

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane MIRA de Béjaia  
Faculté de Technologie  
Département d'Electrotechnique

## *Mémoire de fin de cycle*

En vue de l'obtention d'un Diplôme de Master II en Electrotechnique  
Option : Réseaux Electriques

### Thème

*Performance d'un écran en silicone  
recouvert de gouttes d'eau dans un  
système à champ non uniforme sous  
tension continue positive*

Réaliser par :

Mr: Tamart Md Tayeb

Mr: Dahdah Mohamed

Encadré par :

Mr: R.Boudissa

Mme: Merabet

Promotion 2011/2012

# EMERCIEMENT

Nous remercions le dieu pour le courage, la patience et la santé qui nous ont été utile tout au long de notre parcours.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à **Mr Boudissa Rabah** et **Mme Merabet Samira** qui ont proposé et dirigé ce projet et pour leurs entières disponibilités, leur aides et leurs précieux conseils.

Notre sincère gratitude va aussi aux membres du jury qui ont bien accepté de juger ce présent travail.

Que tous ceux qui ont contribué, de prés ou de loin à l'élaboration de cette présente étude, trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements et profonde reconnaissance.

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ✚ A mes parents qui mon toujours soutenu dans mes études ;*
- ✚ A mes frères et sœurs qui ont toujours à mes coté ;*
- ✚ A mes cousins, à mes cousines et à toute ma grande famille ;*
- ✚ A mon binôme, aux deux associations « savoir + » et « amis du livre », à tous mes amis, et à tous ceux que je connais de prés ou de loin.*

**MOUH**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ✚ Mes très chers parents.*
- ✚ Mes très chers frères.*
- ✚ Mes très chères sœurs.*
- ✚ Toute la famille de mon collègue Mohamed.*
- ✚ Tous mes amis.*
- ✚ Toute l'équipe du laboratoire de haute tension.*

Tamart.

# Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : evolution du niveau des recherches sur la performance des écrans en tension continue

I.1 Introduction.....	3
I.2 Synthèse des travaux de recherches sur la performance des barrières en HVDC.....	3
I.2.1 E. Marx, 1930 .....	3
I.2.2 H. Roser, 1930 .....	4
I.2.3 N. F. Wolochenko, 1947 .....	4
I.2.4 N. N. Tikhodeev, 1958.....	5
I.2.5 K. Nowacki, 1975 .....	5
I.2.6 Li Ming, 1993 .....	5
I.2.7 Z. You Bin, 1995 .....	6
I.2.8 R. Boudissa, 2009 .....	6
I.2.9 H. Mekbel, et M. Allaoua 2010 .....	6
I.2.10 S. Iouknane 2011 .....	7
I.2.11 S. Slimani et N.Oubouzid 2011 .....	8
I.3 Conclusion .....	10

## Chapitre II: barrières isolantes et les décharges de développement dans l'intervalle d'air pointe-écran -plan

II.1 Introduction .....	11
II.2 Définition.....	11
II.2.1 Isolant .....	11
II.2.2 Isoler .....	11
II.2.3 Isolation .....	11
II.2.4 Isolateur .....	11
II.2.5 Diélectrique .....	12
II.2.6 Système d'isolation .....	12
II.3 Différents types d'isolants .....	12

II.3.1	Isolant gazeux .....	12
II.3.2	Isolants liquides .....	12
II.3.3	Isolants solides.....	12
II.4	Matériaux utilisés pour les isolants solides .....	13
II.4.1	Verre .....	13
II.4.1.1	Verre trempés .....	13
II.4.1.2	Verre recuit .....	13
II.4.2	Bakélite.....	14
II.4.3	Silicone .....	14
II.4.3.1	Historique des silicones .....	14
II.4.3.2	Définition.....	15
II.4.3.3	Structure moléculaire des silicones .....	16
II.4.3.4	Propriétés des silicones.....	17
II.4.3.5	Applications des élastomères de silicone .....	19
II.5	Propriétés des isolants diélectriques et thermiques .....	19
II.5.1	Propriétés diélectriques.....	19
II.5.1.1	Rigidité diélectrique .....	19
II.5.1.2	Permittivité .....	20
II.5.1.3	Résistance en tension continue .....	21
II.5.1.3.1	Resistance transversale en tension continue ( $R_t$ ).....	21
II.5.1.3.2	Resistance superficielle en tension continue ( $R_s$ ) .....	22
II.5.1.3.3	Resistance d'isolement.....	22
II.5.1.4	Angle de pertes et le facteur de dissipation .....	23
II.5.1.5	Décharge disruptive .....	23
II.5.1.5.1	Décharge intrinsèque .....	24
II.5.1.5.2	Décharge thermique.....	24
II.5.1.5.3	Décharge partielle.....	24
II.5.2	Propriétés thermiques .....	25
II.6	Décharge dans l'air.....	25
II.6.1	Introduction .....	25
II.6.2	Décharge de type streamers .....	26
II.6.3	Décharges de type leader.....	28
II.7	Différents types d'amorçage des isolations gazeuses.....	29
II.7.1	Amorçage de l'air par avalanche primaire.....	29

II.7.2	Claquage de l'air par streamers .....	30
II.7.3	Disruption de l'air par leader .....	31
II.8	Conclusion .....	31

## Chapitre III : pollution atmosphérique

III .1	Introduction .....	32
III.2	Définitions .....	32
III.2.1	Pollution .....	32
III.2.2	Salinité (Sa) .....	32
III.2.3	Couche de pollution .....	32
III.2.4	Degré de pollution .....	33
III.3	différents types de polluants.....	33
III.3.1	Polluants naturels .....	33
III.3.2	Polluants dus aux activités humaines .....	33
III.4	Différentes sources de pollution.....	34
III.4.1	Pollution naturelle .....	34
III.4.1.1	Pollution marine .....	34
III.4.1.2	Pollution désertique.....	34
III.4.2	Pollution industrielle .....	34
III.4.3	Pollution mixte .....	35
III.5	Facteurs climatiques d'influence de la pollution .....	35
III.5.1	Vent .....	35
III.5.2	Pluie.....	35
III.5.3	Humidité.....	36
III.5.4	Température .....	36
III.6	phénomène du contournement de surfaces isolantes.....	36
III.6.1	Tension de contournement .....	36
III.6.2	Courant de fuite .....	36
III.7	Effet de la pollution sur la rigidité diélectrique de l'air .....	37
III.8	Méthodes de mesure de sévérité du degré de pollution d'un site.....	37
III.8.1	Conductivité électrique de la pollution .....	37
III.8.2	Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE).....	40



III.8.3	Conductance superficielle .....	42
III.8.4	Contrainte de contournement .....	43
III.8.5	Densité de dépôt non soluble (DDNS) .....	44
III.9	Méthodes d'essais sous pollution .....	44
III.9.1	Essais sous pollution naturelle .....	45
III.9.2	Essais sous pollution artificielle .....	45
III.10	Techniques de lutte contre la pollution .....	45
III.10.1	Graissage de surfaces isolantes (couches hydrophobes) .....	46
III.10.2	Revêtements à base de silicones .....	46
III.10.3	Nettoyages hors tension .....	46

### Chapitre IV : Partie expérimentale

IV.1	Introduction .....	48
IV.2	Modèle expérimental et techniques de mesure .....	48
IV.2.1	Nature de la face de l'écran recouverte des gouttes d'eau .....	51
IV.2.2	Procédé d'essai .....	51
IV.3	Correction des résultats de tension en fonction des conditions atmosphériques .....	51
IV.4	Résultats et discussions .....	53
IV.4.1	les Propriétés diélectriques des écran .....	53
IV.4.2	Barrières isolantes depourvues des gouttes d'eau .....	53
IV.4.3	Barrières recouvertes de gouttes d'eau .....	56
IV.4.3.1	Vérification de l'hydrophobie de l'écran en silicone .....	56
IV.4.3.2	Orientation de l'écran par rapport à l'axe du système .....	58
IV.5	Conclusion .....	64
	Conclusion générale .....	66

# Introduction générale

### Introduction générale

Le développement industriel exige de plus en plus une grande consommation d'énergie. Pour transporter une puissance électrique élevée, il faudrait utiliser des distances d'isolement importantes, ce qui va engendrer des contraintes du point de vue pratique et économique.

L'air, en tant que un diélectrique, est largement utilisé comme isolation entre électrodes dans la technique de haute tension. En électrotechnique les principales applications, des barrières concernant l'utilisation des écrans isolants entre les contacts des disjoncteurs à gaz, les interrupteurs HT, les bornes de traversées, les isolateurs, les transformateurs et les actionneurs. Ces écrans isolants peuvent être aussi métalliques sous tension de différents appareillages, des conducteurs de lignes aériennes ou des bornes à haute tension dans les laboratoires d'essais, le papier dur, la bakélite ou le PVC ont été généralement utilisés comme isolation dans les équipements suscités [1,2].

Cependant lorsque ces barrières isolantes sont installées dans des sites où règne une importante pollution atmosphérique (marine, industriel ou désertique), leurs surfaces deviennent le siège de dépôts composés d'un mélange de poussières diverses et de sels minéraux. Par temps sec, ces rejets atmosphériques naturels ou artificiels n'entraînent normalement ni la diminution de la rigidité diélectrique des systèmes utilisés ni la dégradation de l'isolation des barrières considérées. Par contre, l'humidification de ces dépôts polluants, par variation temporelle des valeurs des grandeurs métrologiques (température, taux de l'humidité,...) du milieu environnement, provoque la dissolution des sels et la formation de couches électrolytiques conductrices de courant électrique sur les surfaces des barrières isolante polluées. Il en résulte une modification de la répartition du potentiel dans l'intervalle d'air de tels systèmes, ce qui peut favoriser la formation et la développement de décharges électriques glissantes sur les surfaces des écrans pollués, pouvant progresser jusqu'à l'amorçage total de l'intervalle

d'air de ces systèmes, et par conséquent, entraîner, de nouveau, une diminution très importante de leurs rigidité diélectrique.

Un tel comportement peut même s'avérer très défavorable pour le système avec barrière par rapport à celui sans celle-ci, lorsque les dimensions et la position de la barrière sont mal estimées et le degré de pollution de la barrière isolante contaminée dépasse une certaine valeur de limite à déterminer et pour laquelle des mesures de pollution de celle-ci doivent être prises impérativement.

Les multiples raisons susmentionnées justifient le but principal visé par ce travail et consiste à savoir si l'utilisation de l'isolation en silicone comme une barrière peut améliorer la performance d'un système à champ non uniforme dans le cas, atmosphère humide polluée, ou propre et dans le cas du phénomène condensation, c'est-à-dire, lors de la formation de gouttes d'eau sur l'écran, de forme et de conductivité électrique variable.

Le présent travail s'intéresse à la performance d'un écran en silicone inséré dans un intervalle d'air pointe-plan. Il comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la synthèse des travaux de recherche essentiels effectués sur des intervalles d'air des systèmes à champ électrique non uniforme avec écran propre et /ou pollué mis sous tension continue ;
- Le deuxième chapitre sera réservé à l'étude des barrières isolantes et les décharges de développement dans l'intervalle d'air pointe-écran-plan ;
- Le troisième chapitre traite le problème de la pollution atmosphérique, les méthodes techniques de mesure du degré de pollution et de lutte contre la pollution ;
- Le dernier chapitre sera réservé à l'expérimentation et l'interprétation des résultats obtenus. Enfin, nous terminerons par une conclusion générale permettant une synthèse du travail réalisé.

# Chapitre I

Evolution du niveau des recherches sur  
la performance des écrans en tension  
continue

## I.1 Introduction

L'amélioration de l'efficacité d'un intervalle d'air d'un système à champ non uniforme avec écran propre et /ou pollué, mis sous tension alternative ou impulsionnelle, a fait l'objet de plusieurs investigations [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Cependant, peu de recherches ont été effectuées sur des systèmes à champ non uniforme avec barrière propre ou polluée mis sous tension continue.

Parmi les facteurs d'influence de la tension disruptive d'un espace d'air de tels systèmes, on peut citer les paramètres géométriques et électriques de l'écran, le nombre d'écrans, la forme et les dimensions des électrodes de base du système d'insertion.

Dans ce qui suit, des investigations essentielles sur la performance des systèmes à barrières isolantes sous tension continue, effectuées par différents chercheurs, seront passées en revue.

## I.2 Synthèse des travaux de recherches sur la performance des barrières en HVDC

### I.2.1 E. Marx, 1930 [1]

L'auteur montra qu'un mince écran isolant, placé dans un champ hétérogène, sous tension continue négative a une influence particulière sur la forme des décharges apparaissant entre les électrodes. Cela fût attribué à une transformation de la distribution du champ électrique.

Selon la position et la nature des écrans, la libre décharge entre électrodes est empêchée et une charge superficielle attachée à l'écran est favorisée. Les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière isolante et la rend sans effet remarquable et la tension disruptive peut être fortement diminuée.

### I.2.2 H. Roser, 1930 [2]

Il a fait une étude sous tension continue sur l'influence des barrières à différentes constantes diélectriques sur la rupture de l'air dans différents systèmes d'électrodes.

Pour la configuration tige-plan, si la pointe est positive, la tension disruptive augmente et elle est due à la transformation du champ électrique qui devient uniforme entre la barrière et le plan. Mais dans le cas d'une pointe négative la charge superficielle sur la barrière n'a pas la même polarité que la pointe, alors il peut y avoir une diminution de la tension disruptive.

L'auteur a aussi prouvé que lorsque la largeur de la barrière est plus grande que la distance interélectrode, l'écran isolant n'entraîne aucune amélioration supplémentaire.

Les courants porteurs avant la rupture complète sont fortement réduits par rapport à ce qu'ils étaient pour l'intervalle sans barrière. L'intensité de ces courants dépend de la tension appliquée et diminue lorsque la largeur de la barrière augmente.

Roser a étudié aussi l'influence des barrières poreuses et des barrières compactes trouées. Ces genres d'écrans empêchent la création du champ uniforme entre la barrière et le plan et n'entraînent de ce fait aucune amélioration notable de la tension disruptive. Les distances étudiées allaient jusqu'à 14cm.

### I.2.3 N. F. Wolochenko, 1947 [10]

Pour différents systèmes d'électrodes avec diverses sortes de barrières, Wolochchenko a vérifié les résultats de Marx et Roser avec un condensateur cylindrique et un système pointe-plan. A l'aide d'une sonde diélectrique, il vérifia que le champ électrique entre la barrière et le plan devient uniforme et que le champ sur la barrière diminue lorsque la largeur de cette dernière augmente, alors il a conclu que la variation de la distribution du champ est liée aux charges d'espace et aux charges superficielles sur la barrière.

Pour des intervalles d'air de 8 à 12cm, Wolochchenko n'a obtenu une bonne amélioration de la tenue diélectrique de l'air que pour les systèmes d'électrodes à champ non uniforme. Entre deux électrodes pattes ou cylindriques, la barrière provoque une très faible amélioration, si non une diminution de la tension disruptive car l'ionisation autour de la barrière est facile dans ces cas. Pour l'arrangement pointe-barrière-plan, l'auteur affirme que la rupture a lieu en différentes étapes : il y a d'abord la rupture de l'intervalle pointe-barrière, ensuite celle de l'intervalle barrière-plan qui apparaît en même temps que la rupture totale.

### I.2.4 N. N. Tikhodeev, 1958 [11]

Tikhodeev a vérifié que la rupture à tension continue d'un intervalle d'air pointe positive-plan de 4cm avec barrière, se fait en trois phases. Il y a d'abord la rupture de l'air entre la pointe et la barrière, ensuite des charges positives recouvrent la surface isolante (du côté de la pointe), un courant stationnaire s'établit et circulera autour de la barrière et en définitif a lieu la rupture complète. La densité de charges superficielle n'est pas uniforme et diminue en allant vers les bords de la barrière.

Ainsi une forte composante tangentielle du champ existe sur la barrière et favorisera l'augmentation du courant d'ionisation. Ce courant n'est limité que par la largeur de la barrière et varie en fonction de la tension indépendamment de la constante diélectrique de la

barrière. D'après Tikhodeev la largeur optimale de la barrière est trois fois supérieure à la distance entre électrodes. Pour les barrières métalliques une forte influence des bords est remarquée.

### I.2.5 K. Nowacki, 1975 [12]

Nowacki a étudié les variations de la tension disruptive de l'air sous tension continue entre deux électrodes pointues en présence de deux écrans isolants plats placés perpendiculairement à l'axe des électrodes de base. Le changement dans le comportement de la rupture de l'air dépend des propriétés diélectriques et de la position des écrans.

Nowacki a obtenu trois résultats importants pour trois cas différents. Le premier cas est lorsque les écrans sont très proches des électrodes, les décharges préliminaires glissantes provoquent la rupture totale du système et la tension disruptive devient inférieure à celle sans barrière. Le deuxième cas est quand les barrières sont placées à environ 20% de la distance pointe-pointe, les décharges préliminaires glissantes apparaissent aussi mais s'éteignent rapidement en laissant une charge sur les écrans isolants. Le passage en une étincelle glissante n'est plus possible. Le troisième cas est lorsque les écrans s'éloignent des électrodes, les charges superficielles laissées par les décharges préliminaires diminuent considérablement et laissant les écrans sans effet.

### I.2.6 Li Ming, 1993 [13]

Dans un système pointe-plan, et sous tension continue (positive et négative), la tension disruptive du système est maximale lorsque la barrière est en contact avec la pointe mise sous tension ( $a/d = 0\%$ ) et celle-ci augmente avec la croissance du diamètre de la barrière quelle que soit la polarité de la tension appliquée.

### I.2.7 Z. You Bin, 1995 [14]

La disruption des porteurs de charges positifs sur la barrière et la chute de tension entre les faces opposées de la barrière sont influencées par l'épaisseur et la permittivité de la barrière utilisée. Lorsque ces dernières auront des valeurs importantes, le champ électrique entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme, mais leur influence est beaucoup moins importante par comparaison à l'effet de la largeur et de la position de la barrière.



**I.2.8 R. Boudissa, 2009 [15]**

L'auteur a pris un système pointe-barrière-plan (axe vertical de la configuration) pour analyser l'effet du degré de pollution de l'écran isolant sur la tenue électrique d'un intervalle d'air de taille égale à 5cm et mis sous tension continue positive. Les résultats importants obtenus sont résumés comme suit:

- L'insertion d'une barrière isolante propre et sèche dans un système à champ non uniforme joue un rôle d'obstacle électrique provoquant ainsi l'allongement de la décharge disruptive et par conséquent l'amélioration de la tenue électrique de celui-ci lorsque le couple de valeurs de ses caractéristiques ( $l_b$ ,  $a/d$ ) est judicieusement déterminé;
- Le taux d'augmentation de la rigidité diélectrique d'un système avec écran propre par rapport à celui sans écran est de 196% pour une position relative ( $a/d$ ) de l'écran égale à 20% et une largeur  $l_b = 25\text{cm}$ ;
- Pour une même barrière polluée et humidifiée, le taux d'augmentation obtenu est de 20% pour un degré de sévérité de pollution très faible de la barrière isolante contaminée ( $\sigma_s = 5\mu\text{S}$ ). De ce fait le contrôle de la pollution des barrières en tension continue devient impératif afin d'assurer un meilleur isolement du système.

**I.2.9 H. Mekbel, et M. Allaoua 2010 [16]**

L'étude a été réalisée sur un système pointe-barrière-plan (axe horizontal de la configuration) sous tension continue positive. Comme paramètres essentiels d'influence de la tension disruptive de l'intervalle d'air du système à champ électrique non uniforme, ont été pris en considération, la position, l'état de la surface et l'isolement de l'écran. Les résultats émanant de cette étude peuvent être résumés de la façon suivante:

- La valeur maximale de la rigidité du système est obtenue quand la barrière, de largeur égale à 25 cm, est en contact avec la pointe sous tension ( $a/d = 0\%$ );
- La décharge évoluant dans l'espace d'air du système à écran propre et sec est de type streamers positifs quels que soient l'isolement et la position de la barrière. Par contre si l'écran est pollué, la décharge est de type leader quelle que soit la conductivité volumique de la solution polluante, supérieure à  $5\text{mS/cm}$ ;
- La tension de rupture d'un système avec barrière isolante augmente avec la distance d'isolement dans l'air de celle-ci par rapport à la terre pour devenir constante à partir

d'une certaine hauteur limite. De plus elle croît avec l'élévation de la résistance insérée entre le bord d'un écran conducteur et la terre;

- La rigidité diélectrique du système avec barrière polluée décroît rapidement avec l'élévation de la conductivité volumique pour devenir minimale et constante à partir d'une certaine valeur limite de celle-ci;
- Pour une conductivité volumique supérieure à 20mS/cm, l'efficacité d'un écran uniformément pollué est à sa valeur minimale. Elle est confondue avec celle d'une barrière métallique isolée et pulvérisée à l'eau de robinet.

### I.2.10 S. Iouknane 2011 [17]

L'étude expérimentale de l'effet de la position, l'isolation, l'isolement, le degré de pollution et le mode de sa distribution sur la surface de l'écran sur la tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système à champ électrique non uniforme mis sous tension continue positive a mené aux résultats essentiels suivants:

- Le système avec barrière isolante propre et sèche est de loin le plus rigide que celui sans celle-ci, quels que soient les paramètres considérés dans cette étude. Ceci peut être expliqué évidemment par l'adjonction des chemins de glissement des décharges électriques sur les deux grandes faces opposées très résistantes de la barrière;
- Pour un écran en verre, la valeur maximale de la rigidité du système est obtenue quand celui-ci est en contact avec la pointe sous tension. A partir de ce point, la tension d'amorçage décroît légèrement avec l'éloignement de la barrière de la pointe;
- En absence d'un écran isolant horizontal, la tension disruptive de l'espace d'air d'un système à un écran isolant vertical croît avec la hauteur de son isolement par rapport à la terre jusqu'à une valeur limite, au-delà de laquelle, elle demeure constante quelle que soit la taille de la barrière. Cette limite est fonction de la largeur de l'écran considéré;
- L'insertion d'une barrière isolante horizontale en contact simultanément avec la terre et le bord de l'écran isolant vertical permet la réduction de la taille du dispositif contenant le système à champ non uniforme tout en gardant la même tension de tenue de celui-ci, que celle obtenue lorsque la hauteur d'isolement de l'écran est supérieure à la valeur limite suscitée;

- La rigidité diélectrique du système avec barrière uniformément et/ou non uniformément polluée et humidifiée décroît plus ou moins rapidement avec l'élévation de la conductivité volumique de celle-ci pour devenir minimale et constante à partir d'une certaine valeur limite de celle-ci. Cette limite est identique pour toutes les variantes de distribution de pollution humide et est caractérisée par la diminution de la tension due à l'absence de glissement des décharges électrique sur les deux faces de l'écran. De plus la barrière fortement contaminée est équivalente à celle métallique dont la face en regard du plan mis à la terre est recouverte de fines gouttelettes d'eau;
- Le système est plus rigide lorsque la couche de pollution recouvrant la barrière est sèche que lorsqu'elle est humide.

