

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abderrahmane MIRA de Bejaïa**  
**Faculté de Technologie**



**Département de Génie Electrique**

## Mémoire de Fin D'études

**Présenté par :**

**M<sup>f</sup> : HAMOUR      Khaled**

**M<sup>f</sup> : CHEKRI      A-Hakim**

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique

Option : Techniques de haute tension

### **Caractérisation des décharges électrique évoluant dans un intervalle d'air pointe – barrière polluée – pointe sous tension continue**

**Soutenu publiquement le 24/06/2015 devant le jury constitué de :**

Mme. MOUHOUBI	Samia	Docteur	Univ. Bejaia	Présidente
Melle. ROUHA	Nacéra	Docteur	Univ. Bejaia	Examinatrice
Mr. BOUDISSA	Rabah	Professeur	Univ. Bejaia	Rapporteur
Mme. BOUGHANI	Talit	Doctorante	Univ. Béjaia	Co-Promotrice

# Remerciement

*Nous rendons grâce à dieu de nous avoir donné le courage et la patience afin de mener ce travail à terme.*

*Arrivé au terme de notre travail, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur : **Mr. R. BOUDISSA** pour l'aide, le suivi et l'intérêt qu'il n'a cessé de nous apporter jusqu'à l'achèvement de notre travail.*

*Nous remercions, **M<sup>me</sup>. T. BOUGHANI** qui nous a généreusement fait profiter de ses connaissances en haute tension et pour son aide et ses conseils utiles.*

*Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du jury qui ont fait l'honneur de juger notre travail.*

*Enfin, nos chaleureux remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère ;*

*A mes frères et sœurs;*

*A tous mes amis de J 503;*

*A tous mes camarades de THT;*

*A mon collègue Hakim;*

*khaled*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes chers parents, à toutes les personnes qui m'ont*

*Encouragé tout au long de mes études ;*

*A mes frères et ma sœur ;*

*A P.Nina ;*

*AHSSISOU ET JIMO*

*A tous mes amis : I 105 ;*

*A tous les êtres chers dont le soutien m'a été indispensable ;*

*A mon collègue Khaled.*

*A-Hakim*

# *Sommaire*

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I : Décharge électrique et barrières**

I.1 Introduction.....	2
I.2 Historique sur l'étude scientifique des décharges électriques.....	2
I. 3 Processus de décharges électriques dans l'intervalle d'air .....	3
I. 3. 1 Caractéristique courant tension .....	3
I. 3. 2 Décharge de Townsend .....	5
I. 3. 3 Décharge de streamer .....	7
I. 3. 4 Décharge leader.....	9
I. 3. 5 Décharge couronne.....	10
I. 3. 6 Loi de paschen.....	10
I. 3. 7 Distribution de champ par la décharge pointe plan dans l'air.....	11
I. 4 Paramètres influant sur le développement de la décharge .....	12
I. 4. 1 Influence de la polarité de la tension appliquée .....	12
I. 4. 2 Propriétés atmosphériques.....	12
I. 4. 3 Présence de particules conductrices dans l'air .....	13
I. 4. 4 Influence du matériau de l'électrode .....	13
I. 4. 5 Influence de la pollution de l'air .....	14
I. 5 Effets des barrières sur la décharge électrique.....	14
I. 5. 1 Introduction .....	14
I. 5. 2 Paramètres définissant la nature de la barrière.....	14
I. 5. 3 Influence selon différents auteurs .....	15
I. 5. 3. 1 Influence selon E. Marx.....	15
I. 5. 3. 2 H. Roser .....	15

I. 5. 3. 3	Tikhodeev .....	16
I. 5. 3. 4	M.P. Verma.....	16
I. 5. 3. 5	J. Pilling.....	16
I. 5. 3. 6	M. Awad .....	16
I. 5. 3. 7	A. Boubakeur.....	17
I. 5. 3. 9	Selon Z. You Bin .....	19
I. 5. 3. 10	Selon M. C. Siddagangapa.....	19
I. 5. 3. 11	Selon F.V. Topalis et I. A. Stathopulos .....	20
I. 6	Conclusion .....	20

## **Chapitre II : Isolants électriques**

II. 1	Introduction .....	21
II. 2	Isolants électriques .....	21
II. 2.1.1	Isolant .....	21
II. 2.1.2	Diélectrique .....	21
II. 2. 2	Différents types d'isolants .....	22
II. 2. 2. 1	Isolant gazeux.....	22
II. 2. 2. 2	Isolants liquides (les huiles) .....	22
II. 2. 2. 3	Isolants solides .....	22
II. 2. 3	Nature de l'isolation utilisée comme barrières .....	23
II. 2. 3. 1	Plexiglas.....	23
a) 1	: caractéristique diélectriques .....	23
a) 2	: caractéristique mécanique .....	24
II. 2. 3. 2	Verre.....	24
II. 2. 3. 2. 1	Verres trempés.....	24
II. 2. 3. 2. 2	Verres recuits.....	24
II. 2. 3. 3	Silicone.....	25
II. 2. 3. 4	Bakélite.....	25
II. 2. 4	Propriétés diélectriques des isolants .....	25

II. 2. 4. 1	Rigidité diélectrique .....	26
II. 2. 4. 1. 1	Rigidité diélectrique longitudinale .....	27
II. 2. 4. 1. 2	Rigidité diélectrique transversale .....	27
II. 2. 4. 2	Permittivité .....	27
II. 2. 4. 3	Angle de pertes et facteur de dissipation.....	28
II. 2. 4. 4	Résistivité et résistance d'isolement.....	29
II. 2. 4. 4. 1	Définition et signification.....	29
II. 2. 4. 4. 2	Résistance et résistivité superficielle.....	29
II. 2. 5	Application des isolants dans l'industrie électrique .....	30
II. 3	Conclusion .....	31

### **Chapitre III : Phénomène de la pollution**

III. 1	Introduction .....	32
III. 2	Définitions .....	32
a)	Pollution .....	32
b)	Salinité.....	32
c)	Couche de pollution.....	33
d)	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	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. 1. 3	Pollution industrielle.....	35
III. 4. 1. 4	Pollution mixte.....	35

III. 5	Facteurs climatiques d'influence de la pollution.....	35
III. 5. 1	Vent .....	36
III. 5. 2	Pluie .....	36
III. 5. 3	Humidité .....	36
III. 5. 4	Température.....	36
III. 6	Méthodes de mesure des caractéristiques électriques de pollution .....	36
III. 6. 1	Conductivité électrique de la pollution.....	36
a)	Dispositif et procédé de mesure .....	36
III. 6. 2	Mesure de la sévérité de pollution d'un site .....	37
III. 6. 3	Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) .....	37
III. 7	Conductance superficielle .....	37
III. 7. 1	Mesure optique .....	38
III. 7. 2	Densité de dépôt non soluble (DDNS) .....	38
III. 8	Choix d'une méthode de mesure de sévérité de pollution .....	38
III. 9	Techniques de lutte contre la pollution .....	39
III. 9. 1	Allongement de la ligne de fuite.....	39
III. 9. 2	Graissage des surfaces isolantes .....	39
III. 9. 3	Lavage des isolations.....	39
III. 9. 4	Isolation plates .....	40
III. 9. 5	Revêtement silicone.....	40
III. 9. 6	Isolations composites.....	40
III. 10	Conclusion.....	41

## **Chapitre IV : Partie expérimentale**

IV.1	Introduction .....	42
IV.2	Dispositif expérimental et techniques de mesure .....	42
IV.2.1	Modèles expérimentaux .....	42
	Modèle A .....	42



Modèle B .....	43
IV.2.2 Circuit de mesure et de visualisation .....	44
IV.3 Composition de la solution polluante.....	45
IV.3.1 Technique d'application de la couche pollution sur la barrière .....	46
IV.3.2 Procédé et nombre d'essais effectués.....	46
IV.4 Correction des résultats suivant les conditions atmosphériques .....	46
IV.5 Résultats et discussions .....	47
IV.5.1 Configuration pointe - barrière isolante - plan .....	47
IV.5.2 Configuration pointe – barrière isolante pollué - pointe .....	52
IV.5.3 Configuration pointe – plan conducteur.....	54
IV.6 Conclusion .....	56
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>57</b>

# Introduction générale

En électrotechnique les principales applications des barrières isolantes concernent leur insertion entre les contacts des disjoncteurs à gaz, l'interruptrice haute tension, les bornes de traversées, les transformateurs et les actionneurs.

Cependant, lorsque de telles barrières sont installées dans des sites où règne une importante pollution atmosphérique (marine, industrielle ou désertique), leurs surfaces deviennent le siège de dépôts composés d'un mélange de poussières diverses et de sels minéraux. Par contre, l'humidification de ces dépôts polluants, par variation temporelle des valeurs des grandeurs météorologiques (température, taux d'humidité,...) du milieu environnant, provoque la dissolution des sels et la formation de couches électrolytiques conductrices de courant électrique sur les surfaces des barrières contaminées. 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 le développement de décharges électriques glissantes sur les surfaces des écrans pollués suscités, pouvant progresser aisément jusqu'à rupture de l'intervalle d'air de ces systèmes. La compréhension des mécanismes impliqués dans la génération et la propagation de ces décharges ainsi que leur caractérisation sont fondamentales pour la conception et le dimensionnement des appareillages.

Dans cette étude, nous nous intéresserons: a la caractérisation de la décharge électrique sous tension continue d'un intervalle d'air pointe – barrière uniformément polluée – pointe.

Le présent manuscrit comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré sur les décharges électrique et barrières diélectriques ;
- Le deuxième chapitre porte sur les isolants électriques et la description des différentes isolations et leurs propriétés essentielles;
- Le troisième chapitre est dédié à la pollution atmosphérique, les techniques de mesures du degré de pollution ;
- Le quatrième chapitre est consacré sur la partie expérimentale ;

# *Chapitre I*

## **Décharge électrique et barrières**

## I.1 Introduction

Les isolations mixtes, composés d'un diélectrique solide et d'un gaz, présente un grand intérêt du point de vue industriel qui sont largement utilisés dans les équipements haute et moyenne tension. La rigidité diélectrique de ces structures dépend des propriétés du solide isolant et du type de gaz (mélanges) ainsi que de la pression et de la température de ce dernier. Le comportement de ces structures isolantes, face aux différentes contraintes auxquelles elles sont exposées et plus particulièrement aux décharges qui peuvent se développer dans le volume ou à l'interface des deux matériaux (solide et gaz), constitue l'un des principaux critères de dimensionnement et de conception d'une structure isolante pour un composant ou un système haute ou moyenne tension donné. Par conséquent, la compréhension des mécanismes responsables de l'initiation et du développement des décharges en volume ou à l'interface et conduisant respectivement au claquage ou au contournement de ces structures isolantes passe par la compréhension des phénomènes se produisant dans chacun des constituants (solide et gaz).

Une décharge électrique dans un intervalle d'air suppose toujours l'existence de charges libres et d'un champ électrique qui peut être continu, alternatif ou impulsionnel, uniforme ou non. Si ce champ est suffisamment grand dans cet intervalle, les charges peuvent se multiplier, augmentant ainsi le courant de la décharge entre les électrodes. Les décharges qui peuvent survivre à l'agent ionisant extérieur sont dites autonomes. Elles apparaissent lorsque la tension appliquée aux électrodes dépasse une valeur minimale. Au delà de cette valeur le gaz devient le siège d'un ou plusieurs phénomènes produisant les électrons nécessaires à l'entretien de la décharge sans intervention d'un agent ionisant extérieur. Par contre, la décharge est dite non-autonome si elle s'interrompt dès que cesse d'agir l'agent ionisant extérieur.

La présence d'une barrière diélectrique dans l'intervalle d'air est un facteur très important dont dépendent les caractéristiques de la décharge électrique, ainsi que son état de propreté, Son influence est surtout liée à l'accumulation des charges sur sa surface du côté de l'électrode active. Ainsi la barrière constitue un obstacle mécanique et électrostatique au développement de la décharge.

## I.2 Historique sur l'étude scientifique des décharges électriques

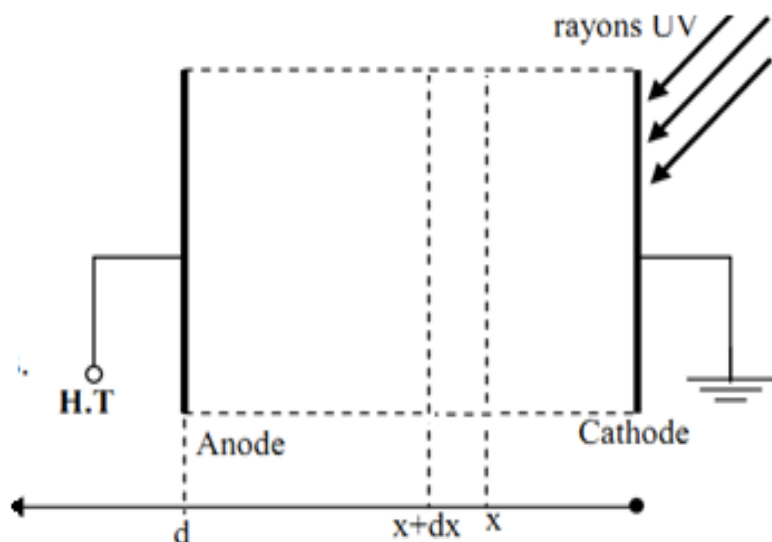
De nombreux travaux ont été consacrés à la physique de la décharge électrique dans les gaz. Ces travaux ont permis d'éclaircir les mécanismes fondamentaux des décharges électriques aussi bien au niveau microscopique que macroscopique. L'étude scientifique des

décharges à commence au XVIIIème siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs d'orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis a V.V. Petrov de produire le premier arc électrique en 1803 dans l'air. Humphrey Davy en fit ensuite l'étude. Mais ce fut Michael Faraday qui, entre 1831 et 1835, découvrit et commença l'étude des décharges lumineuses en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 Volt. Par la suite, à la fin du XIXème siècle et au début du XXème siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crookes et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge. Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge lumineuse en champ uniforme.

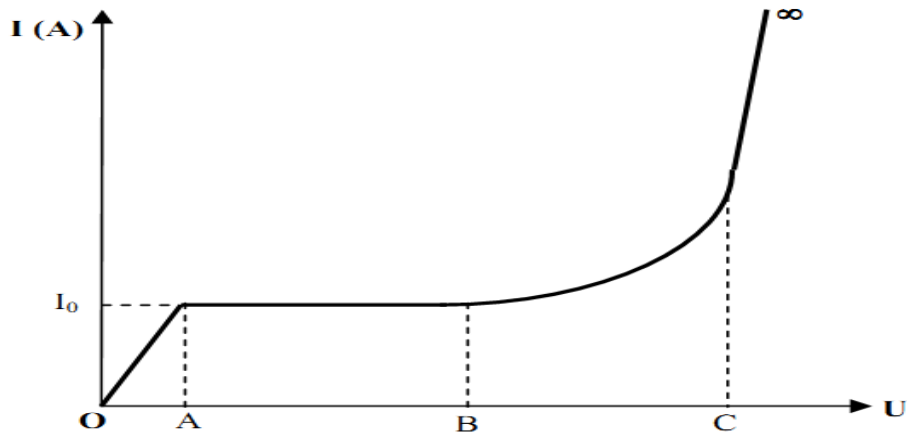
### I. 3 Processus de décharges électriques dans l'intervalle d'air

#### I. 3. 1 Caractéristique courant tension

La variation du courant de décharges en fonction de la tension appliquée à un intervalle de gaz compris entre deux électrodes planes et parallèles (Figure 1.1) est représentée sur la (Figure 1.2). Cette caractéristique  $I(V)$  comporte différentes zones correspondant chacune à un régime de décharges donné.



