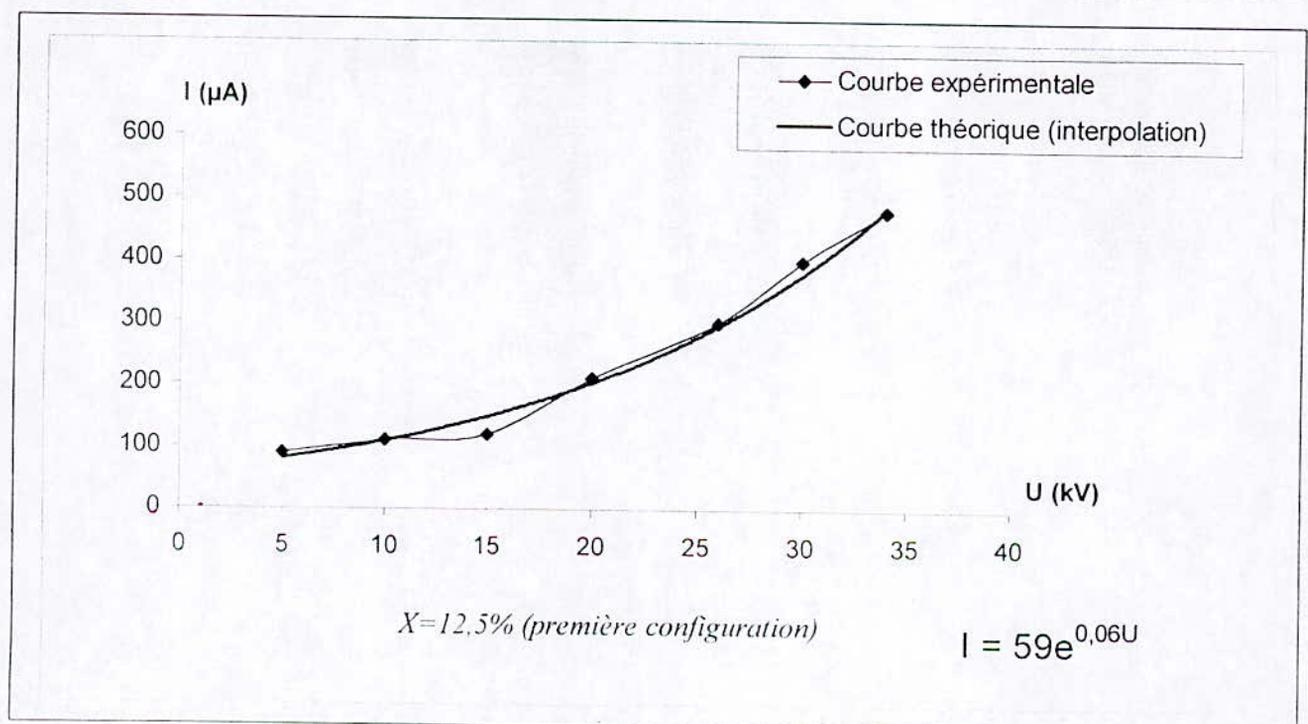
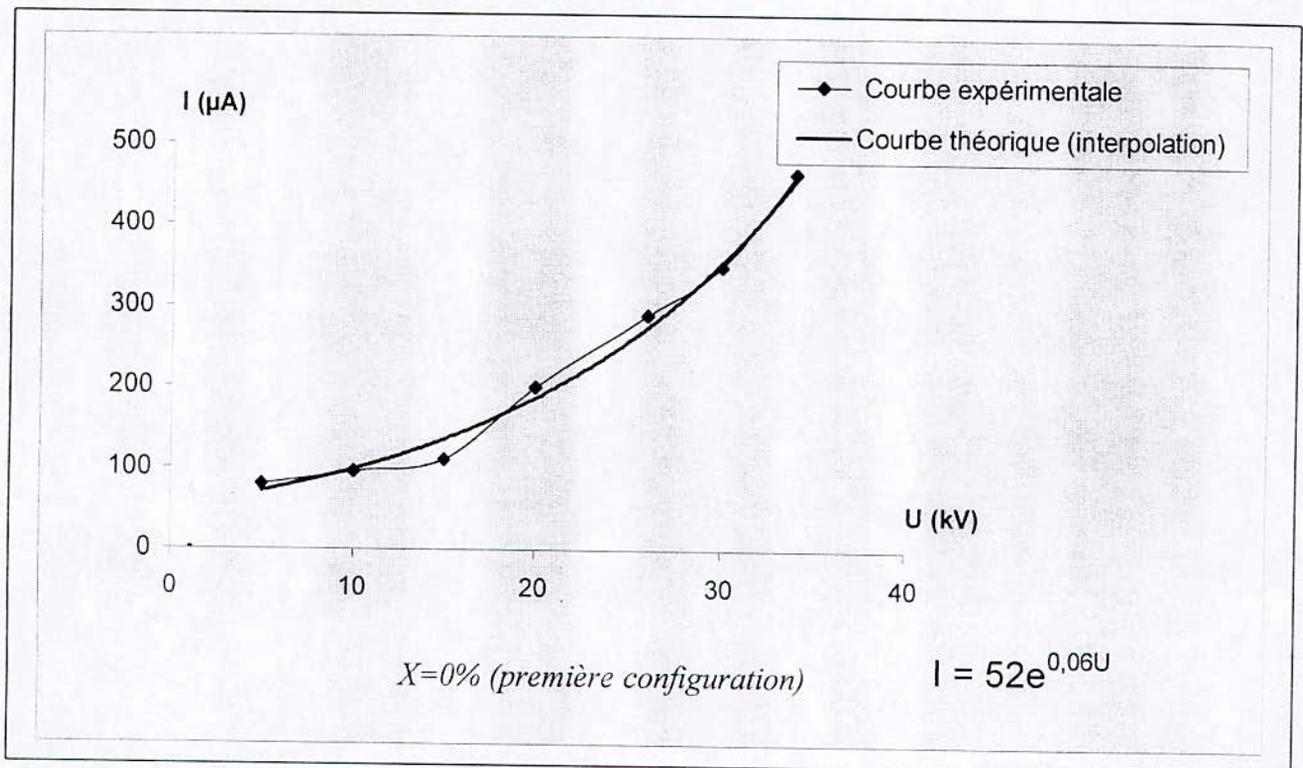
- La première configuration est plus rigide que la deuxième configuration.
- En l'absence de décharges électriques, le courant de fuite est pratiquement sinusoïdal. L'apparition de ces décharges électriques contribue fortement à générer des impulsions d'amplitudes excessives ainsi qu'à la déformation de l'onde du courant de fuite. Le nombre et l'amplitude de ces impulsions augmentent avec la tension d'alimentation. Le régime critique est caractérisé par un courant de fuite de type impulsionnel.
- La tension de contournement est imposée par le secteur le plus pollué.
- La deuxième configuration est la plus proche de la réalité, car la concentration de la pollution croît de la zone périphérique vers la zone centrale.
- Le courant de fuite augmente avec la largeur de la couche correspondant à la conductivité élevée et/ou la tension d'essais.
- La longueur d'arc électrique augmente avec la tension appliquée.