#### I.2.11 S. Slimani et N.Oubouzi 2011 [18]

L'étude de l'effet du nombre d'écrans insérés dans l'intervalle d'air interélectrode, leur position par rapport aux électrodes de base, le mode de leur isolement par rapport à la terre et la conductivité électrique de la couche polluante recouvrant leur surface sur la performance de deux systèmes de base : pointe-pointe et pointe-plan soumis, à la tension continue positive a mené aux résultats essentiels suivants :

- Le système avec barrière est plus rigide que celui sans celle-ci quelle que soit la configuration considérée et la tension de claquage de l'intervalle d'air du système est pratiquement constante quels que soient la position de l'écran dans l'intervalle d'air interélectrode et le nombre d'écrans insérés. Ceci peut être interprété par l'allongement du canal de la décharge avec l'élévation du nombre de barrières inférieur ou égal à 2. Au-delà de cette valeur le chemin est le même ;
- La rigidité diélectrique pour les deux configurations d'électrodes pointe-pointe et pointe-plan avec deux barrières isolantes propres en contact des électrodes est maximale ;
- La tension disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe-2barrières-pointe et pointe-2écrans-plan isolées de la terre par une couche d'air croît avec la hauteur d'isolement jusqu'à une valeur limite de l'ordre de 22cm. Au delà de celle-ci, elle

demeure constante et supérieure au double de ce qu'elle est lorsque les bords des écrans verticaux sont en contact avec la terre pour le système de base pointe-pointe ;

- La rigidité diélectrique augmente respectivement de 55% pour le système pointe-pointe et de 59% pour la configuration pointe-plan lors de l'insertion d'un écran horizontal en plexiglas troué pour permettre le passage aux fils d'attache de l'écran en verre à la terre. Cette augmentation atteint 145% par rapport à celle obtenue sans écran horizontal lors de la suppression des fils d'attache à la terre pour le système pointe-pointe ;
- La tension de disruption du système avec une et/ou deux barrières polluées, diminue très rapidement en fonction de la conductivité volumique, pour enfin atteindre une valeur limite de l'ordre de 60 kV pour 2 barrières et 67kV pour une barrière. Au delà de cette limite, la valeur de la tension demeure constante quel que soit le degré de sévérité de pollution de la barrière ;
- Le système point-pointe avec une barrière est plus performant que celui avec deux écrans dans le cas pollué. Ceci peut être expliqué par le fait que l'amorçage du système à un seul écran est régi par uniquement la décharge négative dont la tension linéique est plus élevée que celle de la décharge positive ;
- La rigidité du système est diminuée de plus de la moitié dans le cas où les deux barrières isolantes verticales sont fortement polluées par rapport à celle obtenue lorsque celles-ci sont propres et sèches ;
- Les barrières isolantes fortement polluées sont équivalentes aux barrières métalliques pulvérisées à l'eau du robinet et le système de leur insertion reste rigide de plus de 30% que celui sans écran.

**I.3 Conclusion**

A l'issue de la présente synthèse sur les travaux réalisés par plusieurs chercheurs sur la protection par des écrans des systèmes électriques à champ non uniforme mis sous tension continue, nous pouvons conclure qu'à l'état actuel seules les isolations en bakélite, en verre ou en PVC ont été utilisées en tant qu'un écran isolants pour l'isolement des systèmes électriques à champ non uniforme sous atmosphère propre et /ou polluée. Les barrières en silicone n'ont fait à présent l'objet d'aucune investigation dans ce domaine.

Les seules applications de ce matériau sont réalisées dans le domaine de fabrication des câbles à gaine en silicone ou isolateurs entièrement en silicone ou recouvert d'un revêtement en silicone. L'objectif de notre travail est de voir si l'introduction de l'isolation silicone peut améliorer la performance des systèmes suscités dans le cas atmosphère humide polluée, ou propre et dans le cas du phénomène condensation, c'est-à-dire, lors de la formation de gouttes d'eau sur l'écran, de forme et de conductivité électrique variable.

# Chapitre II

Barrières isolantes et les décharges de  
développement dans l'intervalle d'air  
pointe-écran-plan

### II.1 Introduction

Pour éviter toute destruction et pertes d'énergie dans l'industrie, il faudrait utiliser des distances d'isolement importantes.

Dans la technique de haute tension l'air est l'élément isolant naturel utilisé dans la plus part des installations, appareils machines électriques et isolation entre électrodes. On trouve différentes configurations d'électrodes : pointe-pointe, plan-plan ou celles qui possèdent la rigidité diélectrique intermédiaire.

Les silicones présentent de nombreuses propriétés ( stabilité thermique , bonnes propriétés hydrophobes, bonne tenue au feu sans dégagement toxique, propriétés d'anti-adhérence ou au contraire d'adhésion (suivant l'application souhaitée), propriétés lubrifiantes et adoucissantes, grande innocuité et bonne inertie chimique [19].

### II.2. Définition [20]

#### II.2.1 Isolant

On appelle isolant électrique toute matière dont la conductivité électrique est nulle ou dans la pratique est très faible.

A l'échelle atomique une matière est dite isolante si elle ne contient pas d'électrons libres qui permettent le passage du courant électrique.

#### II.2.2 Isoler

L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction entre conducteurs électriques soumis à des tensions différentes.

#### II.2.3 Isolation

C'est un système constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants à considérer avec les parties conductrices associées.

#### II.2.4 Isolateur

L'isolateur est un composant destiné à maintenir et à isoler une ou plusieurs pièces électriquement conductrices.

D'au point de vue électrique, les isolateurs doivent offrir une grande résistance d'isolement afin qu'ils ne soient ni contournés en surface, ni perforés à travers leur masse par les tensions élevées qu'ils ont à supporter normalement.

D'au point de vue mécanique, ils doivent être assez résistant pour supporter les tensions énormes dues au poids des conducteurs.

### II.2.5 Diélectrique [20]

Un diélectrique est défini comme un milieu matériel dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparées par une énergie supérieure à 5eV. On le définit aussi comme un milieu dans lequel tout volume de la substance possède un moment dipolaire (polarisation permanente) ou susceptible d'en acquérir sous l'action d'un champ électrique (polarisation induite).

### II.2.6 Système d'isolation [20]

Un système d'isolation est constitué par des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants (isolations) à considérer, en liaison avec les parties conductrices associées.

## II. 3 Différents types d'isolants [20]

### II.3.1 Isolant gazeux

L'air et les gaz secs, considérés comme de bons isolants, sont dotés des propriétés suivantes :

- Rigidité diélectrique variable suivant la nature de gaz;
- Permittivité faible, les gaz sont auto-générateurs;
- Phénomène d'ionisation des gaz;
- Légers et inflammables.

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, gaz rares de l'air et l'hydrogène.

### II.3.2 Isolants liquides

Les liquides diélectriques sont souvent utilisés en association avec des solides (transformateurs, condensateurs et câbles). Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui sont le siège de décharges partielles.

### II.3.3 Isolants solides

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques et résineuses :



- **Les isolants d'origine minérale** : sont des substances siliceuses et calcaires, solides à la température ordinaire, incombustibles et supportant des températures élevées, à l'exception des hydrocarbures (verre, produits céramiques,...) ;
- **Les isolants d'origine organique** : sont généralement des substances fibreuses à base de cellulose. Ces matériaux ont une bonne résistance mécanique, ils sont combustibles et ne supportent pas des températures supérieures à 100°C sans perdre leurs propriétés mécaniques et diélectriques (cellulose, silicone).
- **Les isolants d'origine résineuse** : sont généralement des matières organiques naturelles ou synthétiques qui peuvent se présenter à l'état solide, thermoplastique ou plastique.

### II.4 Matériaux utilisés pour les isolants solides

#### II.4.1 Verre [21]

Il est fabriqué en fondant dans des creusets chauffés au rouge vif à une température 900 °C; un mélange de sable, de chaux et de carbonate de Sodium. Le liquide, peu fluide est coulé dans des moules en acier ayant en creux la forme des isolateurs. Chimiquement, le verre est un mélange de Silicate alcalin et de Calcium ou de Plomb.

Les principales variétés de verres utilisées dans l'industrie électrique sont les suivantes:

##### II.4.1.1 Verre trempés

Ils consistent à porter la pièce à une température voisine de son point de ramollissement 700°C et à la refroidir brusquement au moyen de jets d'air froid sous pression, ce traitement améliore les qualités mécaniques du verre ainsi que sa tenue aux chocs thermiques en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter une variation brusques de température pouvant atteindre 100°C.

L'avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ce qui n'est pas le cas des isolateurs à capot et tige en céramique, sous les efforts d'une contrainte électrique trop forte ou même lors d'une défektivité de l'isolateur.

##### II.4.1.2 Verre recuit

Ont surtout été utilisés pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension. On cite aussi les verres sodiques, borosilicate et les polyamides.

### II.4.2 Bakélite [22,23]

C'est une résine artificielle inventée vers 1909 par le chimiste BAKELAND. On l'obtient sous trois états :

- **La Bakélite A** : produite par un chauffage modéré (50°C), et une résine jaunâtre, fondant facilement et soluble dans l'alcool méthylique.
- **La Bakélite B** : C'est de la bakélite A transformée par un chauffage prolongé vers (110°C) ; elle est solide, friable, insoluble dans les dissolvants usuels ;
- **La Bakélite C** : s'obtient vers (180°C) ; elle est insoluble, dure infusible et supporte sans se décomposer une température de 300°C ; elle n'est pas attaquée par l'oxygène, l'ozone et les acides usuelles.

### II.4.3 Silicone [24]

#### II.4.3.1 Historique des silicones

L'historique des silicones est dû à la conjugaison de recherches universitaires et industrielles.

#### ➤ Matière première

La matière de base de la chimie des silicones est le quartz, c'est-à-dire la silice ou le dioxyde de silicium,  $\text{SiO}_2$ . Le nom « Silicium » provient du latin silex, silices : caillou.

Le silicium existe dans la nature uniquement sous forme combinée, principalement sous forme de dioxyde de silicium et de silicates. Ils représentent 25,8 % en poids de l'écorce terrestre ce qui en fait du silicium le deuxième élément chimique par son abondance (derrière l'oxygène) et la matière de base la plus importante des matériaux minéraux. La présence du silicium a même été trouvée dans les roches lunaires et dans les météorites. Depuis les temps historiques les plus reculés, l'homme emploie des matériaux de construction et des matières contenant du silicium, par exemple les sables, l'argile et les matériaux céramiques. L'une des plus anciennes utilisations de la silice a été la fabrication du verre.

Mais comme le silicium ne se rencontre pas dans la nature à l'état natif, il n'a été obtenu que relativement tard.

#### ➤ Recherche académique

C'est **Jöns Jacob Berzelius [24]** qui, le premier, a isolé le silicium en 1824 en traitant le fluosilicate de potassium ( $\text{K}_2\text{SiF}_6$ ) avec un excès de potassium métallique. En poursuivant ses recherches, il fit chauffer du silicium dans un courant de chlore, ce qui eut comme effet une

combustion vigoureuse. Le produit ainsi obtenu étant le tétrachlorure de silicium, une des matières de base actuelles dans la fabrication des silicones.

Pendant tout le XIXe siècle, des chimistes se sont intéressés à la chimie de "... substances dans lesquelles, le silicium jouait le même rôle dominant que celui que joue le carbone dans les composés organiques".

Tous ces travaux n'avaient cependant conduit à aucune réalisation industrielle.

La première moitié du XXe siècle a vu augmenter le nombre de chercheurs dans le domaine des dérivés organiques du silicium purent préparer des composés de silicium en passant par l'intermédiaire de siliciure de magnésium ( $\text{SiMg}_2$ ) et d'un acide. Mais c'est **F.S. Kipping [24]** qui effectua l'avancée académique la plus importante, démontrant qu'il n'existait aucune preuve que la chimie du silicium était réellement semblable à celle du carbone.

En effet après huit ans de travail, il put démontrer qu'un atome de silicium asymétrique est incapable de dévier la lumière polarisée. De même il arriva à la conclusion que le silicium ne présente pas de doubles liaisons avec le carbone ni avec l'oxygène.

**Kipping** il a constitué un moyen très efficace de fixation des groupes organiques au silicium et que dans certains cas on arrivait même à rompre la liaison  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ . Jusqu'à 1940, peu de travaux se rapportent aux composés de poids moléculaire élevé : la formation d'huiles visqueuses avait été signalée, mais ces produits avaient été obtenus plutôt par accident que volontairement et, de ce fait, n'avaient jamais été étudiés systématiquement. À la décharge de ces chercheurs il faut dire que la chimie des polymères était encore à ses balbutiements, car il a fallu attendre 1930 pour voir définis les principes de la polymérisation. Rien à l'époque ne pouvait inciter le chercheur à supposer que ces produits indésirables avaient au contraire une grande importance pratique.

### II.4.3.2 Définition [25]

On donne ce nom à toute une catégorie de corps récemment inventés qui sont analogues aux résines synthétiques. Ils sont différents, parce qu'ils ne contiennent que peu ou pas de carbone dans la constitution de leurs molécules. Ils ne sont pas combustibles. On en a fabriqué de nombreuses variétés aux propriétés très diverses et faites des huiles, des vernis, des graisses, du caoutchouc. Les silicones résistent jusqu'à 200 °C sans durcissement ni décharge, et conservent leurs propriétés dans une large gamme de température (- 40 à 200 °C).



**Fig. II.1** : Isolateur en silicone

### II.4.3.3 Structure moléculaire des silicones [26]

L'excellente stabilité et la grande liberté de formulation des silicones sont ancrées dans le motif de base. C'est là que réside leur grand avantage et leur supériorité par rapport aux autres matériaux.

Les silicones sont un groupe particulier de matières plastiques, car habituellement, le terme de plastique sous-entend de « matière organique » ; mais les silicones sont des matériaux «Semi-organiques».

#### ➤ **Stabilité exceptionnelle**

La structure des silicones, ou chimiquement parlant, des polyorganosiloxanes, est analogue à la structure organique du quartz modifié. Leur motif de base se compose d'une alternance d'atomes de silicium et d'oxygène. La haute énergie de liaison du chaînon de base silicium-oxygène (Si-O-Si-O) confère aux silicones une haute stabilité minérale, nettement supérieure à celle des polymères à motif carbone (C-C), comme par exemple l'éthylène propylène diène monomère (EPDM). A titre de comparaison, l'énergie de liaison C-C est de 348 kJ/mol et celle d'une liaison Si-O de 444 kJ/mol. La lumière solaire de courtes longueurs d'ondes (300 nm), renfermant une énergie d'environ  $6,2 \times 10^{-22}$  kJ (= 398 kJ/mol), peut entraîner la rupture des liaisons C-C tandis que la liaison Si-O reste stable, (**fig. II.2**) [26].

#### ➤ **Grande liberté de formulation [26]**

Le motif de base de la silicone peut être modifié dans différentes directions par l'apport de groupes organiques contenant du carbone afin d'obtenir des propriétés spécifiques pour une application déterminée. La greffe de groupements phényle conduit par exemple à une excellente flexibilité à froid.

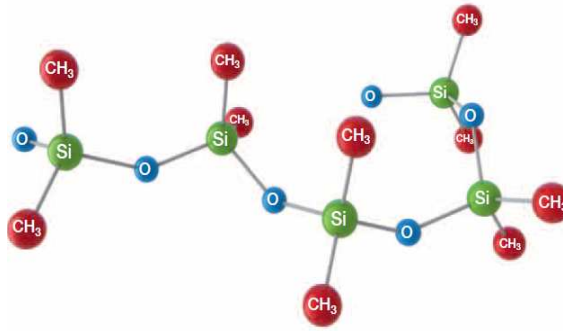


Fig. II.2 : Structure chimique d'un polymère linéaire

#### II.4.3.4 Propriétés des silicones [24]

Les vulcanisats de silicone font preuve d'une stabilité vis-à-vis des acides dilués et des alcalis, de même que vis-à-vis des solvants polaires. Ils possèdent une stabilité remarquable aux intempéries et au vieillissement. À titre d'exemple on peut citer l'estimation qui figure dans le tableau II.1.

Température (°C)	Durée de vie (années)
90	40
150	5-10
200	2-5
250	0,25
315	0,04

Tableau II.1 : Estimation de la durée de vie d'un élastomère de silicone

En raison de leur structure chimique, les silicones sont parfaitement adaptées aux applications moyennes et haute tension et présentent de nombreuses propriétés électriques, physiques, mécaniques et chimiques particulièrement intéressantes.

#### ➤ Hydrophobicité [26]

Par rapport aux autres matériaux, les silicones se distinguent par un très haut pouvoir imperméabilisant à long terme, appelé hydrophobicité : l'eau ne pénètre pas dans les pièces d'isolation en élastomères silicones, mais perle à la surface (fig. II.3), même au bout de nombreuses années. Ils minimisent les courants de cheminement et évitent les décharges dues au contournement électrique, même si la surface est fortement polluée, car ils transmettent leurs propriétés hydrophobes à la couche de dépôts par transfert d'hydrophobie.



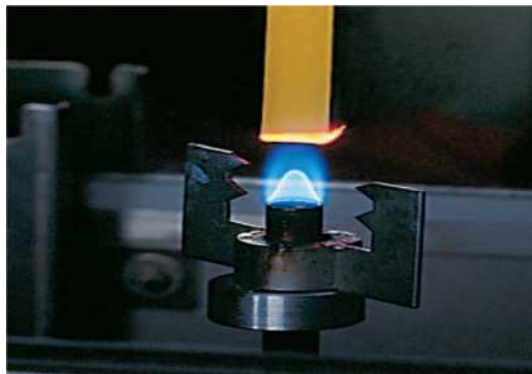
**Fig. II.3** : hydrophobicité d'une silicone

➤ **Tenue aux UV et aux intempéries [26]**

Par comparaison aux autres matériaux, les élastomères silicones sont très résistants au rayonnement Ultraviolet. Même les climats agressifs des régions côtières ou désertiques n'entament pratiquement pas leurs propriétés : l'élastomère silicone POWERSILR 310 ne présente par exemple qu'une légère altération de ses propriétés mécaniques après un test accéléré d'exposition aux intempéries de 3000 heures.

➤ **Tenue au feu [26]**

Le point d'inflammation des silicones se situe au-delà de 340 °C (**fig. II.4**), d'où leur haute sécurité de fonctionnement. Et en cas d'inflammation, ils ne dégagent pas de gaz toxiques.



**Fig. II.4** : tenue au feu de la silicone

➤ **Elasticité [26]**

La très haute élasticité des silicones facilite le montage et permet l'utilisation de nouvelles techniques de montage, comme par exemple, la rétraction à froid pour les accessoires de câbles. Par ailleurs, les silicones conservent leur élasticité jusqu'à -45 °C et conviennent de ce fait aux applications en haute altitude ou dans les régions polaires.

### ➤ Propriétés diélectriques [26]

Les silicones présentent une haute résistance électrique et un faible facteur de perte diélectrique. Par rapport aux autres isolants, leur vieillissement électrique est très faible.

### ➤ Thermo stabilité [26]

Les silicones sont très résistantes aux contraintes thermiques en raison de leur structure chimique.

### II.4.3.5 Applications des élastomères de silicone [24]

Du fait de leur exceptionnel vieillissement et de leurs propriétés mécaniques uniques, les élastomères de silicone n'ont pas cessé d'accroître leurs parts de marché dans une multitude d'applications dans les secteurs industriel, du bâtiment et grand public. Dans le passé, ils étaient considérés comme des spécialités exotiques, dont le coût justifiait leur application uniquement dans des cas où des très hautes performances étaient demandées.

L'élargissement de leur utilisation, dans les 15 dernières années, a rendu compétitifs ces produits dans des vastes secteurs, particulièrement lorsqu'on pondère leur prix, relativement élevé, par leurs propriétés supérieures. La demande dans le secteur industriel pour des produits à hautes performances n'a pas cessé de s'accroître.

## II.5 Propriétés des isolants diélectriques et thermiques [27]

### II.5.1 Propriétés diélectriques

Les éléments caractéristiques d'un isolant du point de vue électrique sont :

- La rigidité diélectrique  $E_r$  (V/m) ;
- La permittivité relative  $\epsilon_r$  ;
- La résistance en tension continue  $\rho_{cc}$  ( $\Omega\text{m}$ ) ;
- Le facteur de pertes diélectriques en tension alternative  $\text{tg } \delta$  ;
- La décharge disruptive ou claquage  $E_d$  (V/m).

#### II.5.1.1 Rigidité diélectrique [27]

On appelle rigidité diélectrique d'un isolant la tension qui provoque la perforation d'un centimètre d'épaisseur de l'isolant.

La rigidité diélectrique d'un matériau isolant est la valeur du champ électrique auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rende inapte à remplir ultérieurement sa fonction. De façon pratique, la rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport

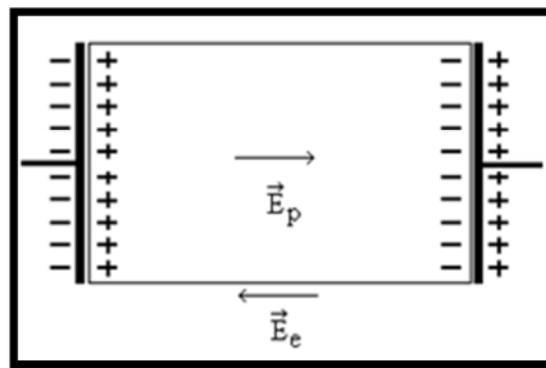
entre la tension à la quelle se produit une perforation dans les conditions d'essai spécifiées et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension.

Suivant les positions relatives des conducteurs et de la surface des matériaux on distingue :

- la rigidité diélectrique transversale, pour la quelle le champ électrique appliqué est perpendiculaire aux surfaces principales du matériau ;
- la rigidité diélectrique longitudinale, obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface.

### II.5.1.2 Permittivité [27]

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre ( $E_p$ ) à l'intérieur de la substance, s'opposant au champ électrique ( $E_{ext}$ ) extérieur appliqué (**fig. II.5**). Cette caractéristique des isolants solides et liquides porte le nom de la permittivité relative  $\epsilon_r$ .



