

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

**DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE**

**Département d'Electrotechnique  
Laboratoire de Haute Tension**

**Thèse de Doctorat d'Etat  
Présentée par Abdelouahab MEKHALDI**

**Étude des Phénomènes de Conduction et de  
Décharge Electrique sur des Surfaces Isolantes  
Polluées sous Tension Alternative 50 Hz**

Soutenue le 29 Septembre 1999 devant la commission d'examen:

**Jury**

<b>MM. R. KERBACH</b>	Professeur, Ecole Nationale Polytechnique - Président
<b>A. BEROUAL</b>	Professeur, Ecole Centrale de Lyon - Rapporteur
<b>A. SOUALMIA</b>	Professeur, USTHB - Examineur
<b>A. BOUBAKEUR</b>	Maître de Conférences, Ecole Nationale Polytechnique - Examineur
<b>M. NEMAMCHA</b>	Professeur, C. Universitaire de Guelma - Examineur

## ملخص:

العمل المعروض يتعلق بدراسة ظواهر النقل و الشحن الكهربائية فوق مساحات عازلة متلوثة تحت توتر متناوب 50 هرتز (Hz). هذه الدراسة تبين تأثير بعض العوامل الكهربائية مثل التنقل الكهربائي و السمك و وضعية الطبقة الملوثة و المسافة بين القطبين و نصف قطر القطب الموصل بالتوتر العالي على تصرف المساحة العازلة التلوث. في حالة الطبقات المتلوثة المتواصلة، نقتح نموذج نظري يسمح بتقدير تيار التسرب عبر هذه الطبقات ذات تنقل كهربائي معين عوضا عن نموذج المخير. كما نقتح نموذج آخر في حالة الطبقات المتلوثة المنقطعة يسمح بتقدير النهاية الكاملة بين القطبين، و توتر الشرارة الكهربائية و التيار المتسرب. و من أجل مراقبة نسبة نسبة تلوث العوازل، نضع هيكل حسابي يعتمد على قياس التيار المتسرب.

## Résumé:

Ce travail porte sur l'étude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces polluées sous tension alternative 50 Hz. Il met en évidence l'influence d'un certain nombre de paramètres électrogéométriques tels que la conductivité, l'épaisseur et la position de la couche polluante ainsi que la distance inter-électrodes et le rayon de l'électrode haute tension sur le comportement de la surface isolante polluée. Dans le cas de couches de pollution continues, un modèle théorique permettant d'évaluer le courant de fuite traversant une couche de pollution de conductivité donnée, est proposé pour simuler le modèle de laboratoire. Un autre modèle donnant l'impédance totale entre électrodes, la tension transférée sur la bande sèche et le courant de fuite a été établi pour le cas de couches de pollution discontinues. Enfin, un algorithme utilisant la mesure de courant de fuite est également proposé pour le contrôle de la sévérité des dépôts.

## Abstract:

This work is devoted to the study of the conduction and the electrical discharge phenomena on polluted insulating surfaces under ac high voltage. It shows the influence of some electrogeometrical parameters such as the conductivity, the thickness and position of the pollution layer, the distance between the electrodes and the curvature radius of the high voltage electrode on the behaviour of polluted insulating surface. An oversimplified theoretical model based on Laplace equation is proposed for the case of continuous pollution layer. Furthermore, we establish a model giving the whole impedance between the electrodes, the transferred voltage on the dry zone and the leakage current, in the case of discontinuous pollution layer. An algorithm allowing to supervise the pollution severity of the polluted insulator is also proposed.

**Mots clés:** Courant de fuite, tension de contournement, pollution, isolateurs, haute tension, décharge électrique, conduction, surfaces isolantes, modèles.

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

#### Chapitre 1: LE PHENOMENE DE POLLUTION DES ISOLATEURS HAUTE TENSION

1. Introduction	1
2. Pollution des isolateurs	1
2.1 Formation et répartition de la couche de pollution sur les surfaces isolantes	1
2.2 Types de pollution	
2.2.1 Pollution naturelle	2
2.2.2 Pollution industrielle	3
2.2.3 Pollution mixte	3
3. Conséquences de la pollution	4
3.1 Arc non localisé	4
3.2 Arc fixe	4
3.3 Contournement des isolateurs pollués	4
4. Sévérité de pollution d'un site	6
4.1 Méthodes de mesures de la sévérité d'un site	7
4.1.1 Densité du dépôt de sel équivalent	8
4.1.2 Conductance superficielle	8
4.1.3 Courant de fuite	8
4.1.4 Contrainte de contournement	9
4.1.5 Mesure de la pollution de l'air	9
4.1.6 Mesures optiques	10
4.1.7 Densité de dépôt non soluble	10
4.1.8 Autres méthodes	10
5. Méthodes d'essais sous pollution	10
5.1 Essais sous pollution naturelle	10
5.2 Essais sous pollution artificielle	12
5.2.1 Méthode du brouillard salin	12