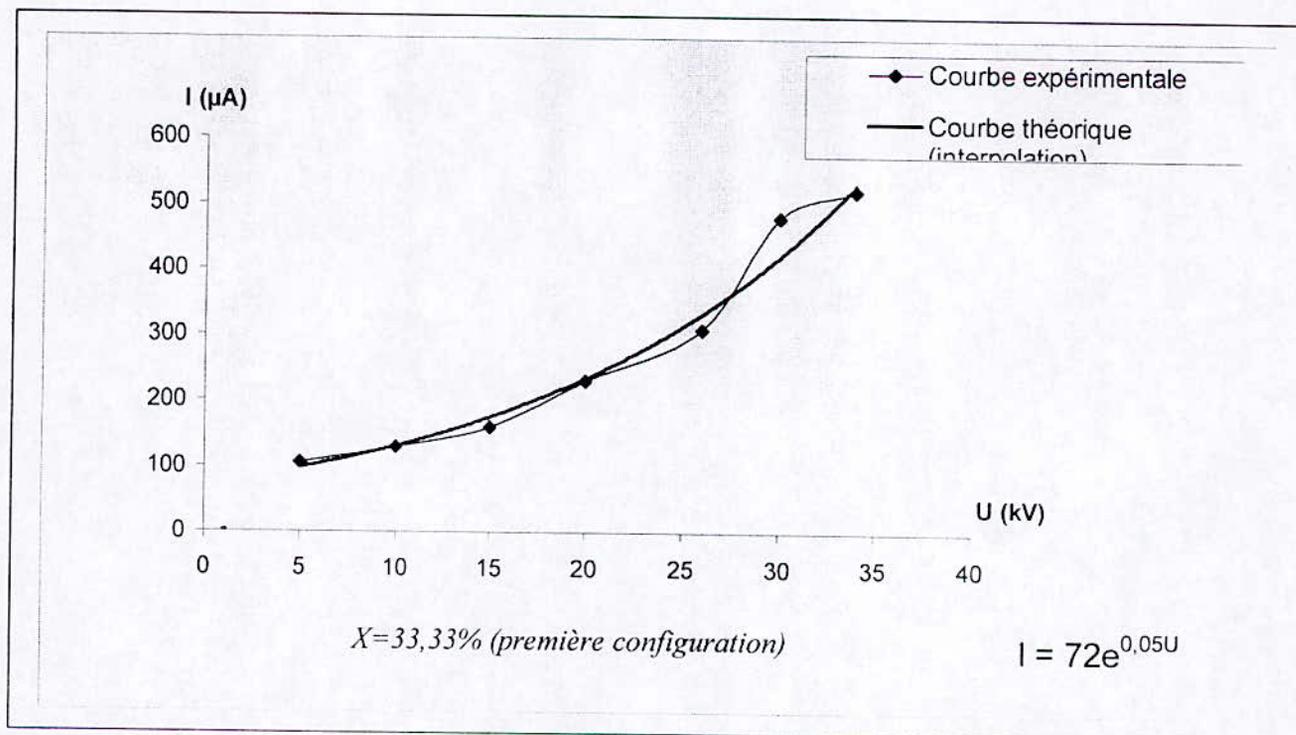
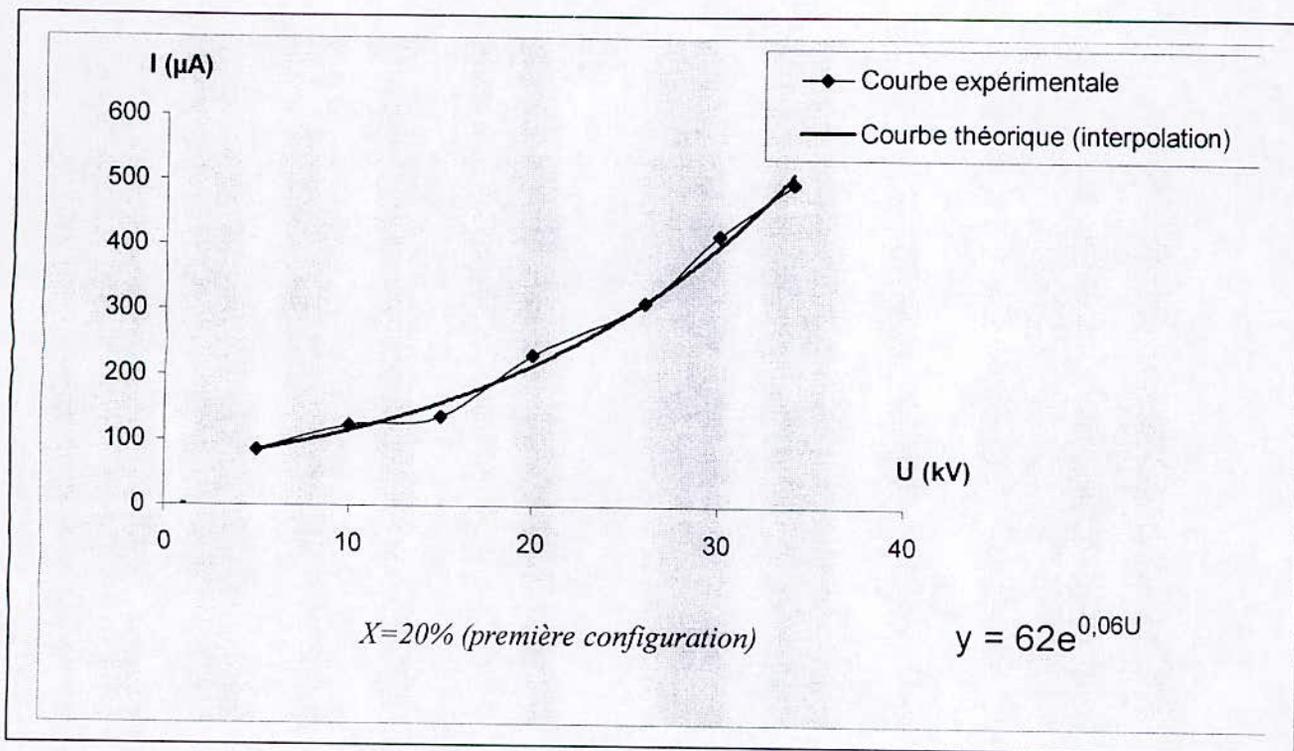
ANNEXE 1

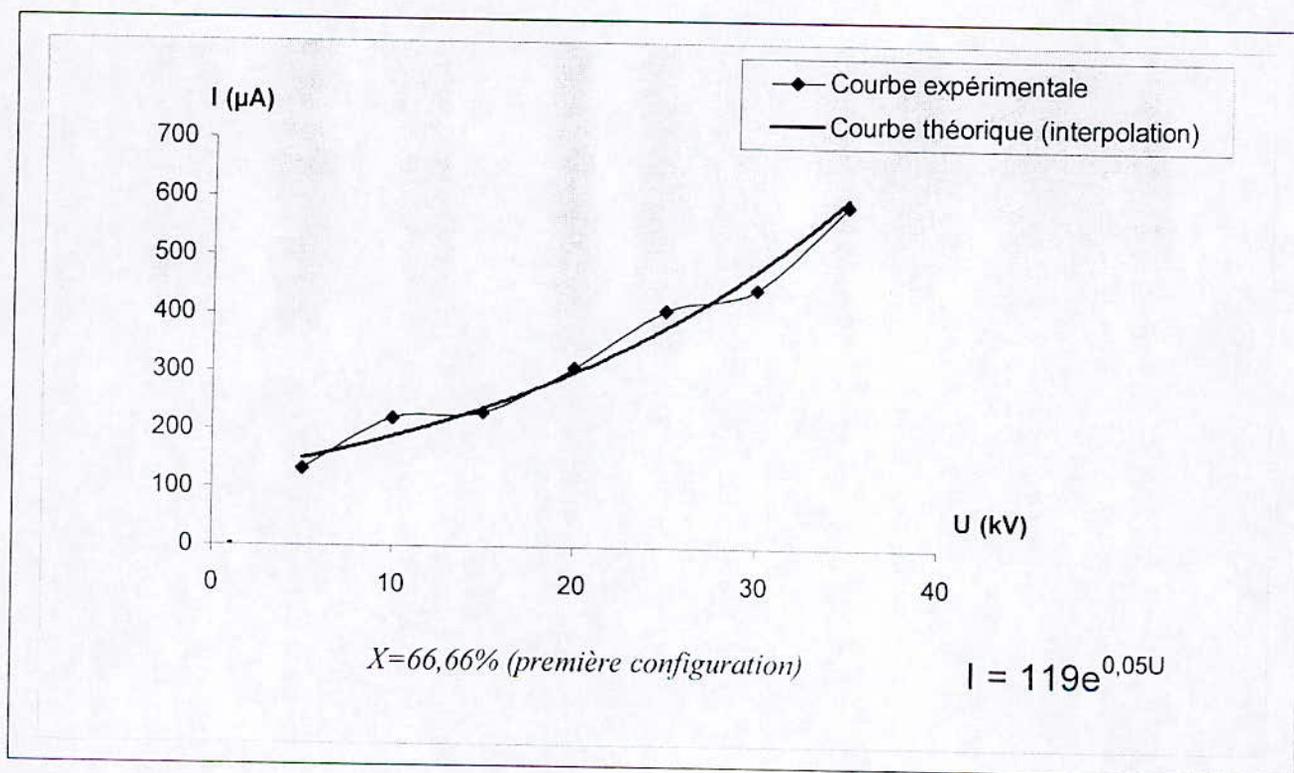
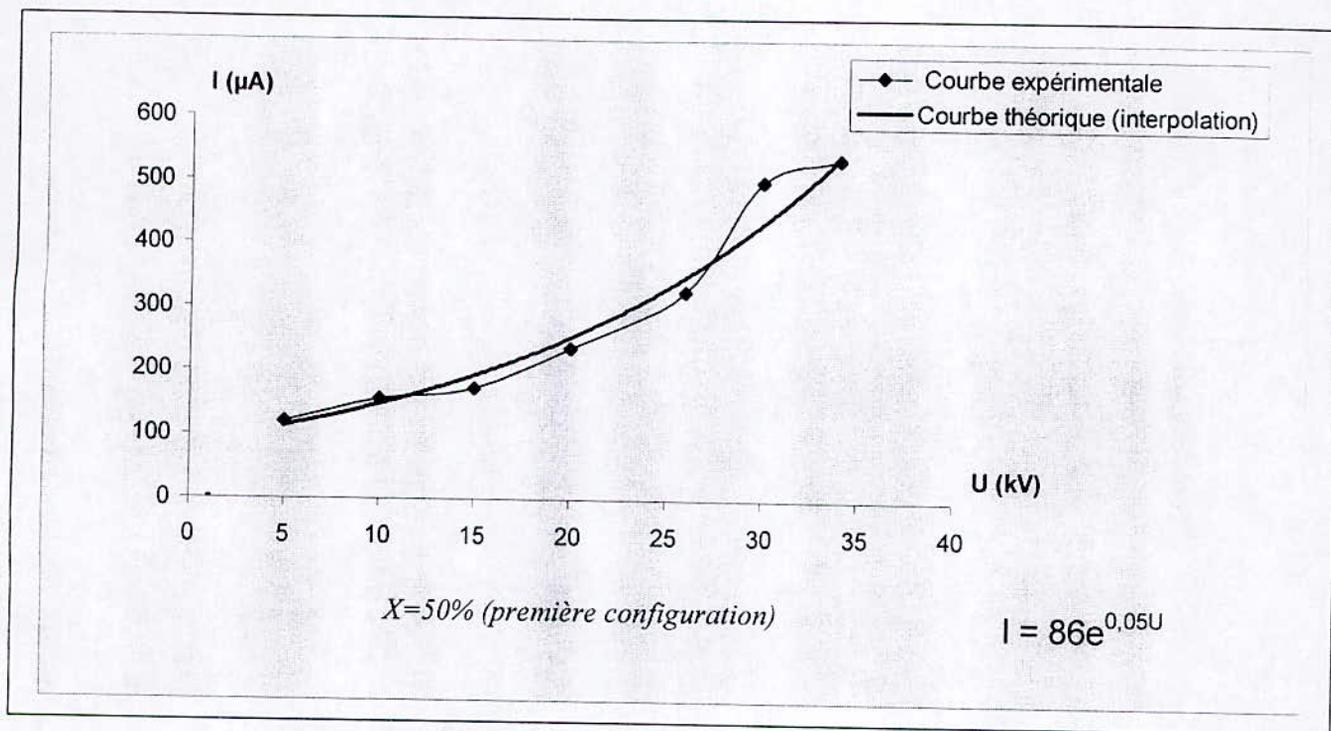
Expression empirique du courant de fuite