**Fig. II.5** : champ électrique à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension.

La permittivité relative d'un diélectrique parfait est le quotient de la capacité  $C_x$  entre deux électrode supposées noyées dans ce diélectrique, par la capacité  $C_0$  de la configuration d'électrode dans le vide :

$$\epsilon_r = C_x / C_0 \quad (\text{II-1})$$

La permittivité absolue  $\epsilon_a$  est le produit de la permittivité relative par la constant électrique du vide.

$$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (\text{II-2})$$

$$\epsilon_0 = 10^{-9} / 36 \pi = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$



Dans le cas des diélectriques non parfaits, on définit de façon analogue une permittivité complexe relative qui tient compte de la dissipation d'énergie dans le diélectrique. Elle s'écrit :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \tag{II-3}$$

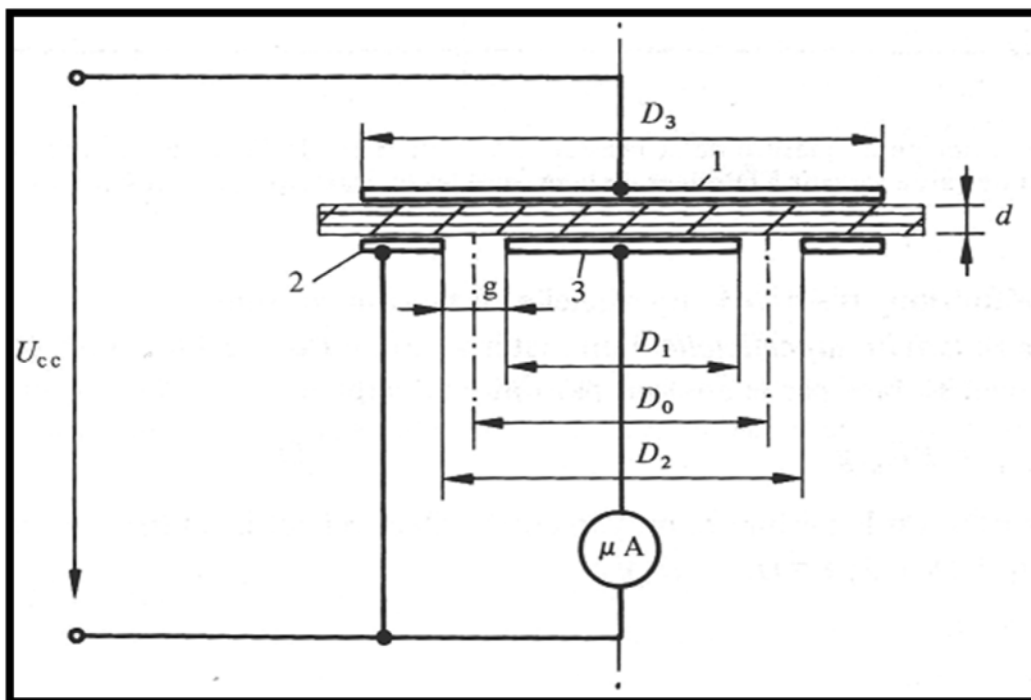
Où  $\epsilon_r'$  est la partie réelle de la permittivité complexe, jouant le même rôle que  $\epsilon_r$  dans le cas des diélectriques parfaits

$$\epsilon_a^* = \epsilon_r^* \cdot \epsilon_0 \tag{II-4}$$

**II.5.1.3 Résistance en tension continue [28]**

**II.5.1.3.1 Resistance transversale en tension continue ( $R_t$ )**

La résistance transversale  $R_t$  mesurée entre deux électrodes appliquées sur deux faces opposées d'un échantillon est le quotient de la tension continue appliquée aux électrodes par la partie du courant qui traverse l'isolant entre ces électrodes (**fig. II.6**)



**Fig. II.6** : Principe de mesure de la résistance transversale.

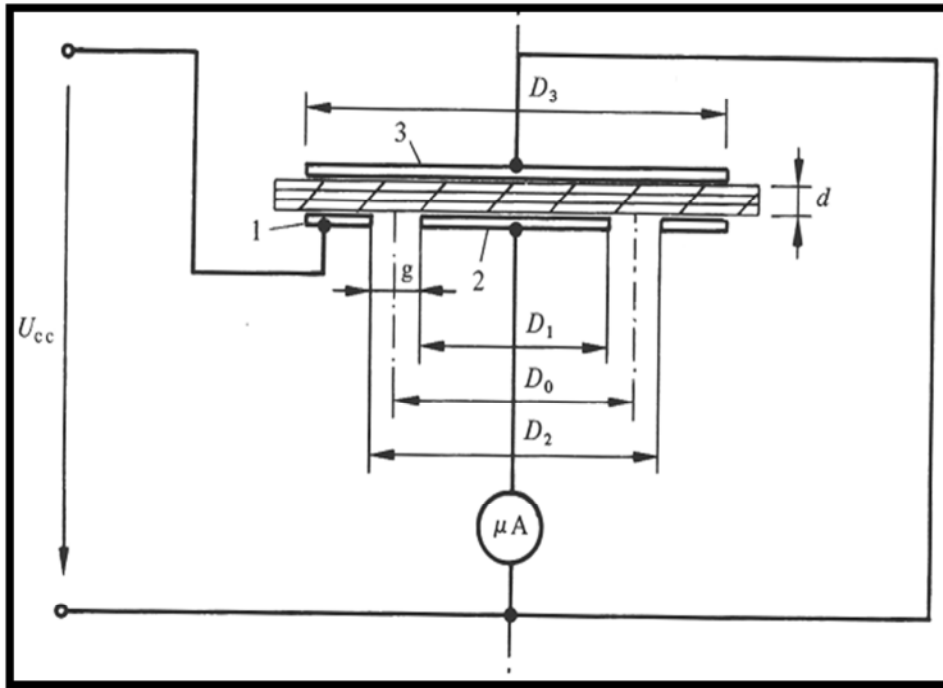
La résistivité transversale d'un matériau  $\rho_{cct}$  est le quotient du gradient de potentiel par la densité de courant qui le traverse, ce qui donne :

$$\rho_{cct} = S_k R_t / d \quad (\Omega m) \tag{II-5}$$

Ou (fig.II.6) :  $S_k = \pi^2 D_0 / 4$  et  $D_0 = (D_1 + D_2) / 2$

**II.5.1.3.2 Résistance superficielle en tension continue ( $R_s$ )**

La résistance superficielle  $R_s$  mesurée entre deux électrodes appliquées sur la même face d'un échantillon est le quotient de la tension continue appliquée aux électrodes par la partie du courant à travers la mince couche d'humidité (pollution) qui pourrait exister à la surface de l'isolant et dans les couches superficielles de ce dernier (**fig. II.7**).



**Fig. II.7** : Principe de mesure de la résistance superficielle

La résistivité superficielle d'un matériau isolant  $\rho_{ccs}$  est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur :

$$\rho_{ccs} = \frac{P R_s}{g} \tag{II-6}$$

Où :  $P = \pi D_0$  est le périmètre moyen entre l'électrode et la contre-électrode, avec

$$D_0 = (D_1 + D_2) / 2 ; g = (D_2 - D_1) / 2$$

**II.5.1.3.3 Résistance d'isolement [29]**

La résistance d'isolement entre deux électrodes qui sont en contact avec un isolant est le rapport de la tension continue appliquée aux électrodes au courant global qui les traverse à un moment après l'application de cette tension. Ce rapport dépend à la fois des résistances

transversale et superficielle de l'isolant. Ces mesures sont effectuées au moyen de générateurs de haute tension (1-5kV) portables comportant un mégohmmètre.

**II.5.1.4 Angle de pertes et le facteur de dissipation [27]**

Tout isolant soumis à un champ électrique alternatif est traversé par des courants de conduction et d'absorption qui donne lieu à des pertes diélectriques. Le diélectrique réel peut être représenté par les schémas équivalents suivants (fig. II.8) et (fig. II.9).

Le courant total traversant l'ensemble de circuit est déphasé en avance sur la tension d'un angle  $\phi < \pi/2$ . Son complément  $\delta$  est appelé angle de pertes. La tangente de cet angle est appelée facteur de dissipation(ou de pertes) et s'obtient de façon suivante :

$$\text{tg } \delta = I_a / I_r = U_a / U_r = P_a / P_r \tag{II-7}$$

D'après la formule (II.8) on peut écrire :

$$\text{tg } \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r' \tag{II-8}$$

Le produit  $\epsilon_r'' = \epsilon_r' \text{tg } \delta$  est dénommé indice de pertes, car il caractérise l'énergie dissipée dans le diélectrique.

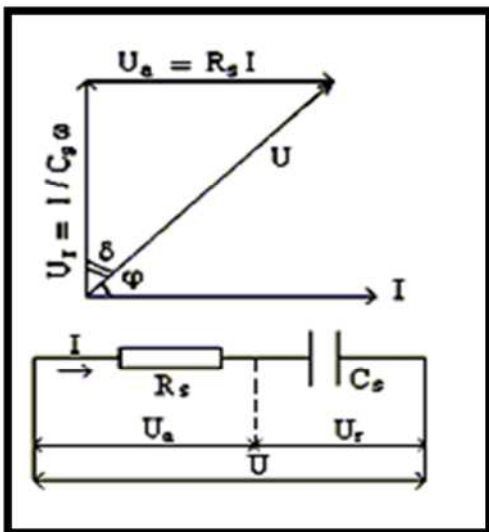


Fig. II.8 circuit électrique équivalent série

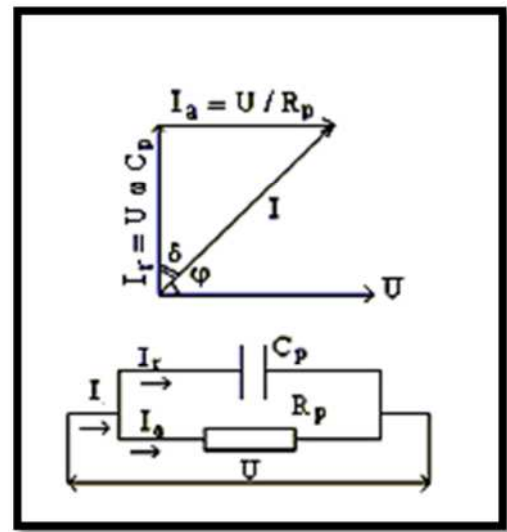


Fig. II.9 circuit électrique équivalent parallèle

**II.5.1.5 Décharge disruptive [29]**

Le développement de la décharge disruptive ou perforation diélectrique à l'intérieur des matériaux isolants solides est lié à un ou une association des phénomènes suivants :

- Décharge intrinsèque ;
- Décharge thermique ;
- Décharge partielle.

On peut citer d'autres causes secondaires découlant des précédentes, tels que les effets électrochimiques et chimiques de détérioration de l'isolant.

### II.5.1.5.1 Décharge intrinsèque

La décharge intrinsèque est due à la présence d'électrons libres, aptes à se déplacer dans l'isolant. Il existe deux types de décharges intrinsèques : l'une dite à haute température, l'autre dite à basse température. **Frohlich [30]** s'appuyant sur la structure des bandes d'énergie a établi les relations théoriques liées à ces types de décharge intrinsèque.

Le phénomène de décharge disruptive intrinsèque se manifeste préalablement par une caractéristique du courant à travers l'isolant présentant une saturation très nette à partir d'une certaine valeur de la tension.

Ce phénomène de saturation s'explique par le fait que le courant à travers l'isolant ne dépend pratiquement (décharge dépendante ou non autonome) que du nombre, bien déterminé et invariant, d'électrons libres dans l'isolant.

### II.5.1.5.2 Décharge thermique

Les pertes diélectriques dues à la conductivité non nulle des diélectriques génèrent une énergie thermique inférieure, égale ou supérieure aux possibilités d'évacuation thermique par conduction ou convection thermique du diélectrique. Si l'énergie produite est supérieure à la dissipation du diélectrique dans les conditions de refroidissement données, la température du diélectrique va augmenter entraînant sa dégradation thermique progressive par décomposition chimique et fusion. La décharge thermique se distingue de la décharge diélectrique ou partielle par le fait que sa durée est supérieure (de 1 minute environ à plusieurs heures ou même plusieurs années).

### II.5.1.5.3 Décharge partielle

Les matériaux isolants de qualité technique comportent toujours des inclusions de particules étrangères et des vacuoles gazeuses. Lorsque ces isolants sont soumis à une certaine tension alternative à fréquence industrielle on ne constate que le champ électrique plus élevé dans les vacuoles gazeuses  $E_g$  que dans l'isolant  $E_i$  (**fig. II.10**).

Etant donné la continuité du vecteur induction électrique dans un milieu non ionisé à l'état initial, on trouve :

$$\frac{E_g}{E_i} = \frac{\epsilon_{ri}}{\epsilon_{rg}}$$

$\epsilon_{ri}$  : est la permittivité relative de l'isolant

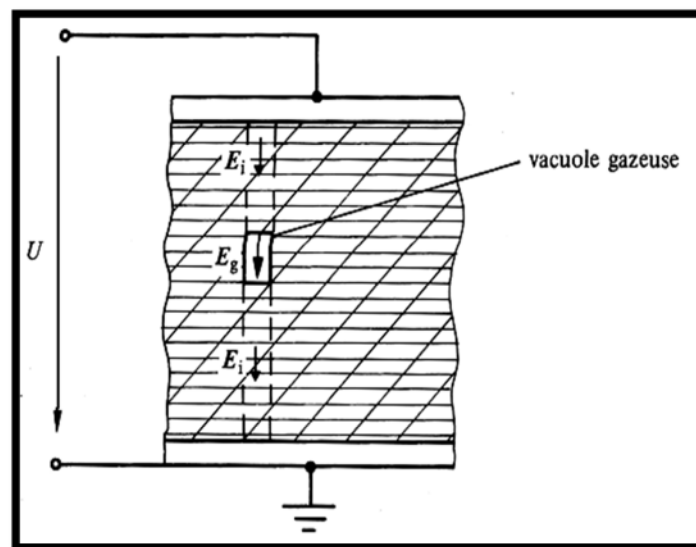
$\epsilon_{rg}$  : est la permittivité relative de gaz

Deux facteurs contribuent à faire apparaître des décharges partielles dans les isolants :

D'une part la permittivité relative des isolants solides étant toujours plus élevée (2 à 6 fois) que celle de gaz ( $\epsilon_{rg} = 1$ ), le champ électrique dans les vacuoles est proportionnellement plus élevé ;

D'autre part, la rigidité diélectrique des gaz est nettement plus basse (environ 10 fois) que celle des solides.

Ces deux constatations, allant dans le même sens, font que des décharges dites partielles apparaissent dans les vacuoles des isolants pour des tensions 20 à 60 fois plus faibles que celle qui entraîneraient la perforation du diélectrique solide.



**Fig. II.10 :** Isolant comportant une inclusion gazeuse

### II.5.2 Propriétés thermiques [27]

Elles caractérisent la résistance à la chaleur qui est donnée par la température nominale que peut supporter un matériau sans subir de transformation interne ou un vieillissement prématuré, elles permettent de préciser le point d'inflammation et de fusion.

## II.6 Décharge dans l'air

### II.6.1 Introduction

L'étude des décharges électriques présente de l'intérêt d'un point de vue industriel pour les problèmes liés à l'isolement et à la protection des réseaux de transport et de distribution

d'énergie (ligne à haute tension, transformateurs, générateurs...) ainsi plusieurs études et ouvrages se sont intéressés à leur compréhension.

Une décharge électrique (ou étincelle) est instantanée pour l'œil humain et s'accompagne d'un claquement sec et violent. Mais en réalité, cette étincelle, qui correspond au passage de l'état isolant à l'état conducteur de l'air, ne se produit pas de façon instantanée mais avec un retard qui dépend essentiellement de la valeur de la distribution et de l'évolution temporelle du champ électrique ainsi que d'autres facteurs qui sont liés à l'environnement où elle se produit.

Une barrière propre et sèche, la décharge positive est de type streamers positifs quels que soient l'isolement et la position de la barrière. Par contre lorsque l'écran est pollué, la décharge positive est de type leader quelle que soit la conductivité volumique de la barrière supérieure à 5mS/cm [16].

### II.6.2 Décharge de type streamers [15]

Si l'on considère que la mobilité des ions positifs est 104 fois plus faible de celle des électrons, la répartition des porteurs de charges ainsi que celle du champ électrique résultant peut-être estimée qualitativement (**Fig. II.11**).

Il en résulte que:

- Le champ résultant à la tête et à la queue de l'avalanche électronique est plus grand que le champ appliqué;
- Le champ résultant à l'intérieur de l'avalanche est plus petit que le champ extérieur.

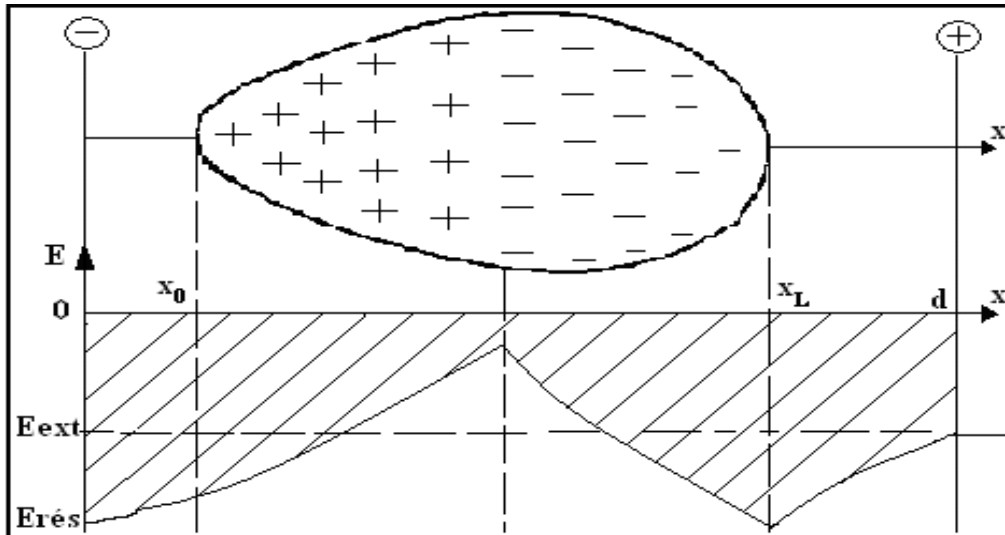
Le mécanisme de l'avalanche décrit par Townsend ne conserve sa validité que pour des produits  $dp$  inférieur à 200cm. Torr. Au-delà, l'expérimentation montre qu'il se produit des phénomènes peu compatibles avec le mécanisme d'avalanche de Townsend:

1) La densité de courant de décharge croît avec la tension. La faible mobilité des ions positifs crée une concentration de charges d'espace qui modifie le champ appliqué initialement et

donc la valeur du coefficient  $\alpha$ . Le critère s'écrit sous sa forme générale: 
$$\gamma \left( e^{\int_0^d \alpha dx} - 1 \right) = 1;$$

2) Le phénomène de streamers est caractérisé par un temps de retard de l'ordre de  $10^{-8}$ s, alors que la décharge de Townsend nécessite des temps de  $10^{-5}$ s pour entraîner un claquage. Il se produit dans des gaz soumis à des pressions élevées. Plus le produit  $dp$  est grand plus petite est la probabilité pour qu'une avalanche puisse parcourir la distance  $d$ .

Sachant que le nombre d'électrons en tête de l'avalanche ainsi que celui d'ions positifs en queue de l'avalanche augmente exponentiellement avec  $\alpha$  et  $x$ , Reather a établi un critère simple basé sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique pour que le streamer puisse se développer.



**Fig.II.11:** Avalanche électronique dans un champ homogène ( $\varphi \neq 0$ )

Il s'écrit simplement  $\int_0^{x_c} \alpha dx = \ln N_C$ , avec  $x_c$  distance critique et  $N_C$  nombre critique d'électrons, égal à environ  $10^8$  électrons.

La formation d'un streamer s'explique par des mécanismes de photoionisation (Modèle de Meek) se produisant à l'intérieur de l'avalanche primaire. Les électrons accélérés par le champ électrique excitent par collision des molécules neutres qui reviennent à leur état fondamental avec émission de photons. La tête et la queue sont aussi les sièges d'une importante émission de photons qui sont absorbés par les gaz environnant. Si l'électron produit se trouve au voisinage de l'avalanche primaire, il va créer une nouvelle avalanche, dite avalanche secondaire selon le mécanisme de multiplication électronique (**Fig.II.12**).

Les avalanches secondaires et subséquentes prennent naissance à la tête et à la queue de l'avalanche et se développent par pas dans la direction de l'anode et de la cathode. La vitesse de propagation du streamer peut atteindre  $1000\text{cm}/\mu\text{S}$ .

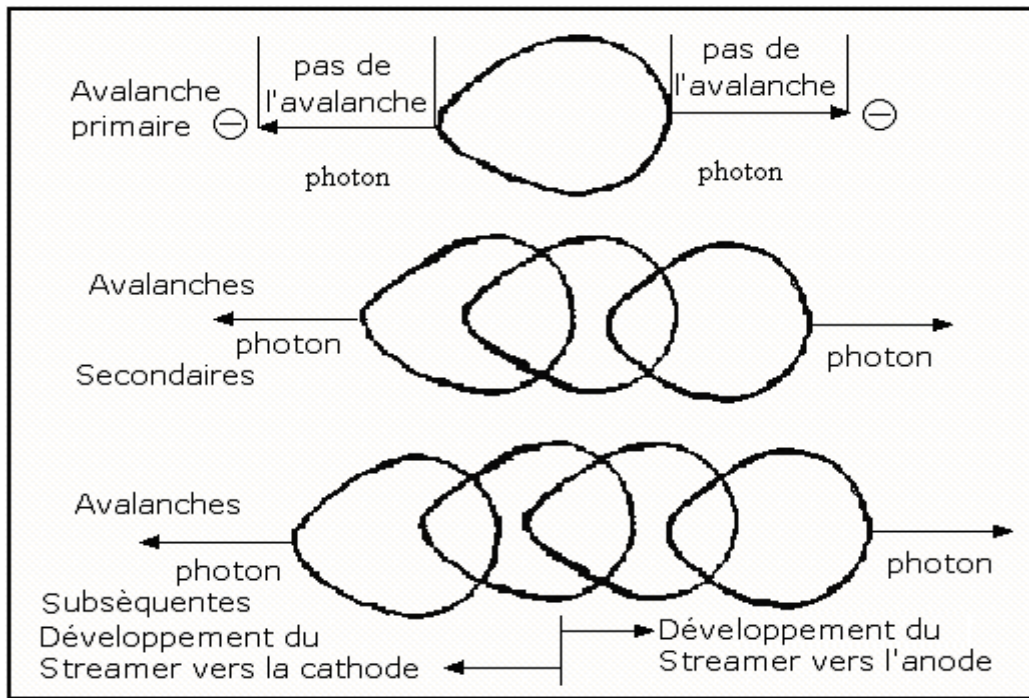


Fig. II.12: Développement d'un streamer

**II.6.3 Décharges de type leader [15]**

La tenue diélectrique des grands intervalles d'air diminue avec la distance interélectrode. Si le champ électrique moyen à l'amorçage est encore de 4,5kV/cm pour 30cm. Ceci est dû à l'influence d'un nouveau phénomène physique dénommé leader. Il est matérialisé par un canal de quelques millimètres de diamètre qui est observé dès que l'espace interélectrode dépasse une valeur comprise entre 40cm et 80cm selon les conditions expérimentales.