**Fig. I.1** : Système d'électrodes plan-plan permettant d'étudier la décharge dans un gaz



**Fig. I. 2 :** Caractéristiques courant – tension pour différents régimes de la décharge sous tension continue [1]

Si  $N_0$  est le nombre d'électrons émis par la cathode par unité de temps et  $N_x$  le nombre d'électrons traversant le plan d'abscisse  $x$  par unité de temps et  $d$  la distance interélectrode, l'augmentation de ce nombre sous l'effet de chocs ionisants sur un parcours  $dx$ , en admettant  $\alpha$  constant, s'écrira .

$$dN_x = N_x \alpha dx \quad (\text{I.1})$$

Sachant que l'origine des abscisses se trouve à la cathode :

$$N_x(x=0) = N_0 \quad (\text{I.2})$$

d'où

$$N_x = N_0 e^{\alpha x} \quad (\text{I.3})$$

Si  $d$  est la distance inter électrode, le nombre d'électrons  $N_d$  arrivant sur l'anode est :

$$N_d = N_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.4})$$

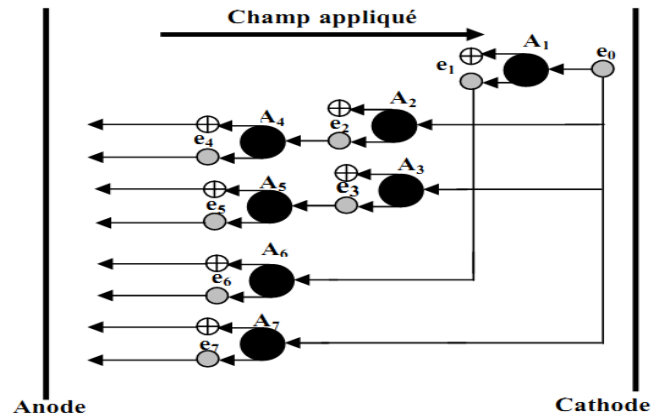
et le courant par unité de temps

$$I = e N_d = e N_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.5})$$

ou encore

$$I = I_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.6})$$

Avec  $I_0 = e N_0$  , le courant émis par la cathode sous l'effet du rayonnement extérieur , ( $e$ ) étant la charge élémentaire d'un électron. Le coefficient d'ionisation  $\alpha$  dépend de l'état dans lequel se trouve le gaz ainsi que de l'énergie des électrons.



**Fig. 1. 3** discrétion de l'avalanche

Si  $(e^{ad})$  est le nombre d'électrons libres produits par un électron dans une avalanche de longueur  $d$ ,  $(e^{ad} - 1)$  est le nombre d'ions positifs produits simultanément. Le nombre d'électrons émis par la cathode ( $N_c$ ) vers l'anode dans l'intervalle interélectrode donnent naissance à  $[N_c(e^{ad} - 1)]$  ions positifs, qui en bombardant à leurs tours la cathode, libèrent  $[N_c(e^{ad} - 1)\gamma]$  électrons supplémentaires en faisant intervenir un nouveau coefficient d'ionisation  $\gamma$ . Celui-ci est le "deuxième coefficient d'ionisation de Townsend" représentant le rapport entre le nombre d'électrons libérés à partir de la cathode et le nombre d'ions positifs qui tombent sur la cathode. La décharge dans ce cas est dite décharge autonome [2].

### I. 3. 2 Décharge de Townsend [3]

Le processus de claquage à basse pression ou pour de faibles valeurs du produit  $Pd$  (quelques Torr cm) est de type Townsend [4]. Si l'on considère deux électrodes planes séparées par une distance  $d$  et que l'on applique une tension  $V$  à leurs bornes (figure 1.1), il va se former un champ électrique, considéré comme homogène, de la forme,  $E = V/d$ . Des électrons germes provenant de sources externes (rayons cosmiques, radioactivité naturelle ou Source ionique artificielle) vont être accélérés et rejoindre l'anode si le champ est suffisamment intense et s'ils ne se sont pas attachés à une molécule électronégative. En conséquence, le courant  $i$  généré dans le circuit, va croître, dans un premier temps, avec la tension appliquée  $V$  (étape OA sur la figure 1.2). A partir d'une certaine tension, presque toutes les espèces chargées (ions et électrons) rejoignent les électrodes. Le courant sature ( $i_0$ , figure 1.2) et cesse de dépendre de la tension (étape AB figure 1.2). Cette saturation est déterminée par le taux de charges créées par les sources externes. Si la tension augmente encore, le gaz s'ionise par impact électronique, amplifiant le courant dû aux sources externes. C'est l'avalanche électronique résultant de ces processus primaires. Le courant est multiplié

par un facteur  $e^{\alpha d}$ , qui correspond au nombre de paires d'ions produites par une avalanche électronique traversant l'espace interélectrode,  $d$  est la distance séparant les électrodes. Est le premier coefficient de Townsend, le coefficient d'ionisation définit le nombre d'électrons produits sur le chemin d'un électron parcourant 1 cm dans le sens du champ électrique [5]. La courbe verticale de saturation du courant s'adoucit (étape BC, figure 1.2), mais le courant n'est toujours pas auto-entretenu. Pour cela il faut augmenter encore la tension  $U$  pour que les processus d'émission secondaire (photo-ionisation, bombardement ionique et métastables [5]) entrent en jeu : création d'électrons par les particules issues des processus primaires d'ionisation ou d'excitation par impact électronique. Les processus d'émission secondaire sont d'autant plus efficaces, pour la multiplication des avalanches, s'ils se produisent à la cathode : les électrons sont ainsi accélérés sur tout l'espace interélectrode jusqu'à l'anode, fournissant une ionisation plus importante qu'un électron provenant du milieu de l'espace interélectrode. En tenant compte de ce processus, l'implication du courant peut s'écrire [3].

$$i = \frac{i_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{I. 7})$$

Où  $\gamma$  est le second coefficient de Townsend, qui dépend du matériau de la cathode, du gaz et qui tient compte de la contribution des ions positifs, des photons et des espèces métastables.

Le claquage a lieu quand la tension aux bornes des électrodes atteint un seuil  $V_t$  tel que l'implication du courant entre les électrodes tende vers l'infini :

$$\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (\text{I. 8})$$

Et comme  $e^{\alpha d} \gg 1 \Rightarrow \gamma e^{\alpha d} = 1 \Rightarrow \gamma = \frac{1}{e^{\alpha d}}$

Pour chaque valeur de  $E/p$ , on trouve une valeur de  $d$  et une tension de rupture diélectrique

En champ uniforme  $V_c = E \cdot d_c$  [2].

Le critère de Townsend ainsi donné peut s'interpréter tout simplement en considérant que  $e^{\alpha d}$  représente le nombre d'ions positifs créés par une avalanche primaire à partir d'un seul électron. Ces ions arrivant à la cathode vont produire en moyenne  $\gamma e^{\alpha d}$  électrons secondaires.



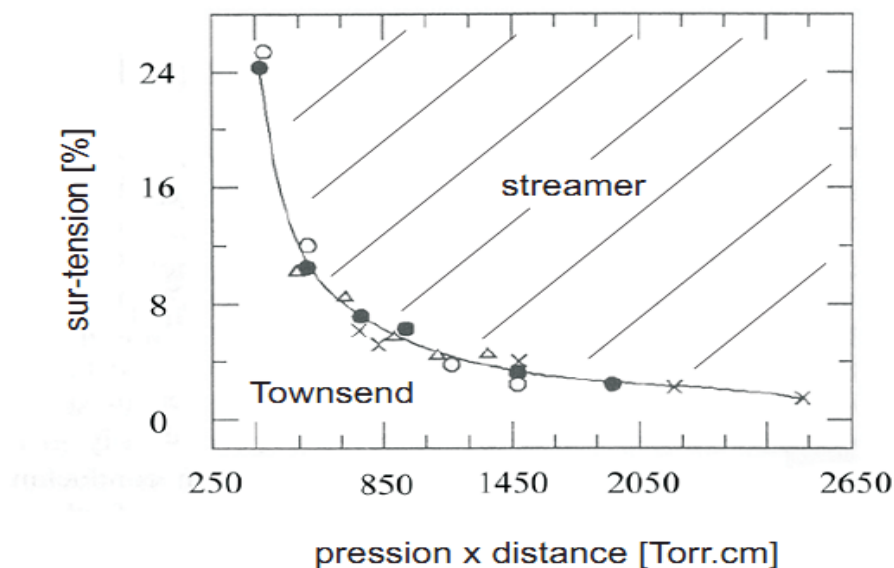
a) Si  $\gamma e^{\alpha d} < 1$ , la décharge est dite non autonome, car elle ne peut se maintenir d'elle-même par le fait des mécanismes secondaires si l'apport d'électrons créés par une source extérieure est interrompu ;

b) Si  $\gamma e^{\alpha d} = 1$ , le nombre d'ions créés par l'avalanche primaire est en moyenne juste suffisant à maintenir par bombardement de la cathode, l'avalanche électronique. La décharge est autonome, c'est-à-dire qu'elle peut se maintenir en l'absence d'une source extérieure de production de charges. Ce critère définit le critère d'amorçage  $V_c$ .

c) Si  $\gamma e^{\alpha d} > 1$ , le processus des avalanches successives est cumulatif, le courant devient très intense, un canal conducteur se forme, donnant naissance à un claquage de l'intervalle d'air interélectrode.

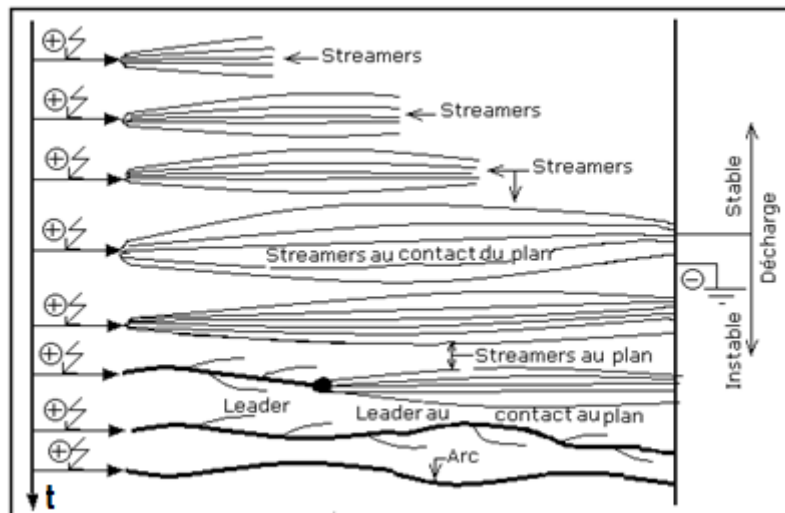
### I. 3. 3 Décharge de streamer

La plupart des décharges que l'on rencontre à la pression atmosphérique sont initiées par un claquage de type streamer. Dans l'air, d'après le critère proposé en 1940 par Raether [5], lorsque le produit pression\*distance interélectrode devient supérieur à 1000 Torr cm on peut s'attendre à un claquage de type streamer et à un claquage de type Townsend s'il est inférieur. Une surtension trop importante résulte aussi en un claquage de type streamer. La courbe de la figure. 1.3 propose une limite entre ces deux types de claquage dans l'air en fonction de la sur-tension appliquée et du produit pd.



**Fig. 1. 4 :** Courbe séparant les conditions en air résultant d'un claquage de Townsend (région inférieure) d'un claquage de type streamer (région supérieure), [6]

Dans ces conditions ( $pd > 1000$  Torr cm ou sur-tension élevés), le processus de claquage observé est trop rapide pour être expliqué par un mécanisme d'avalanches électroniques successives assistées par l'émission d'électrons secondaires à la cathode [7]. Cette émission secondaire due à l'impact des ions à la cathode n'est tout simplement pas possible car le temps de propagation de l'avalanche primaire est beaucoup plus rapide que le temps de transit des ions à la cathode.



**Fig. 1. 5** : décharge de type streamer

### I. 3. 4 Décharge leader

Les observations expérimentales ont montré qu'un leader a l'aspect d'un filament de trajet irrégulier (soit tortueux), il se propage souvent dans une direction faisant un certain angle par rapport à la direction du champ appliqué [8]. Sa vitesse de propagation dépend de la géométrie de l'espace et de la tension appliquée. A la tête du canal de leader, une couronne de streamers se présente comme une décharge volumineuse de structure filamenteuse qui ionise l'air au front du canal. C'est le mécanisme selon lequel le courant circulant dans la décharge qui se développe, entretient ou modifie la distribution du champ électrique dans l'espace [9]. Les filaments de couronnes ont une origine commune au niveau de l'électrode à partir de laquelle sont émis tous les streamers. Ce point de rencontre des streamers est appelé « stem cathodique ». Son évolution en leader négatif s'explique de la même manière que pour le leader positif dans le cas d'une pointe de polarité négative. Les enregistrements strioscopiques [10] n'ont pas mis en évidence des différences fondamentales entre ces deux types de leader. Du point de vue des caractéristiques macroscopiques, on peut admettre certaines hypothèses.

En effet, le calcul du champ en tête du leader négatif peut s'effectuer par extension de la formule de Peek [9]. Et les modèles de leaders établis dans les cas des intervalles du type pointe positive - plan peuvent être appliqués en polarité négative dans les phases où la décharge est composée uniquement d'un leader négatif précédé par une couronne de streamers.

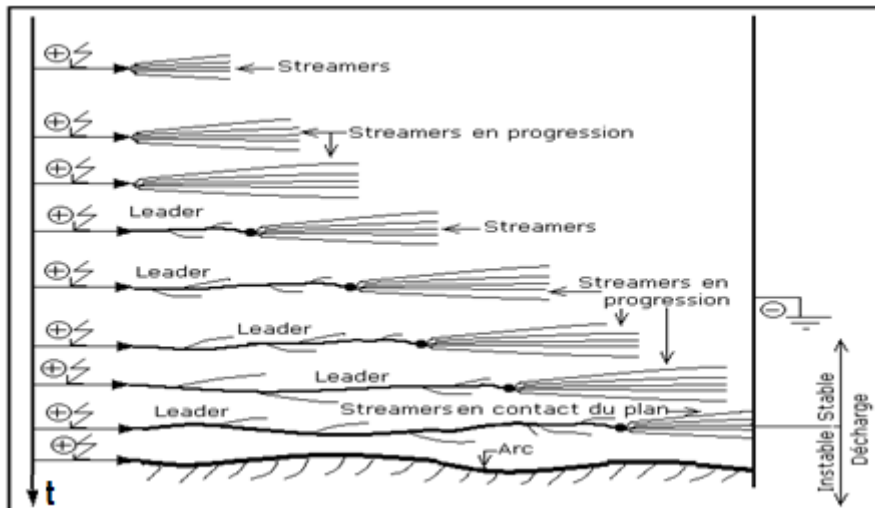


Fig. 1. 6 : Développement d'un leader

### I. 3. 5 Décharge couronne

Une très forte activité de photoionisation se produisant à la tête des avalanches ou streamers primaires regroupés autour de l'électrode active (haute tension), fait apparaître la première couronne en une durée de quelques centaines de nanosecondes. Ce phénomène est suivi d'une période sombre caractérisée par l'absence de toute activité lumineuse. Ceci est dû au fait que les électrons générés par l'avalanche primaire neutralisent les ions positifs issus des avalanches secondaires. Le champ de charge d'espace diminue alors en dessous du champ disruptif du gaz avant de se remettre à augmenter progressivement avec la tension appliquée. Le temps qui sera nécessaire pour que d'autres streamers se forment est appelé période sombre. Il est supposé que dans le cas d'une décharge en tension continue positive, un champ électrique de  $5 \text{ kV.cm}^{-1}$  est suffisant pour maintenir la propagation de ces streamers [9]. Si les

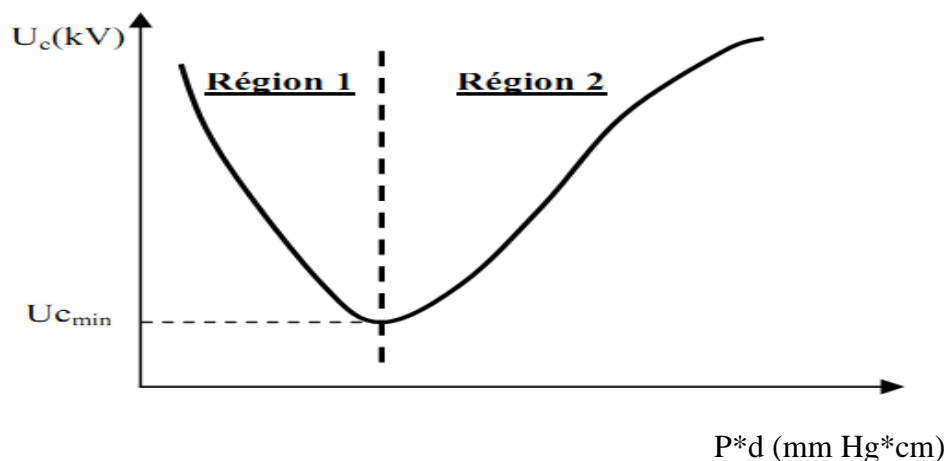
limites de champ sont respectées, la période sombre sera suivie d'un régime auto-stabilisé qui verra une forte densité de streamers autour de l'électrode haute tension et ainsi un canal de streamers se propage en direction de l'électrode opposée [10].