5.2.2 Méthode de la couche solide	13
6. Techniques de lutte contre la pollution	14
6.1 Allongement de la ligne de fuite	14
6.2 Changement de forme des isolateurs - isolateurs plats	14
6.3 Graissage périodique	14
6.4 Revêtements silicones	15
6.5 Les isolateurs composites	15
6.6 Nettoyage des isolateurs	16
7. Conclusion	16

## Chapitre 2: **PRINCIPAUX MODELES DE LA DYNAMIQUE DE L'ARC ELECTRIQUE**

1. Introduction	19
2. Principaux modèles statiques de contournement	19
2.1 Modèle d'Obenaus	19
2.2 Modèle de Neumarker	21
2.3 Modèle d'Alston et Zoledziowski	21
2.4 Modèle de J. Danis	22
2.5 Modèle de la couche mixte	24
2.6 Modèle du disque circulaire	25
2.7 Modèle de Nacke et Wilkins	26
2.8 Modèle de Rizk	27
2.9 Modèle de Claverie et Porcheron	28
2.10 Modèle de Rao et Gopal	28
3. Modélisation dynamique de l'arc	29
3.1 Mécanisme de propagation	29
3.1.1 Propagation par ionisation	29
3.1.2 Propagation par force électrostatique	29
3.2 Critère de propagation de la décharge	31
3.2.1 Critère de Hampton	31
3.2.2 Critère de Hesketh	31
3.2.3 Critère de Wilkins	31

3.2.4 Critère de Anjana et Lakshminarasimha	31
3.2.5 Critère de N. Dhahbi, A. Beroual et L. Krahenbul	32
3.3 Modèles dynamiques	33
3.3.1 Modèles de Rizk	33
3.3.2 Modèle de Anjana et Lakshminarasimha	33
3.3.3 Modèle de Sundararajan et Gorur	34
3.3.4 Modèle de N. Dhahbi et A. Beroual	35
3.4 Vitesse de propagation	37
4. Paramètres d'influence	39
4.1 Influence de la polarité	39
4.2 Influence des paramètres de la source	40
4.3 Chute de potentiel	40
4.4 Temps au contournement	40
4.5 Profil de l'isolateur	41
4.6 Arcs multiples	43
4.7 Couche de pollution non uniforme	45
4.8 Formation de bandes sèches	45
Conclusion	47

### Chapitre 3: **ETUDE DU CONTOURNEMENT DES COUCHES DE POLLUTION CONTINUES**

1. Introduction	48
2. Techniques expérimentales	48
2.1 Circuit d'essai	49
2.1.1 Dispositif de mesure du courant de fuite	49
2.1.2 Mode opératoire	49
2.1.2.1 Dispositif expérimental	49
2.1.2.2 Préparation du modèle	50
2.1.2.3 Application de la tension d'essai	50
3. Modèle expérimental	51
4. Résultats expérimentaux	52
4.1 Forme du courant	52

4.2	Forme de l'arc	53
5.	Modèle théorique et discussion	61
6.	Conclusion	67

#### Chapitre 4: **ETUDE DU CONTOURNEMENT DES COUCHES DE POLLUTION DISCONTINUES**

1.	Introduction	69
2.	Modèle expérimental	70
2.1	Modes opératoires	70
2.2	Essais préliminaires	72
3.	Résultats expérimentaux	77
3.1	Courant de fuite	77
3.2	Tension d'entretien de l'arc	82
3.3	Tension de contournement	83
3.4	Détermination de la longueur critique d'arc	85
4.	Modèle et discussion	86
4.1	Détermination de l'impédance de la bande propre	86
4.2	Détermination de l'impédance de la couche polluante	89
4.3	Impédance totale entre les électrodes	93
4.4	Tension reportée sur la zone sèche	94
4.4.1	Rapport des impédances	94
4.4.2	Tension reportée $U_t$	95
5.	Détermination du courant de fuite théorique à partir de l'impédance totale	96
	Conclusion	103

#### Chapitre 5: **ALGORITHME DE CONTROLE DE LA SEVERITE DES COUCHES POLLUANTES**

1.	Introduction	104
2.	Modèle expérimental	104
3.	Modèle de contournement et mise en équations	105

4. Simulation	110
5. Validation de l'algorithme	112
6. Conclusion	121

<b>CONCLUSION</b>	122
-------------------	-----

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**