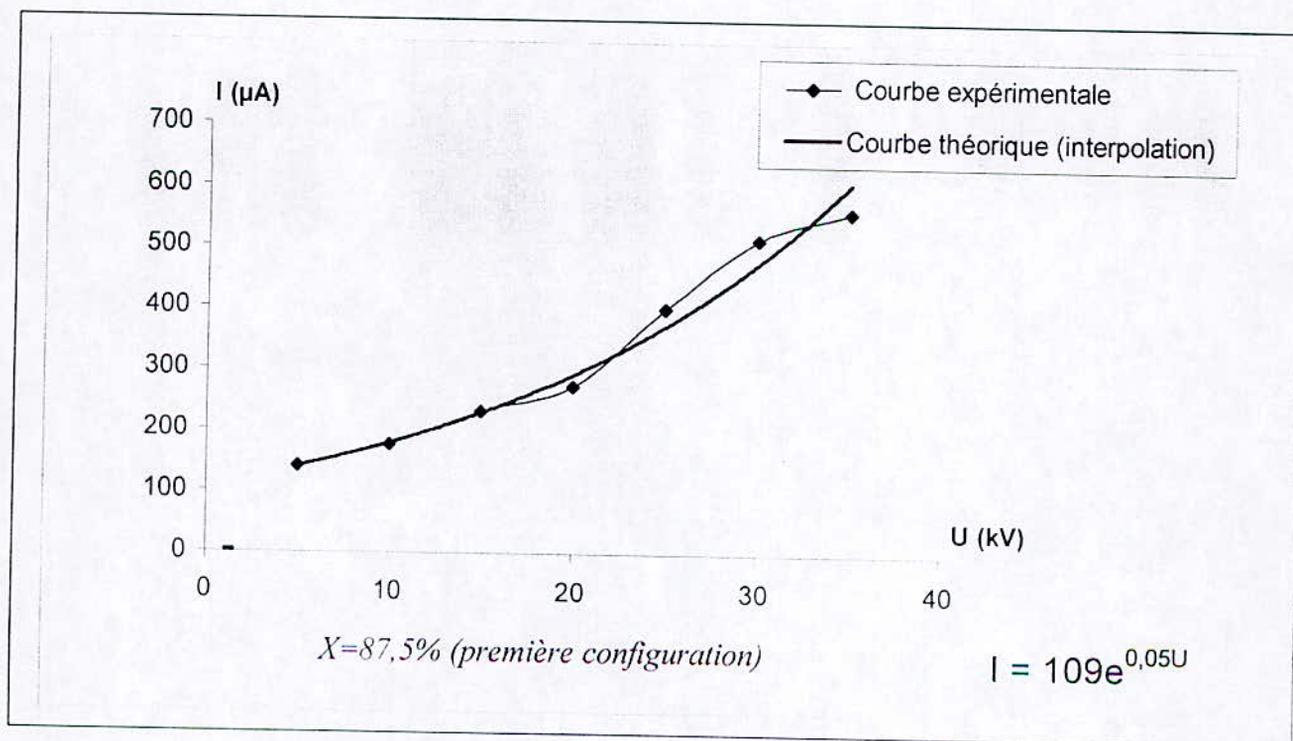
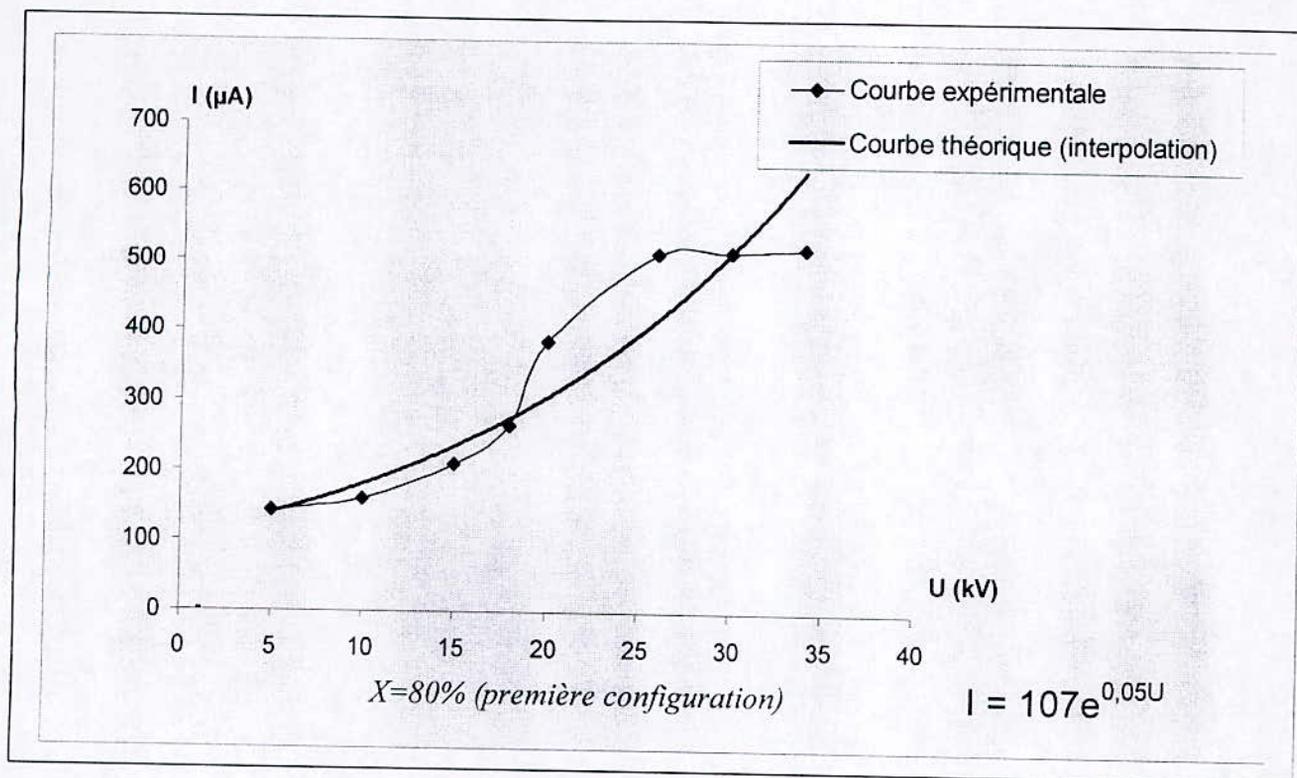
En se basant sur des essais expérimentaux, nous formulons, pour les deux configurations considérées, des relations empiriques exprimant la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée, du facteur de non-uniformité et des conductivités.

1. Première configuration









En effet, pour :

- ❖ $X = 0\%$ eau distillée ($y = 100\%$) : $I = 52 \exp(0,06U)$
- ❖ $X = 12,5\%$ eau distillée ($y = 87,5\%$) : $I = 59 \exp(0,06U)$
- ❖ $X = 20\%$ eau distillée ($y = 80\%$) : $I = 62 \exp(0,06U)$
- ❖ $X = 33,33\%$ eau distillée ($y = 66,66\%$) : $I = 73 \exp(0,05U)$
- ❖ $X = 50\%$ eau distillée ($y = 50\%$) : $I = 86 \exp(0,05U)$
- ❖ $X = 66,66\%$ eau distillée ($y = 33,33\%$) : $I = 119 \exp(0,05U)$
- ❖ $X = 80\%$ eau distillée ($y = 20\%$) : $I = 107 \exp(0,05U)$
- ❖ $X = 87,5\%$ eau distillée ($y = 12,5\%$) : $I = 109 \exp(0,05U)$

En général, le courant de fuite en fonction de la tension appliquée est donné par l'expression ayant la forme suivante :

$$I = K \exp(0,05U) \dots (1)$$

En fonction du facteur de non uniformité les différentes valeurs de K sont présentées dans le tableau ci-dessous (table 1) .

Y% (eau de robinet)	100	87,5	80	66,66	50	33,33	20	12,5
X% (eau distillée)	0	12,5	20	33,33	50	66,66	80	87,5
K	52	59	62	73	86	119	107	109

Table1 : K pour différents facteurs de non-uniformité .

En se basant sur une interpolation linéaire, nous trouvons :

$$\begin{aligned}
 K &= 0,75X + 50 & 0 \leq X \leq 100 \\
 K &= -0,75 Y + 126 & 0 \leq Y \leq 100
 \end{aligned}
 \dots (2)$$