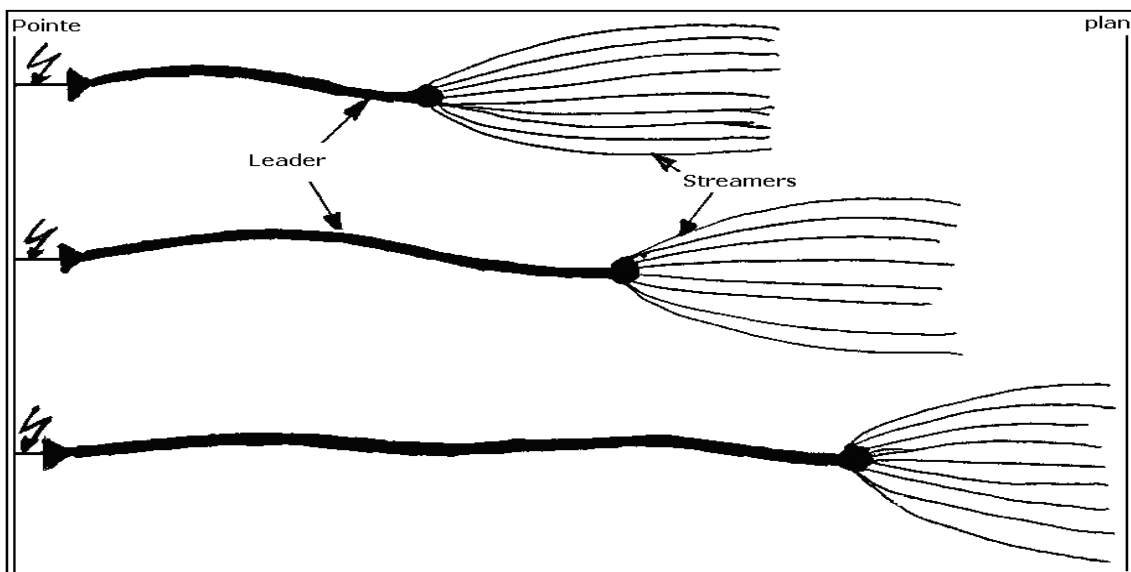


Fig.II.13: Développement d'un leader



Lorsque les streamers qui participent à l'apparition de l'effet couronne sont suffisamment développés, le gaz contenu dans le tronc commun de la décharge s'échauffe sous l'action du courant électronique, sa conductivité, se met à croître, si bien que tout se passe comme si l'électrode s'était allongée. L'effet couronne se trouve donc déplacé plus en avant dans l'intervalle (**Fig.II.13**) et de proche en proche, ce canal s'allonge jusqu'à traverser complètement l'intervalle interélectrode. C'est par un mécanisme analogue que se développe un coup de foudre.

### II.7 Différents types d'amorçage des isolations gazeuses [15]

L'amorçage d'un intervalle d'air peut avoir lieu par trois phénomènes distincts:

- Première avalanche;
- Streamers;
- Leader;

On choisit comme configuration pointe positive-plan et pour isolation gazeuse l'air pour les raisons suivantes:

- Tension de claquage plus petite possible;
- Intérêt technique (dimensionnement des isolations externes).

#### II.7.1 Amorçage de l'air par avalanche primaire

Ce type de claquage n'existe que dans le cas de champ extrêmement inhomogène (aiguilles, fil fin...etc.) et pour des tensions de choc relativement peu variable (tension continue, à fréquence industrielle) car d'une part l'avalanche électronique n'atteint pas sa taille critique avant le claquage et que d'autre part sa durée de vie est suffisamment grande pour que la formation d'un champ homogène par les charges d'espace s'établisse. Le champ électrique dans l'avalanche est de l'ordre de 15 à 20 kV/cm. La naissance d'un leader instable peut s'expliquer par le fait qu'avec l'augmentation de la tension de choc le phénomène de décharge s'intensifie créant ainsi une forte densité de courant au niveau de l'électrode sous tension engendrant une thermo-ionisation. Le claquage s'achève par propagation du leader vers l'électrode opposée (**Fig. II.14**).

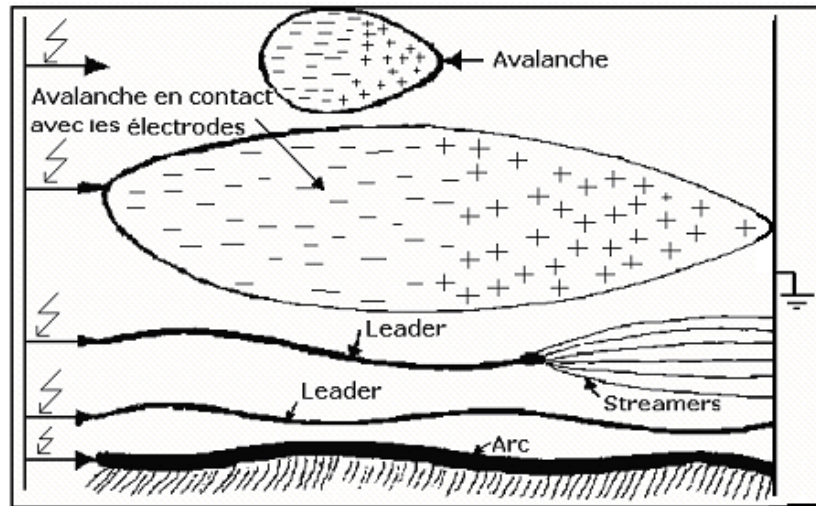


Fig. II.14: Amorçage d'un intervalle d'air par avalanche primaire

### II.7.2 Claquage de l'air par streamers

En appliquant une tension impulsionnelle dont le temps de front  $t_f$  varie entre 100 à 1000 $\mu$ s, les avalanches électroniques créées dans l'intervalle d'air interélectrode atteignent leur taille critique de telle sorte que les streamers prennent naissance dans l'espace d'air et progressent vers les électrodes. Si le champ résultant dépasse celui des streamers ( $E_{S+}=4$  à 5kV/cm), les streamers se multiplient et peuvent se propager jusqu'à contact du plan mis à la terre. A ce moment là, du fait de la contribution de l'électrode à la terre phénomène (effet  $\gamma$ ). La forte densité de courant engendrée au niveau de l'électrode sous tension provoque la thermo-ionisation. Ce phénomène donne naissance à un leader instable se développant dans l'intervalle d'air considéré. Dès que le leader relie les deux électrodes, un arc se forme, permettant ainsi la circulation du courant de court-circuit (**Fig.II.15**).

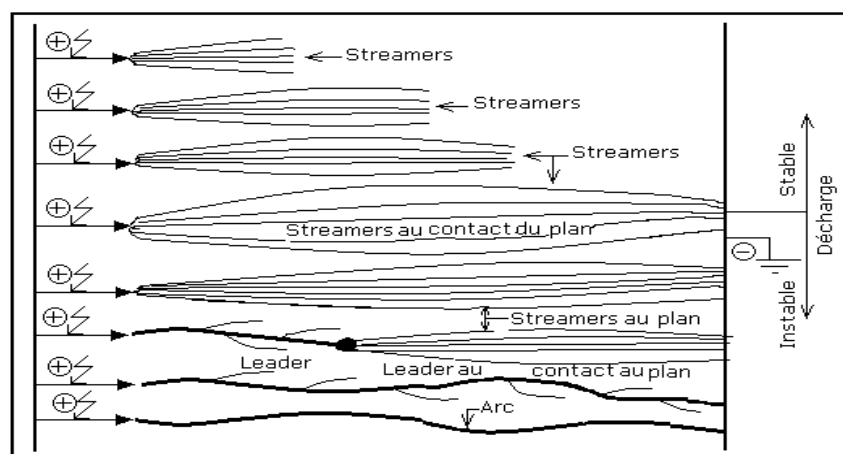


Fig.II.15 : Disruption d'un intervalle d'air par streamers

II.7.3 Disruption de l'air par leader

Pour de longs intervalles d'air, la naissance d'un leader peut avoir lieu sans la contribution de l'électrode opposée. Dans ce cas le leader est stable. Dès que les streamers issus de la tête du leader atteignent l'électrode opposée, le leader devient instable. A partir de cet instant le processus évolue de façon analogue au cas précédent (Fig. II.16).

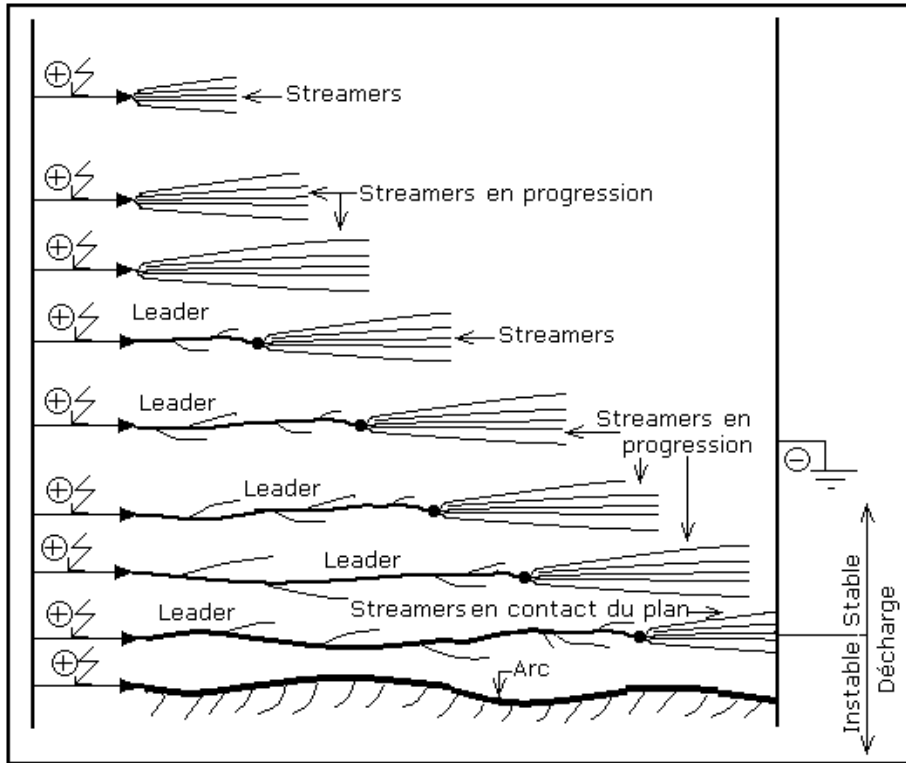


Fig. II.16: Amorçage d'un espace d'air par leader

II.8 Conclusion

D'après l'étude des caractéristiques des matériaux isolants et leurs utilisations nous pouvons conclure que :

Un matériau isolant ne peut être caractérisé électriquement que par sa rigidité et sa permittivité diélectrique, son facteur de pertes et sa résistivité transversale ou longitudinale en tension continue.

Un matériau isolant ne peut être considéré comme un bon isolant que lorsque celui-ci possède une permittivité moins élevée, des pertes électriques les plus faibles, une rigidité diélectrique très grande.

# **Chapitre III**

**Pollution**

**atmosphérique**

**III.1 Introduction**

La pollution est introduite par l'homme, directement ou indirectement sous forme de substances ou d'énergie dans l'environnement qui entraîne des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux systèmes écologiques, à porter atteinte aux agréments ou à gêner les autres utilisations légitimes de l'environnement.

Il est à souligner que dans le domaine d'électrotechnique, la pollution présente un problème majeur et essentiel, ainsi que pour les lignes de transport d'énergie, dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des ouvrages de haute tension. En effet, les dépôts polluants recouvrant les surfaces isolantes peuvent engendrer une diminution considérable de la tension de tenue des barrières isolantes. Ils peuvent dans les cas les plus critiques, conduire à un contournement total, ce qui constitue la situation la plus grave, car conduisant à la mise hors service de l'appareillage. La connaissance du degré de pollution est par conséquent une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

**III.2 Définitions [31]****III.2.1 Pollution**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

**III.2.2 Salinité (Sa)**

La salinité est définie comme la concentration du sel dans l'eau. Elle correspond à la masse de sel divisée par le volume de la solution, généralement exprimée en  $\text{kg/m}^3$ .

**III.2.3 Couche de pollution**

C'est une couche conductrice électrolytique appliquée sur la surface de l'isolateur. Elle est composée du sel et des matériaux inertes.

### III.2.4 Degré de pollution

Valeur de quantité (salinité, conductivité de la couche, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée sur une surface isolante en essai.

### III.3 Différents types de polluants [31]

Les polluants de l'air (ou polluants atmosphériques) peuvent être d'origine naturelle ou provenir des activités humaines (industries, transports). Ils sont présents en quantité extrêmement faible.

#### III.3.1 Polluants naturels

Les polluants d'origine naturelle sont principalement le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ). Ils peuvent être:

- les conséquences directes ou indirectes de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme et les feux de forêts;
- liés à des phénomènes naturels, tels que les éruptions solaires;
- le siège d'un captage d'eau potable par un animal qui fera ses besoins à proximité, ou qui serait mort et en décomposition dans l'eau.

Ces polluants naturels sont peu dangereux car ils ne restent pas très longtemps dans l'atmosphère.

#### III.3.2 Polluants dus aux activités humaines

Les principaux polluants que les hommes rejettent dans l'atmosphère sont: Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), méthane ( $\text{CH}_4$ ), le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ) et des particules en suspension. Ces polluants proviennent de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), des industries (usines métallurgiques et sidérurgiques, incinérateurs de déchets, raffineries de pétrole, etc.) et des transports routiers.

Cette pollution entraîne de graves problèmes de santé chez les êtres humains, elle est plus forte les jours où la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n'y a pas de vent.

### III.4 Différentes sources de pollution [31]

Les principales sources de pollution pouvant être rencontrées sont la pollution naturelle, la pollution industrielle et la pollution mixte.

#### III.4.1 Pollution naturelle

Ce type de pollution peut être constitué par:

- La pollution naturelle d'origine marine;
- Les autres pollutions naturelles provenant des dépôts de poussières naturelles, de sable véhiculé par les vents en régions désertiques, pluie, ...etc. On distingue:

##### III.4.1.1 Pollution marine

Dans les ouvrages installés en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur des surfaces isolantes une couche de sel, qui à plus au moins échéance, recouvre toute sa surface, y compris les parties les mieux protégées.

Cette couche de sel humidifiée par les embruns eux même, par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développent jusqu'à provoquer le contournement total de la surface isolante.

##### III.4.1.2 Pollution désertique

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur des surfaces isolantes une couche de pollution contenant des sels humidifiés. Cette couche devient conductrice. Si la surface isolante est mise sous tension, un courant de fuite peut apparaître et sera accompagné d'arcs partiels, dont la propagation sur sa surface peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur.

#### III.4.2 Pollution industrielle

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité des raffineries, des cimenteries, des complexes sidérurgiques, chimiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes de fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage, véhicules, automobile...).

Les surfaces isolantes se recouvrent de poussières faiblement conductrices, mais très hygroscopiques, car elles ont tendance à absorber l'humidité de l'air.

Dans les conditions de forte humidité (brouillard, pluie, condensation matinale), la dissolution des sels contenus dans cette poussière provoque la formation d'une couche électrolytique. Les gaz présents dans les fumées absorbées par la couche liquide, augmentent encore la conductivité superficielle. Comme dans le cas de la pollution marine, un courant de fuite circule alors dans la couche superficielle et le contournement de la surface peut survenir. La

### **III.4.3 Pollution mixte**

La pollution mixte résulte de la combinaison d'une ou plusieurs pollutions précitées. C'est la forme de pollution la plus sévère pour l'exploitation des ouvrages électriques. Par conséquent, quelle que soit la source de pollution, on observe la formation d'une couche électrolytique due à l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement sur des surfaces isolantes.

La nature et les caractéristiques des agents contaminants sont très variées. Généralement, ils ne provoquent pas à court terme de dégradation de la rigidité diélectrique lorsqu'ils sont secs. Cependant, l'humidification d'un dépôt solide accumulé progressivement sur des surfaces isolantes, quelle que soit sa nature, provoque la formation d'une couche électrolytique, caractéristique du phénomène de pollution.

### **III.5 Facteurs climatiques d'influence de la pollution [31]**

Parmi les facteurs météorologiques essentiels d'influence des dépôts polluants et par conséquent de la tenue électrique des surfaces isolantes on distingue:

#### **III.5.1 Vent**

Il constitue l'agent qui assure le transport des poussières et des sels marins ainsi que la distribution des dépôts polluants formés sur des surfaces isolantes. D'autre part, il peut être considéré comme un agent d'auto-nettoyage dans le cas où sa vitesse est grande.

#### **III.5.2 Pluie**

Les fines pluies humidifient les surfaces polluées, donc favorisent l'adhérence de pollution, ce qui augmente le risque de contournement. Cependant, les fortes pluies permettent le nettoyage des surfaces polluées et diminuent le risque de contournement.



### III.5.3 Humidité

Elle agit négativement sur la surface contaminée des surfaces isolantes car elle engendre l'augmentation de la conductivité de la couche de pollution, surtout pendant les premières heures du matin, notamment pendant les périodes sèches.

### III.5.4 Température

Pour les surfaces polluées, les hautes températures ont une influence positive, car elles sèchent les dépôts et augmentent leur résistivité. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution.

## III.6 phénomène du contournement de surfaces isolantes

### III.6.1 Tension de contournement

La tension de contournement est le niveau de tension le plus bas à partir duquel tous les arcs joignent les deux électrodes [32]. D'après A.CIMADOR et M.COJAN [33] elle dépend de :

- La nature de la tension et sa polarité ;
- La longueur de l'isolateur ;
- La forme des électrodes (pointe-plan, plan-plan,...etc.) ;
- La résistivité volumique moyenne de la couche polluante ;
- La répartition de la couche de pollution ;
- Le profil de l'isolateur (largeur de la couche de pollution) ;
- Les conditions climatiques telles que la pression, l'humidité et la température.

### III.6.2 Courant de fuite

C'est le flux d'électrons (courant) qui circule à travers la couche polluante le long de la surface de l'isolateur. Ce courant est de faible d'amplitude et son intensité devient de plus en plus importante lorsqu'on s'approche de la tension de contournement.

Ce courant dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La nature de la couche polluante (la résistivité volumique moyenne de la couche polluante) ;
- La nature de la tension appliquée et sa polarité ;
- La forme des électrodes (pointe-plan, plan-plan,...) ;
- La longueur de la ligne de fuite.

### III.7 Effet de la pollution sur la rigidité diélectrique de l'air

Les études menées par Kaluzny.A.J [34] sous un champ uniforme et non uniforme, permettent de noter les constatations suivantes :

- La rigidité diélectrique de l'intervalle d'air dépend de la concentration des impuretés de l'air (par exemple impuretés industrielles), comme elle dépend largement de l'humidité. La rigidité diélectrique augmente en présence d'impuretés pour des valeurs de l'humidité comprises entre  $11 \text{ g/m}^3$  et  $13.1 \text{ g/m}^3$  et décroît si l'humidité est supérieure à  $13.1 \text{ g/m}^3$  ;
- La rigidité diélectrique de l'air polluée diminue en augmentant la distance interélectrode.

### III.8 Méthodes de mesure de sévérité du degré de pollution d'un site

#### III.8.1 Conductivité électrique de la pollution [31]

##### ➤ Dispositif et procédé de mesure

La méthode est basée sur la mesure de la conductivité d'un dépôt polluant à l'aide d'un conductimètre à sonde mobile (**Fig. III.1**).

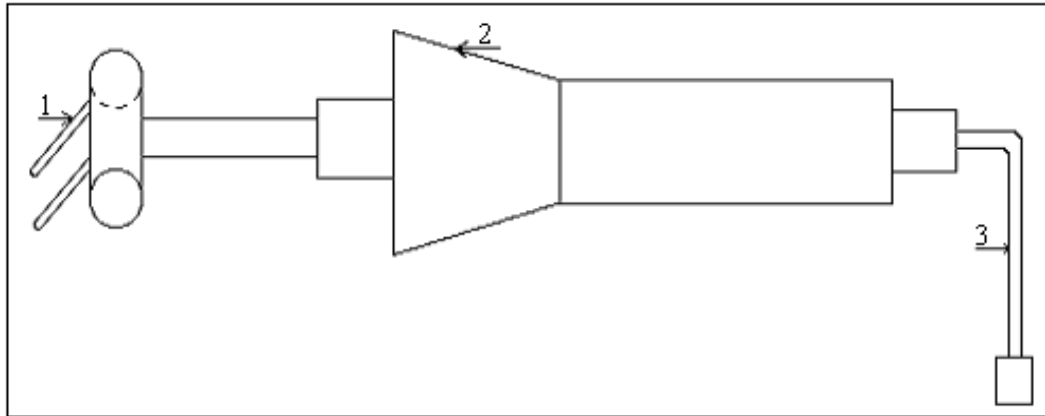


**Fig. III.1:** Photo d'un conductimètre à sonde mobile.

La sonde est composée essentiellement:

- de la tête qui est constituée de deux électrodes (1);
- du poignet (2);
- du câble de liaison entre la sonde et l'appareil de mesure (3).

Il existe plusieurs types de sondes qui se distinguent par l'humidification de la pollution et la géométrie des électrodes. Les sondes à électrodes linéaires et planes sont illustrées par les figures (III.2a et III.2b).