### I. 3. 6 Loi de paschen

La loi de paschen décrit la variation de la tension critique en fonction de produit  $p \cdot d$ . Cette relation caractérise le mécanisme d'ionisation en chaîne (avalanche de Townsend) responsable de claquage : les électrons doivent acquérir entre 2 collisions une énergie suffisante pour ioniser les molécules du gaz et créer ainsi d'autres électrons. Si on prend en compte uniquement l'ionisation par les électrons, on peut calculer le premier coefficient d'ionisation  $\alpha$  dans un champ uniforme selon la relation :

$$\alpha = A \cdot p \cdot \exp(-B \cdot p / E) \quad (\text{I. 9})$$

où A et B sont des constantes, et E le champ électrique.



**Fig. 1. 7 :** la courbe de paschen

$U_c$  : tension critique de claquage ;

$P$  : pression de gaz ;

$d$  : distance interélectrode

$U_{c_{min}}$  : tension critique minimale ;

Si  $U < U_{c_{min}} \Rightarrow$  pas de claquage (le minimum de paschen)

La courbe de paschen présente un minimum qui correspond a 300-400 V dans l'air a la pression atmosphérique .Ce minimum est assez mal défini et dépend de l'état des électrodes et du gaz. Cela signifie qu'en dessous de cette tension aucun amorçage n'est possible.

### I. 3. 7 Distribution de champ par la décharge pointe plan dans l'air

La dissymétrie des électrodes entraîne la non homogénéité du champ électrique. Parmi les configurations les plus étudiées, nous retrouvons les configurations pointe-plan. La distribution spatiale du champ électrique est donnée en géométrie pointe hyperbolique-plan (Fig. I. 6) [11] par la relation suivante :

$$E(z) = \frac{V}{(z + R/2) \ln\left(\frac{2d + r}{r}\right)} \quad (\text{I. 10})$$

Avec :

$E(z)$  : champ électrique (V/m),

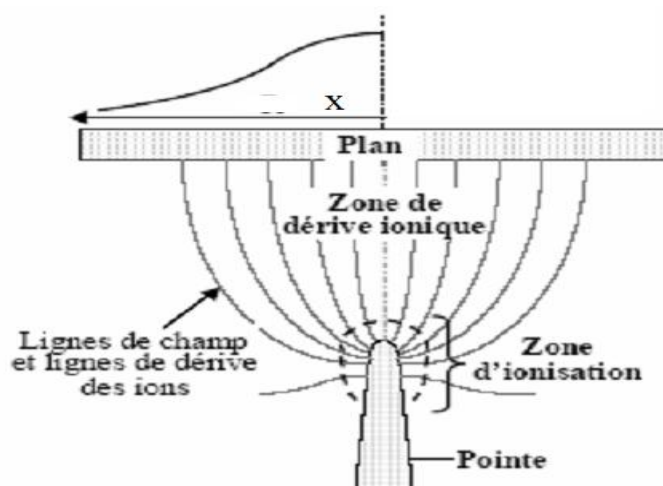
$V$  : tension appliquée à la pointe (V),

$z$  : distance à la pointe sur l'axe pointe-plan (m),

$r$  : rayon de courbure de la pointe à son extrémité (m),

$d$  : distance inter électrodes (m).

$x$  : position au plan.



**Fig. I. 8** : Topographie de la décharge couronne en configuration pointe-plan [12].

## I. 4 Paramètres influant sur le développement de la décharge

### I. 4. 1 Influence de la polarité de la tension appliquée

Les phénomènes élémentaires de développement et de propagation des décharges ont surtout été décrits pour des configurations pointe-plan. Deux cas principaux sont à distinguer :

- L'application d'une tension positive à la pointe
- L'application d'une tension négative à la pointe

Dans le cas d'une tension alternative, les mécanismes élémentaires sont alternativement les mêmes que pour les décharges positives ou négatives, à condition que les charges d'espace aient pu se neutraliser dans le milieu avant l'inversion de la polarité.

### I. 4. 2 Propriétés atmosphériques

Parmi les propriétés physiques de l'air conditionnant le mécanisme d'évolution des décharges et ayant une grande influence sur sa rigidité, on trouve la densité  $\delta$  et l'humidité  $H_a$ . L'influence de la densité entraîne implicitement celle de la température  $T$  et de la pression  $P$ , vu leur dépendance mutuelle où :

$$\delta = \frac{P}{760} \cdot \frac{293}{273+T} \quad (\text{I. 11})$$

$P$  est la pression en mm Hg et  $T$  est la température en °C. Un isolant gazeux est assez fortement influencé par les trois facteurs ( $P$ ,  $T$ ,  $H_a$ ) avec une prédominance pour la température et la pression qui en modifiant la densité ont un rôle direct et antagoniste: la tension disruptive augmente avec la pression et diminue avec la température.

### I. 4. 3 Présence de particules conductrices dans l'air

Il a été montré que les particules existant dans un intervalle d'air pointe-plan sont responsables des modifications des conditions de décharge. A.Sumuila et L.Dascalescu ont analysé les conditions de décharge en présence de petites particules conductrices sphériques, de rayon  $r_c$  et de masse  $m$ , sous l'effet d'un champ électrique  $E$  pour un système pointe positive - plan [14]. La présence de particules conductrices réduit la rigidité de l'air. Un

champ uniforme, relativement faible, peut déplacer des objets métalliques fins, d'où l'initiation de la décharge par des micro-décharges produites par ces particules lorsqu'elles sont proches des électrodes.

#### I. 4. 4 Influence du matériau de l'électrode

Zhao. You Bin [14], a montré que la tension de décharge disruptive sous tension continue change avec le matériau de la pointe, ses résultats sont présentés dans le tableau (I.1) Il a observé qu'après 80 décharges la pointe en aluminium a diminué de 0.07 mm de hauteur. En effet, la chaleur dégagée de la pointe en aluminium est plus élevée que dans le cas des autres matériaux utilisés à cause de sa conductivité, qui est plus importante, ce qui facilitera son usure, (le point d'ébullition est plus faible pour l'aluminium).

Longueur de l'intervalle (mm)		100	500	1000
Tension de claquage (kV)	Aluminium	80.4	291	569
	acier	83.2	294	583

**Tab. I. 1** : Tension de claquage en fonction de la longueur de l'intervalle pour deux matériaux de la pointe [14]

#### I. 4. 5 Influence de la pollution de l'air

La pollution est introduite par l'homme, directement ou indirectement sous forme 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 systèmes écologiques. Notamment dans le domaine d'électrotechnique, la pollution constitue un sérieux problème dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement, lignes de transport et de l'appareillage haut tension. En effet, les dépôts polluants recouvrent les surfaces isolantes peuvent conduire au contournement total des systèmes d'isolation [15, 16].

#### I. 5 Effets des barrières sur la décharge électrique

### **I. 5. 1 Introduction**

L'influence des barrières isolantes a été remarquée par C.P Steinmetz vers 1920 [17]. Il a constaté l'augmentation de la tension disruptive de l'air entre deux électrodes sphériques, séparées par une barrière isolante. Plusieurs chercheurs ont succédé par la suite pour mener des investigations plus poussées. L'amélioration de la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air pointe-plan, par l'introduction convenable d'une barrière isolante est un phénomène très intéressant à exploiter dans les systèmes d'isolation. En effet, la présence d'un écran isolant entre les deux électrodes transforme l'intervalle d'air initial en un système stratifié (air-barrière). Les ions dans le cas d'une décharge positive sont alors freinés par la barrière en se répartissant sur sa surface, provoquant la déformation du champ électrique et engendrant ainsi une nette augmentation de la tension disruptive du système [18]. L'introduction d'une barrière influence par plusieurs paramètres la variation de la tension disruptive d'un intervalle d'air. On trouve les paramètres de configuration de l'intervalle longueur de l'intervalle, nombre de barrières utilisées, position de la barrière) et les paramètres concernant la barrière elle-même (son matériau, sa forme, ses dimensions...etc.) [19, 20].

### **I. 5. 2 Paramètres définissant la nature de la barrière**

Les écrans isolants de natures différentes n'ont pas tous les mêmes performances du point de vue de l'augmentation de la tension disruptive d'un système d'isolation. Cela est dû au fait que les paramètres définissant les propriétés isolantes d'un matériau varient d'un diélectrique à un autre. Parmi ces paramètres, on trouve la rigidité diélectrique qui est la propriété qu'à un diélectrique à s'opposer à la décharge disruptive. Ce paramètre est évalué par l'intensité du champ électrique susceptible de conduire à la décharge disruptive. La permittivité est une propriété physique décrivant la réponse d'un milieu donné à un champ électrique. Au niveau microscopique, la permittivité est liée à la polarisabilité électrique des molécules ou atomes constituant le milieu. Dans un diélectrique réel, il existe toujours à basses fréquences une faible conductivité liée à différents mécanismes microscopiques (défauts notamment). On parle alors de pertes diélectriques [20].

### **I. 5. 3 Influence selon différents auteurs**

Plusieurs investigations ont été menées pour l'étude de l'influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique. Nous présentons par ordre chronologique certaines d'entre elles dans cette section.

#### **I. 5. 3. 1 Influence selon E. Marx**



Marx montra en 1930 qu'une plaque isolante, insérée dans un champ divergent induit une modification de la forme des décharges ayant lieu dans l'intervalle interélectrodes. Pour la rupture diélectrique aux chocs (0.5/ 100  $\mu$ s) d'un intervalle d'air pointe-plan de 50 cm, il a obtenu une amélioration de la tension disruptive lorsque la barrière est située près de la pointe positive. Lorsque la pointe est négative, les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière et la rendent sans effet notable. En tension continue négative, la tension disruptive peut être fortement diminuée [21]. Sous des impulsions de choc, l'augmentation de la tension disruptive a été prélevée à une position de 60% de la longueur de l'intervalle (pointe-plan), contrairement à des positions proches de l'une des électrodes où la tension disruptive diminue. En tension alternative, l'amélioration de la rigidité du système a été remarquée pour des positions de la barrière située entre 20% et 60% de l'intervalle d'air pointe-plan.

### I. 5. 3. 2 H. Roser

Il a été le premier à étudier l'influence des barrières de différentes permittivités sur la tension disruptive aux chocs de foudre, en tension alternative et continue, pour divers systèmes d'électrodes. Dans le cas du système pointe positive-plan, la charge d'espace qui se dépose à la surface de la barrière isolante est positive. Elle tend à uniformiser le champ électrique entre la barrière et le plan. Ceci engendre l'augmentation de la tension de décharge disruptive. Par contre, dans le cas de la pointe négative, il peut y avoir une réduction de la tension disruptive. Roser a notamment étudié l'influence des barrières poreuses et des barrières compactes trouées, où il a constaté qu'elles n'entraînent aucune amélioration notable de la tension disruptive [22].

### I. 5. 3. 3 Tikhodeev

Selon Tikhodeev le processus de décharge en tension impulsionnelle positive peut être subdivisé en trois étapes principales [23]:

- 1) Etape non stationnaire de remplissage de la barrière par les charges. Une double couche de charges superficielle est formée, créant un champ de polarisation  $E_p$  à l'intérieur de la barrière. La charge installée à la barrière se répartie graduellement sur toute la surface de la barrière vu la valeur finie de la conductivité du matériau de la barrière.
- 2) Une étape stationnaire de contournement de la barrière par les décharges glissantes. En augmentant la tension, les impulsions de courant se serrent et des courants stationnaires sont collectés au plan.

3) Etape de claquage de l'intervalle pointe –plan avec barrière, où la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan. Pour une pointe négative on trouve trois étapes :

- La décharge s'effectue de la pointe vers la barrière.
- Pour un niveau de tension supérieur, la barrière est contournée par les décharges glissantes. D'autre part, à partir de l'électrode plane apparaît une décharge vers la surface opposée de la barrière.
- L'amorçage s'effectue après la rencontre des deux décharges venant de part et d'autre de la barrière [22].

#### **I. 5. 3. 4 M.P. Verma**

Verma a travaillé sur les chocs de foudre positifs des intervalles d'air pointe-barrière-plan, de 4 à 14 cm. Les caractéristiques tensions disruptive - distance interélectrodes obtenues présentent des pentes comprises entre 5 et 30 kV/cm, selon la position de la barrière [24].

#### **I. 5. 3. 5 J.Pilling**

Pilling a étudié l'influence des barrières isolantes sur la tension disruptive, en tension alternative des intervalles d'air pointe-plan allant jusqu'à 20 cm. Il a vérifié que la tension disruptive de l'intervalle est équivalente à la somme des tensions disruptives des intervalles d'air des deux côtés de la barrière et de la chute de tension sur la barrière [25].

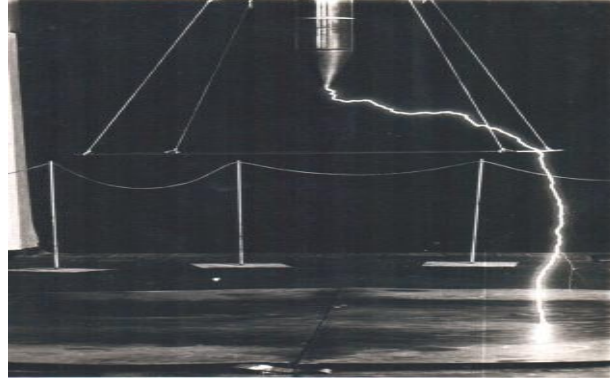
#### **I. 5. 3. 6 M. Awad**

Awad a étudié le comportement des barrières polluées dans des intervalles d'air pointe-pointe de longueur inférieure à 12cm pour des tensions de choc de manœuvre 23/3000 $\mu$ s [26]. Il a constaté que la tension de claquage diminue lorsque la conductivité superficielle augmente, puis tend vers une valeur constante pour une conductivité superficielle supérieure ou égale à 3 $\mu$ S dans le cas où la surface polluée est en face de pointe HT.

#### **I. 5. 3. 7 A. Boubakeur**

A. Boubakeur a travaillé sur les intervalles d'air pointe-plan de 40 à 200 cm, en tension de choc de foudre et de manœuvre positive et en tension alternative à fréquence industrielle. Il a montré que la barrière isolante joue un rôle d'obstacle géométrique provoquant l'augmentation de la tension disruptive, quand la barrière est proche de la pointe aux environs de 20% de la distance pointe-plan. Cette augmentation est due à l'allongement du canal de la décharge disruptive [19,20]. L'évolution de la décharge peut être directe ou par

étapes. La décharge directe est obtenue lorsqu'aucune décharge superficielle à la surface de la barrière n'est observée. Ce cas est généralement obtenu dans le cas où la barrière est suffisamment éloignée de l'une des électrodes [26]. Dans ce cas, la décharge contourne la barrière en la touchant dans un seul point, elle suit dans l'air le trajet pointe - bord de la barrière - plan (Fig. I. 9).