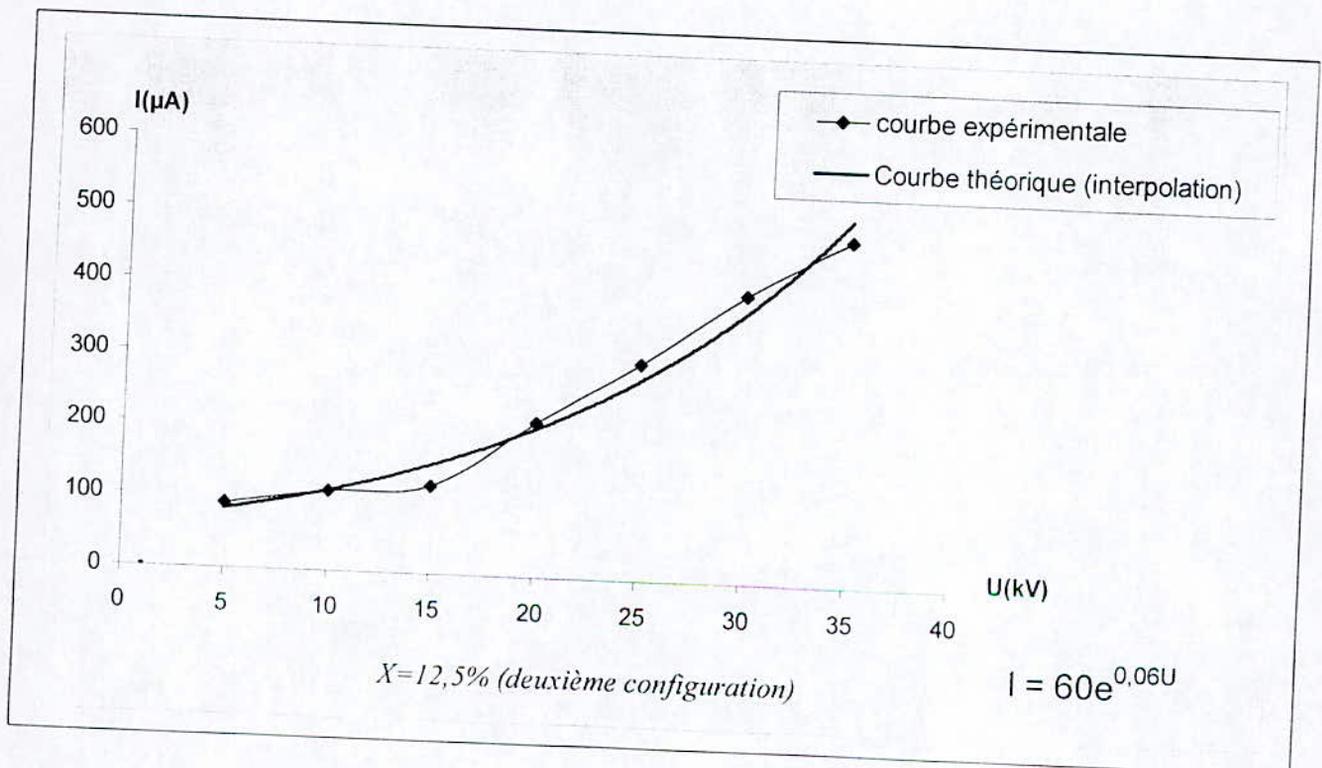
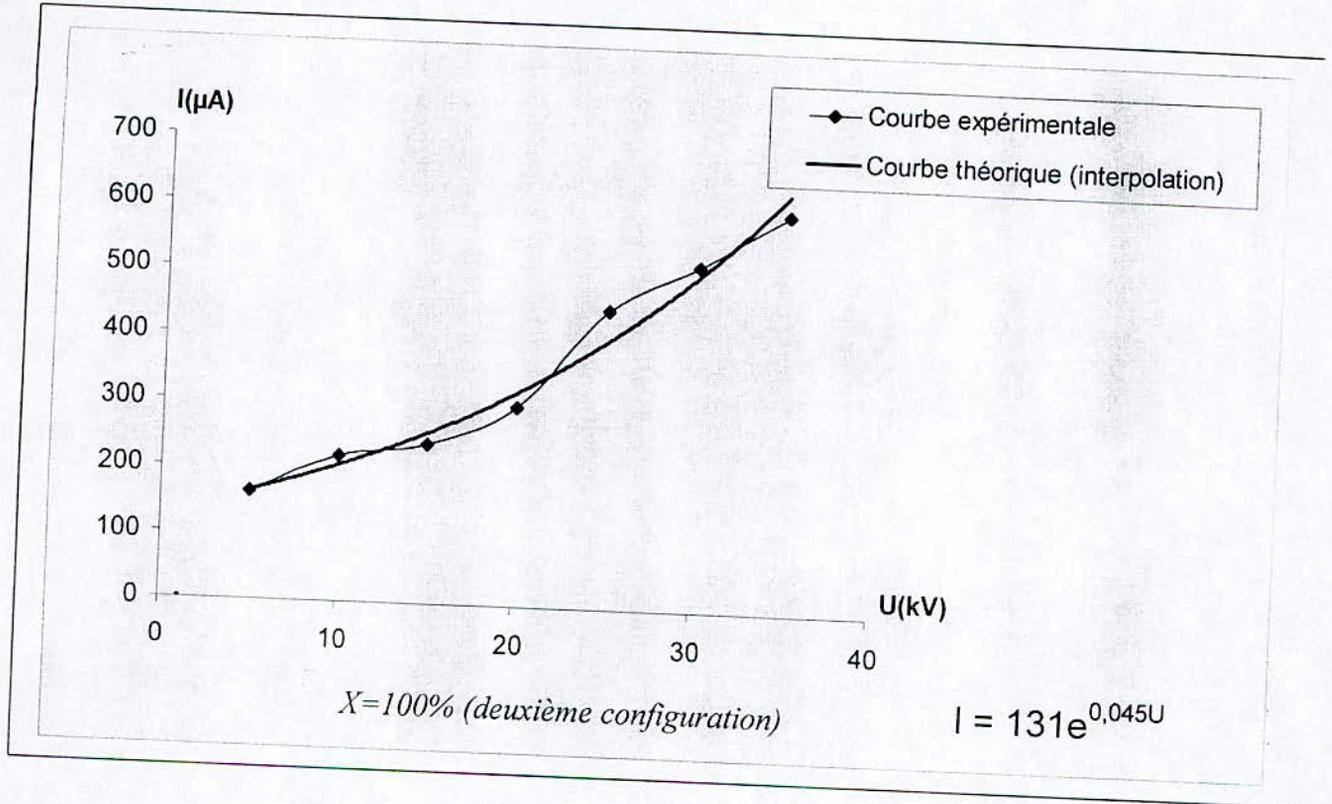
Donc le courant de fuite en fonction de la tension appliquée et le pourcentage de la largeur de l'eau distillée ainsi que celui de l'eau de robinet sur la plaque isolante pour la première configuration est donné par :

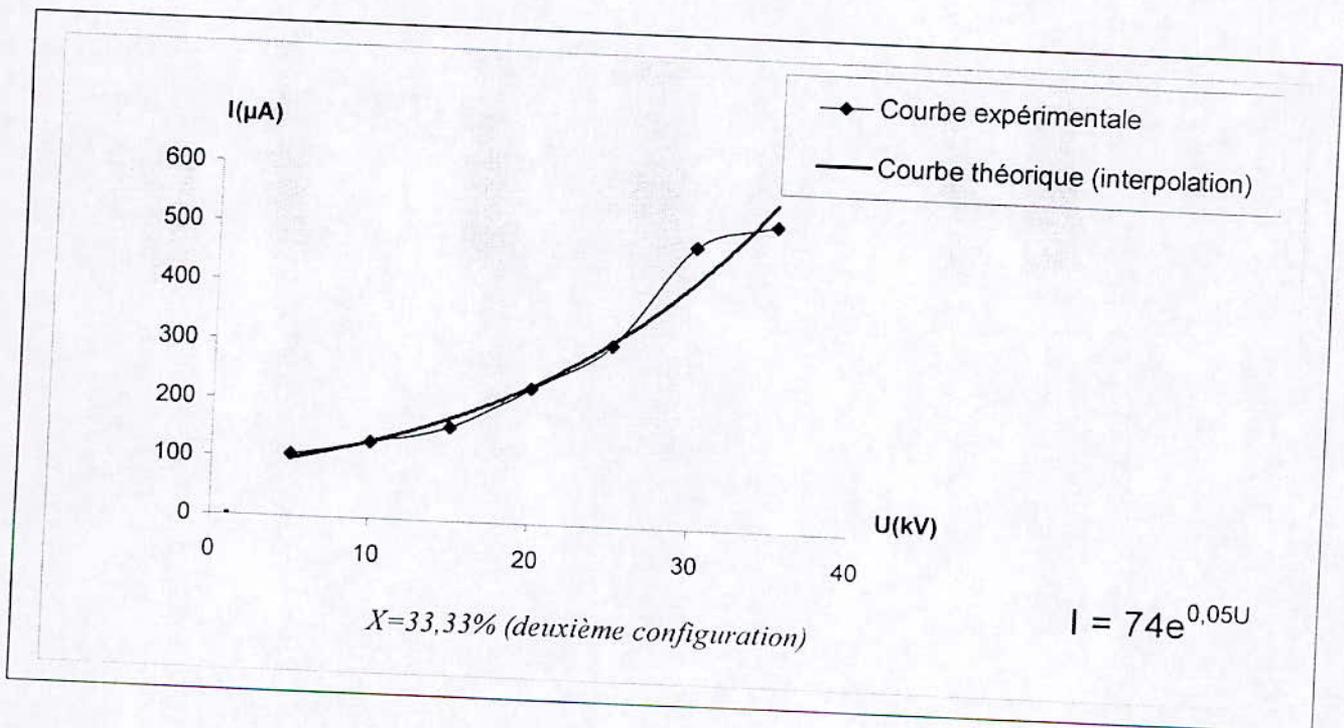
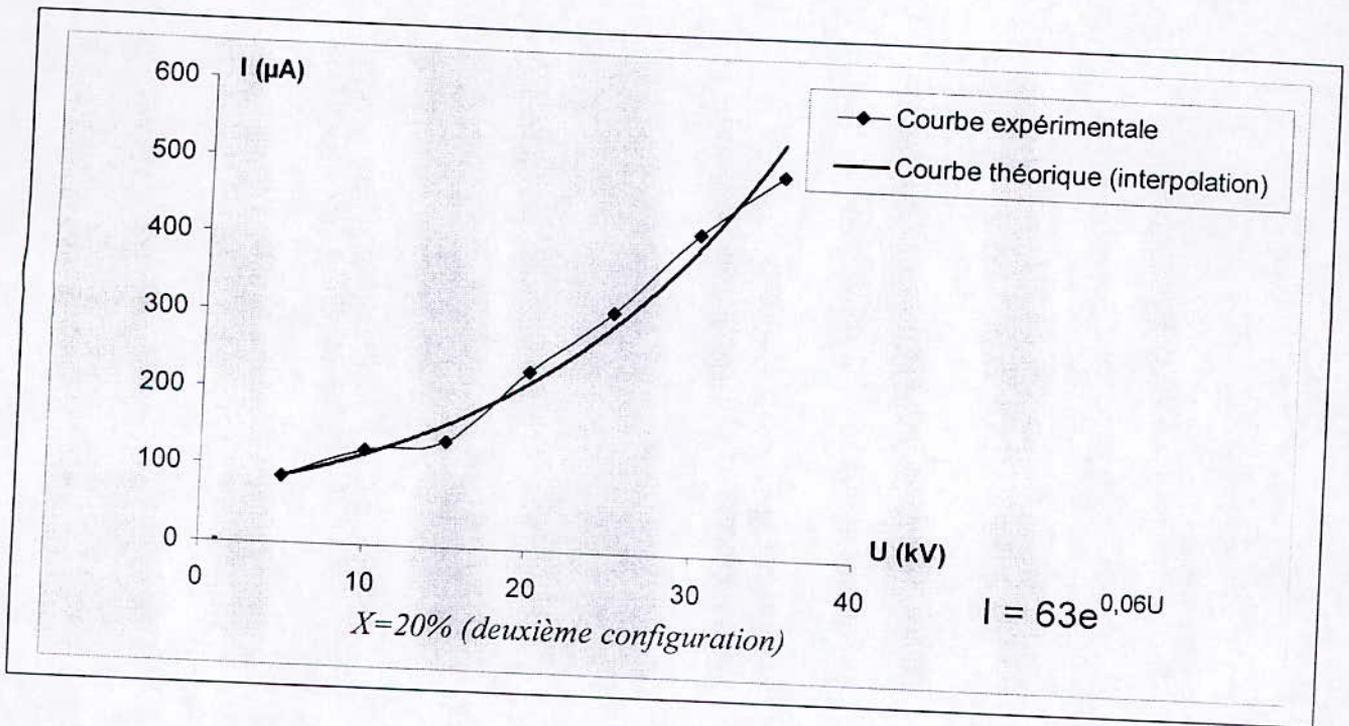
$$I = (0,75X+50) \exp(0,050U) \quad 0 \leq X \leq 100$$