**Fig. III.2a:** Sonde à électrodes linéaires

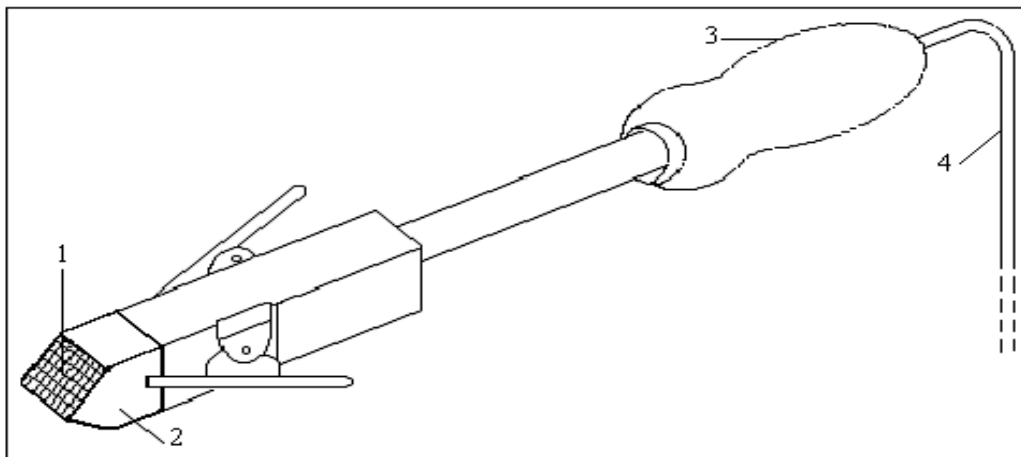
- 1: électrodes linéaires à extrémités arrondies;
- 2 : poignée de la sonde;
- 3: câble de liaison avec le conductimètre.

Dans le cas de la sonde à électrodes linéaires (Fig. III.2a), l'humidification du dépôt polluant est réalisée à l'aide de l'eau distillée. Elle doit être effectuée de telle sorte qu'il n'y ait pas d'écoulement de l'eau pulvérisée sur la surface polluée. Après humidification de la surface contaminée, des mesures peuvent être effectuées sur différents points de la surface isolante.

Dans le cas de la sonde à électrodes planes (Fig. III.2b), avant d'effectuer les mesures sur une surface polluée d'une barrière isolante, il faut:

- fixer une bande sèche absorbante (papier PH), de dimensions (10 mm x 10 mm), sur la tête de la sonde (1);
- avant chaque essai la bande absorbante doit être trempée dans l'eau distillée dont la conductivité volumique doit être inférieure ou égale à  $10\mu\text{S}/\text{cm}$ . Le nettoyage et l'humidification de la bande absorbante nécessitent une quantité d'un litre d'eau distillée;
- après chaque nettoyage la tête de la sonde doit être secouée pour éliminer les gouttelettes d'eau distillée non absorbées par le papier;
- vérifier que la conductivité superficielle propre de la bande absorbante  $\sigma_p$  ne dépasse pas  $2\mu\text{S}$ ;

- poser légèrement la tête de la sonde sur un endroit choisi au préalable, sur la couche de pollution de la surface isolante étudié, de telle sorte que la surface de la bande soit en bon contact avec la surface polluée équivalente correspondante;
- s'assurer que l'eau absorbée par la bande ne se propage pas au-delà de la surface de contact. Pendant que le dépôt polluant se trouvant en dessous de la surface du papier absorbant se dépose sur celle-ci, l'eau distillée passe de la bande absorbante vers la pollution, de telle sorte que la conductivité équivalente de la couche de pollution, résulte des conductivités de la pollution humidifiée et de la bande polluée.



**Fig. III.2 b:** Sonde à électrodes planes avec papier absorbant.

- 1: tête de la sonde;
- 2: électrodes planes;
- 3: poignée de la sonde;
- 4: câble de connexion au conductimètre.

La conductivité d'un dépôt polluant est donnée par la formule suivante:

$$\sigma_m = \sigma_i (f_s / f_a) \quad (\text{III.1})$$

Où :

$\sigma_m$  : est la conductivité mesurée ( $\mu\text{S}$ );

$\sigma_i$  : est la conductivité superficielle indiquée par l'appareil ( $\mu\text{S}$ );

$f_s$  : est le facteur de forme de la sonde utilisée (**Tab. III.1**).

Pour une sonde à électrodes planes, le facteur de forme est égal à 1.

$f_a$  : est le facteur de forme de l'appareil (donné généralement par le constructeur).

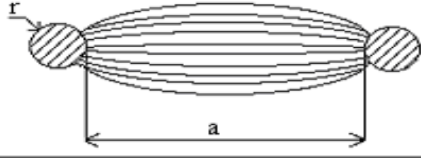
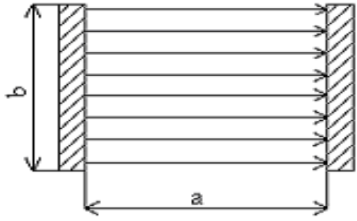
La conductivité superficielle réelle  $\sigma_r$  est donnée par la relation suivante:

$$\sigma_r = \sigma_m - \sigma_p \quad (\text{III.2})$$

Où :

$\sigma_m$  : est la conductivité mesurée ( $\mu S$ ), donnée par la formule (III.1);

$\sigma_p$  : est la conductivité propre de la bande absorbante ( $\mu S$ ).

Nature de la sonde	Procédé d'humidification	Configuration d'électrodes	Facteur de forme
Sonde à électrodes linéaires	Humidification de la couche de pollution à l'aide d'un pulvérisateur à eau distillée		$f_s = \frac{\ln a}{3,14 r}$ ( $a \gg r$ )
Sonde à électrodes planes	Pose d'une bande à papier absorbant humidifiée sur la couche de pollution		$f_s = \frac{a}{b}$ (Champ négligeable au voisinage des électrodes)

Tab. III.1: Tableau récapitulatif des facteurs de forme pour chaque type de sonde

La conductivité d'un dépôt polluant dépend de la température. Celle-ci peut-être lue directement sur l'appareil de mesure considéré. La conductivité correspondant à 20°C ( $\sigma_{r20^\circ C}$ ) est déduite de la formule suivante.

$$\sigma_{r20^\circ C} = (\sigma_{rT} / \alpha) \tag{III.3}$$

Avec :

$\sigma_{rT}$  : Conductivité de la couche de pollution à la température T ( $\mu S$ ).

$\alpha$  : Facteur de correction donné par le tableau (Tab. III.2).

Température T (°C)	0	9	10	15	20	25	30	35	40
Facteur de correction $\alpha$	0.6	0.68	0.77	0.89	1.00	1.12	1.23	1.34	1.45

Tab. III.2: Facteur de correction  $\alpha$  en fonction de la température

### III.8.2 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) [35]

Il s'agit du dépôt équivalent, en milligrammes de NaCl/cm<sup>2</sup> de la surface isolante dont la conductivité électrique est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau. Pour calculer la DDSE, il faut prélever les dépôts polluants de la surface isolante sélectionnés. Les dépôts sont récupérés par lavage à l'aide d'un matériau absorbant (coton, mouchoir en papier, éponge, brosse) et de l'eau distillée, a moins qu'il soit gratté à sec. Le dépôt est dissout

dans l'eau distillée, la suspension obtenue est constamment agitée au moins pendant deux minutes avant de procéder à la mesure de la conductivité volumique  $\sigma_\theta$  de la suspension à température  $\theta$  en °C.

La conductivité à la température ambiante ( $\theta=20^\circ\text{C}$ ) est donnée par la relation:

$$\sigma_{20} = \sigma_\theta [1-b(\theta-20)] \quad (\text{III.4})$$

Où :

$\theta$  : est la température de la suspension en °C;

$\sigma_\theta$  : est la conductivité volumique à la température de  $\theta$  °C en (S/m);

$\sigma_{20}$  : est la conductivité volumique à la température de 20°C en (S/m);

$b$  : est le facteur dépendant de la température  $\theta$  °C, qui est donné par la relation suivante:

$$b = -3,2 \cdot 10^{-8} \theta^3 + 1,032 \cdot 10^{-5} \theta^2 - 8,272 \cdot 10^{-4} \theta + 3,544 \cdot 10^{-2} \quad (\text{III.5})$$

Lorsque  $\sigma_{20}$  est à l'intérieure de l'intervalle (0,004 – 0,4) S/m, la salinité de la suspension est déterminée par la formule suivante:

$$\text{Sa} = (5,7 \cdot \sigma_{20})^{1,03} \quad (\text{III.6})$$

Avec:

Sa : en  $\text{kg/m}^3$  et  $\sigma_{20}$  en S/m.

La densité du dépôt de sel équivalent est donnée par la formule suivante:

$$\text{DDSE} = \text{Sa} \cdot V/S \quad (\text{III.7})$$

Avec :

V : volume de la suspension en  $\text{m}^3$ ;

S : surface nettoyée en  $\text{m}^2$ ;

DDSE : en  $\text{kg/m}^2$ .

Pour la détermination de la sévérité du site, les mesures doivent être répétées avec une fréquence suffisante pour obtenir les niveaux entre les périodes de lavage naturel. En conséquence, plusieurs collecteurs doivent être exposés pendant toute la période d'essais. Si le lavage naturel est rare, des intervalles entre prélèvements d'un mois ou plus peuvent être suffisants pour acquérir l'information sur l'accumulation en fonction du temps. D'autre part, si la pollution se dépose très rapidement, il sera nécessaire de raccourcir l'intervalle entre prélèvements, pour obtenir un résultat plus sûr, les prélèvements sont habituellement effectués sur plusieurs collecteurs.

La DDSE ne dépend pas seulement de la forme de la surface isolante mais aussi de la position dans laquelle elle est installée, c'est-à-dire l'angle qu'elle fait avec la verticale et son orientation.

Cette méthode mesure l'équivalent du composant actif du contaminant sans tenir compte de certains facteurs à savoir l'humidification de la couche de pollution et le processus d'amorçage des arcs.

### III.8.3 Conductance superficielle

Elle est définie comme le rapport du courant à fréquence industrielle qui traverse la couche de pollution recouvrant une surface isolante à la tension appliquée. La tension utilisée est d'environ 30 kV par mètre de largeur de la couche de pollution, mais inférieure à la tension de service.

Le niveau de pollution et le degré d'humidification de la couche, permettent de déterminer les performances de la surface isolante, ainsi, la mesure de la conductance superficielle est une méthode satisfaisante pour évaluer la sévérité de pollution d'un site.

La conductance superficielle  $G$  est obtenue en appliquant pendant 2 à 5 périodes une tension alternative 50 Hz donnée  $V$ , en mesurant le courant de fuite maximum  $I$  traversant la couche de pollution, la conductance est donnée par la formule **(III.8)**.

$$G = I / V \quad \text{(III.8)}$$

Avec :

$I$  : le courant en A;

$V$  : la tension en V;

$G$  : la conductance en S.

La conductivité superficielle  $\sigma$  de la surface isolante est obtenue en multipliant la conductance superficielle  $G$  par le facteur de forme  $f$ , défini par la formule **(III.9)**:

$$\sigma = f . G \quad \text{(III.9)}$$

Où  $f$  : est le facteur de forme.

Si la couche n'est pas homogène, la conductivité superficielle locale peut être obtenue en mesurant la conductance d'une partie de la surface isolante en utilisant des électrodes auxiliaires intermédiaires. Les tensions élevées peuvent être à l'origine de la distorsion du courant de fuite, car elles créent des zones sèches sur la surface isolante. Ceci peut être évité en limitant le temps d'application de la tension.

L'expérience a montré que la tension ne doit pas être appliquée pendant plus de deux à cinq périodes et le courant pendant la première période ne doit pas être pris en considération.

Lors de la méthode d'essai artificielle, il est préférable d'utiliser différentes géométries pour contrôler la validité de cette méthode, qui n'est valable que si toutes les formes utilisées donnent des valeurs voisines de la sévérité, même si la conductance ou la conductivité superficielle sont différentes.

L'utilisation d'une tension d'essai inférieure à la tension de service est avantageuse puisqu'elle réduit le risque de contournement des surfaces isolantes en essai. Il est ainsi, impossible d'enregistrer des conductances superficielles dans la gamme des valeurs critiques, qui sont d'un intérêt fondamental pour l'évaluation du risque de défaillance. De plus, l'utilisation de faibles tensions permet d'utiliser des transformateurs moins chers et d'automatiser les équipements de mesures puisque le risque d'amorçage est faible.

#### III.8.4 Contrainte de contournement

La contrainte de contournement d'une surface isolante est la tension de contournement à fréquence industrielle divisée par la largeur totale de la surface. Pendant une période donnée, on détermine soit la contrainte de contournement soit la relation entre contrainte de contournement et la fréquence de contournement.

La mesure de cette contrainte donne toutes les informations nécessaires au calcul de la largeur des surfaces isolantes utilisées qui donnera une fiabilité meilleure.

La mesure de la contrainte de contournement sur site peut être effectuée à l'aide de l'une des variantes suivantes:

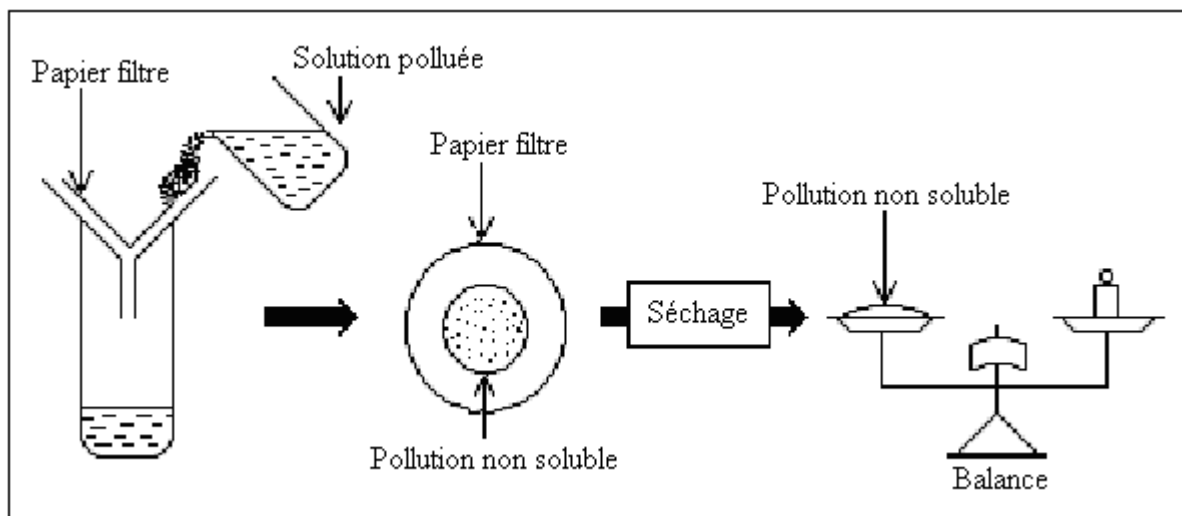
- On dispose des surfaces isolantes de différentes largeurs soumises à une tension constante qui est interrompue généralement et rétablie par un disjoncteur à fermeture automatique. Donc la surface isolante la plus courte contourne. Elle sera mise soit hors circuit au moyen d'un fusible pour l'isoler complètement soit augmenter sa largeur. Ce processus doit être renouvelé afin d'obtenir des résultats statistiquement utilisables;
- La deuxième variante donne plus d'informations sur les surfaces isolantes, elle consiste à placer sur celle-ci des fusibles permettant d'allonger sa longueur effective jusqu'à ce que le niveau tenant la contrainte soit atteint ;
- Plusieurs surfaces isolantes dotées de fusibles et soumise à une tension constante. Lorsque les conditions atmosphériques sont telles que le contournement a lieu, la tension à réappliquer sera diminuée afin d'examiner la possibilité de contournement à contrainte



réduite. Le processus sera répété jusqu'à obtenir la contrainte minimale de contournement. On doit disposer d'une source de tension très élevée afin de provoquer le contournement d'un assez grand nombre de surfaces isolantes élémentaires. L'impédance de la source doit être assez faible pour ne pas modifier la contrainte de contournement. La variante nécessite une régulation automatique de la tension.

### III.8.5 Densité de dépôt non soluble (DDNS)

La densité de dépôt non soluble correspond à la quantité de produits non solubles présents dans une couche de pollution. La détermination de la DDNS (**fig.III.3**) s'effectue comme suit:



**Fig. III.3:** Schéma et procédé de mesure de la DDNS

La solution obtenue par la méthode de la DDSE est filtrée à l'aide d'un papier filtre. Le dépôt non soluble restant après filtrage est séché puis pesé. La DDNS peut être calculée par la formule suivante:

$$DDNS = 1000 (m_f - m_i)/A \quad (\text{III.10})$$

Où: DDNS : est la densité de dépôt non soluble en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ ;

$m_f$  : est la masse du papier filtre contenant la pollution après séchage en g;

$m_i$  : est la masse initiale du papier filtre en g;

A : est la surface lavée de la barrière en  $\text{cm}^2$ .

### III.9 Méthodes d'essais sous pollution

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

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

### **III.9.1 Essais sous pollution naturelle**

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

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

### **III.9.2 Essais sous pollution artificielle**

Les essais au laboratoire sont basés sur la reproduction de la couche de pollution par des solutions réparties à la surface de l'isolateur et dont la conductivité peut être modifiée. Afin de valider les essais sous pollution artificielle, il a été nécessaire de comparer les performances des isolateurs testés au laboratoire à celles des isolateurs en exploitation dans des conditions naturelles de pollution. Une première approche consiste à rechercher une méthode qui simule le mieux possible les conditions naturelles de pollution, en tenant compte de la répartition non uniforme de la pollution. Une deuxième approche consiste à rechercher une méthode de laboratoire susceptible de fournir des résultats reproductibles, afin de faciliter la comparaison des performances des différents types d'isolateurs [36].

### **III.10 Techniques de lutte contre la pollution**

Pour un niveau de pollution donné, une bonne conception des lignes basée sur des mesures de sévérité de pollution permet de prévenir, autant que possible, les incidents lorsque la ligne est en service. Mais un changement dans les données d'un site est toujours possible, c'est-à-dire même un dimensionnement initialement correct peut s'avérer insuffisant dans certaines conditions [37]. Les différentes méthodes utilisées consistent à :

### III.10.1 Graissage de surfaces isolantes (couches hydrophobes)

Grâce à ses propriétés hydrophobes, le graissage protège temporairement les isolateurs. La longévité du graissage dépend à la fois de l'environnement (pollution, conditions climatiques) et de la qualité intrinsèque du produit. Elle est généralement comprise entre 1 et 4 ans. Le graissage est largement utilisé dans le monde, mais l'opération de nettoyage puis de graissage est pénible, longue et coûteuse. Elle nécessite, par ailleurs, une interruption de service [37].

### III.10.2 Revêtements à base de silicones

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

### III.10.3 Nettoyages hors tension

Le nettoyage manuel (essuyage à sec de l'isolateur) ou le lavage hors tension, peuvent être utilisés de façon périodique, en particulier dans les postes. Comme ces méthodes sont utilisées hors tension, elles entraînent nécessairement des interruptions de service parfois assez longues. Le nettoyage des isolateurs à l'aide d'un abrasif pulvérisé sous pression est une technique utilisée dans certain pays (Amérique du Nord en particulier). Cette technique permet le nettoyage d'isolateurs recouverts de pollution très adhérente (ciment, par exemple) et peut être utilisée pour dégraisser les isolateurs.

**III.11 Conclusion**

Les phénomènes de pollution sont à l'origine de défaillance des isolateurs qui peuvent causer des dommages et le disfonctionnement des ouvrages électriques. Parmi ces dommages, le contournement des isolateurs peut survenir même à la tension de service. Ce phénomène est observé dans des endroits où règne une pollution atmosphérique significative telle que les régions industrielles ou côtières.

La tension de contournement d'un isolateur pollué dépend essentiellement de la conductivité du dépôt polluant (degré de pollution) ainsi que la répartition de la couche de pollution sur la surface isolante. La connaissance de ce degré de pollution est par conséquent, une condition préalable et indispensable pour apprécier le niveau de l'isolement des ouvrages installés sur site, en vue de dimensionner convenablement l'isolation.

La méthode d'essai sous pollution artificielle est largement utilisée. Elle consiste à reproduire au laboratoire les conditions de la pollution naturelle, ainsi qu'elle possède l'avantage d'être rapide.

Les techniques de lutte contre la pollution actuellement connues (graissage, revêtements hydrophobes...), permettent de disposer aujourd'hui de solutions curatives à la plupart des problèmes de pollution rencontrés par les exploitants sur le réseau.

# Chapitre IV

Partie expérimentale

### IV.1 Introduction

Le but de ce chapitre est d'étudier expérimentalement l'effet de la position ( $a/d$ ), l'état de surface d'un écran en silicone horizontal et/ou vertical (sans et avec gouttes d'eau) et la conductivité volumique des gouttes d'eau déposées sur sa surface, sur l'efficacité d'un système à champ électrique non uniforme (pointe-écran-plan) mis sous tension continue positive. Pour une longueur de l'intervalle d'air  $d$  égale à 5cm, nous déterminerons, dans un premier temps, la position ( $a/d$ ) de la barrière isolante sans gouttes correspondant à une efficacité maximale du système d'insertion, ensuite nous étudierons l'influence de la conductivité volumique des gouttes d'eau est son mode de répartition sur la surface de l'écran, sur la tension disruptive de l'espace d'air de la configuration suscitée, ainsi que la visualisation de la décharge électrique évoluant dans le système.