**Fig. I. 9** : Décharge directe du système pointe-barrière-plan ( $d = 150$  cm,  $a = 40$  cm,  $170/2500\mu\text{s}$ ) [26]

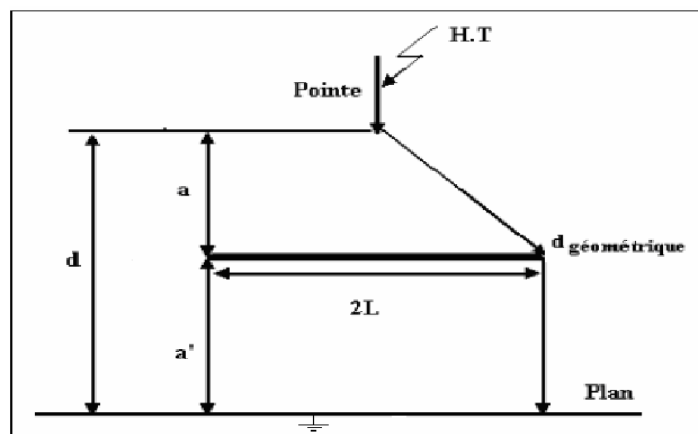
Pour ce cas, la tension disruptive du système « pointe-barrière-plan » peut être déterminée approximativement de la caractéristique tension disruptive en fonction de la distance interélectrode 'd' du système pointe-plan en considérant la distance géométrique  $d_{\text{g\u00e9om}}$  (Fig. I.10). telle que

$$d_{\text{g\u00e9om}} = \sqrt{a^2 + L^2} + a' \quad (\text{I. 11})$$

Ou  $a' = d - a$

$a$  : est la distance pointe - barrière

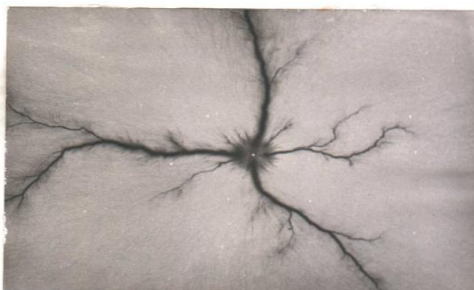
$a'$  : est la distance barrière - plan



**Fig. I. 10 :** Système pointe-barrière-plan

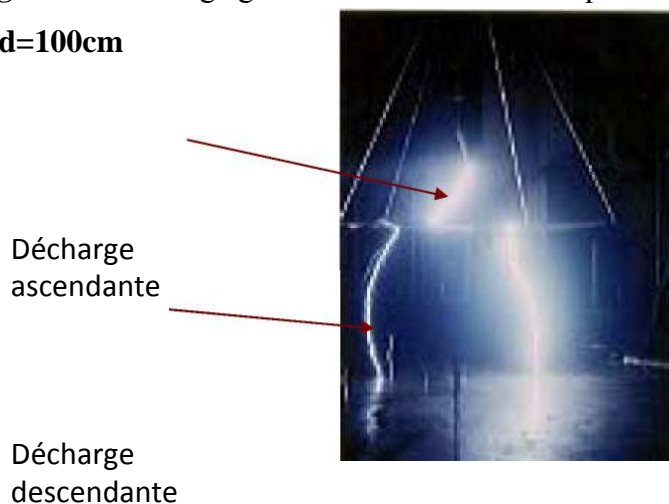
L'évolution de la décharge s'effectue par étapes lorsque la barrière est proche de la pointe positive. Dans ce cas, la décharge est composée de l'étincelle pointe-milieu de la barrière, de la décharge glissante sur la barrière (Fig. II. 4) et de la décharge bord de la barrière - plan.

Dans le cas d'une pointe de polarité négative, la décharge par étapes apparaît pour pratiquement toutes les positions de la barrière. Notamment, A. Boubakeur a mis en évidence l'apparition de décharges ascendantes positives, dans le cas d'une pointe négative pour un intervalle d'air pointe - plan de 1.5 m (Fig. I. 11).

**Fig. I.11 :** Décharge glissante dans le cas d'une pointe positive en contact avec la barrière

(d=100cm

U=730kV 1.2/50µs)

**Fig. I. 12 :** Décharge disruptive dans un intervalle d'air pointe-barrière-plan de 1,5 m (U près de 1100 kV) [27]**I. 5. 3. 8 Selon Li Ming**

Li Ming a travaillé sur les intervalles pointe-plan sous tension impulsionnelle. Il a montré que la propagation des streamers influe sur la tenue diélectrique et ne mène pas nécessairement à la rupture de l'intervalle d'air. Les décharges préliminaires accélèrent le vieillissement de la barrière et augmentent la quantité de la charge superficielle qui facilite les décharges glissantes. La tension de rupture est inférieure à celle de l'intervalle sans barrière pour une barrière proche du plan [28]. L'influence des trous au centre et au bord de la barrière.

#### **I. 5. 3. 9 Selon Z. You Bin**

You Bin a travaillé sur les intervalles pointe-barrière-plan sous tension continue. La distribution des porteurs de charges positifs sur la surface de 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 [29].

#### **I. 5. 3. 10 Selon M. C. Siddagangapa**

La distribution du champ électrique et les niveaux de tension de claquage sont souvent modifiés par l'accumulation de la charge sur un isolant où la modification du champ sur la surface peut mener aux décharges glissantes. Il est important de savoir que l'influence de cette accumulation sur la distribution du champ électrique dans les systèmes stratifiés (gaz solide) est un paramètre fondamental pour établir une meilleure isolation. Afin de visualiser et de quantifier la charge déposée sur le diélectrique, on fait recours aux techniques optiques. M. C. Siddagangapa [30], a utilisé la méthode de simulation de charge pour le calcul du champ électrique et de la tension disruptive. Les résultats de simulation concordent avec la base de données expérimentale obtenue, par Nakanishi [31].

#### **I. 5. 3. 11 Selon F.V. Topalis et I. A. Stathopoulos**

La rigidité diélectrique de l'air s'améliore pour des positions relativement éloignées de la barrière des deux électrodes, dans le cas des petits et moyens intervalles. L'effet de la barrière n'est plus le même dans le cas des longs intervalles et pour des positions de la barrière équivalentes à celles du cas précédent. Selon les conditions expérimentales, ceci est dû à l'influence du phénomène physique dénommé 'leader', qui est matérialisé par un canal lumineux observé dès que la distance interélectrodes dépasse 80 cm. En tension impulsionnelle et en géométrie d'électrodes pointe-pointe, l'insertion de deux barrières de

manière à ce que l'une soit fixe et l'autre mobile ne change presque pas la tension de claquage en fonction de la position de la barrière, mais reste toutefois supérieure à celle de l'intervalle d'air ayant une seule barrière. Dans le cas d'un système pointe-plan, la tension disruptive augmente de 35% pour une barrière située à 20% de la distance interélectrodes [32]. L'insertion de trois barrières a été réalisée par Y Julliard, où il a constaté une amélioration de la rigidité diélectrique du système par rapport à l'introduction de deux barrières [23].

## I. 6 Conclusion:

Les barrières isolantes ont des propriétés différentes l'une par rapport à l'autre. La connaissance des paramètres définissant leur nature est nécessaire. On trouve parmi ces paramètres : la rigidité diélectrique, la permittivité ainsi que les décharges partielles pouvant avoir lieu à l'extérieur, à la surface et à l'intérieur des isolants solides.

L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes (type streamers-leader) selon la position de la barrière dans l'intervalle d'air pointe - plan. En effet, la décharge directe est obtenue lorsqu' aucune décharge superficielle à la surface de la barrière n'est observée. Ce cas est généralement obtenu quand la barrière est suffisamment éloignée des électrodes. La progression de la décharge s'effectue par étapes lorsque la barrière est proche de la pointe positive. Dans le cas d'une pointe de polarité négative, la décharge par étapes apparaît pour pratiquement toutes les positions de la barrière. A partir des résultats des travaux effectués précédemment, nous pouvons conclure que l'introduction d'une barrière isolante dans un intervalle pointe plan augmente la rigidité diélectrique du système, en modifiant la distribution du champ électrique dans l'intervalle d'air en général et sur le plan en particulier.

Suite à ces travaux, notre étude s'inscrit dans le même axe de recherche et concerne la caractérisation des décharges électriques évoluant dans un intervalle d'air (pointe - barrière isolante polluée - plan) sous tension continue.

# *Chapitre II*

## **Les isolants électriques**

## II. 1 Introduction

La conception et le dimensionnement des systèmes électriques haute tension comme les supports et les traversées dans les lignes de transmission et distribution de l'énergie électrique, les appareils de haute tension, (transformateurs et condensateurs de puissance). Dépend largement de structures isolantes utilisées et aux différentes contraintes auxquelles elles sont exposées.

Les isolants idéaux sont des matériaux qui ne sont pas conducteurs du courant électrique puisque ils ne contiennent pas de charges libres dans leurs structures, la fonction principale d'un isolant est d'empêcher le passage du courant lorsqu'on le soumet à une tension électrique. Cependant, celui-ci ne peut supporter des tensions croissantes indéfiniment; à une certaine tension, il se produit un phénomène de claquage où la substance perd ses propriétés isolantes. Lorsqu'il atteint la tension de claquage, des électrons sont arrachés de leur orbite extérieure et deviennent libres. La tension de claquage requise pour provoquer cette avalanche électronique dépend de la nature de l'isolant et de son épaisseur.

Il existe une grande variété d'isolants solides, liquides, et gazeux. En plus des isolants naturels, on trouve sur le marché de nombreux isolants synthétiques qui ont été développés pour différentes applications.

## II. 2 Isolants électriques

### II. 2. 1 Définitions [33]

#### II. 2. 1. 1 Isolant

Un isolant est une substance dont la conductivité est nulle, ou en pratique très faible. L'action d'isoler est le moyen d'empêcher la conduction électrique entre conducteurs soumis à des champs électriques. On peut considérer comme isolant, tous les matériaux dont la résistivité est supérieure à  $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ .

#### II. 2.1.2 Diélectrique

Un diélectrique est défini comme un milieu matériel dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparées par une énergie supérieure à 5 eV [34]. Les matériaux diélectriques réels contiennent un certain volume de charges libres provenant des impuretés. Ainsi, dans les diélectriques, on peut également observer une très légère conduction, détectable surtout à basses fréquences.



## II. 2. 2 Différents types d'isolants

On peut classer les isolants en trois catégories suivantes :

### II. 2. 2. 1 Isolant gazeux [35]

L'air et les gaz secs sont de bons isolants, ils ont des propriétés particulières:

- rigidité diélectrique variable suivant la nature de gaz
- permittivité faible, les gaz sont auto-générateurs
- phénomène d'ionisation des gaz
- légers et non inflammables

Les principaux isolants gazeux sont : l'air atmosphérique, l'azote, les gaz électronégatifs (SF<sub>6</sub>), l'hydrogène.

### II. 2. 2. 2 Isolants liquides (les huiles)

Les liquides diélectriques comme les huiles sont souvent utilisés en association avec des solides (transformateurs, condensateurs câbles) donc imprégner. Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui sont sources de décharges partielles. Les liquides sont utilisés pour:

- améliorer le pouvoir de coupure de certains appareils électriques par l'amélioration des conditions d'extinction de l'arc électrique.
- assurer une bonne isolation électrique.
- permettre un bon refroidissement.

### II. 2. 2. 3 Isolants solides [36]

Les isolants solides sont d'origines minérales, organiques et résineuses (**Tab. II. 1**):

- les isolants d'origine minérale sont des substances siliceuses et calcaire, 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 (caoutchouc,...).

Le tableau (Tab. II. 1) résume les propriétés électriques, thermiques et mécaniques des principaux isolants.

Tab. II. 1 : Propriétés des matériaux isolants

Propriétés des matériaux isolants						
Isolants	Propriétés électriques		Propriétés thermiques		Propriétés mécanique	Notes
	Rigidité diélectrique	Constante diélectrique	Température d'opération	Conductivité thermique	Masse volumique	
	MV/m	$\epsilon_r$	°C	W/ (m. °C)	kg/m <sup>3</sup>	
air sec	3	1	2000	0,024	1,29	gaz à °C101 kPa
azote (N 2)	3,5	1	—	0,024	1,25	
hexafluorure soufre (SF6)	30 (à 400 kPa)	1	—	0,014	6,6	
hydrogène	2,7	1	—	0,17	0,09	
oxygène	3	1	—	0,025	1,43	
Amiante	1	—	1600	0,4	2000	
Laine d'amiante	1	—	1600	0,1	400	
Pyrano	12	4,5	120	—	1560	
Caoutchouc	12à20	4	65	0,14	950	
Epoxy	20	3,3	130	0,3	1600 à2000	
huile minérale	10	2,2	110	0,16	860	
Mica	40 à 240	7	500 à1000	0,36	2800	
Mylar	400	3	150	-	1380	
nylon	16	4,1	150	0,3	1140	
MgO	3	4	1400	2,4	-	
papier imprégné	14	4 à 7	120	0,17	1100	
polyamide	40	3,7	100 à 180	0,3	1100	
polycarbonate	25	3,0	130	0,2	1200	
polyéthylène	40	2,3	90	0,4	930	
PVC	50	3,7	70	0,18	1390	
polyamide	200	3,8	180 à 400	0,3	1100	
polyuréthane	35	3,6	90	0,35	1210	
porcelaine	4	6	1300	1,0	2400	
silicone	10	-	250	0,3	1800 à2800	
téflon	20	2	260	0,24	2200	
verre	100	5 à 7	600	1,0	2500	

## II. 2. 3 Nature de l'isolation utilisée comme barrières

### II. 2. 3. 1 Plexiglas [38]

C'est une matière transparente et rigide qui utilise dans le domaine d'électricité.

#### a) 1 : caractéristique diélectriques :

- Constante diélectrique :  $2.6 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$
- Rigidité diélectrique : 25 KV/mm

#### a) 2 : caractéristique mécanique :

- Densité : 1.18 G/Cm<sup>3</sup>
- Absorption d'eau à saturation : 0.3%
- Résistance à la traction : 74 N/mm<sup>2</sup>
- Résistance à la flexion : 140 N/ mm<sup>2</sup>
- Résistance aux chocs : 20 J/m

### II. 2. 3. 2 Verre [34.35]

Il est fabriqué en fondant un mélange de sable, de chaux et de carbonate de Sodium à une température 900°C. 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 isolateurs en verre, un peu moins chers, mais plus fragiles que ceux en porcelaine, sont employés jusqu'à environ 30 kV.

- ✓ Sa rigidité est excellente à froid, de l'ordre de 50 à 100 kV/mm, tandis qu'elle se trouve divisée par 100 à 400°C.
- ✓ Sa permittivité relative environ 5 à 8.
- ✓ Sa résistivité à 20°C:  $10^{10} \dots 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ .

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

#### II. 2. 3. 2. 1 Verres 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.

#### II. 2. 3. 2. 2 Verres recuits

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. 2. 3. 3 Silicone

On donne ce nom à toute une catégorie de corps récemment inventés qui sont analogues aux résines synthétiques. Ils en diffèrent parce qu'ils ne contiennent que peu ou pas de carbone dans la constitution de leurs molécules. Ils ne sont pas combustibles, et résistent jusqu'à 200 °C sans durcissement ni décharge, et conservent leurs propriétés dans une large gamme de température (- 40 à 200 °C):

- rigidité diélectrique 15 kV/mm
- permittivité relative à 25 °C et 1 kV est de 5,4
- facteur de dissipation diélectrique à 25 °C et 10 kHz ;  $\text{tg } \delta = 4 \text{ à } 5 \cdot 10^{-3}$
- conductivité thermique : 0,41 à 0,62.....W/m.K
- température d'auto-inflammation est supérieure à 300 °C
- masse volumique de 2300 à 2800 kg/m<sup>3</sup>.