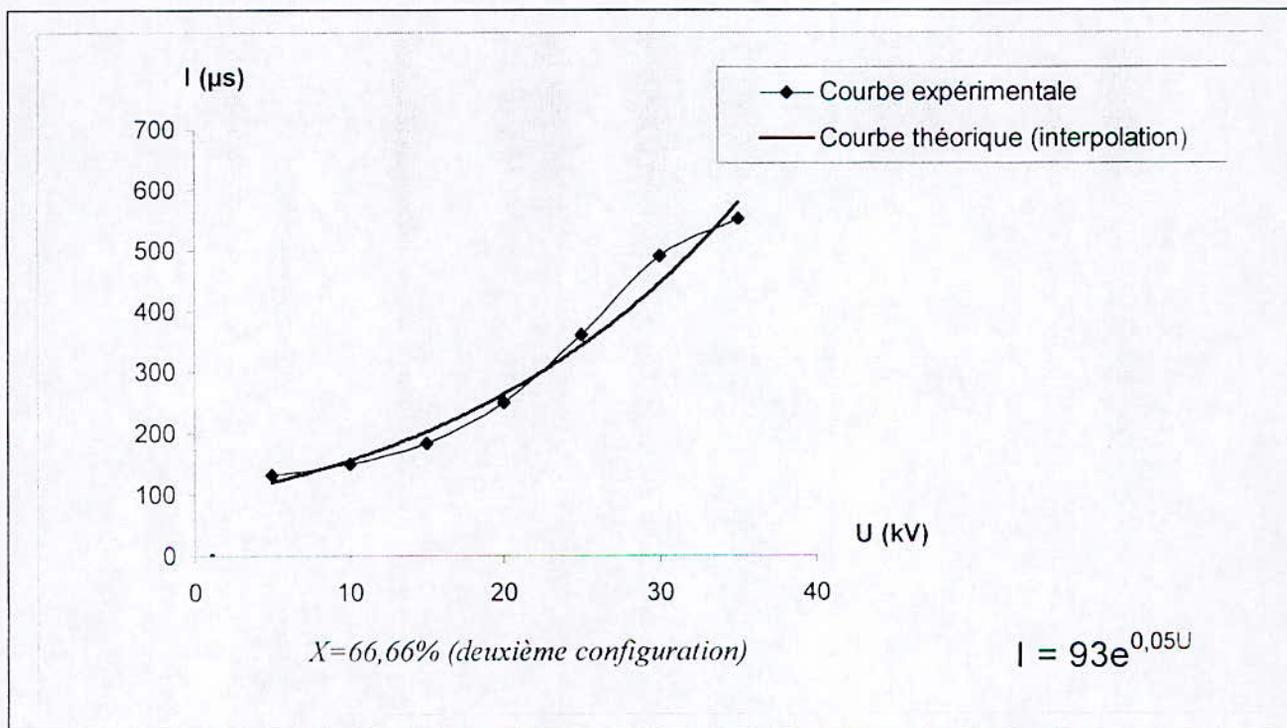
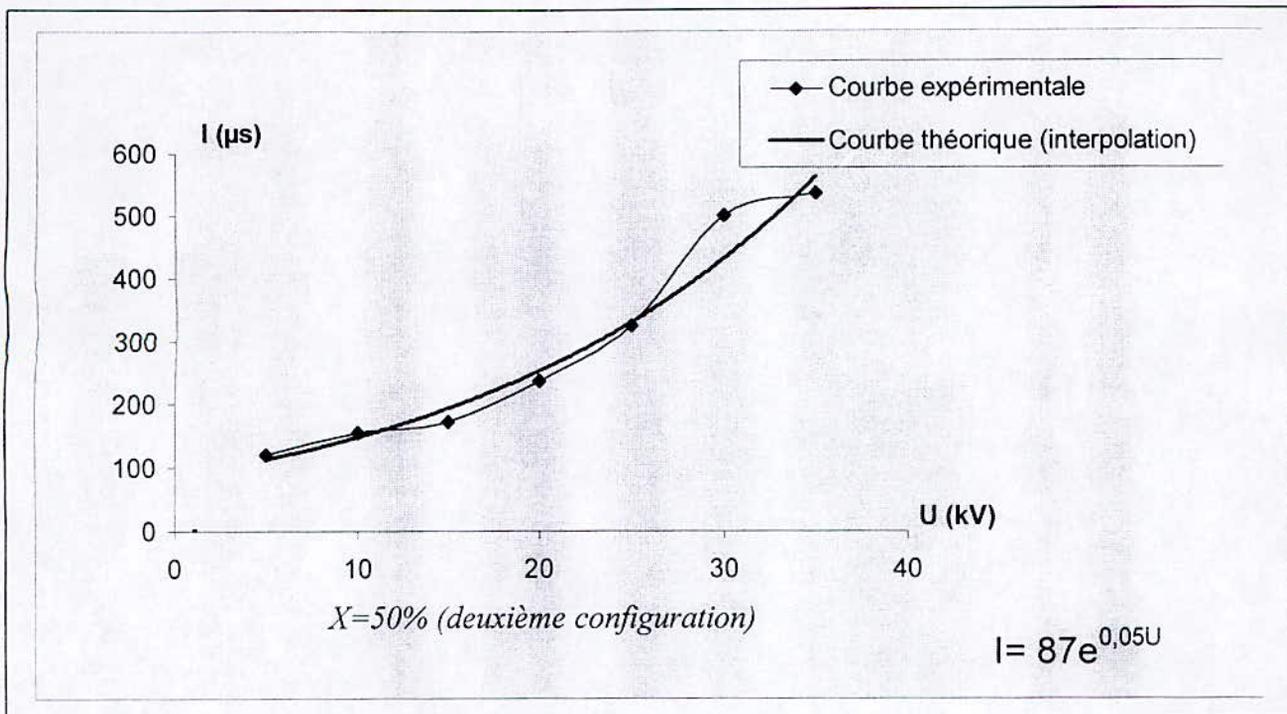
Ou