### IV.2 Modèle expérimental et techniques de mesure

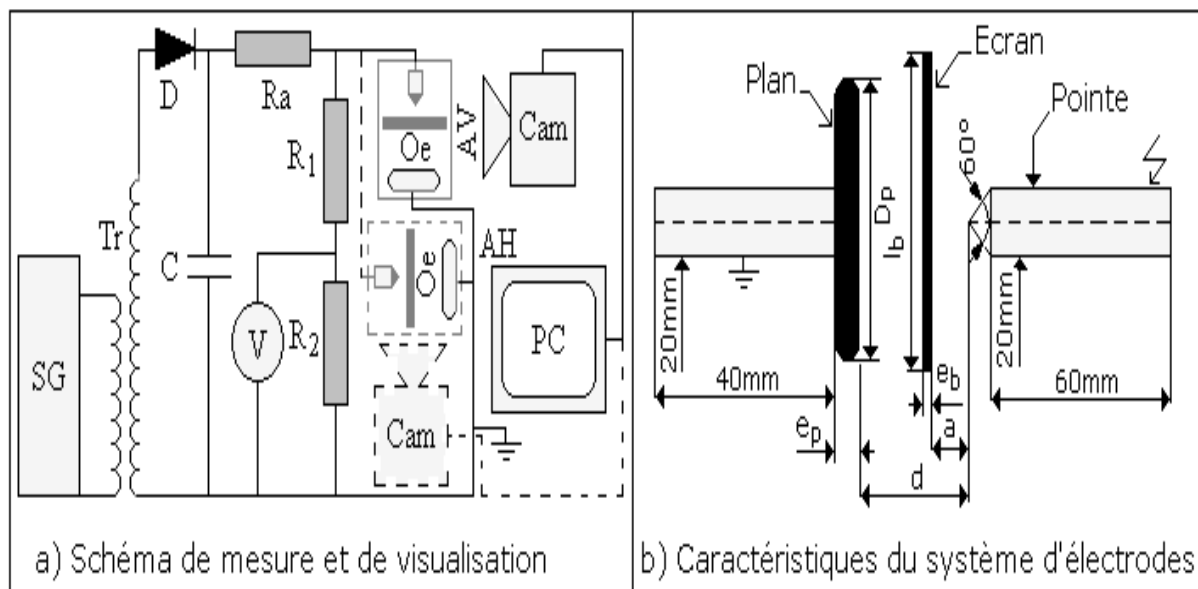
L'estimation de la performance du système avec barrière et la visualisation du phénomène électrique évoluant dans l'espace interélectrode de celui-ci peuvent être réalisées à l'aide du schéma électrique illustré par la figure **IV.1.a**. Le circuit de mesure de la tension de disruption du système considéré est composé d'un transformateur (Tr) qui peut délivrer à son secondaire à la sortie de la résistance de limitation de courant une tension continue maximale de 135kV et dont la variation temporelle de sa rampe peut être obtenue automatiquement à l'aide de l'appareil de commande manuelle ou automatique SG et un voltmètre de crête V (DC/AC) à affichage numérique, une diode haute tension D, une capacité de filtrage C, une résistance haute tension de limitation de courant Ra et un diviseur de tension résistif ( $R_2, R_1$ ) auquel est connecté notre objet d'essai (OE) qui n'est tout autre que le système d'électrodes pointe-barrière-plan à axe vertical (AV) ou horizontal (AH).

Le circuit de visualisation est constitué d'un Caméscope (Cam) pour l'enregistrement des différentes phases de la décharge électrique se développant dans l'espace interélectrode du système et d'un PC pour une meilleure observation et analyse de celle-ci.

Le modèle expérimental, représenté en figure **IV.1.b**, est composé d'une tige pointue, d'une barrière plane carrée et d'un plan circulaire. L'électrode haute tension est constituée d'une tige cylindrique en bronze de 20 mm de diamètre et 60 mm de longueur. Celle-ci est terminée par une pointe conique en bronze ayant un angle de  $60^\circ$  et de 1mm de rayon de courbure. L'électrode à la terre est constituée d'un disque en acier de 10 mm d'épaisseur et 15cm de diamètre. Ces deux électrodes sont fixées sur les deux faces opposées d'un support

en bois de forme U, de 45 cm de longueur et 33 cm de largeur. La distance dans l'air entre ces deux électrodes de base est fixée à 5cm. Les écrans isolants utilisés sont en verre et en silicone, de forme carrée de 6mm d'épaisseur et de 25cm de côté. Le troisième type de barrières est la barrière métallique (conductrice) circulaire, de 25 cm de diamètre et 5 mm d'épaisseur, a été utilisée à titre de référence comme barrière extrêmement polluée.

Le maintien en parallèle des différentes barrières isolantes par rapport au plan de base et leur isolement par rapport à la terre ont été réalisés par le biais de fils isolants (nylon) attachés à support en bois cubique et mobile. Les déplacements verticaux et horizontaux des barrières sont assurés par le support en bois mobile suscitée. Le support repose sur une table en bois métallisée mise à la terre et située à 1 m du sol.



**Fig. IV.1** : Schéma de mesure et de visualisation

$I_b$ : Largeur de l'écran;

$e_b$ : Épaisseur de l'écran;

$d$ : distance entre les deux électrodes de base;

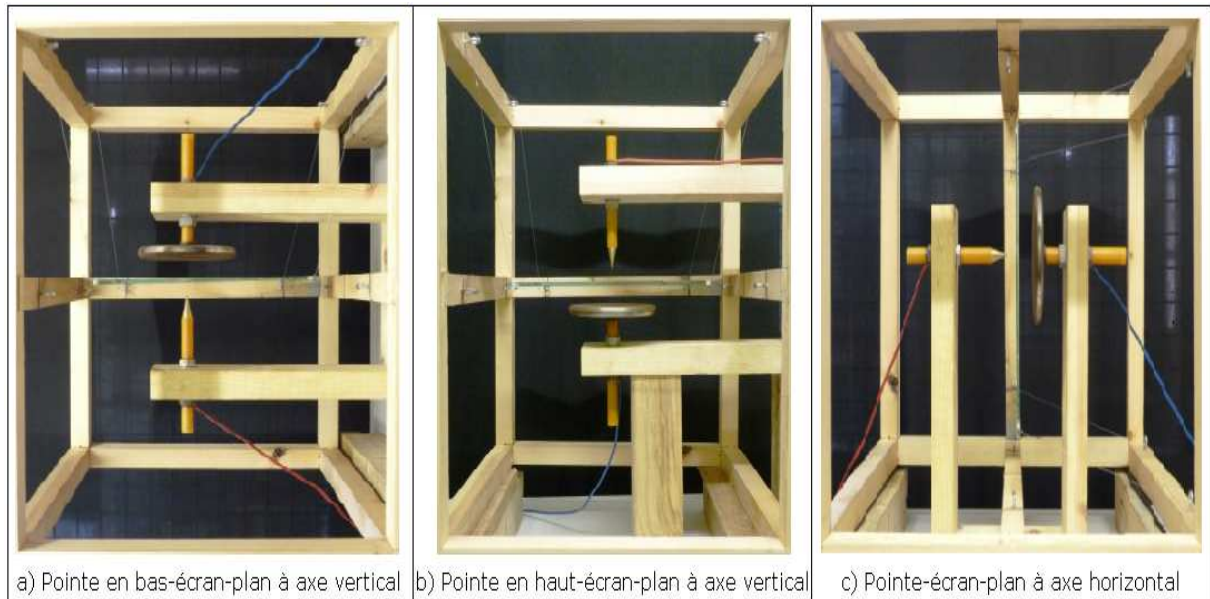
$a$ : distance entre la barrière et la pointe sous tension;

$D_p$ : Diamètre du plan à la terre;

$e_p$ : Épaisseur du plan;

$r$  : rayon de courbure de la pointe sous tension.

Le modèle expérimental représenté en figure IV.2, peut être orienté verticalement ou horizontalement en le tournant facilement dans le sens des aiguilles d'une montre.



**Fig. IV.2:** Différentes positions du modèle expérimental

La solution polluante est composée d'un mélange d'eau distillée ou de robinet, selon la conductivité volumique souhaitée, auxquels on ajoute des petites quantités de sel pour varier la conductivité de la pollution. Ainsi nous fixons la conductivité de la solution ionique à la valeur désirée, grâce à un conductimètre à sonde mobile (**fig. IV.3**). Les différentes conductivités volumiques utilisées dans notre étude sont : (0 ; 0,1; 1; 5 ; 10; 15 et 20) mS/cm.

A chaque essai, la conductivité est vérifiée et ajustée afin de garder les mêmes caractéristiques de la pollution.



**Fig. IV.3 :** Appareil de mesure de conductivité volumique



### IV.2.1 Nature de la face de l'écran recouverte des gouttes d'eau

Les surfaces recouvertes des gouttes d'eau sur la barrière sont les suivantes: faces HT, face terre et les deux faces.

La distribution des gouttes d'eau sur l'écran est appliquée à l'aide d'un pulvérisateur sur la quelle on apporte approximativement la même quantité des gouttes d'eau durant tous les essais.



**Fig. IV.4** : Nombre de faces de l'écran recouvertes de gouttes d'eau sur l'écran

### IV.2.2 Procédé d'essai

Après préparation de l'objet d'essai, nous procédons à la mesure de la tension de claquage de l'intervalle d'air du système pour les cas sans et avec gouttes d'eau. Il est à noter que la valeur mesurée de la tension disruptive est la moyenne de 10 essais espacés entre eux de trente minutes à une heure.

### IV.3 Correction des résultats de tension en fonction des conditions atmosphériques

La tension de disruption de l'intervalle d'air avec barrière du système est étroitement liée aux conditions climatiques, à savoir, la température, la pression et l'humidité de l'air environnant.

La valeur de la tension de disruption, dans les conditions normales de température ambiante, de pression et d'humidité ( $\theta = 20^\circ\text{C}$ ,  $P = 100\text{kPa}$  et  $H = 11\text{ g/m}^3$ ), est donnée par la relation suivante :

$$\hat{U}_{c0} = \frac{K_h}{K_d} \cdot \hat{U}_c \quad (\text{IV.1})$$

$\hat{U}_c$ : Tension de disruption à la température  $\theta$ , à la pression  $P$  et à l'humidité  $H$ ;

$\hat{U}_{c0}$ : Tension de disruption dans les conditions normales de température  $\theta$ , de pression  $P$  et d'humidité  $H$ ;

$K_d$ : Facteur de correction relatif à la température et à la pression

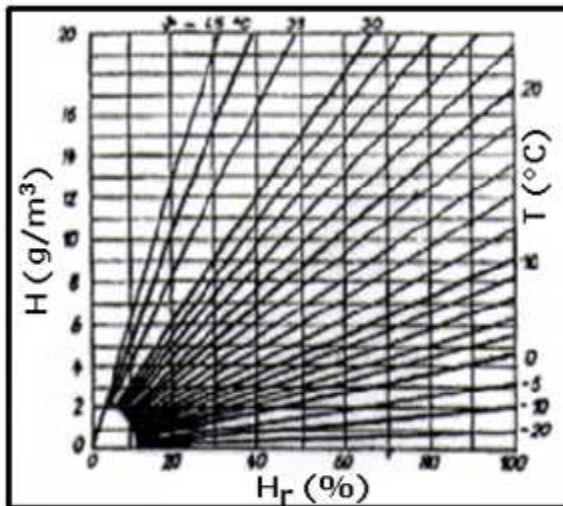
$K_h$ : Facteur de correction relatif à l'humidité.

$$K_d = \frac{2.93 \cdot P}{(273 + \theta)} \quad (\text{IV.2})$$

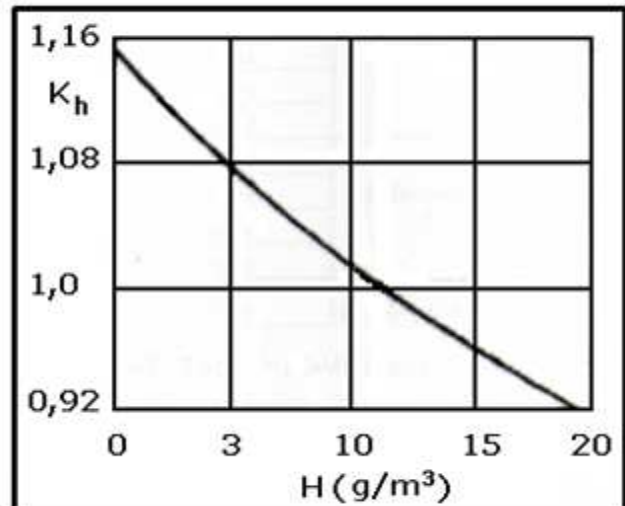
P : Pression en kPa;

$\theta$  : Température en °C.

Pour calculer le facteur de correction  $K_h$ , relatif à l'humidité, une transformation de l'humidité relative exprimée en % vers l'humidité absolue exprimée en ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), est nécessaire, car  $K_h$  est donnée en fonction de cette dernière. L'abaque de la figure **IV.5**, donne la transformation de l'humidité relative à l'humidité absolue, en fonction de la température. La valeur de l'humidité absolue lue sur l'abaque **IV.5** est reportée sur l'abaque de la figure **IV.6**, pour déduire  $K_h$ .



**Fig. IV.5:** Humidité absolue en fonction de l'humidité relative et de la température



**Fig. IV.6 :**  $K_h$  en fonction de l'humidité absolu

### Exemple de calcul:

Soit un système pointe-barrière propre et sèche-plan caractérisé par  $D_p = 15$  cm,  $l_b = 25$  cm,  $e_b = 6$  mm et  $a/d = 0\%$ . ( $a/d$ : position relative de la barrière par rapport à la pointe sous tension) Pour les conditions de température, de pression et d'humidité suivantes:

$T = 23^\circ\text{C}$ ,  $P = 1014\text{hPa}$ ,  $H_r = 56\%$ , la tension disruptive du système avec écran mesurée a pour valeur:  $\hat{U}_c = 145$  kV. En utilisant les formules de correction suscitées et les abaques ci-dessus (**Fig. IV.5** et **Fig. IV.6**), nous trouvons:

$$K_h = 1,01$$

$$K_d = (297,102)/(296) \longrightarrow K_d = 1,0037.$$

$$\hat{U}_{c0} = (1,01/ 1,0037) \hat{U}_c \longrightarrow \hat{U}_{c0} = 145,91 \text{ kV}.$$

#### IV.4 Résultats et discussions

##### IV.4.1 les Propriétés diélectriques des écrans

Nous avons mesuré au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaia à l'aide du Pont de Schering de quelques propriétés diélectriques de la silicone et le verre. Les valeurs de mesures sont résumées dans le tableau IV.1

isolation	silicone	verre
<b>Propriétés diélectrique</b>		
$\epsilon_r$	3,96	9,56
$\rho_{cct} \quad (\Omega.m)$	$6,78.10^3$	$9,303.10^9$
$\rho_{ccs} \quad (\Omega)$	$40,15.10^{10}$	$19,142.10^{10}$
$tg\delta$	0,0099	0,11

**Tab. IV.1** : Valeurs de quelques paramètres électriques des isolations en silicone et en verre

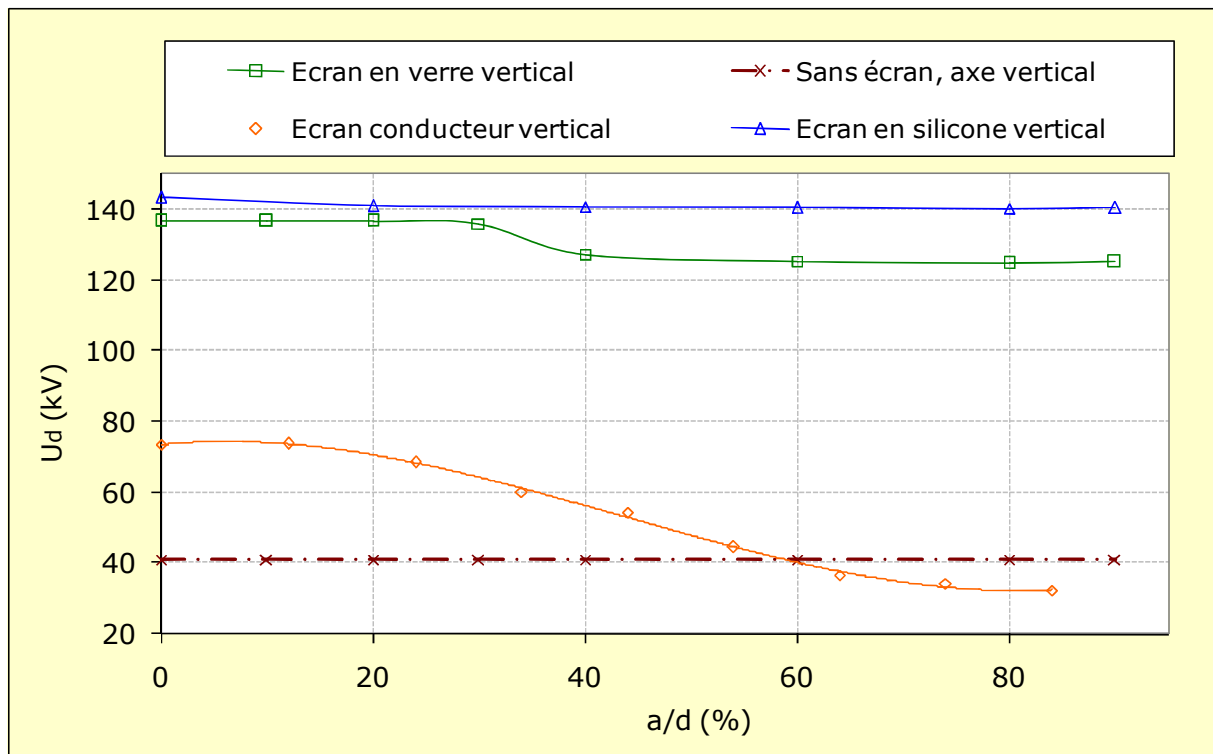
D'après le tableau ci-dessus la silicone s'avère plus isolante, résistive et présente 10 fois moins de pertes que le verre.

##### IV.4.2 Barrières isolantes dépourvues de gouttes d'eau

Une barrière est dite à surface propre lorsqu'aucune goutte d'eau ne repose sur celle-ci. Elle est obtenue en la lavant puis la rinçant à l'eau distillée et enfin en la séchant à l'aide du papier mouchoir. Dans ce cas de figure deux paramètres d'influence de la barrière sur la tension disruptive du système ont été étudiés à savoir la position relative (a/d) de l'écran par rapport à l'électrode haute tension du système et la nature de l'écran inséré. L'effet de ces facteurs sur la tension d'amorçage de l'espace d'air interélectrode du système considéré a été mis en évidence par les figures IV. (7, 8 et 9).

Il résulte de la figure IV.7 que pour la barrière en silicone, la valeur maximale de la rigidité du système (143,38kV) est obtenue lorsque la barrière est en contact avec la pointe sous tension (a/d = 0%). A partir de ce point, la tension disruptive de l'intervalle d'air du

système décroît très légèrement pour enfin atteindre une valeur limite constante et égale à 140kV. Celle-ci est supérieure à celle du même système à écran en verre. Le remplacement de la barrière en silicone par une barrière en verre donne une allure de la tension disruptive décroissante avec la position de l'écran isolant. Sa valeur maximale est de l'ordre de 136,85kV. Celle-ci est obtenue lorsque l'écran en verre est mis en contact avec l'électrode haute tension, celle-ci est plus grande que celle du même système sans écran. Le remplacement de la barrière en silicone par une autre métallique donne une allure de la tension disruptive décroissante avec la position de l'écran conducteur. Sa valeur maximale est de l'ordre de 73,87kV. Celle-ci est obtenue lorsque l'écran conducteur se trouve à 10% de l'électrode haute tension. Donc le système avec écran en silicone est plus rigide qu'avec celui en verre, et conducteur. Cet écart peut être expliqué par la tension due au contournement par l'arc des deux faces résistantes de la silicone par rapport à celles conductrices de l'écran métallique.



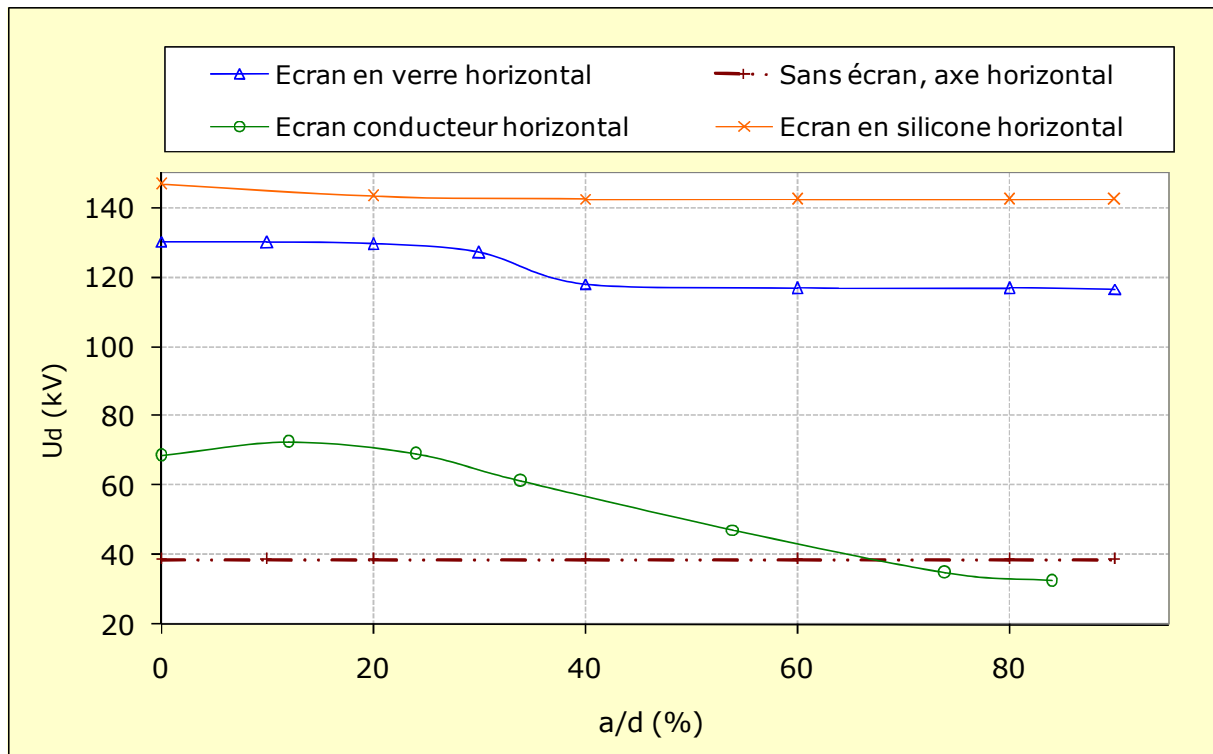
**Fig. IV.7:** Tension disruptive en fonction de la position de la barrière propre par rapport à l'électrode haute tension (système à axe horizontal, nature de l'écran variable)

Il résulte de la figure **IV.8**, que pour les barrières en silicone et en verre, les valeurs maximales de la rigidité du système sont respectivement (146.6 et 130.4) kV obtenues quand

la barrière est en contact avec la pointe HT ( $a/d=0\%$ ). A partir de ce point la tension disruptive de l'intervalle d'air du système diminue légèrement lorsqu'on éloigne la barrière de la pointe pour enfin atteindre une valeur limite constante et égale à 140kV pour l'écran hydrophobe et 116.7kV pour le verre.

Ces deux dernières valeurs sont de loin supérieures à la valeur maximale de la tension disruptive de l'écran conducteur ou sans écran.

La rigidité diélectrique d'un écran en silicone est meilleure que celle de l'écran en verre. Cette différence peut être expliquée par l'élévation de la valeur de la résistivité d'un écran en silicone par rapport à celle du verre.