### II. 2. 3. 4 Bakélite

C'est une résine artificielle inventée vers 1909 par le chimiste BAKELAND. On l'obtient sous trois états [36, 38].

- ✓ 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. 2. 4 Propriétés diélectriques des isolants

On peut subdiviser les caractéristiques électriques des matériaux isolants en deux grandes familles:

❖ la première comprend les propriétés essentielles qui sont:

- \* Rigidité diélectrique E
- \* Permittivité relative  $\epsilon_r$
- \* Facteur de pertes diélectriques  $\text{tg } \delta$
- \* Résistivité électrique  $\rho$

- ❖ la seconde famille réunit des caractéristiques plus directement liées à l'emploi de l'isolant dans une catégorie de matériels déterminée, donc en liaison étroite avec les diverses contraintes subies par le matériau au cours de son service (Température, fréquence, ...).

Dans certains cas ces dernières caractéristiques peuvent être les éléments déterminants du choix d'un isolant destiné à une certaine fonction.

### II. 2. 4. 1 Rigidité diélectrique

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.
- la rigidité diélectrique longitudinale.

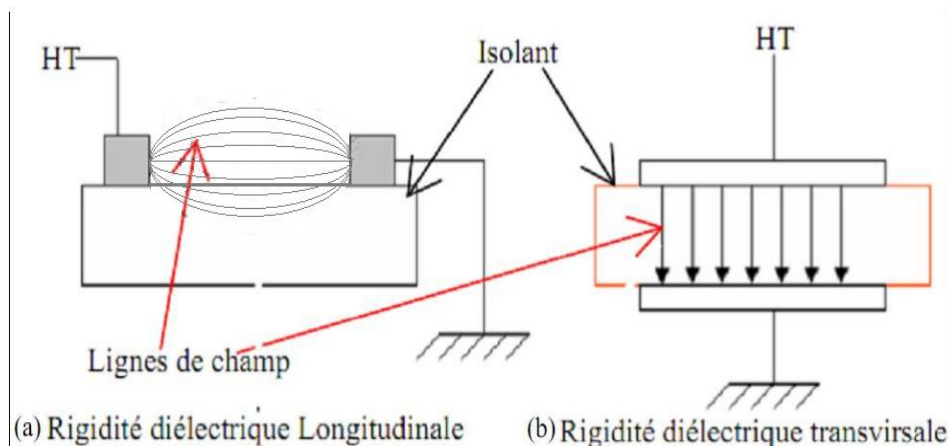


Fig. II. 1: mesure de la rigidité diélectrique

### II. 2. 4. 1. 1 Rigidité diélectrique longitudinale

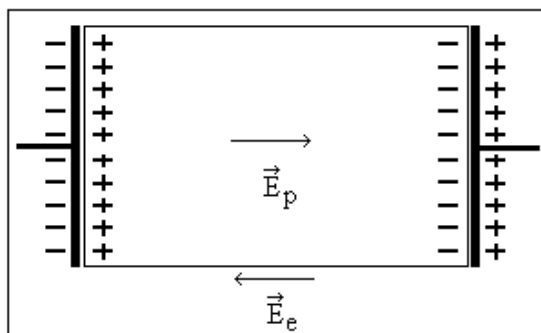
La rigidité diélectrique longitudinale dépend peu de la nature de l'isolant, mais beaucoup plus de son état de sécheresse et de propreté. En effet, dans la plupart des cas, l'amorçage de l'espace entre les deux conducteurs, se produit d'abord dans le milieu ambiant au voisinage de la surface du solide (Fig. II.1a). ce n'est que dans certains cas, par exemple celui de matériaux ayant subi une immersion prolongée dans l'eau ou essayés à température élevée que l'amorçage intéresse réellement l'isolant et provoque une destruction réelle de sa surface (Carbonisation) le rendant inapte à supporter de nouvelles contraintes.

### II. 2. 4. 1. 2 Rigidité diélectrique transversale

Pour la quelle le champ électrique appliqué est perpendiculaire à la surface principale du matériau (Fig. II.1b). Dans les conditions pratiques cette rigidité est fonction de nombreux paramètres expérimentaux et particulièrement des phénomènes qui prennent naissance dans le milieu extérieur au solide.

### II. 2. 4. 2 Permittivité

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 ( $E_e$ ) extérieur appliqué (Fig. II. 1). Cette caractéristique des isolants solides et liquides porte le nom de la permittivité relative  $\epsilon_r$ .



**Fig. II. 2** : Champ électrique propre 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 électrodes supposées noyées dans ce diélectrique, par la capacité  $C_0$  de la configuration d'électrodes 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 constante électrique du vide.

$$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \tag{II. 2}$$

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

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. 2. 4. 3 Angle de pertes et facteur de dissipation

Tout isolant soumis à un champ électrique alternatif est traversé par des courants de conduction et d'absorption qui donnent lieu à des pertes diélectriques. Le diélectrique réel peut être représenté par les schémas équivalents suivants (Fig. II. 2 et 3).

Le courant total traversant l'ensemble du circuit est déphasé en avance sur la tension d'un angle  $\varphi < \pi/2$ . 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 la façon suivante:

$$\text{tg } \delta = I_a / I_r = U_a / U_r = P_a / P_r \tag{II.5}$$

D'après la formule (II. 3) on peut écrire:

$$\text{tg } \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r' \tag{II.6}$$

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

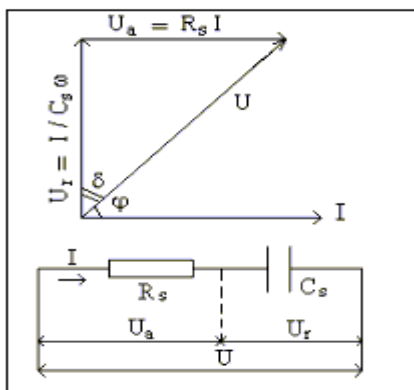


Fig. II.3: Circuit électrique équivalent série

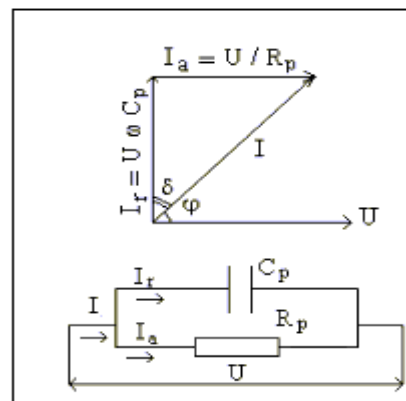


Fig. II.4: Circuit électrique équivalent parallèle

## II. 2. 4. 4 Résistivité et résistance d'isolement

### II. 2. 4. 4. 1 Définition et signification

La résistance transversale ou volumique est déterminée en appliquant un champ perpendiculaire à la surface d'une éprouvette et en mesurant le courant transversal qui résulte de l'application de ce champ. Elle est relative aux propriétés internes du matériau.

La résistance superficielle est celle qui intervient entre deux conducteurs sur une même surface isolante. C'est une notion qui fait intervenir outre la qualité du matériau, le dépôt d'une mince couche conductrice (humidité ou autre) à travers laquelle s'effectue en tout ou en partie la conduction.

La résistance d'isolement fait intervenir à la fois la résistance transversale et la résistance superficielle d'un matériau, d'une façon représentative des conditions pratiques d'emploi des matériaux.

### II. 2. 4. 4. 2 Résistance et résistivité superficielle

Dans les matériels électroniques (cartes imprimées) l'isolement principal entre deux conducteurs est assuré par la surface de l'isolant, d'où l'importance pratique de la détermination de la résistance longitudinale. Cette résistance comporte d'une part la résistance purement superficielle, mais aussi une certaine fraction de la résistance interne du matériau. Les valeurs relatives de ces deux composantes de la résistance sont fonction de divers paramètres et notamment de la largeur et de l'écartement entre conducteurs ainsi que de l'état d'humidification respectif des couches superficielles et internes du matériau. Par définition, la résistance superficielle est le quotient de la tension continue appliquée entre les deux électrodes disposées à la surface de l'isolant par le courant qui en résulte. La résistivité superficielle est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur.

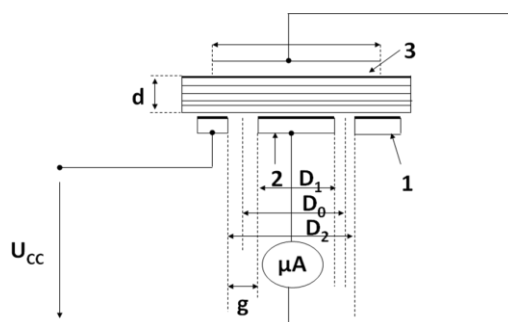


Fig. II. 2 : Méthode de mesure de la résistance superficielle



1 : électrode

2 : contre -électrode

3 : anneau de garde servant à éliminer de la mesure les courants transversaux.

### II. 2. 5 Application des isolants dans l'industrie électrique

L'adoption définitive d'un isolant par un constructeur repose sur la prise en considération de la nature multidisciplinaire des études et essais sur celui-ci. Leur réalisation nécessite des connaissances en électricité, en mécanique, en chimie et statistiques. De nombreuses expérimentations sont également nécessaires afin d'évaluer la durée de vie d'un nouveau matériau. On estime que les progrès récents dans la mise en œuvre des isolants sont dus essentiellement à trois raisons:

- dimensionner au mieux l'isolation des matériaux électriques;
- maintenir le taux de défaillance des isolations au dessous de leurs valeurs acceptables pour les utilisateurs;
- développer les isolants permettant la construction de matériels de tensions de plus en plus élevée ou fonctionnant dans des conditions particulières.

Mais diverses contraintes, liées essentiellement à l'industrialisation provoquent des changements importants. Dès à présent les producteurs et les utilisateurs d'isolants doivent:

- tenir compte d'exigences très diverses selon les sites sur lesquels sont installés les matériels (réseaux, bâtiments, bord de mer, centrales nucléaires etc....);
- réduire ou supprimer les pollutions résultant de la dispersion d'isolants liquides, d'additifs, dans la nature ou d'incendies entraînant la production de composés toxiques ou corrosifs;
- mettre au point des procédés de fabrication et de mise en œuvre des isolants nécessitant une moindre consommation d'énergie.

### II. 3 Conclusion

Dans le matériel électrique destiné à fonctionner sous HT, MT, l'isolation des conducteurs, prend une grande importance. Leur choix doit tenir compte de leurs propriétés physiques et des différentes contraintes supportées.

L'isolation assure les deux fonctions mécaniques et électriques, pratiquement celle-ci est le siège de phénomènes de pollution qui la contamine en diminuant ses caractéristiques. De ce point de vue, le choix de cette dernière se fait donc essentiellement à partir de la tension de service; en fonction des efforts mécaniques auxquels elle est soumise (facteurs climatiques, pollution, ...etc.).

## *Chapitre III*

# **Phénomènes de la pollution**

### 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 atteintes aux agréments ou à gêner les autres utilisations légitimes de l'environnement.

Sans oublier que dans le domaine d'électrotechnique, la pollution constitue un sérieux problème dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement de l'appareillage haute tension. En effet, les dépôts polluants qui recouvrent 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 [39]

#### a) 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.

#### b) Salinité

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  $\text{kg/m}^3$ .

**c) Couche de pollution**

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

**d) Degré de pollution**

Valeur de quantité (salinité, conductivité de la couche, densité du dépôt de sel) qui caractérise la pollution artificielle appliquée sur l'isolateur en essai.

**III. 3 Différents types de polluants [39]**

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 sont dus aux éruptions volcaniques, aux décompositions de matières organiques (animaux et végétaux morts) et aux feux de forêts.

Des particules en suspension dans l'air (aérosols) peuvent également provenir des éruptions des volcans ou des déserts et être transportées sur de très grandes distances. C'est par exemple le cas des poussières de sable du désert du Sahara (en Afrique), qui sont transportées par les vents jusqu'en Europe. 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 ( $\text{CO}_2$ ), le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), 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 a commencé avec l'ère industrielle, au 19<sup>ème</sup> siècle, elle est présente surtout en zones urbaines et entraîne de graves problèmes de santé chez les êtres humains, la pollution est plus forte les jours où la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n'y a pas de vent.

### **III. 4 Sources de pollution [39]**

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 région 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 les isolateurs une couche de sel, qui à plus ou moins échéance, recouvre toute la surface des isolateurs, 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 l'isolateur.

##### **III. 4. 1. 2 Pollution désertique**

En régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sable déposent progressivement sur les isolateurs une couche de pollution contenant des sels humidifiés; cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs

partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolateur.

### **III. 4. 1. 3 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, automobiles...).

Les isolateurs 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 peut survenir.

### **III. 4. 1. 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 à la surface des isolateurs.

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 à la surface des isolateurs, 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 [39]**

Parmi les facteurs météorologiques essentiels d'influence des dépôts polluants et par conséquent de la tenue électrique des isolateurs 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 les surfaces des isolateurs. 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 isolateurs 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 Méthodes de mesure des caractéristiques électriques de pollution

### III. 6. 1 Conductivité électrique de la pollution [39]

#### a) 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

### III. 6. 2 Mesure de la sévérité de pollution d'un site

La connaissance de la sévérité de la pollution est indispensable afin de dimensionner convenablement l'isolation en vue d'assurer un service sans défaillance.

### III. 6. 3 Densité du dépôt de sel équivalent (DDSE) [38]

Il s'agit du dépôt équivalent, en milligrammes de  $\text{NaCl}/\text{cm}^2$  de la surface d'une barrière 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 à la surface des isolateurs 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, à 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  $^\circ\text{C}$ .

### III. 7 Conductance superficielle

La conductance superficielle caractérise l'état global de la surface isolante (niveau de pollution et degré d'humidification de la couche). Elle représente le rapport du courant électrique qui circule sur l'isolateur, à la tension appliquée :  $G = I/V$ . La tension utilisée est inférieure à la tension de service et est appliquée pendant quelques périodes. Par contre, la conductivité superficielle des isolateurs peut être obtenue en multipliant la conductance superficielle  $G$  par le facteur de forme  $f$  de l'isolateur  $K = f G$ .

Dans le cas de couches polluantes non homogènes, la conductivité locale peut être obtenue en mesurant la conductance d'une partie de la surface à l'aide d'électrodes auxiliaires. Cette méthode peut être représentative d'un type de pollution du site étudié. En général, elle présente des résultats dispersés.

### III. 7. 1 Mesure optique

Le but de cette méthode consiste à évaluer l'épaisseur de la couche déposée à la surface d'isolation. Un dispositif de prédiction par sonde laser effectue les mesures en se fondant sur une technique elliptométrique. Un rayon à polarisation rectiligne traverse un analyseur et aboutit à un photodétecteur. Une analyse avancée des caractéristiques du rayon réfléchi (amplitude, décalage de phase) permet de calculer la constante diélectrique et l'épaisseur de la couche de pollution. La mesure de la sévérité de la pollution peut ainsi se faire sans toucher à cette couche.

### III. 7. 2 Densité de dépôt non soluble (DDNS)

Elle correspond à la quantité de dépôts polluant non solubles présents dans une couche de pollution. Elle s'exprime en  $\text{mg}/\text{cm}^2$ .

La mesure de la DDNS s'accompagne souvent d'une analyse physicochimique de la pollution, au terme de laquelle les sources polluantes peuvent être identifiées. [40]

### III. 8 Choix d'une méthode de mesure de sévérité de pollution [38]

Parmi les méthodes d'évaluation de la sévérité de pollution déjà mentionnées, il est impossible de définir une méthode universelle. Les trois méthodes les plus utilisées dans le monde sont : La mesure de la DDSE, le courant de fuite, et la conductance superficielle, car elles ne nécessitent pas d'installations complexes et coûteuses, puis elles donnent des résultats satisfaisants.