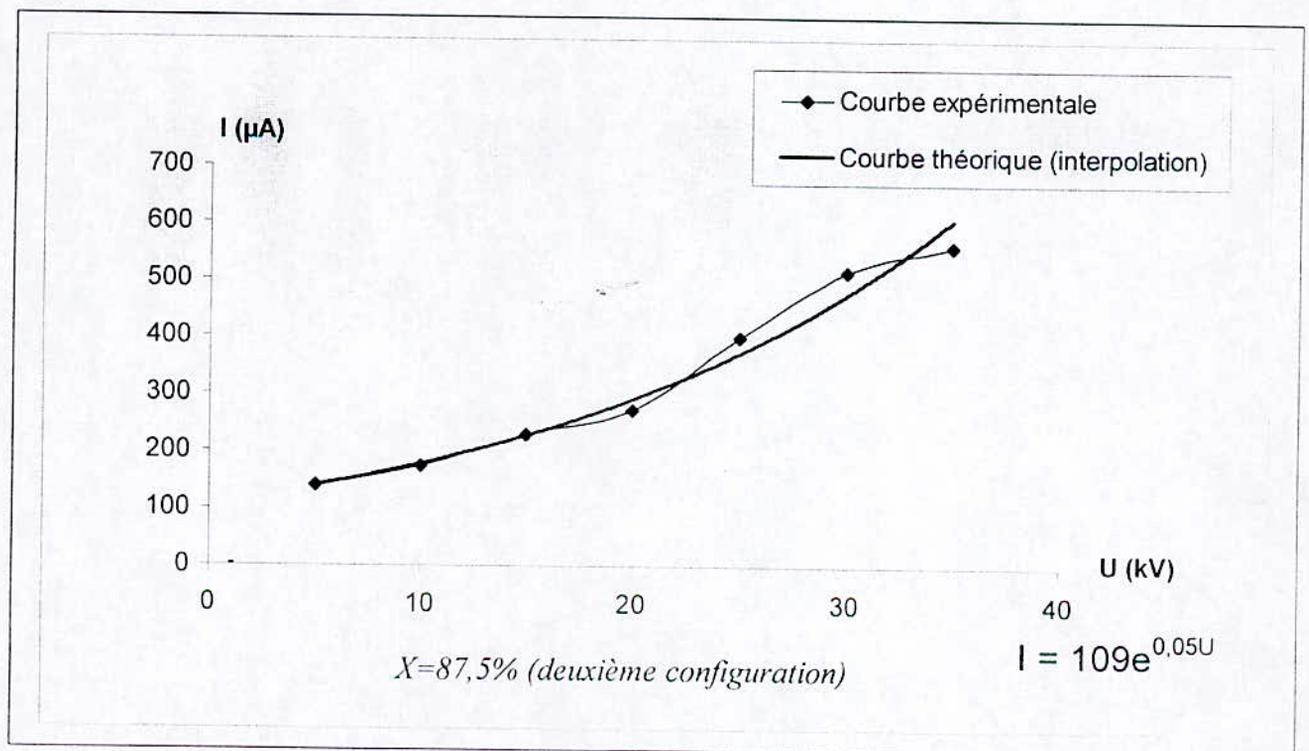
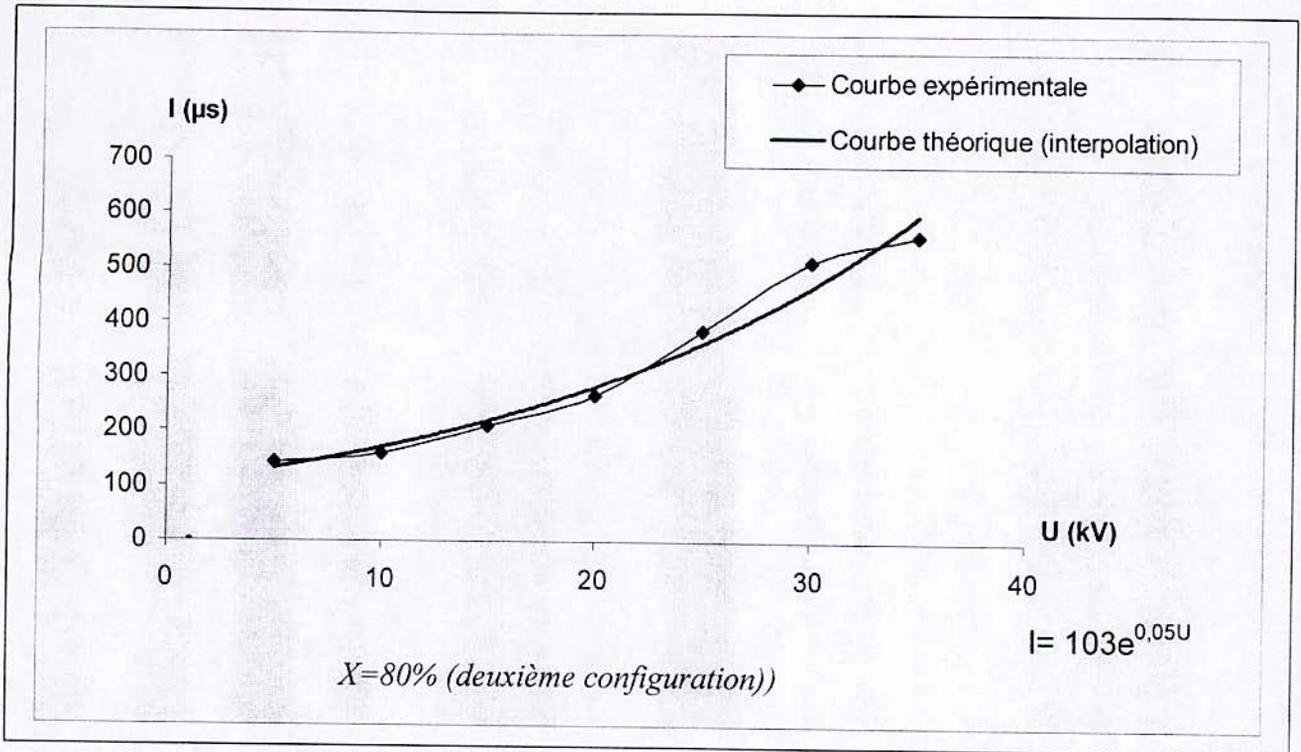
$$I = (-0,75Y+126) \exp(0,050U) \quad 0 \leq Y \leq 100 \quad \dots (3)$$

2. deuxième configuration









Finalement pour

$$X = 12,5\% \text{ eau de robinet (Y = 87,5\%)} : I = 60 \exp(0,06U)$$

$$X = 20\% \text{ eau de robinet (Y = 80\%)} : I = 63 \exp(0,06U)$$

$$X = 33,33\% \text{ eau de robinet (Y = 66,66\%)} : I = 74 \exp(0,05U)$$

$$X = 50\% \text{ eau de robinet (Y = 50\%)} : I = 87 \exp(0,05U)$$

$$X = 66,66\% \text{ eau de robinet (Y = 33,33\%)} : I = 93 \exp(0,05U)$$

$$X = 80\% \text{ eau de robinet (Y = 20\%)} : I = 103 \exp(0,05U)$$

$$X = 87,5\% \text{ eau de robinet (Y = 12,5\%)} : I = 109 \exp(0,05U)$$

$$X = 100\% \text{ eau de robinet (Y = 0\%)} : I = 131 \exp(0,05U)$$

En générale :

$$I = K' \exp(0,050U) \quad \dots (4)$$

La variation de K' suivant X et Y est donnée dans le tableau ci-dessous (table2):

Y% (Eau distillée)	87,5	80	66,66	50	33,33	20	12,5	0
X% (eau de robinet)	12,5	20	33,33	50	66,66	80	87,5	100
K'	60	63	74	87	93	103	109	131

Table 2 : K' pour différents facteurs de non-uniformité

En utilisant une interpolation linéaire on trouve :

$$\begin{aligned} K' &= 0,74X + 48 & 0 \leq X \leq 100 \\ \text{Ou} & & \\ K' &= -0,74Y + 122 & 0 \leq Y \leq 100 \end{aligned} \quad \dots (5)$$

Donc le courant de fuite en fonction de la tension appliquée et le pourcentage de la largeur de l'eau de robinet sur la plaque isolante est donné par :

$$\begin{aligned} I &= (0,74X + 48) \exp(0,050U) & 0 \leq X \leq 100 \\ \text{ou} & & \\ I &= (-0,74Y + 122) \exp(0,050U) & 0 \leq Y \leq 100 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

Généralisation des expressions

comme récapitulation le courant de fuite est représenté par le système d'équation suivants:

$$I = \begin{cases} (0,75X+50) \exp(0,050U) & \text{pour la première configuration} \\ (0,74X+48) \exp(0,050U) & \text{pour la deuxième configuration} \end{cases} \quad 0 \leq X \leq 100 \quad \dots(7)$$

En faisant une interpolation linéaire entre les coefficients des deux droites ($K = 0,75X+50$) et ($K' = 0,74X+48$) et les deux conductivités (γ_1 et γ_2), nous déduisons le courant de fuite en fonction de la tension appliquée (U), du facteur de non-uniformité de la couche de pollution ($X\%$) et de la conductivité de cette couche (γ) :

$$I = [(-0,00002\gamma + 0,75)X + (-0,0035\gamma + 50)] \exp(0,050U). \quad 0 \leq X \leq 100, \quad \gamma = (\gamma_1 \text{ ou } \gamma_2) \quad \dots\dots(I)$$

Cette expression est valable pour les deux configurations. En effet, nous avons $\gamma = \gamma_1$ pour la première configuration, et $\gamma = \gamma_2$ pour la deuxième configuration.

En reprenant un même raisonnement, le courant de fuite en fonction de la tension appliquée et Y est donné par :

$$I = \begin{cases} (-0,75Y + 126) \exp(0,050U) & \text{première configuration} \\ (-0,74Y + 122) \exp(0,050U) & \text{deuxième configuration} \end{cases} \quad 0 \leq Y \leq 100 \quad \dots\dots(8)$$

de la même façon, nous obtenons :

$$I = [(0,00002\gamma - 0,75)Y + (-0,007\gamma + 126)] \exp(0,050U). \quad 0 \leq X \leq 100, \quad \gamma = (\gamma_1 \text{ ou } \gamma_2) \dots\dots(II)$$

Sachant que $\gamma = \gamma_2$ pour la première configuration, et $\gamma = \gamma_1$ pour la deuxième configuration.

De (I) et (II), nous trouvons:

➤ Pour la première configuration :

$$\begin{aligned} I &= [(-0,00002\gamma_1+0,75)X+(-0,0035\gamma_1+50)] \exp(0,050U). & 0 \leq X \leq 100 \\ &= [(0,00002\gamma_2 - 0,75)Y+(-0,007\gamma_2+126)] \exp(0,050U). & 0 \leq Y \leq 100 \end{aligned}$$

$$I=1/2[(-0,00002\gamma_1+0,75)X+(-0,0035\gamma_1+50)] + [(0,00002\gamma_2-0,75)Y+(-0,007\gamma_2+126)] \exp(0,050U)$$

$$I=[(0,00001\gamma_2 - 0,375) Y+(-0,00001\gamma_1+0,375) X - 0,00175\gamma_1 - 0,0035\gamma_2+88] \exp (0,050U)$$

➤ Pour la deuxième configuration :

$$\begin{aligned} I &=[(-0,00002\gamma_2+0,75)X+(-0,0035\gamma_2+50)] \exp(0,050U). & 0 \leq X \leq 100 \\ &=[(0,00002\gamma_1 - 0,75)Y+(-0,007\gamma_2+126)] \exp(0,050U). & 0 \leq Y \leq 100 \end{aligned}$$

$$I=1/2[(-0,00002\gamma_2+0,75) X+(-0,0035\gamma_2+50)]+[(0,00002\gamma_1-0,75)Y+(-0,007\gamma_1+126)] \exp(0,050U)$$

$$I=[(0,00001\gamma_1 - 0,375) Y+(-0,00001\gamma_2+0,375) X - 0,00175\gamma_2 - 0,0035\gamma_1+88] \exp (0,050U)$$

Remarque:

Les unités adoptées dans cette partie sont les suivantes:

La conductivité (γ) en [μ S].

La tension appliquée (U) en [kV].

Facteur de non-uniforme (X et Y) en [%], tel que $X+Y=100$

Le courant de fuite (I) en [μ A].