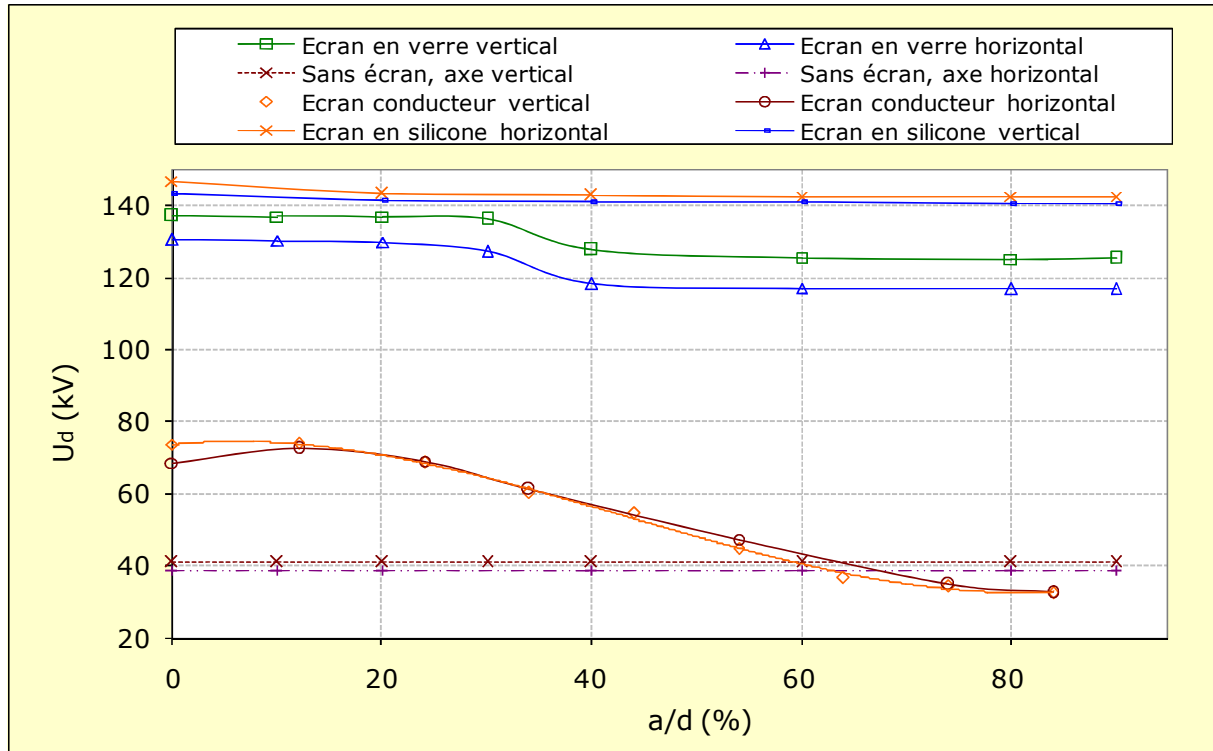


**Fig. IV.8:** Tension disruptive en fonction de la position de la barrière propre par rapport à l'électrode haute tension (système à axe vertical, nature de l'écran variable)

La figure **IV.9** nous donne la comparaison de la tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système pointe-écran-plan dans le cas d'une barrière horizontale et verticale en fonction de la position ( $a/d$ ). On remarque que la barrière isolante en silicone insérée horizontalement apporte une très petite amélioration par rapport à la même barrière lorsque celle-ci est placée verticalement. Cette différence est due à la concavité du l'écran horizontal, c'est-à-dire l'augmentation de chemin parcouru par la décharge.

Par contre quant on place une barrière en verre, on remarque l'inverse, c'est-à-dire ; l'emplacement vertical, donne une tension disruptive, plus importante que l'emplacement horizontal de la même barrière, ceci peut être expliqué par la résistance d'isolement de la couche d'air limitée par le bord de l'écran et la terre.

Dans le cas d'un écran conducteur les deux courbes sont presque confondues. Ceci peut être expliqué par le chemin identique de rupture du système.



**Fig. IV.9** : Tension disruptive en fonction de la position de la barrière propre par rapport à l'électrode haute tension (système à axe variable, nature de l'écran variable)

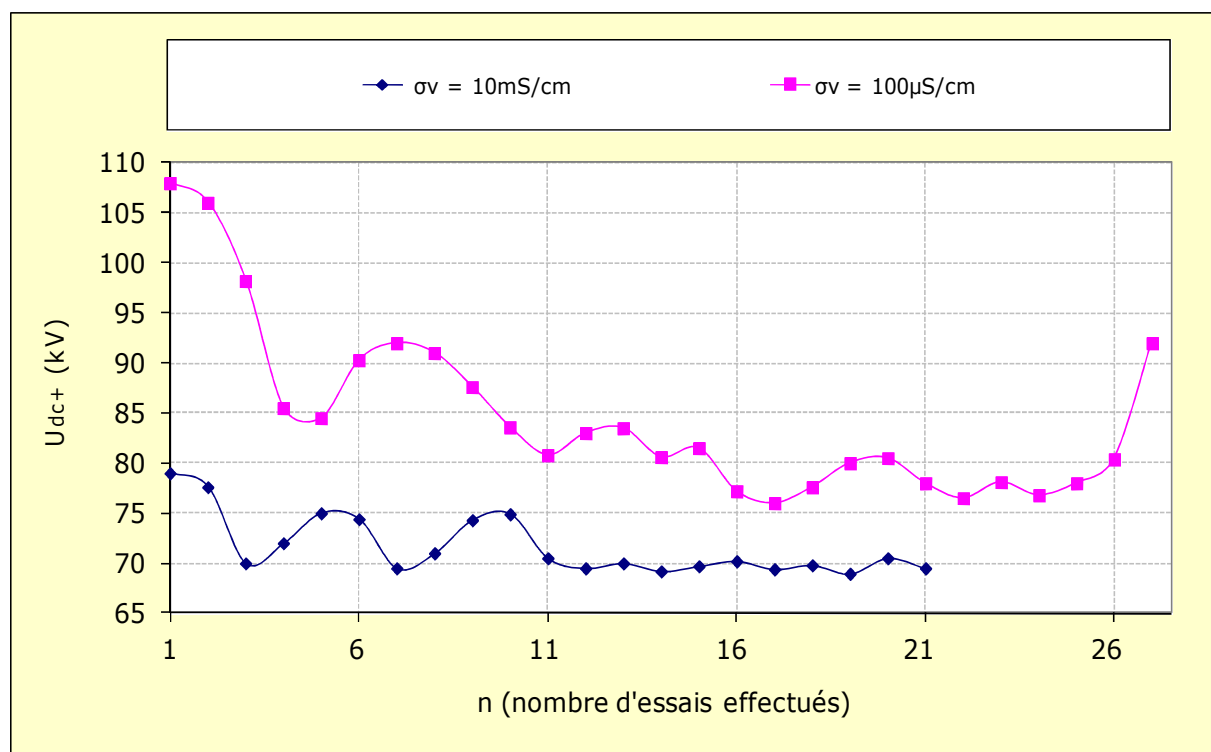
### IV.4.3 Barrières recouvertes de gouttes d'eau

#### IV.4.3.1 Vérification de l'hydrophobie de l'écran en silicone

La figure **IV.10** nous donne l'allure des courbes de tension de disruption de l'intervalle d'air pointe-écran en silicone-plan pour deux conductivités volumique des gouttes d'eau recouvrant l'écran, en fonction du nombre d'essais de rupture du système. L'intervalle de temps séparant deux essais successifs est environ de 7mn. Il résulte de cette figure que la perte d'hydrophobie est plus grande lorsque la conductivité volumique des gouttes d'eau est plus faible ( $\sigma=100\mu\text{S/cm}$ ). Ceci est du probablement à la valeur élevée de la tension de décharge de rupture et l'intensité des microdécharges formées entre les gouttes d'eau. Il faut remarquer aussi que dans ce cas la tension disruptive diminue de 23kV au bout des 4 premières essais et

de 10kV au bout de 13 essais suivants à partir de là tension disruptive reste sensiblement croissante. Après une pose d'une heure le retour d'hydrophobie est partiel puisque la tension de rupture n'est que de 92kV. Cette valeur est encore loin de celle de départ (108kV).

Lorsque la conductivité des gouttes d'eau est plus élevée, la tension disruptive du 1<sup>er</sup> essai de rupture est de 78kV. Elle oscille ensuite entre cette valeur et 70kV pour enfin ce stabiliser à cette dernière au bout de 11<sup>ème</sup> essais. Des essais de disruption de l'espace d'air du système ont montré qu'un intervalle de temps de demi-heure entre deux essais successifs est largement suffisant pour un retour d'hydrophobie. Cet intervalle de temps sera mis en considération dans notre expérimentation.



**Fig. IV.10** : Tension disruptive en fonction de nombres d'essais pour une barrière en silicone recouverte des gouttes d'eau (système à axe vertical, conductivité volumique variable)

Au bout de quelques essais, la figure **IV.11** montre qu'il y a une apparition sur la surface de l'écran en silicone un étalement du volume des gouttes d'eau, cela est du probablement à la perte d'hydrophobie.



**Fig. IV.11 :** Vue de la face HT avant la mise sous tension de l'écran avec perte partielle d'hydrophobie

#### IV.4.3.2 Orientation de l'écran par rapport à l'axe du système

L'étude de l'effet des gouttelettes d'eau sur la rigidité du système a été réalisée dans notre cas en faisant varier la conductivité volumique des gouttes recouvrant la barrière en silicone de 0 à 20 mS/cm. Trois configurations ont été investiguées à savoir la face sous la pointe haute tension de l'écran, la face terre de la barrière et l'écran horizontal totalement recouvert de gouttes d'eau.

Après chaque essai, la barrière est nettoyée avec de l'eau distillé puis essuyée à l'aide d'un papier absorbant est laissée au repos trente minutes, dans le but de récupérer ces caractéristiques hydrophobes. Une nouvelle pulvérisation de gouttes d'eau est ensuite appliquée sur la surface de la barrière pour l'essai suivant.

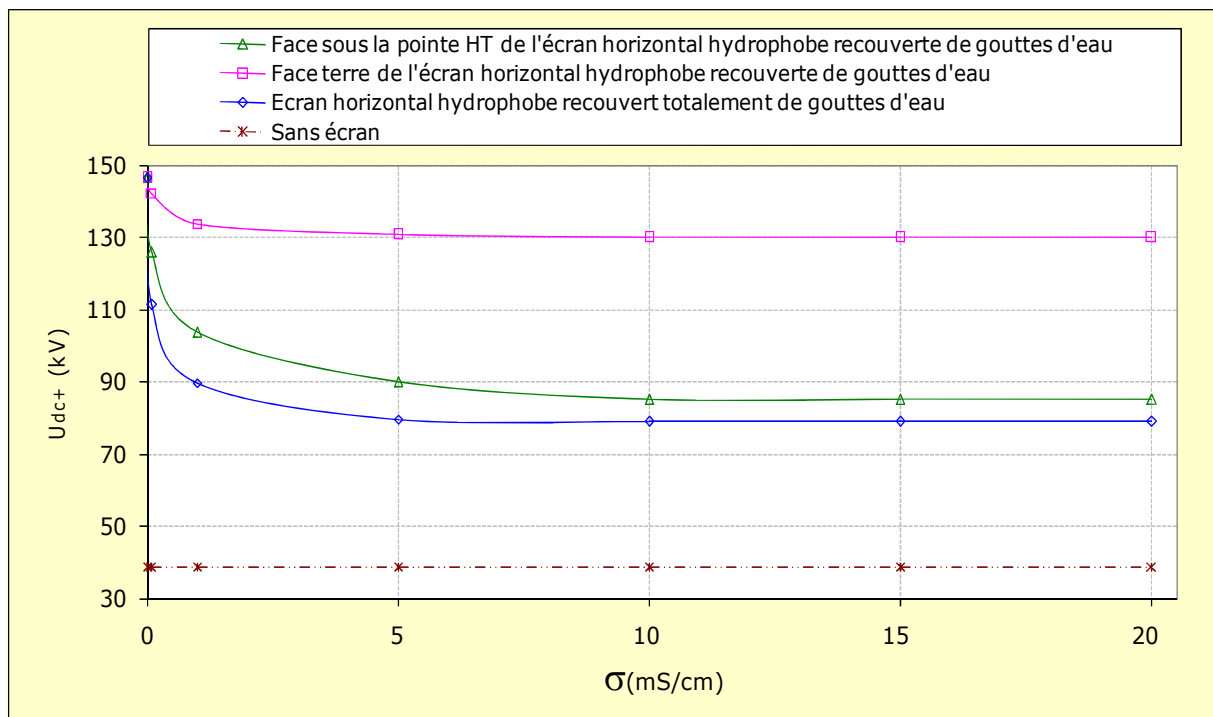
Les résultats de mesure de la tension de disruption du système en fonction de la conductivité volumique des gouttes d'eau sont illustrés par les figures **IV. (12, 15 et 16)**.

Il résulte de la figure **IV.12** que, la présence de gouttes d'eau sur l'écran fait diminuer la rigidité du système par rapport au cas d'une barrière propre, quel que soit le nombre de faces de l'écran pourvues de gouttes d'eau. Mais reste toujours supérieure à celle sans barrière. Cette diminution est faible lorsque les gouttelettes d'eau appliquées sur la surface face au plan. Par contre, les gouttes d'eau du côté de l'électrode de haute tension diminuent fortement la qualité d'isolation de la barrière ou la rigidité diélectrique passe de 146.6kV avec barrière propre à 126kV dans le cas d'une barrière recouverte de gouttelettes d'eau sur sa surface face à la pointe haute tension, de conductivité volumique égale 100 $\mu$ S/cm. Ceci est du



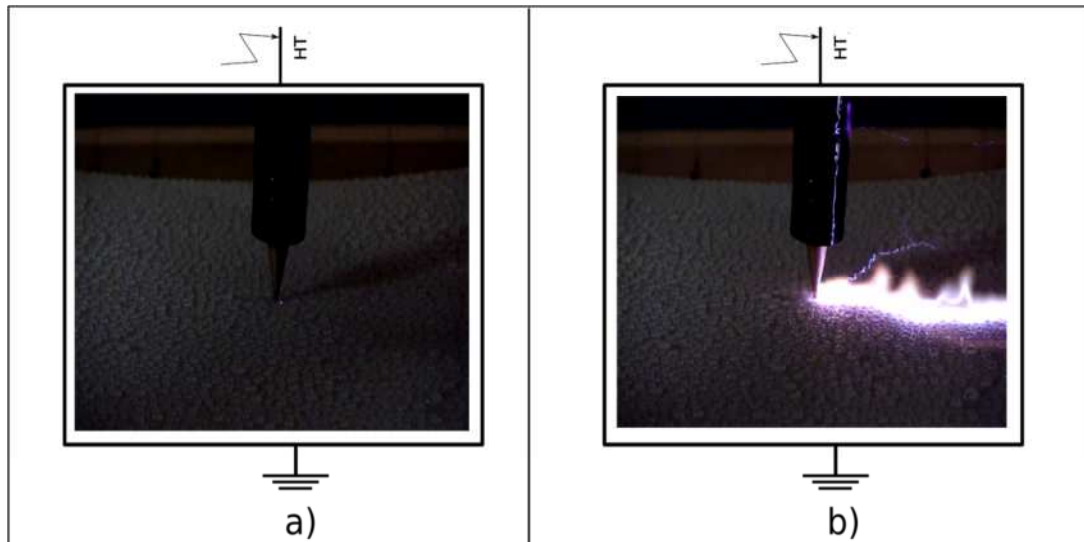
à l'étalement les gouttes d'eau sur la surface hydrophobe face à la pointe ou reposent les gouttes d'eau sous l'influence du champ électrique et par conséquent la distance entre les gouttes d'eau se trouve réduite, ce qui entraîne la diminution de la tension de disruption du système.

Quand la surface recouverte de gouttes d'eau est en face de l'électrode mise à la terre, les décharges préliminaires partant de la pointe HT, rencontrent une surface isolante à grande résistivité superficielle, se prolonge généralement en décharge glissante et la tension disruptive n'est pas diminuée.



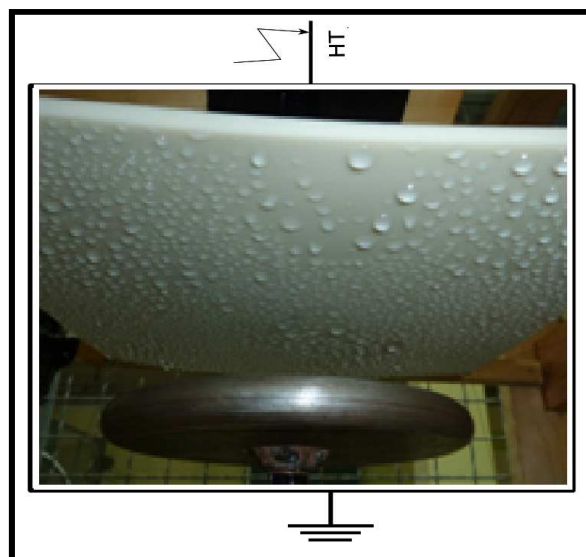
**Fig. IV.12 :** Tension disruptive en fonction de la conductivité volumique des gouttes d'eau et le nombre de faces recouvertes. (Système à axe vertical,  $l_b = 25$  cm)

Il ressort de la visualisation de la décharge dans le cas d'un écran isolant en silicone recouvert de gouttes d'eau, du côté HT que la diminution de la décharge est due à la réduction de la distance entre les gouttes d'eau déposées sur la surface hydrophobe face à la pointe sous tension sous l'influence du champ électrique. Des microdécharges prennent naissance aux extrémités des gouttes. Ces décharges se développent et donne naissance à des streamers se propageant vers les bords de l'écran.



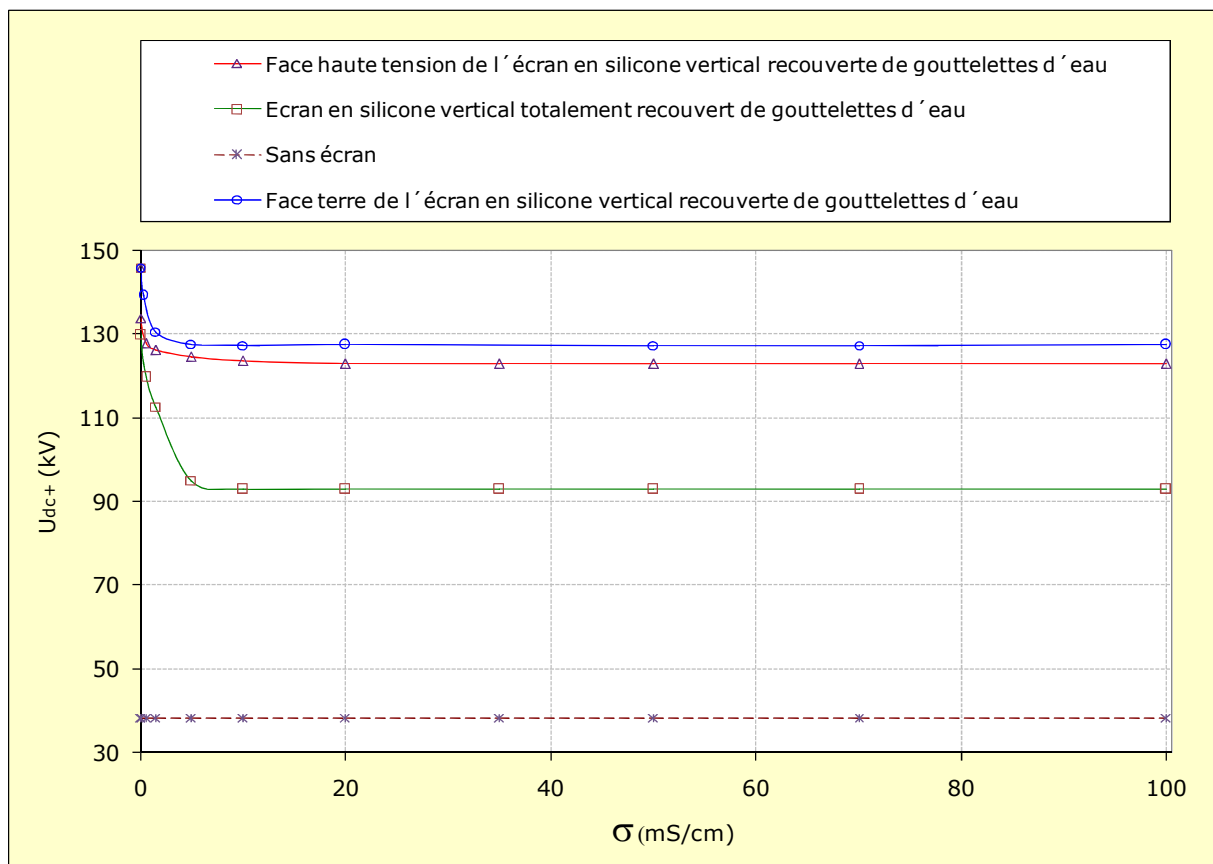
**Fig. IV.13 :** Phases de développement de la décharge jusqu'à disruption de l'espace d'air d'un système avec barrière horizontale recouverte des gouttes d'eau du côté de la pointe HT  
( $a/d=0\%$ )

La figure **IV.14** montre la trace du chemin laissée par l'arc électrique sur la surface de l'écran en face de l'électrode mise à la terre. Cette trace est la conséquence d'un éparpillement de certaines gouttes de telle sorte que quelques unes d'entre elles se sont regroupées alors que d'autres ont éclaté en plusieurs gouttelettes de faible diamètre.