Avec la mise sur le marché de la sonde mobile, son utilisation deviendra générale car elle offre d'autres avantages, elle est alimentée par batteries et elle est portable, donc les mesures peuvent être effectuées sur des isolateurs réels et en service.

Dans tous les cas, le choix d'une méthode dépend essentiellement des paramètres suivants:

- Equipement de mesure (coût des appareils et de la réalisation des mesures, disponibilité de mesures électriques, fiabilité statistique et fiabilité d'applications des données fournies)
- Réseau de transport (étendue, situation géographique, gamme de sources polluantes,

degré de fiabilité demandé).

➤ Le choix de la technique de mesure dépend aussi de la manière dont les mesures de sévérité de pollution sont introduites dans le calcul du niveau d'isolement.

### III. 9 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 [43]. Les différentes méthodes utilisées consistent à :

#### III. 9. 1 Allongement de la ligne de fuite

Cette technique permet d'adapter le dimensionnement aux nouvelles conditions de pollution. Deux méthodes sont utilisées :

- Le changement de type d'isolation par une autre de longueur de la ligne de fuite supérieur, opération délicate et coûteuse. [41]
- L'utilisation de prolongateurs de ligne de fuite en matériaux polymères, qui sont collés sur la surface des isolations existantes. [42]

#### III. 9. 2 Graissage des surfaces isolantes

Grâce à ses propriétés hydrophobes, la graisse protège temporairement les isolations. La longévité du graissage dépend de l'environnement et de la qualité intrinsèque du produit.

Elle est généralement comprise entre un et quatre ans [41]. Par mesure économique, seule les isolateurs de postes sont concernés.

#### III. 9. 3 Lavage des isolations [41]

Le lavage des isolateurs peut se faire soit hors tension soit sous tension. En particulier dans les postes, pouvant supportés des interruptions de service assez longue le nettoyage manuel, lavage ou essuyage à sec des isolateurs peuvent être utilisés de façon périodique. Le lavage sous tension permet d'éviter ces coupures. Il doit être effectué selon des règles strictes concernant les distances de sécurités à respecter et la qualité de l'eau de lavage. L'utilisation d'un abrasif pulvérisé sous pression pour le nettoyage des pollutions très adhérentes (ciment,...) est possible.

### III. 9. 4 Isolation plates

Même avec une ligne de fuite moins longue que pour les isolateurs traditionnels, les isolateurs plats (sans nervures) ont la propriété d'accumuler moins de pollution et s'auto nettoient très bien sous l'effet du vent. Ils sont principalement utilisés dans les régions désertiques [43].

### III. 9. 5 Revêtement silicone

Cette méthode consiste à appliquer, par pulvérisation ou au pinceau, un caoutchouc silicone qui se vulcanise à température ambiante à la surface des isolateurs. Ce revêtement protège les isolateurs et améliore leur tenue sous pollution. Sa longévité est nettement supérieure à celle du graissage [44].

### III. 9. 6 Isolations composites

Ces isolateurs présentent l'avantage d'une grande légèreté, une haute résistance mécanique et de bonnes propriétés hydrophobes et peuvent être utilisés dans des conditions de pollutions très sévères. Cependant, ces isolateurs, revêtus d'un polymère, voient leurs caractéristiques changer au cours du temps. Ils peuvent vieillir sous l'effet des différentes contraintes (électriques et climatiques) aux quelles ils sont soumis en service [41].

**Conclusion :**

Dans ce chapitre introductif, une synthèse bibliographique des différents aspects des phénomènes de pollutions est présentée.

Les principales conclusions que l'on peut tirer de cette synthèse sont :

- La pollution reste un facteur déterminant pour le dimensionnement des isolateurs dans les ouvrages de haute tension.
- La connaissance de degré de pollution est une condition indispensable, pour prévoir à une isolation externe convenable.
- La nature et la sévérité de pollution dépendent, en grande partie, de la localisation géographique et de l'industrialisation du site.
- La meilleure définition de degré de pollution d'un site est d'obtenir la salinité équivalente du site.
- Les méthodes d'essais sous pollution artificielle sont aujourd'hui largement utilisées.
- Les techniques de lutte contre la pollution actuellement connues (graissage, lavage, nouveau type d'isolateurs, 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

Sur la base des résultats issus des travaux antérieurs concernant l'amorçage de l'intervalle d'air pointe – barrière polluée – pointe sous tension continue et dans celui-ci est régi par deux décharges positive et négative évoluant l'une vers l'autre [45,46].

Le but visé dans ce chapitre consiste la caractérisation de ces deux décharges électriques glissant sur les deux grandes faces de la barrière avant leur jonction sous contrainte de tension continue. Les essais ont été effectués sur des barrières en verre propres, puis polluées. Lors de cette investigation, l'influence des paramètres importants tels que la polarité de la tension la largeur, et le degré de pollution des barrières sur le caractère de la décharge électrique produite a été mise en évidence. Cette étude sera appuyée par une visualisation comparative de l'évolution spatiale du phénomène électrique dans l'espace interélectrode du système lorsque la barrière est propre ou contaminée.

## IV. 2 Dispositif expérimental et techniques de mesure

### IV. 2. 1 Modèles expérimentaux

#### Modèle A

Le premier modèle expérimental, illustré par la figure IV. 1, est composé d'un système (pointe-barrière-pointe). Les deux électrodes sont vissées dans deux bras en bois lesquels sont encastrés sur les deux faces opposées d'un support en bois en forme de U ayant 44 cm de hauteur et 33 cm de base (Fig. IV. 1a). Dans cette configuration, chacune des deux électrodes est constituée d'une tige cylindrique en bronze de 20 mm de diamètre et de 150 mm de longueur. Les deux électrodes sont terminées par des pointes coniques en bronze ayant un angle de 60 ° et de 2.5 mm de rayon de courbure. L'intervalle d'air interélectrode pointe – pointe est fixée à  $d = 4\text{cm}$  dans cette étude.

Les deux supports suscités sont séparables et celui en forme de U peut être introduit à l'intérieur du cadre afin de pouvoir varier aisément et simultanément la distance et la position de la barrière dans l'intervalle d'air interélectrodes. Ce dispositif est à 1 m du sol, sur une table en bois métallisée et reliée à la terre. Une paroi isolante en verre d'une épaisseur de 1cm est placée entre le dispositif et la table en guise d'écran électrique empêchant l'amorçage des décharges vers la terre.

La fixation de la barrière dans l'intervalle d'air du système pointe – pointe est rendue possible à l'aide du cadre en bois illustré par la figure IV. 1b. celle-ci est attachée au support par des fils en nylon au niveau de quatre trous réalisés au niveau de ses quatre angles droits.

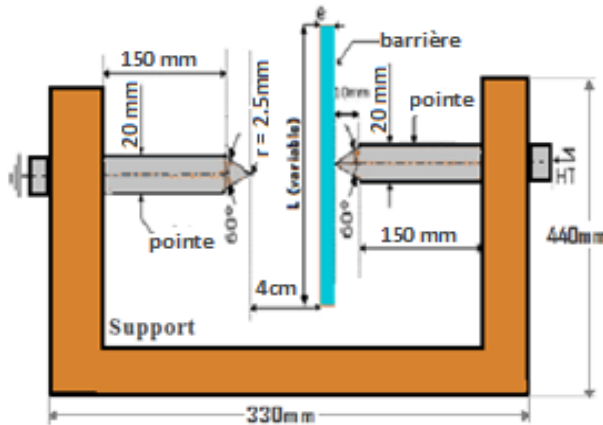


Fig. IV. 1a : Dispositif expérimental

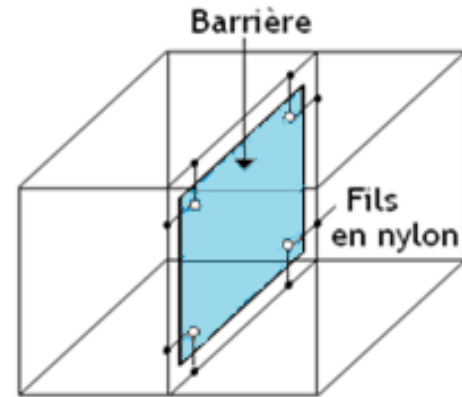


Fig. IV. 1b : Support de la barrière

Fig. IV. 1 : support de fixation des électrodes de base pointe – pointe et de la barrière

## Modèle B

Le modèle expérimental, illustré par la figure. IV. 2 est composé d'une tige pointue, d'une barrière plane et d'un conducteur plan. L'électrode haute tension est constituée d'une tige cylindrique en acier de 10 mm de diamètre et de 240 mm de longueur. Elle est vissée à l'intérieur d'un bois par deux écrous qui permet le déplacement vertical de la tige et par conséquent le réglage de la distance entre la pointe et la barrière. Celle-ci est terminée par une pointe conique en bronze ayant un angle de  $30^\circ$  et de 0.1mm de rayon de courbure. L'électrode mise à la terre a la forme d'un plan en inox carré de 50 cm de côté et de 1.5 mm d'épaisseur. Celui-ci est vissé sur un support isolant en bois.

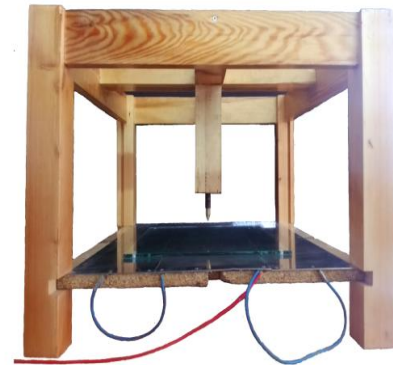
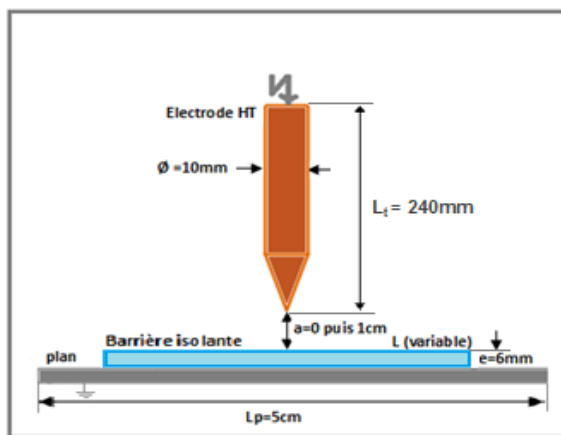
Les barrières isolantes utilisées dans notre cas sont en verre, de forme carrée de 6 mm d'épaisseur et de longueurs différentes (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm et 40 cm). Elles sont déposées en contact direct avec le plan mis à la terre (fig. IV.2).

Nous rappelons que dans le premier modèle expérimental utilisé dans notre étude, la disruption de l'intervalle d'air pointe – pointe avec une barrière polluée est régi par deux décharges électriques positive et négative glissant sur les deux grandes faces de la barrière et progressant l'une vers l'autre jusqu'à rupture diélectrique de l'intervalle d'air considéré. Etant donné que ces deux décharges en série et simultanées, ne sont pas dissociable dans ce cas. Pour



pouvoir les étudier séparément il faudra concevoir un dispositif permettant la suppression de l'une d'elle. Ceci explique évidemment la conception, et la réalisation de deuxième dispositif expérimentale dans le qu'elle une électrode pointue du premier modèle pointe - pointe et remplacer par un plan de dimension pratiquement infinie qui empêche la naissance et le développement d'une décharge en son sein.

Enfin pour créer une décharge individuelle positive au niveau de la pointe restante, il suffit de la broncher ou circuit électrique de la figure. IV. 3 ou la diode est en liaison directe (1) et la décharge électrique négative dans le cas ou la diode est en liaison indirecte (2).



**Fig. IV.2a** : Dispositif expérimental

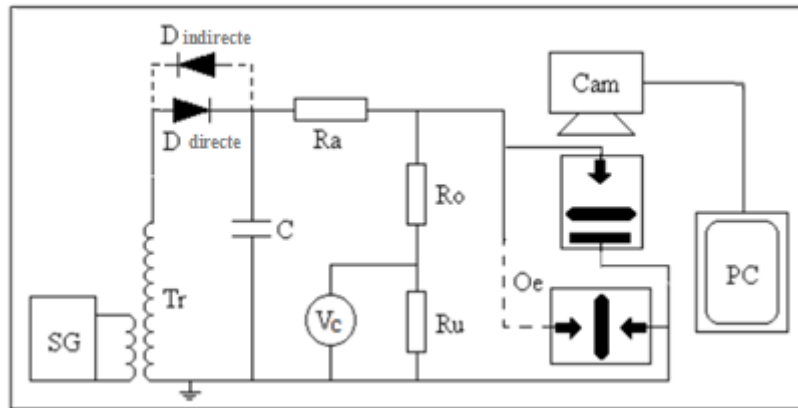
**Fig. IV.2b** : Photo du modèle avec barrière isolante

**Fig. IV. 2** : Modèles expérimentales de caractérisation de la décharge électrique glissante (positive ou négative)

#### IV. 2. 2 Circuit de mesure et de visualisation

La mesure de la performance du système avec barrière et la visualisation de la décharge électrique évoluant dans l'espace interélectrode de celui-ci, on été effectuées à l'aide du schéma électrique illustré par la figure. IV.3. Le circuit de mesure de la tension de disruption du système considéré est composé d'un transformateur  $Tr$  qui peut délivrer à son secondaire une tension maximale de 135 kV et dont la variation temporelle de sa rampe peut être obtenue automatiquement à l'aide de l'appareil de commande manuelle ou automatique SG. La tension d'essai est lue directement sur un voltmètre de crête  $V_c$  (DC/AC) à affichage numérique. Une résistance de protection  $R_a$  et un diviseur de tension résistif  $R_0/R_u$  auquel est connecté en parallèle notre objet d'essai  $O_e$ , bouclent le circuit électrique.

Le circuit de visualisation est constitué d'un caméscope numérique 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.



**Fig. IV. 3 :** Schéma de mesure et de visualisation

### IV. 3 Composition de la solution polluante

La solution polluante est composée d'un mélange d'eau distillée ou de robinet, selon la conductivité volumique souhaitée, de 40 g de kaolin par litre d'eau pour l'épaississement de la couche et de chlorure de sodium dont la proportion est déterminée selon la conductivité volumique désirée de la solution (Fig. IV.4a). La mesure de la conductivité superficielle de la barrière isolante contaminée est effectuée au moyen du conductimètre à sonde mobile (Fig. IV.4b). Deux valeurs de conductivités volumiques ont été utilisées dans notre étude : 170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 25  $\text{mS}/\text{cm}$ .



**Fig. IV. 4a :** Conductivité volumique



**Fig. IV. 4b :** Conductivité superficielle

**Fig. IV. 4 :** Appareils de mesure de conductivités volumique et superficielle

### IV. 3.1 Technique d'application de la couche de pollution sur la barrière

Un seul mode de distribution de la pollution sur la surface de la barrière isolante, à savoir la répartition uniforme (grandes faces et bords), a été utilisé. L'application de la couche de pollution sur la barrière est réalisée à l'aide d'une éponge maintenue toujours propre et sur laquelle est apportée, au moyen d'une seringue, une quantité de pollution constante de 2 et 3 ml et cela après avoir bien remué la solution polluante avant la prise, pour pouvoir évidemment la garder homogène tout au long des essais.

La mise sous tension d'essai du système d'électrodes considéré est effectuée immédiatement après l'application de la pollution de la barrière afin d'éviter l'assèchement naturel de celle-ci. Avant chaque nouvel essai, la barrière est nettoyée et rincée à l'eau puis séchée à l'aide du papier mouchoir.

### IV. 3.2 Procédé et nombre d'essais effectués

Pour chaque degré de sévérité de pollution 25 tests de claquage de l'intervalle d'air interélectrode avec barrière polluée ont été effectués. La valeur retenue de la tension de calquage est la moyenne arithmétique de l'ensemble de celles des tensions de la même série de mesure.