ANNEXE 2

RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Tension d'application – courant de fuite

1.1. La première configuration

➤ $X=0\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	162	220	240	300	450	520	600

➤ $X=12,5\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	160	190	200	280	440	486	540

➤ $X=20\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	158	175	180	275	402	450	520

➤ $X=33,33\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	130	190	210	380	403	480	590

➤ $X=50\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	142	172	175	263	385	500	519

➤ $X=66,66\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	115	150	166	242	351	420	480

➤ $X=80\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μ A)	108	132	145	218	343	400	471

➤ $X=87,5\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	96	110	132	207	320	385	463

➤ $X=100\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	80	96	110	200	290	350	465

1.2. La deuxième configuration

➤ $X=0\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	80	96	110	200	290	350	465

➤ $X=12,5\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	90	110	120	212	300	400	480

➤ $X=20\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	85	122	136	230	310	415	495

➤ $X=33,33\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	105	130	160	230	308	480	520

➤ $X=50\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	120	155	172	236	325	500	535

➤ $X=66,66\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	132	150	185	250	360	490	552

➤ $X=80\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	143	160	210	265	385	512	560

➤ $X=87,5\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	140	175	230	272	400	515	560

➤ $X=100\%$

U(kV)	5	10	15	20	25	30	35
I(μA)	162	220	240	300	450	520	600

2. Tension de contournement – configuration de la couche de pollution

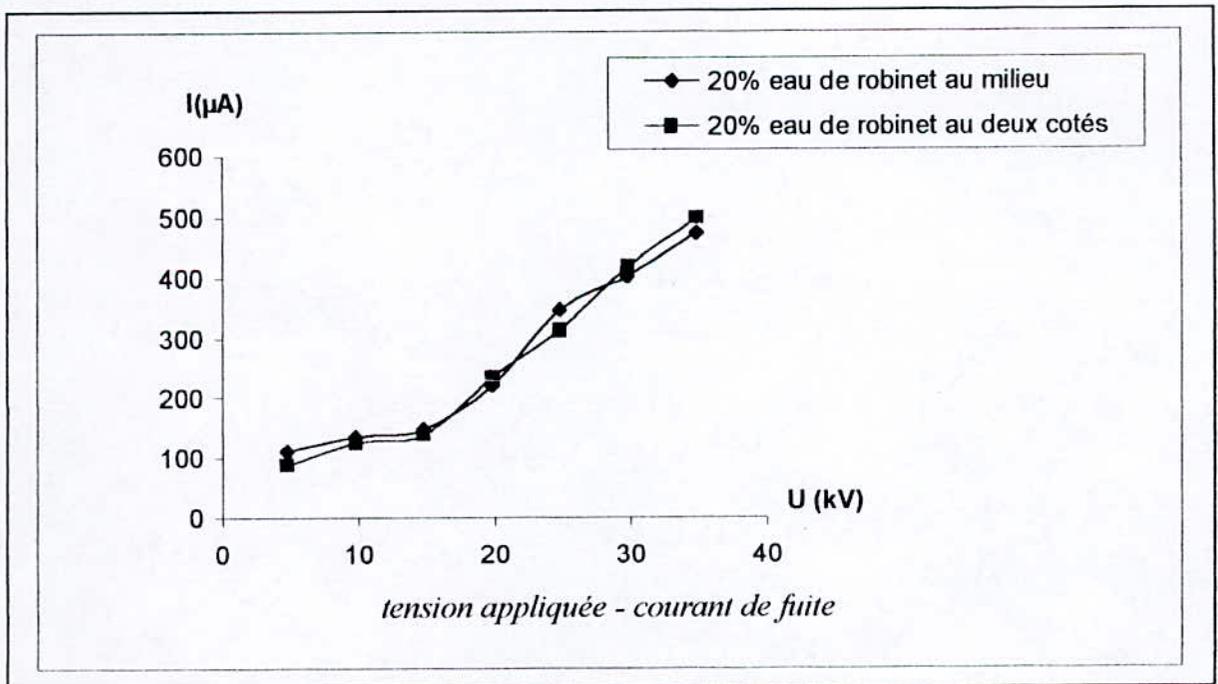
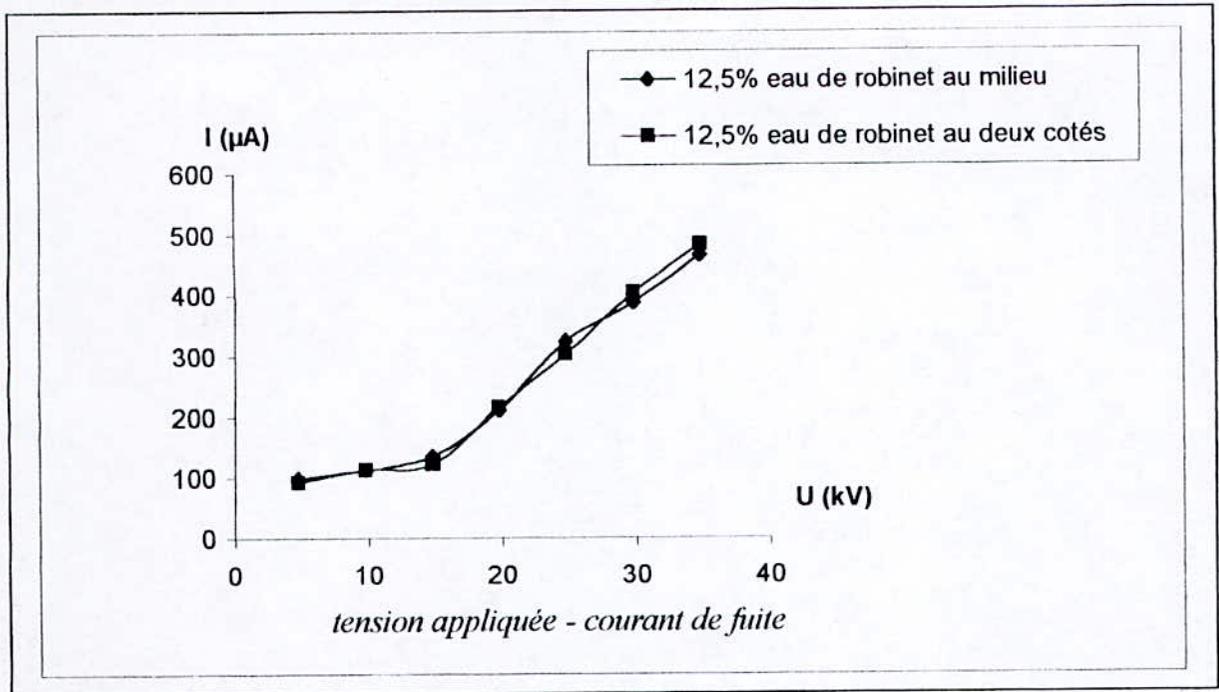
2.1. Première configuration

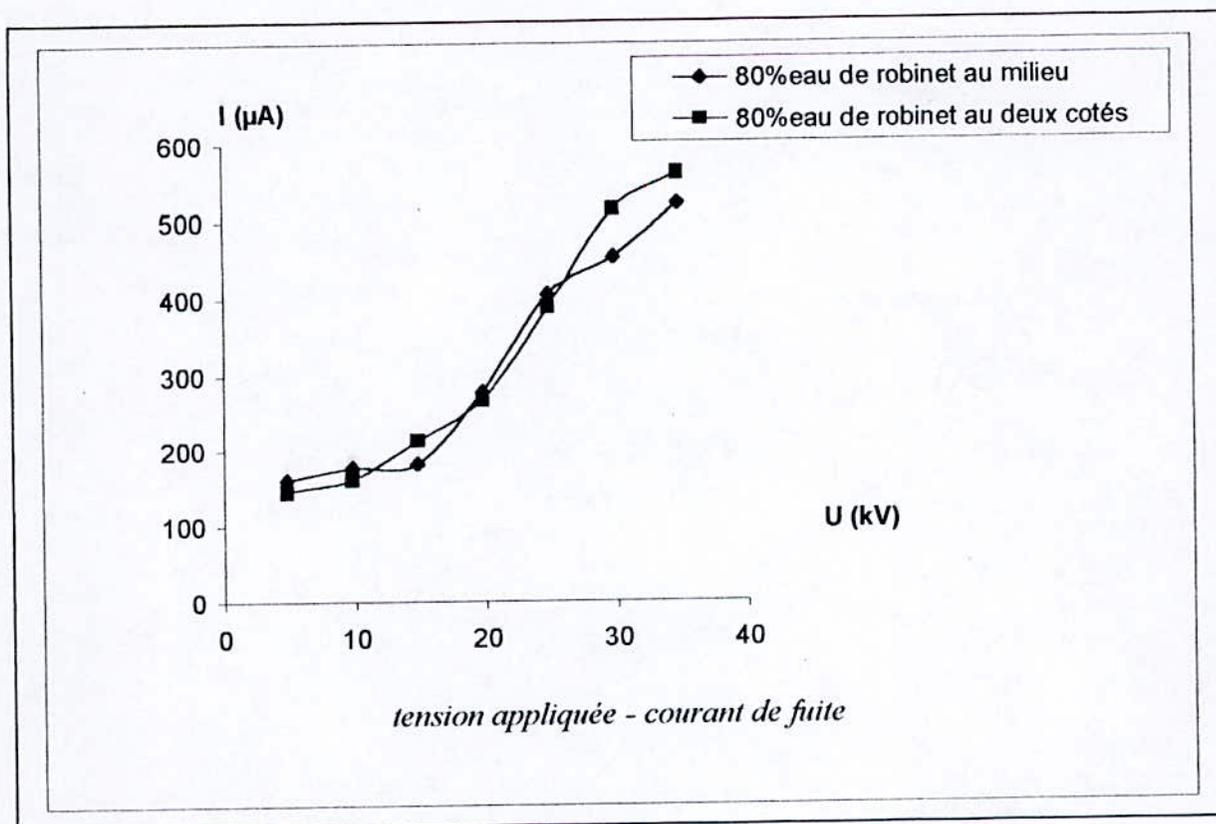
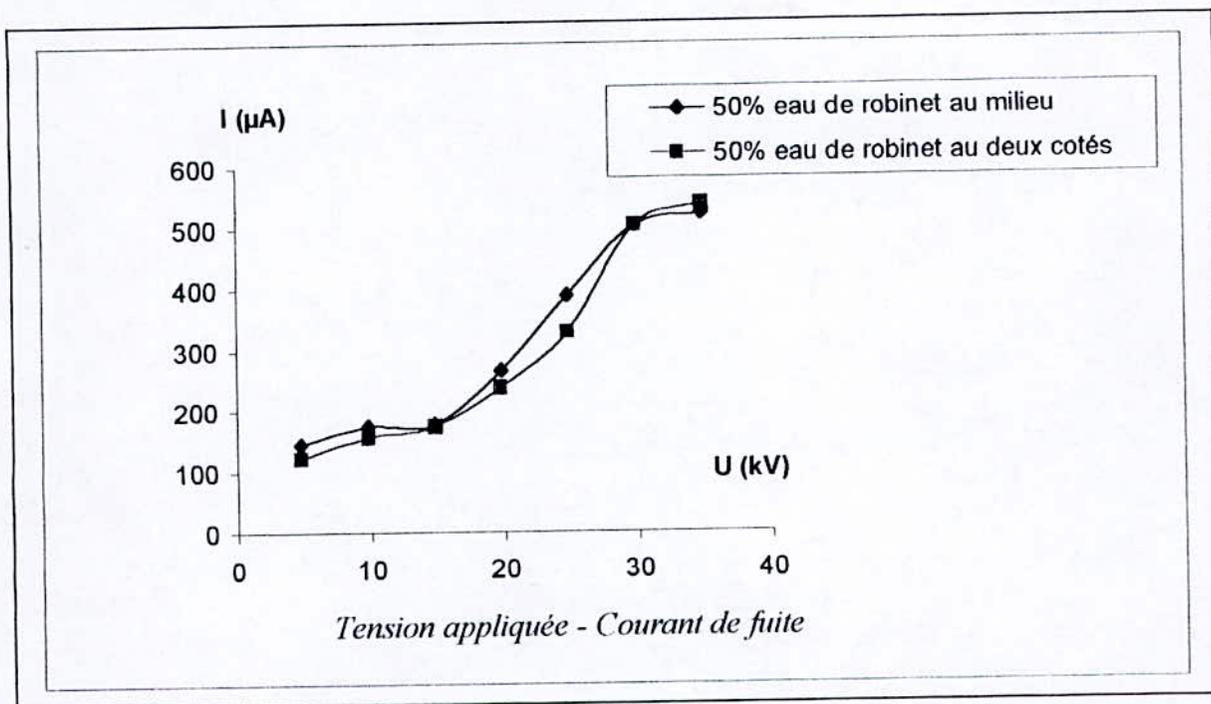
X(%)	0	12.5	20	33.33	50	66.67	80	87.5	100
Uc(kV)	122.66	122	116	97	95	88	85	77	51