**Fig. IV.14 :** Vue de face terre d'un écran horizontal recouverte des gouttes d'eau après le passage de la décharge disruptive ( $a/d=0\%$ )

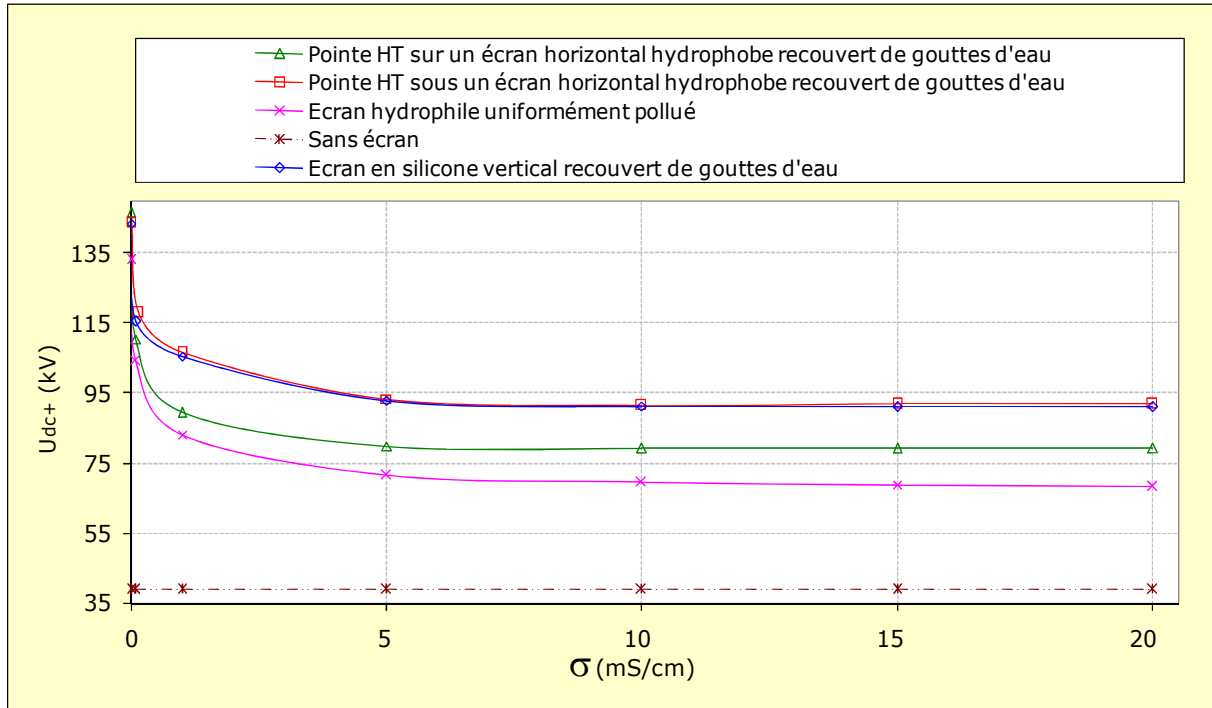
Il résulte de la figure **IV.15** que la rigidité diélectrique du système avec barrière verticale recouverte des gouttes d'eau décroît, dans un premier temps avec l'élévation de la conductivité volumique de la barrière pour devenir pratiquement constante à partir d'une certaine valeur limite de la conductivité quelle que soit la nature de face pulvérisée. Cette valeur limite est située aux environs de 5 mS/cm. Il est à remarquer que quelle que soit la valeur de la conductivité volumique, le système le moins rigide correspond au cas où la barrière est uniformément recouverte des gouttes d'eau. Celle-ci est de loin supérieure que celle du même système sans écran.



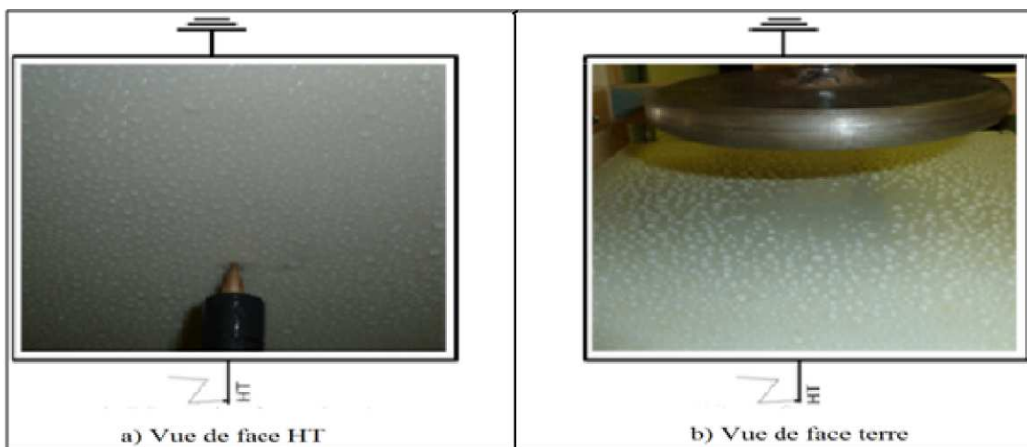
**Fig. IV.15** : Tension disruptive en fonction de la conductivité volumique (système à axe horizontal, nombre de faces recouvertes d'eau variable,  $l_b = 25$  cm)

D'après la figure **IV.16**, on remarque que la courbe de la tension dans le cas où la face recouverte des gouttes d'eau est sur la face haute tension est confondue avec celle où la barrière verticale. Dans ces cas de figures en plus de la force électrique, il y a le poids de la goutte qui rentre en jeu et font en sorte que des zones sèches libérées par les gouttes se créent et ceci engendre une tension de rupture pratiquement identique.

Cette même figure montre aussi que la rigidité diélectrique la plus faible du système correspondant au cas où la pointe HT sur un écran horizontal hydrophobe totalement recouvert des gouttes d'eau. Cette valeur est de loin supérieure à celle d'un écran hydrophile uniformément pollué.



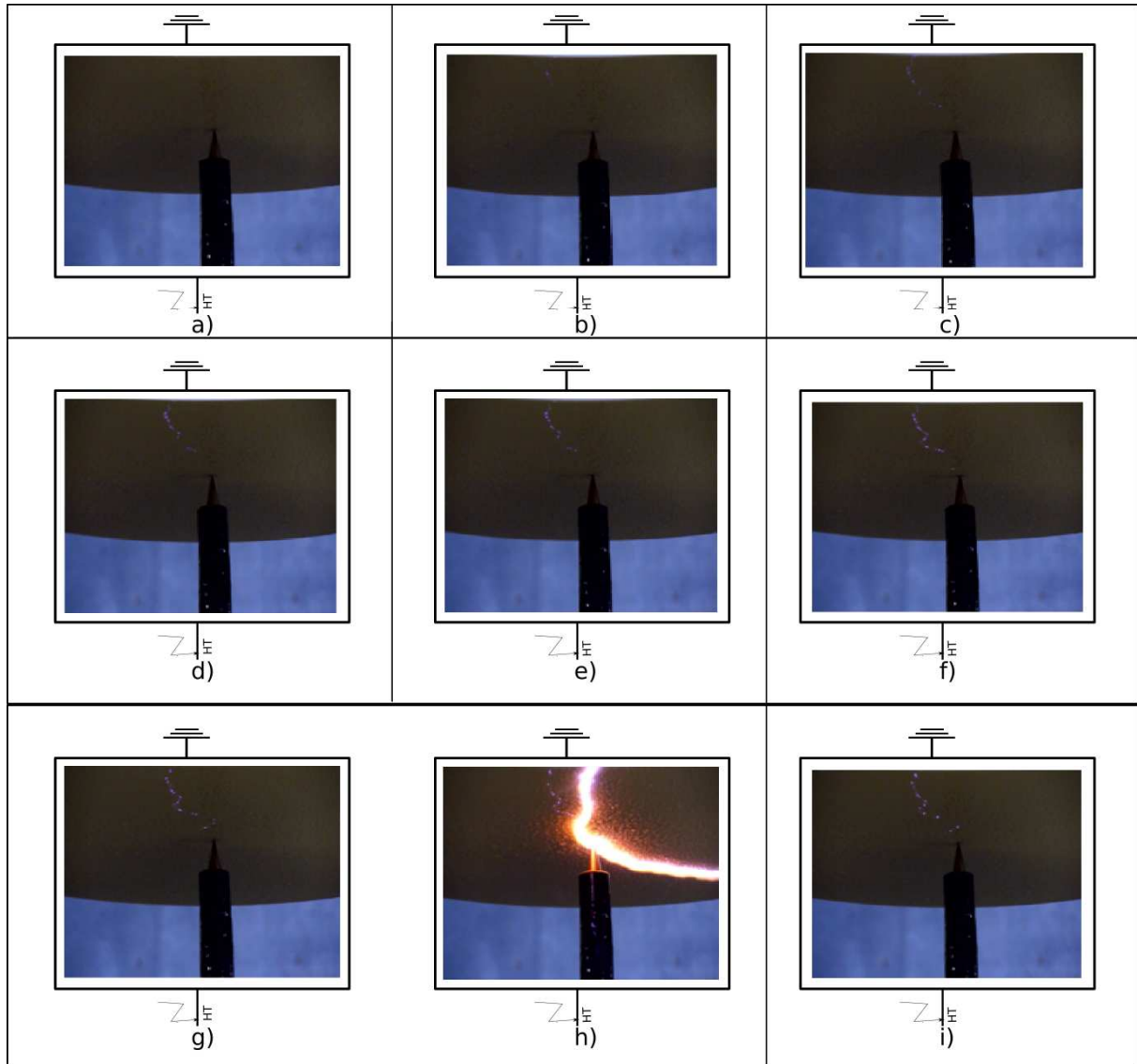
**Fig. IV.16 :** Tension disruptive en fonction de la conductivité volumique des gouttes d'eau (système à axe variable, nombre de faces pulvérisées variable,  $a/d = 0\%$ ,  $l_b = 25$  cm)



**Fig. IV.17 :** Vue des deux faces de la barrière recouverte de gouttes d'eau après le passage de la décharge disruptive

Sur la figure IV.17 présente le chemin essentiel de parcours de la décharge disruptive d'une pointe sous un écran horizontal recouvert totalement de gouttes d'eau. Lorsque la

pointe est en contact avec la barrière, la décharge issue de la pointe se développe sur les gouttes posées sur la surface face à la pointe après avoir court-circuité quelques espaces d'air comprimés entre certaines gouttes qui sont proche de la pointe sous tension (**fig. IV.18**).



**Fig. IV.18** : Phase de développement de la décharge jusqu'à disruption de l'espace d'air d'un système où la pointe HT est sous un écran horizontal recouvert totalement de gouttes d'eau ( $a/d=0\%$ )

#### IV.5 Conclusion

L'étude expérimentale de l'effet de la position de la barrière par rapport à l'électrode haute tension, la nature de l'isolation de l'écran, l'orientation de l'axe des électrodes de base et la conductivité volumique des gouttes d'eau recouvrant la surface de l'écran sur la tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système à champ électrique non uniforme mis sous tension continue positive a mené aux résultats essentiels suivants:

- Le système avec barrière isolante propre est de loin le plus rigide que celui sans celle-ci, quels que soient les paramètres considérés dans cette étude. Ceci peut être expliqué évidemment par l'adjonction des chemins de glissement des décharges électriques sur les deux grandes faces opposées très résistantes des barrières isolantes par rapport à celle conductrice;
- La valeur maximale de la rigidité du système est obtenue quand la barrière est en contact avec la pointe HT quelle que soit la nature de l'isolation utilisée dans cette étude. A partir de ce point, la tension d'amorçage décroît pour l'écran en silicone légèrement avec l'éloignement de la barrière de la pointe ;
- Dans le cas d'une atmosphère propre, l'écran en silicone est plus performant que les autres barrières ;
- Un système d'électrodes à axe vertical et écran propre horizontal est plus efficace qu'une configuration d'électrodes horizontales avec écran propre vertical;
- La rigidité diélectrique du système avec barrière en silicone recouverte de gouttes sur une face ou les deux faces décroît plus ou moins rapidement avec l'élévation de la conductivité volumique de celle-ci pour devenir minimale et constante à partir d'une certaine valeur limite de la conductivité volumique;
- Les gouttelettes d'eau appliquées sur la surface de la barrière en face du côté plan mis à la terre apportent une amélioration de la rigidité par rapport au cas où c'est la face de la barrière en vis-à-vis de la pointe HT qui est recouverte des gouttelettes d'eau;

- Les systèmes à écran horizontal sur la pointe haute tension et à écran vertical présentent la même rigidité diélectrique lorsque ces deux écrans hydrophobes sont totalement recouverts de gouttes d'eau;
- La rigidité diélectrique la plus défavorable est obtenue pour un système à écran en silicone recouvert totalement de gouttes d'eau et situé sous la pointe haute tension la configuration de base. Mais celle-ci reste plus élevée que celle d'un écran hydrophile uniformément pollué.

# Conclusion générale



L'objectif principal de notre travail était d'étudier des performances d'un écran en silicone recouvert des gouttes d'eau dans un système à champ non uniforme sous tension continue positive.

Les résultats essentiels émanant de cette analyse peuvent être résumés comme suit ;

- Le système avec barrière isolante propre est de loin le plus rigide que celui sans celle-ci, quels que soient les paramètres considérés dans cette étude.
- Pour un écran en silicone, la valeur maximale de la rigidité du système est obtenue quand la barrière est en contact avec la pointe HT. A partir de ce point, la tension d'amorçage décroît légèrement avec l'éloignement de la barrière de la pointe ;
- Dans le cas d'une barrière propre, la barrière en silicone est plus avantageuse que la barrière en verre du point de vue la rigidité diélectrique ;
- Un système d'électrodes verticales avec barrière propre horizontale est plus efficace qu'une configuration d'électrodes horizontales avec écran propre vertical ;
- La rigidité diélectrique du système avec barrière en silicone recouverte de gouttes sur une face ou les deux faces décroît plus ou moins rapidement avec l'élévation de la conductivité volumique de celle-ci pour devenir minimale et constante à partir d'une certaine valeur limite de la conductivité volumique;
- Les gouttelettes d'eau appliquées sur la surface de la barrière en face du côté plan mis à la terre apportent une amélioration de la rigidité par rapport au cas où c'est la face de la barrière en vis-à-vis de la pointe HT qui est recouverte des gouttelettes d'eau;
- Les systèmes à écran horizontal sur la pointe haute tension et a écran vertical présentent la même rigidité diélectrique lorsque ces deux écrans hydrophobes sont totalement recouverts de gouttes d'eau;
- La rigidité diélectrique la plus défavorable est obtenue pour un système à écran en silicone recouvert totalement de gouttes d'eau et situé sous la pointe haute tension la configuration de base. Mais celle-ci reste plus élevée que celle d'un écran hydrophile uniformément polluée.

# Bibliographie

- [1] **E. Marx**, « Der Durchschlag der im unhomogen elektrischen Feld bei verschiedenen Spannungsarten ».E.T.Z. H33,1930 p.1161.
- [2] **H. Roser**, «Schirme zur Erhöhung der Durshschlagspnnung in Luft».E.T.Z. H17, Bd53, 1932, p.411.
- [3] **A. Awad**, «Durchschlag von Luftfunkenstrecken mit verschmutzten Isolierstoffbarrieren », Elektrie 29, H10, 1975, p.559.
- [4] **A. Awad; H. Böhme**, «Durchschlagspannung inhomogener Funkenstrecken mit verschmutzten Barrieren», Elektrie 31, H1, 1977, p.35-38.
- [5] **A. Boubakeur**, « Influence des barrières sur la tension de décharge disruptive des moyens intervalles d'air pointe-plan ». Thèse de doctorat, Ecole polytechnique de Varsovie Pologne, 1979.
- [6] **F. V. Topalis; I. A. Stathopoulos**, « Barrier effect in small and medium air gaps », 7<sup>th</sup> ISH, R. 42.23, TUDresden, 1991, Germany.
- [7] **A. Beroual; A. Boubakeur**, « Influence of barriers on the lightning and Switching Impulse strength of Mean Air Gaps in point/plane Arrangements », IEEE TI, Vol.26 n°6, December 1991.
- [8] **Li. Ming; Mats Leijon and Tord Bengston**, « Factors influencing barrier effects in air-gaps », Proc. 9<sup>th</sup> Int. Symp. On High Voltage Engineering (ISH), Graz 1995, R. 2168, pp. 1-4.
- [9] **M. V. Scolova; A. N. Zhukov**, « influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap », Proc. 9<sup>th</sup> ISH, Graz 1995, Austria, S. 2899, pp 1-4.
- [10] **N. F. Wolchtchenko**, «Problèmes relatifs au mécanisme de l'effet de barrière ». (En Russe).Elektritchestwo, nr 6,1947,p.61.
- [11] **N. N. Tikhodeev**, «Effect of an incomplete barrier in electrical discharge». Soviet Physics Tech.Phys.2, 1957, p. 385.
- [12] **K. Nowacki**, «Der Einfluss ebener Isolierstoffschirme parallel zur Ache auf die Spannungsfestigkeit einer Stab-Stab-Funkenstrecke ».Int.Symp.Hochspan.ETH Zurich, 1975, p.469.
- [13] **L. Ming**, «Barrier effects air insulates systems under DC voltage». Session 4303, 8<sup>th</sup> ISH, PP.1-4.Japan 1993.
- [14] **Z.You Bin**, «The influence of the electrode material of rod-rod gap with tip on its DC breakdown voltage».International symposium on high voltage Engineering 9<sup>th</sup> ISH, session 2135, PP.1-2,Graz 1995.

- [15] **R. Boudissa**, «Performance des écrans sous tensions alternative et continue», CNHT 2009, Sidi Bel Abbés Algérie.
- [16] **H. Mekbel ; M. Allaoua**, «Etude du comportement électrique d'une barrière isolante polluée sous tension continue positive». Mémoire fin d'études d'ingénieur soutenu en 2010 à l'Université de A. Mira Bejaia.
- [17] **S. Iouknane**, «Effet de la pollution sur l'efficacité d'un système à écran sous tension continue positive». Mémoire fin d'études d'ingénieur soutenu en 2011 à l'Université de A. Mira Bejaia.
- [18] **S. Slimani et N.Oubouid 2011**, «Effet de surface et du nombre de barrières sur la tenue électrique d'un intervalle d'air d'un système à champ non uniforme sous tension continue positive». Mémoire fin d'études d'ingénieur soutenu en 2011 à l'Université de A. Mira Bejaia.
- [19] **L. Carette et J.M. Pouchol** « *Silicones* ».Technique de l'ingénieur Dossier A3475.
- [20] **M. Nemamcha**, «cours sur le claquage des isolants haute tension ».2001.
- [21] **S. Medjhed; M.Eblaiden**, « étude de l'évolution temporelle de la sévérité de la pollution d'un site», mémoire fin d'étude DEUA en électrotechnique promotion 2005, Univ de Bejaia.
- [22] **A. Chabloz**, « Technologie des matériaux à l'usage des professions de l'électricité» 1986.
- [23] Livre technologie des matériaux.
- [24] Site de Bluestar Silicones ([http:// www. bluestarsilicones.com/ silicones/lang/fr/ bluestarsilicones/ histoire](http://www.bluestarsilicones.com/silicones/lang/fr/bluestarsilicones/histoire)).
- [25] **S. Djafri**, « pollution des isolateurs».mémoire d'ingénieur, promotion 1982, ENP Alger.
- [26] [www.wacker.com](http://www.wacker.com).
- [27] **R. Boudissa**, «cours module matériaux en électrotechnique » , 2005.
- [28] « Méthode recommandée pour la mesure des résistivités transversales et superficielles d'un matériau isolant électrique», Publ. CEI, No.93, Genève, 1958.
- [29] « Méthode d'essai pour la détermination de la résistance des isolants solides ». Publ. CEI, No. 167, Genève, 1964.
- [30] **Frohlich** (“theory of dielectrics” oxford Univ. press, 1949).
- [31] **A. Mekhaldi**, « Etude du développement d'un arc électrique sur des surfaces isolantes contaminées par la pollution désertique », Thèse de Magister, Génie électrique, ENP 1990.
- [32] **G. le Roy, C. Gary**, « Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions », Eyrolles, Paris, 1984.

- [33] **A. Cimador, S. Vitet**, 'La pollution des isolateurs', EDF-Epure N°27, juillet 1990.
- [34] **A. J. Kaluzny; U. Kluzna**, «Electric strength of high voltage insulating gap in polluted air», Session 2155, 9<sup>th</sup> ISH, pp.1-3, Graz 1995.
- [35] **D. Dumora ; R. Parrau**, « Solution apportée aux problèmes de pollution par différents isolateurs en verre trempé et isolateurs en composite ». 428 RP 99/BC/MRG, SEDIVER-79, Avenue François Arago-92017NANTERRE Cedex France.
- [36] **A. Mekhaldi; S. Bouazabia**, « Conduction phenomena on polluted insulating surface under AC high voltages», 9e International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 3174, Grätz, Autriche, 28 août- 1<sup>er</sup> Septembre 1995
- [37] **A. Mekhaldi**, « Etude des phénomènes de conduction et de décharge électrique sur des surfaces isolantes polluées sous tension alternative 50 Hz », Thèse de doctorat d'état, Génie Electrique, ENP, juin 1999.

## Résumé:

Dans le cas d'un écran hydrophile, beaucoup de travaux théoriques et expérimentaux ont été réalisés afin d'améliorer la performance de certains équipements ou installations électriques au moyen d'insertion d'un écran dans l'intervalle d'air séparant leurs parties actives de celles mises à la terre. Par contre l'utilisation d'un écran hydrophobe, pour une éventuelle optimisation de leur performance, surtout en atmosphère propre et polluée, n'a fait l'objet pratiquement d'aucune investigation. L'objectif essentiel recherché dans ce mémoire consiste justement en la contribution à l'optimisation de la rigidité diélectrique de l'intervalle d'air d'un système d'électrodes pointe-plan mis sous tension continue positive dans une atmosphère propre et/ou polluée. Lors de cette investigation, l'influence des paramètres importants tels que la position ( $a/d$ ), l'état de surface d'un écran en silicone horizontal et/ou vertical (sans et avec gouttes d'eau) et la conductivité volumique des gouttes d'eau déposées sur sa surface sur l'évolution de la performance du système a été mise en évidence. Les résultats émanant de cette analyse montrent que dans le cas d'une barrière propre, la barrière en silicone est plus avantageuse que la barrière en verre du point de vue la rigidité diélectrique. Pour un écran en silicone, la valeur maximale de la rigidité du système est obtenue quand la barrière est en contact avec la pointe HT. Un système d'électrodes verticales avec barrière propre horizontale est plus efficace qu'une configuration d'électrodes horizontales avec écran propre vertical. La rigidité diélectrique du système avec barrière en silicone recouverte de gouttes sur une face ou les deux faces décroît plus ou moins rapidement avec l'élévation de la conductivité volumique de celle-ci pour devenir minimale et constante à partir d'une certaine valeur limite de la conductivité volumique. Les gouttelettes d'eau appliquées sur la surface de la barrière en face du côté plan mis à la terre apportent une amélioration de la rigidité par rapport au cas où c'est la face de la barrière en vis-à-vis de la pointe HT qui est recouverte des gouttelettes d'eau. Les systèmes à écran horizontal sur la pointe haute tension et à écran vertical présentent la même rigidité diélectrique lorsque ces deux écrans hydrophobes sont totalement recouverts de gouttes d'eau. La rigidité diélectrique la plus défavorable est obtenue pour un système à écran en silicone recouvert totalement de gouttes d'eau et situé sous la pointe haute tension la configuration de base. Mais celle-ci reste plus élevée que celle d'un écran hydrophile uniformément polluée.