## IV. 4 Correction des résultats suivant les conditions atmosphériques

La tension de contournement des surfaces isolantes polluées est étroitement liée aux conditions atmosphériques nominales, de température ambiante, de pression et l'humidité de l'air environnant. A fin de permettre la comparaison de nos travaux a ces d'autres chercheurs, les valeurs moyennes de la tension de contournement obtenues dans des conceptions quelconques doivent être, dans le cadre de notre étude ramenées aux conditions normales de température  $\theta_0$ , de pression  $P_0$  et d'humidité  $H_0$  ( $\theta_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P_0 = 100\text{ kPa}$  et  $H_0 = 11\text{ g/m}^3$ ) comme suit :

$$U = \frac{K_h}{K_d} U_m \quad (\text{IV.1})$$

Avec:

$U_m$ : tension de contournement mesurée à la température  $\theta$ , à la pression  $P$  et à l'humidité  $H$ .

$U$ : tension de contournement ramenée aux conditions normales de température  $\theta_0$ , de pression  $P_0$  et d'humidité  $H_0$ .

$K_d$ : facteur de correction relatif à la température  $\theta$  et à la pression  $P$ ;

$$K_d = \frac{P}{100} \frac{(273 + 20)}{(273 + \theta)} = \frac{2,93P}{(273 + \theta)} \quad (IV.2)$$

Avec:  $P$  en kPa, et  $\theta$  en °C

$K_h$ : facteur de correction relatif à l'humidité;

Pour déterminer le facteur de correction  $K_h$ , relatif à l'humidité, une transformation de l'humidité relative  $H_r(\%)$  vers l'humidité absolue  $H(g/m^3)$ , est nécessaire, car  $K_h$  est donné en fonction de cette dernière. L'abaque de la figure IV.5, donne la transformation de l'humidité relative en humidité absolue, en fonction de la température. Pour déduire  $K_h$ , la valeur de l'humidité absolue (Fig IV.5) est reportée sur l'abaque de la figure IV.6.

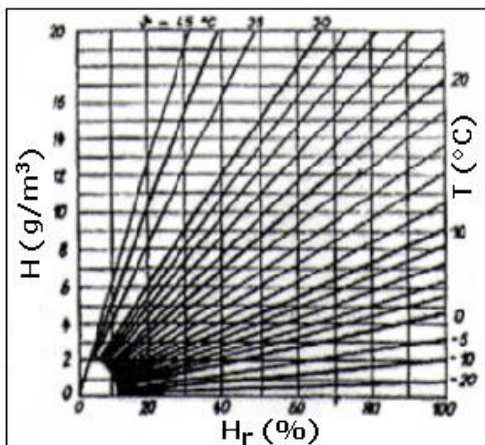


Fig. IV. 5 :  $H = f(H_r, T)$

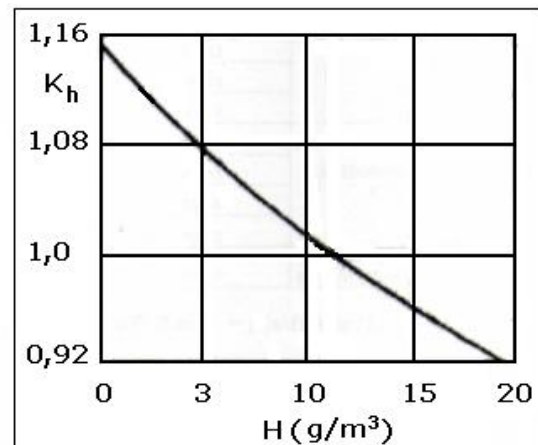


Fig. IV. 6 :  $K_h = f(H)$

**Exemple de calcul :** Soient  $\theta = 14$  °C,  $P = 100$  kPa,  $l = 10$  cm,  $a/d = 0$  %. En utilisant les formules de corrections et les abaques précédentes, on trouve:  $K_h/K_d=1,027$ ,  $U_m = 68.24$  kV,  $U = 70.08$  kV. En conclusion tous Les autres résultats issus de nos essais ont été ramenés de cette manière aux conditions normales.

## IV. 5 Résultats et discussions

### IV. 5. 1 Configuration pointe - barrière isolante - plan

La caractérisation des décharges électriques glissantes évoluant dans l'intervalle d'air pointe - plan sous tension continue positive et négative a été réalisée pour une barrière propre ou polluée pour des largeurs variantes de 10 cm à 40 cm. Les résultats de mesure de la tension

de disruption du système en fonction de la conductivité électrique de la barrière polluée et de sa largeur sont illustrés par les figures IV. 7 et 8.

L'établissement dans notre cas du caractère de la décharge électrique glissante sur une surface isolante polluée à conductivité électrique variable nécessite une inspiration de la méthode des pentes de la caractéristique de tension disruptive d'un intervalle d'air pointe – plan ( $U_d=f(d)$ ) en fonction de sa longueur. Celle-ci a été exploitée pour la première fois par E. Limke [47] et éditée en suite par A. Kuechler dans la littérature [48]. Cette méthode consiste à comparer les pentes de ces caractéristiques aux gradients de potentiel dans les streamers et leaders. Les valeurs du gradient de potentiel des streamers s'étendent respectivement pour les positifs entre 4.5 et 7.5 KV/cm et négatifs entre 10 et 15 KV/cm. Celle du leader positif ou négatif varié entre 0.1 et 1.5 KV/cm.

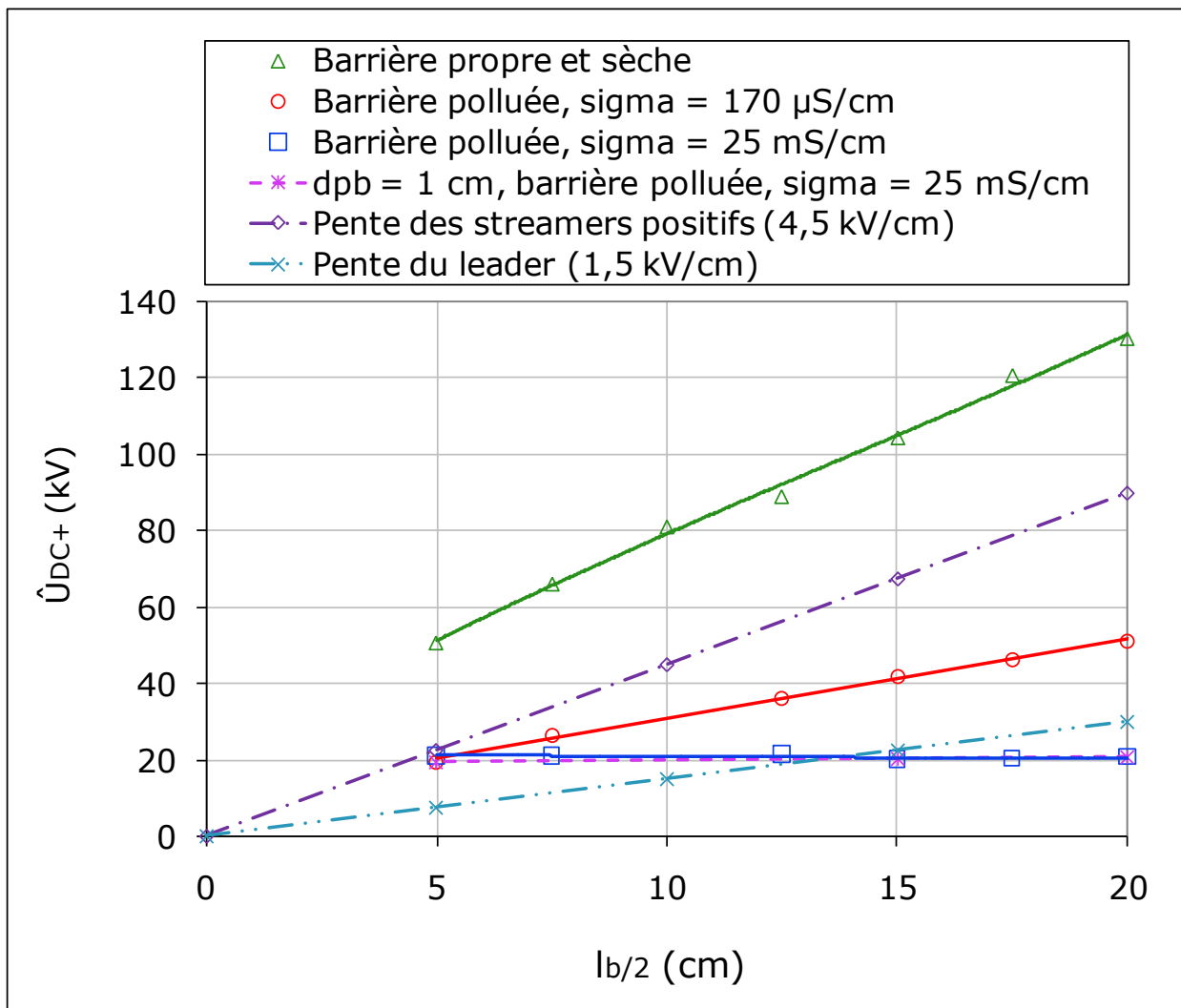
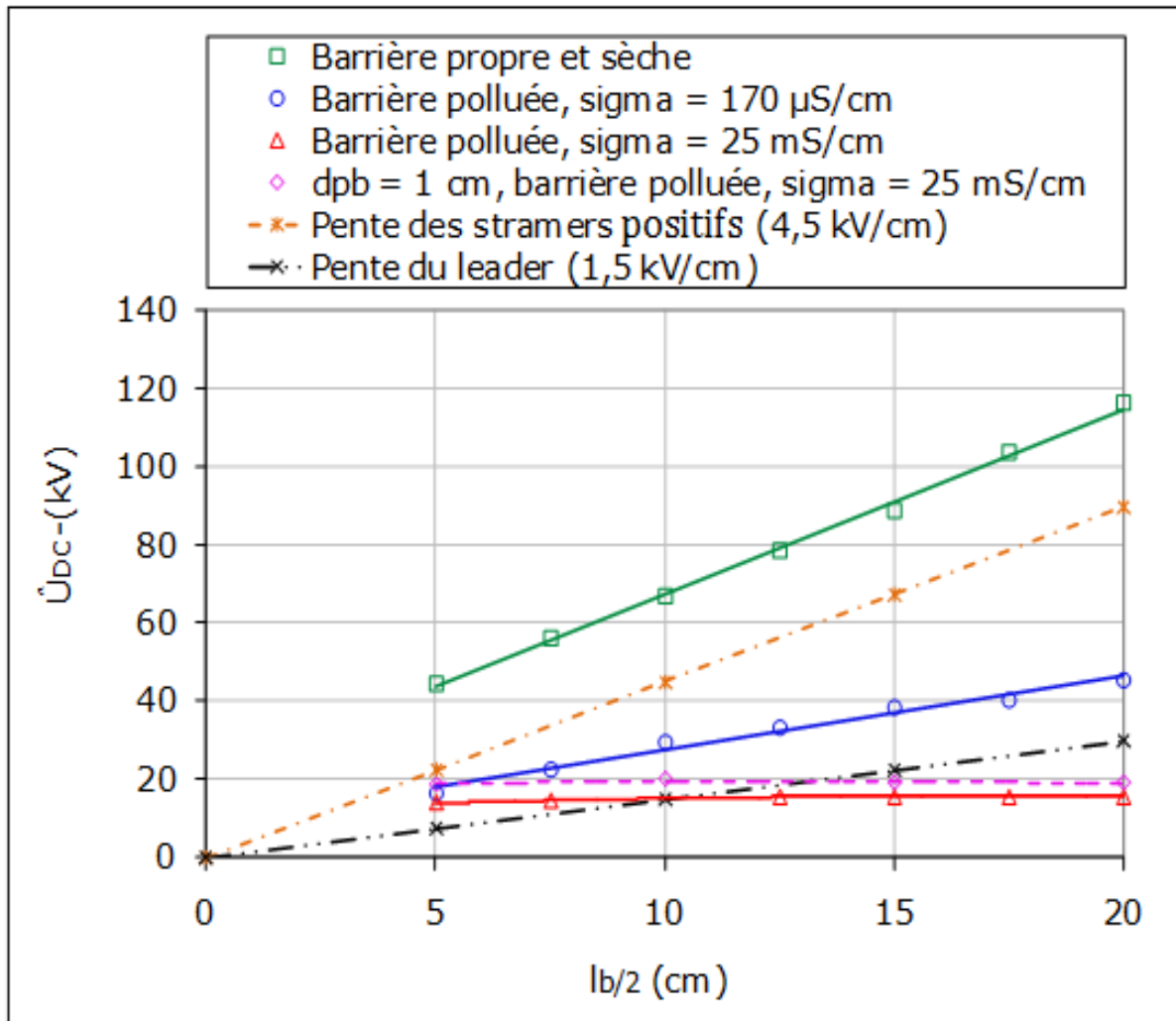


Fig. IV. 7 :  $U_{DC+} = f(l_b/2, \sigma_v)$  dans le cas du développement d'une décharge électrique positive de surface

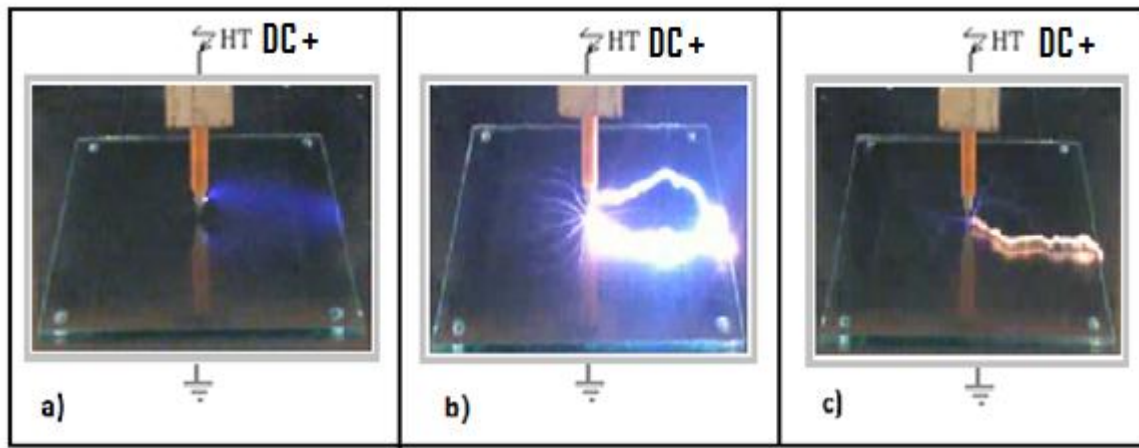


**Fig. IV. 8 :**  $U_{DC} = f(l_b/2, \sigma_v)$  dans le cas du développement d'une décharge électrique négative de surface.

Il résulte des figures IV. 7 et 8 que la tension de disruption du système croît linéairement avec l'élévation de la taille de la barrière isolante et diminue en fonction de sa conductivité électrique. En effet, la caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2, \sigma_v)$  résultant de ces investigations présente deux situations distinctes pour chaque polarité de la tension continue appliquée (fig. IV. 7. et 8) la première situation correspond à une caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2)$  possédant une pente de raideur égale à 4,5 kV/cm et la deuxième montrant une caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2)$  dotée d'une pente de l'ordre de 1.5 kV/cm. Ces valeurs sont conformes à celles établies par d'autres chercheurs, donnant des intervalles de pentes oscillant respectivement entre 4,5 et 7 kV/cm dans le cas de décharges de type streamers positifs et entre 10 et 15 kV/cm pour les streamers négatifs [47, 48,]. Concernant les tensions linéiques correspondant aux décharges de type leader positif, elles varient entre 1,5 et 0,5 kV/cm. Dans notre cas, lorsque la barrière est propre et sèche, la valeur de la pente de la caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2)$  est parallèle à celle où la

décharge est de type streamer positifs. Cela signifie que la décharge issue de la pointe sous tension est glissant sur la surface de la barrière propre est de type streamers positifs indépendamment de la polarité DC. Par contre quand la barrière est faiblement polluée, la tension linéique est parallèle à celle où la décharge est de type leader. Ceci veut dire que la décharge glissant sur une barrière polluée est de type leader quelque soit la polarité de la contrainte de la tension continue appliquée au modèle en question.