2.2. Deuxième configuration

X(%)	0	12.5	20	33.33	50	66.67	80	87.5	100
Uc(kV)	51	66.66	75	76.66	81	90.66	91	92.33	122.66

Courant de fuite – Tension appliquée





BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE



- [1] 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
- [2] D.NAMANE, "Effet de la Discontinuité de la Couche de Pollution sur le Comportement d'Isolateur Haute Tension, sous la Fréquence 50Hz" , *Thèse de Magister ENP, Février 1998.*
- [3] C.E.I-60 " Technique des Essais à Haute Tension, Définitions et Prescription Générales aux Essais " première édition 1973.
- [4] 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*
- [5] F.Amidi, K.Ourden, "les Effets de la Pollution sur les Ouvrages Electriques à 30kV en Régions Littorales " *Projet de fin d'étude, USTHB, juin,1998.*
- [6] Groupe d'action 33-04-03, "Dispositif de Surveillance des Isolateurs Soumis à la Pollution " *Electra, n°152, février 1994 p 78-90.*
- [7] D.DUMORA, L.PARGAMIN, R.PARRAUD, "Expérience des Isolateurs en Verre Trempe sous Pollution Naturelle en Zone Desertique", *SEDIVER Journées Technniques, Alger 16,17 Fevrier 1999.*
- [8] G.Rickel, E.Span genberg "De la Céranique au Synthétique"
EDE-Epure N°58-Avril 1998
- [9] P.Claverie, Y.Porcheron, "How to Choose Insulators for Polluted Areas" *IEEE Trans.PAS, vol.92.N°3, Mai-Juin 1973.*
- [10] J.KELLER-JAKOBSEN, AA.PEDERSEN, J.K.RASMUSSEM, A.HENRIKSEN C.LINDQVIST, S.SMEDSFELT "Essais au Laboratoire et en Plein Air pour Dimensionner Correctement les Isolateurs Exposés A la Pollution Saline"
CIGRE, rapport 33-11, 1978.
-

- [11] A.EL-ARABATY, A.NOSSEIR, S.EL-DEBEIKY, A.EL-AWADY, E.NASSER, A.EL-SARKY "Effets of Insulator Shape, Dimensions and Material on its Flashover Characteristics" 4^e International Symposium On High Voltage Engineering, rapport 46-04, Athènes, 5-9 Sptembre 1983.
- [12] L.E.ZAFFANELLA, H.M.SCNEIDER, J.H.DUNLAP. "Performances des Isolateurs Pollués pour Lignes CCHT", CIGRE, rapport 33-05, 1986.
- [13] H.STREUBEL "THE Influence of Non-uniform Contamination on the Flashover Voltage of Insulators" 4^e International Symposium On High Voltage Engineering, rapport 46-10, Athènes, 46-10 Sptembre 1983.
- [14] J.DANIS, "A Stochastic Pollution Flashover Model", 4^e International Symposium On High Voltage Engineering, rapport 46-12, Athènes, 5-9 Sptembre 1983.
- [15] M.N.RAYES, M.ZHIRH, "Investigation about Flashover Performance of Insulators under Uniform and Non Uniform Contamination", 7^e International Symposium On High Voltage Engineering, rapport 43-08, Dresde, Allemagne, 26-30 Août 1991.
- [16] A.ABIMOULOU "Comportement d'une Surface Isolante Partiellement Polluée sous Tension Alternative 50Hz" Thèse de Magister ENP, Décembre 1999.
- [17] A.MEKHALDI, "Etude des Phénomènes de Conduction et de Décharge Electrique sur des Surfaces Isolantes Polluées sous Tension Alternative 50Hz". Thèse de doctorat d'Etat ENP, Septembre 1999.
- [18] R.WILKINS, "Flashover Voltage Of High Voltage Insulators With Uniform Surface Pollution Films", Proc. IEE, 116, No3, Mars 1969.
- [19] A. LECHEB, "Visualisation et Traitement de Signal du Courant de Fuite sur une Surface Isolante Polluée", PFE, ENP Juin 1999..
- [20] G.Ieroy, C.Gary "Propriétés Diélectriques de l'air et les très Hautes Tensions", Edition Eyrolles, Paris 1984.
- [21] R.LOUNIS, T.SAFER TABI "Comportement d'une Surface Isolante dans le cas d'une Pollution Non-uniforme". PFE, ENP juin 2000.
- [22] A.MEKHALDI, "Etude du Développement d'un Arc Electrique sur des Surfaces Isolantes Contaminées par la Pollution Désertique", Thèse De Magister, ENP, Juin 1990.
- [23] F.SAIDANI, "Influence de la Largeur de la Couche Polluante sur la Tenue Diélectrique d'une Surface Isolante", PFE ENP juin 1999.
- [24] L.CHOUGUI, R.BELAICHA, "Contribution à l'Étude de la Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région d'Arzew", PFE, ENP Janvier 1983.
-

- [25] M.TEGUAR, "Etude Mathématique des Mécanismes de Développement des Décharges Électriques sur des Isolateurs Installés en Régions Polluées", *Thèse de Magister ENP, Février 1993.*
- [26] C.HURAU, A.M.RAHAL, "Le Contournement des Isolateurs Haute Tension : Approche à l'Aide d'un Modèle de Laboratoire", *RGE, Juin 1975.*
- [27] A.MEKHALDI, D.Namane, S.BOUAZABIA and A.BEROUAL, "Flashover of Discontinuous Pollution layer on High Voltage Insulators"
IEEE. Trans. Elect. Insul.
- [28] P.J.LAMBETH, A.AUXEL M.P. VERMA " Méthode 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.*
- [29] HE.PEI-ZHONG, XU.CHENG-DONG "Résultats d'Essais et de Recherches Sur des Isolateurs Naturellement Pollués et leur Application à la Conception de l'Isolation d'un Réseau en Régions Polluées" *CIGRE, Rapport 33-07, 1982.*
- [30] J.P.HOLTZHAUSEN, O.C.T.POTGIETER, J.M.SMITH, "The One Site Leakage Current Performance of Insulators of Various Designs and Materials as a Function of Water Data", *7^e International Symposium On High Voltage Engineering, Rapport 44-22. Dresden, Allemagne. 26-30 Août 1991.*
-

ملخص :

انصب اهتمامنا في هذا العمل على دراسة ظاهرة الشحن الكهربائي لمساحات عازلة غير منتظمة التلوث. تركزت النتائج التجريبية التي قمنا بها على قياس التيار المتسرب، الطول الحرج للقوس الكهربائي، وأخيرًا تيار الاحتاطة. من أجل ذلك استعملنا نموذج مخبري.

كلمات مفتاحية :

التيار المتسرب، توتر الاحتاطة، الطول الحرج، مساحات عازلة، التلوث غير المنتظم، نماذج، التوتر العالي.

Key Words:

Leakage current. - flashover voltage - critical length - insulating surface - non-uniform pollution. - models - high voltage.

Abstract:

In this work, us summons itself interested in the Study of the Electric Phenomenon of Discharge on Insulating Surfaces Non-uniformément Polluées. For that, we measured the leakage current, the critical length of the electric arc and the tension of skirting. We led measurements on a model of laboratory.

Mots Clés :

Courant de fuite. - tension de contournement. - longueur critique. - surface isolante. - pollution non-uniforme. - modèles. - haute tension.

Résumé :

Dans ce travail, nous nous somme intéressés à l'Etude du Phénomène de Décharge Electrique sur des Surfaces Isolantes Non-uniformément Polluées. Pour cela, nous avons mesuré le courant de fuite, la longueur critique de l'arc électrique et la tension de contournement. Nous avons conduit les mesures sur un modèle de laboratoire.