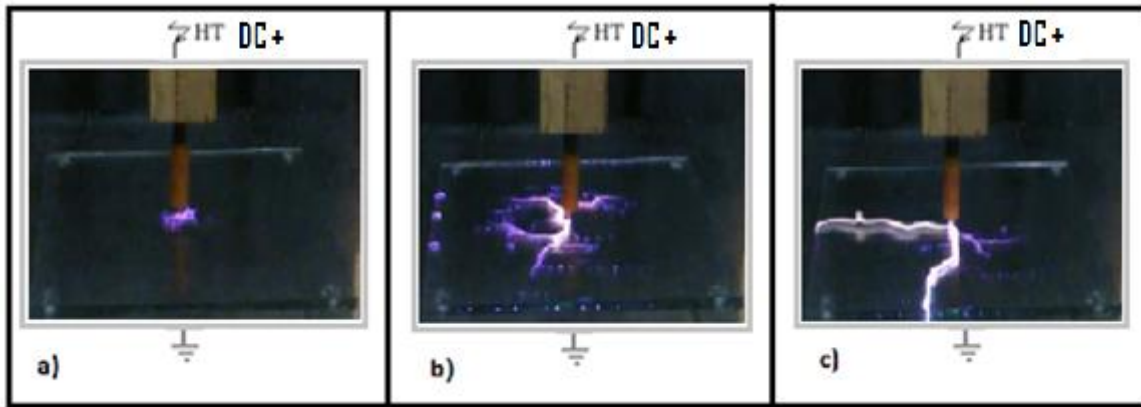
Les phases de développement des décharges électriques dans différents cas de pollution sont illustrées par les figures suivantes:



**Fig. IV. 9 :** Phases de développement de la décharge dans un système pointe - barrière propre – plan  
a) naissance de la décharge, b) propagation de la décharge, c) disruption de l'espace d'air du système

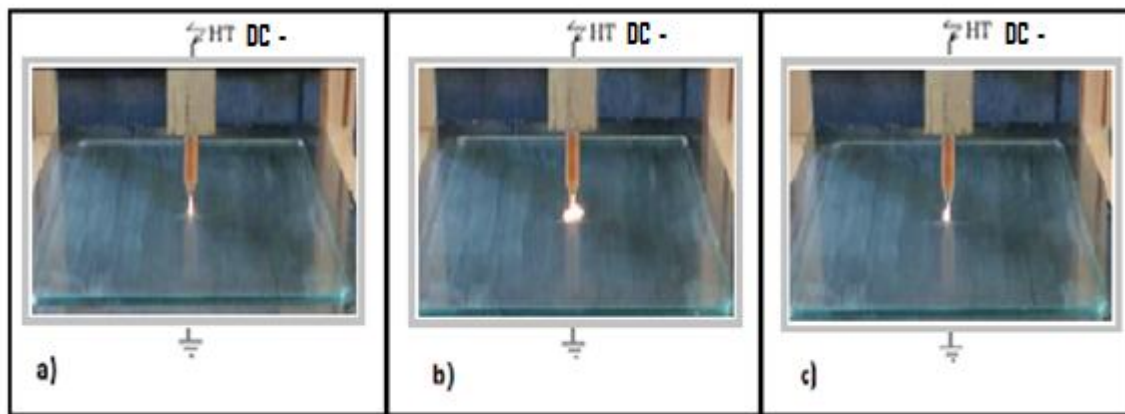
La visualisation du phénomène de décharge électrique dans le cas d'une barrière propre, montre que la disruption du système est régie par un seul canal de la décharge issu de la pointe et sur la surface de la barrière en regard de la pointe HT (Fig. IV. 9a), en se propageant vers le bord de la barrière en contact avec le plan mis à la terre (Fig. IV. 9b et c). Il est à remarquer qu'aucune décharge ne s'établit au niveau de plan quelle que soit la polarité de la tension appliquée.





**Fig. IV. 10** : Phase de développement de la décharge dans le cas d'une barrière faiblement polluée ( $\sigma_v = 170\mu\text{S}/\text{cm}$ ). a) naissance de la décharge, b) propagation de décharges, c) disruption de l'espace d'air du système

Dans ce cas de pollution le niveau de l'amplitude de la tension de disruption de système est plus faible par rapport au cas propre et sèche quelle que soit la polarité, et la décharge se glisse sur la surface de la barrière faiblement polluée, à cause de chemine moins résistant (Fig. IV. 10).



**Fig. IV. 11** : phase de développement de la décharge dans un système pointe-barrière fortement polluée ( $\sigma_v = 25\text{ms}/\text{cm}$ )-plan. a) naissance de la décharge, b) développement de décharges, c) extinction de la décharge

La figure. IV.11 résume les phases essentielles de développement de la décharge dans un système pointe - barrière fortement polluée – plan, quelque soit la polarité de la tension appliqué. Il est à remarquer que dans ce cas, l'apparition d'une étincelle au niveau de la pointe haute tension et rentre en contact avec la couche de pollution fortement conductrice. Celle-ci ne glisse plus sur le dépôt polluant pour aller du milieu de la barrière vers le plan. Du fait de la forte conductivité de la pollution, la liaison s'établit avec le plan par le biais des lignes de courant traversant la couche de pollution et reliant la tête de la décharge électrique au plan à la



terre. Donc la barrière se comporte dans ce cas comme une barrière métallique (fig. IV. 11). Il est à souligner que pour cette conductivité électrique, la tension disruptive est pratiquement indépendante de la largeur de la barrière. Nous constatons aussi sur les figures IV. 7 et 8 que le fait d'avoir la pointe en contact avec la barrière fortement polluée ou distante de 1 cm de celle-ci n'influe pas sur la tension disruptive de l'intervalle d'air pointe – barrière polluée en contact avec le plan. Ceci peut être expliqué par le fait que lorsque la pointe est en contact avec la barrière polluée, la décharge émane de la base de la pointe conique de 1 cm de taille (Fig. IV. 12a), par contre lorsque celle-ci est éloignée de 1 cm de la barrière, la décharge sort de la pointe (Fig. IV. 12b), ce qui entraîne pratiquement le même chemin disruptif.

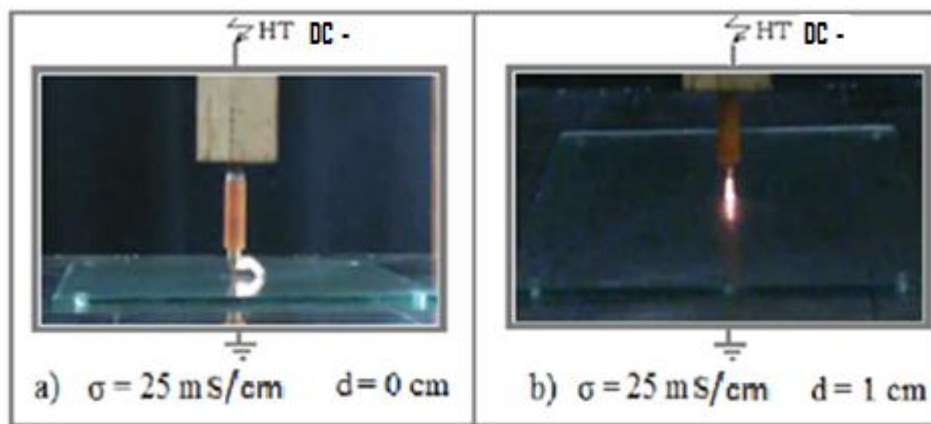


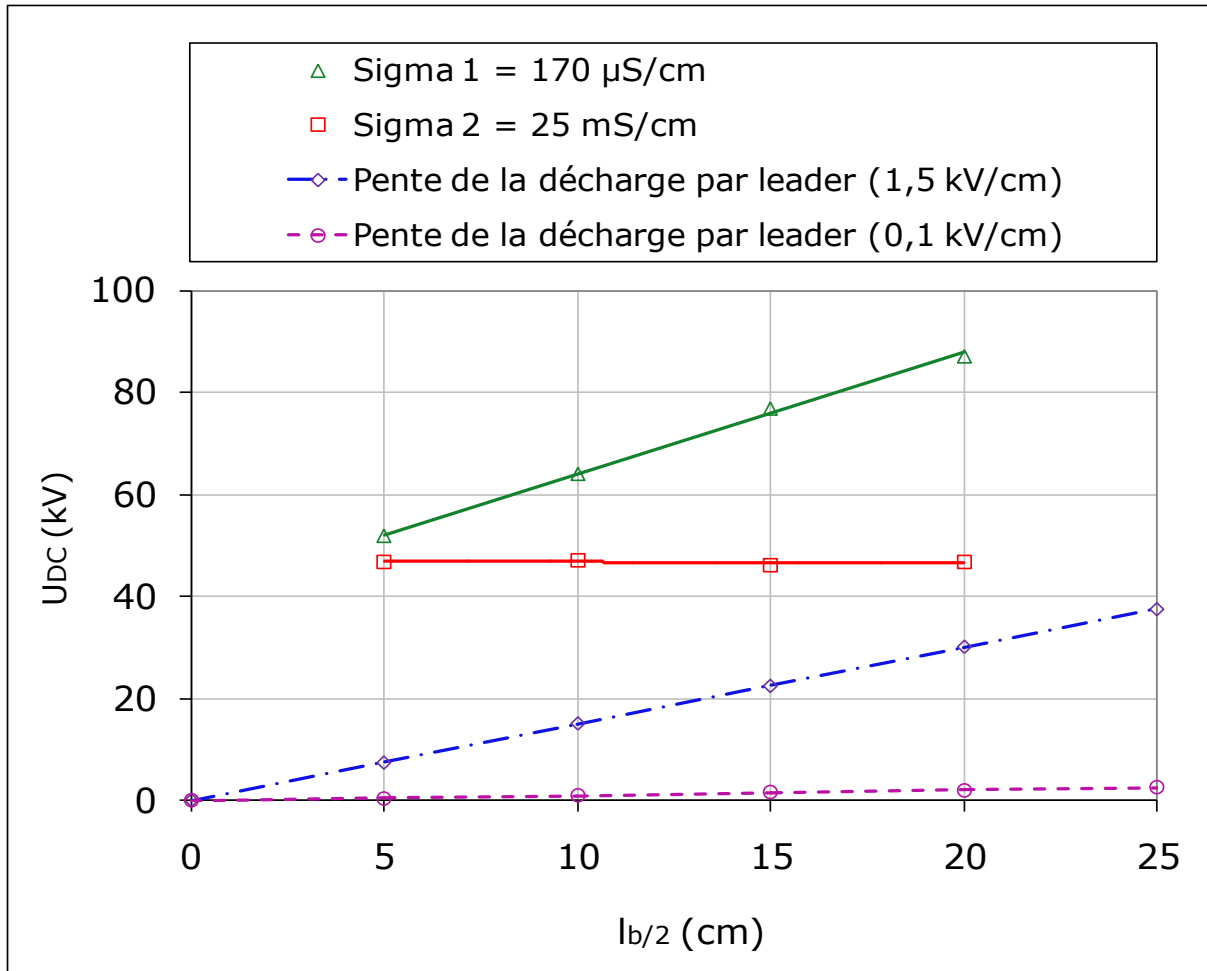
Fig. IV. 12 : Chemin emprunté par la décharge dans le cas  $d = 0\text{cm}$  et  $d = 1\text{cm}$

#### IV. 5. 2 Configuration pointe- barrière isolante polluée- pointe

La caractérisation des deux décharges électriques évoluant dans l'intervalle d'air pointe – barrière polluée - pointe sous tension continue a été réalisée pour une barrière polluée de largeur variant de 10 cm à 40 cm. Les résultats de mesure de la tension de disruption du système, en fonction de la conductivité superficielle de la barrière isolante et la taille de celle-ci, sont illustrés par la figure IV. 13.

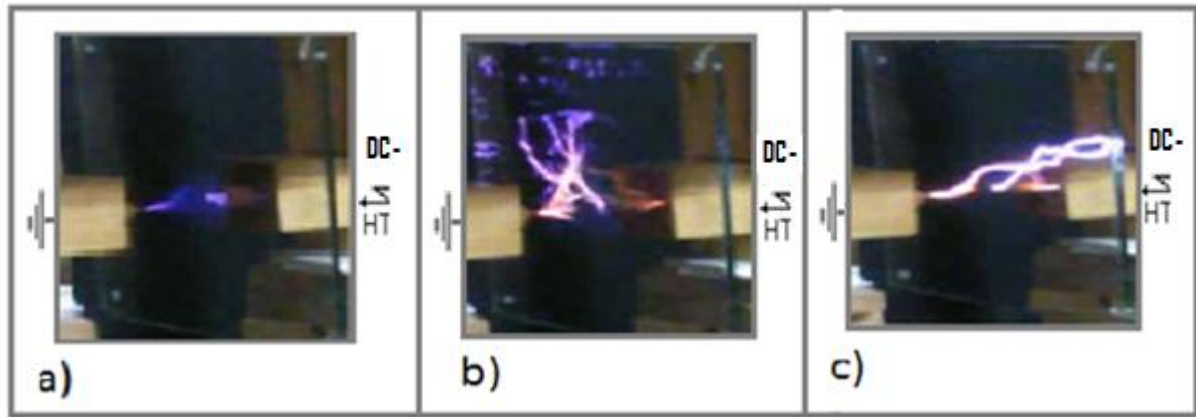
Il en résulte que la tension de disruptive du système croît avec l'élévation de la largeur de la barrière isolante et diminue en fonction de la conductivité électrique de celle-ci. Dans ce cas, deux décharges (positive et négative), prennent naissance au niveau des deux pointes et développent l'un vers l'autre en glissant sur les deux faces de la barrière faiblement polluée (Fig. IV. 14). Il est à remarquer que lorsque la barrière est faiblement polluée ( $\sigma_v = 170\mu\text{S/cm}$ ) la pente de la caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2)$  est parallèle à celle de la décharge leader d'une

penne de 1,5 kV/cm. lorsque la barrière fortement polluée ( $\sigma_v = 25\text{mS/cm}$ ), la penne de la caractéristique  $U_{DC} = f(l_b/2)$ , est parallèle avec celle de la décharge de type leader d'une penne 0.5 kV/cm. Enfin nous constatons, que lorsque la barrière est faiblement ou fortement polluée les deux décharges positive et négative sont de type leader. Nous pouvons conclure que dans ces conditions de pollution les deux décharges positive et négative créées séparément (fig. IV. 7 et 8) ou simultanément (fig. IV. 13) sont toujours de type leader.

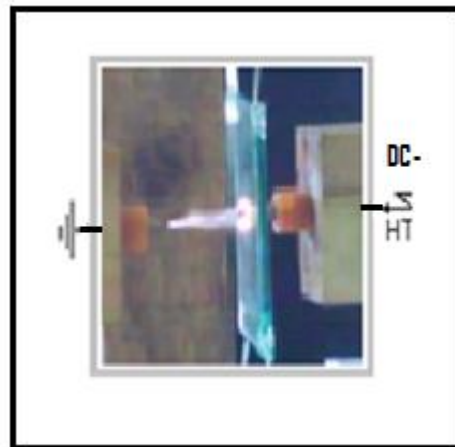


**Fig. IV. 13 :**  $U_{DC} = f(l_b/2, \sigma_v)$  dans le cas du développement de deux décharges électriques positive et négative

Il faut souligner que lorsque la barrière est fortement polluée les glissements des décharges électriques sur les deux faces sont complètement absents (Fig. IV. 15) et l'écran fortement contaminé se comporte comme une barrière conductrice.



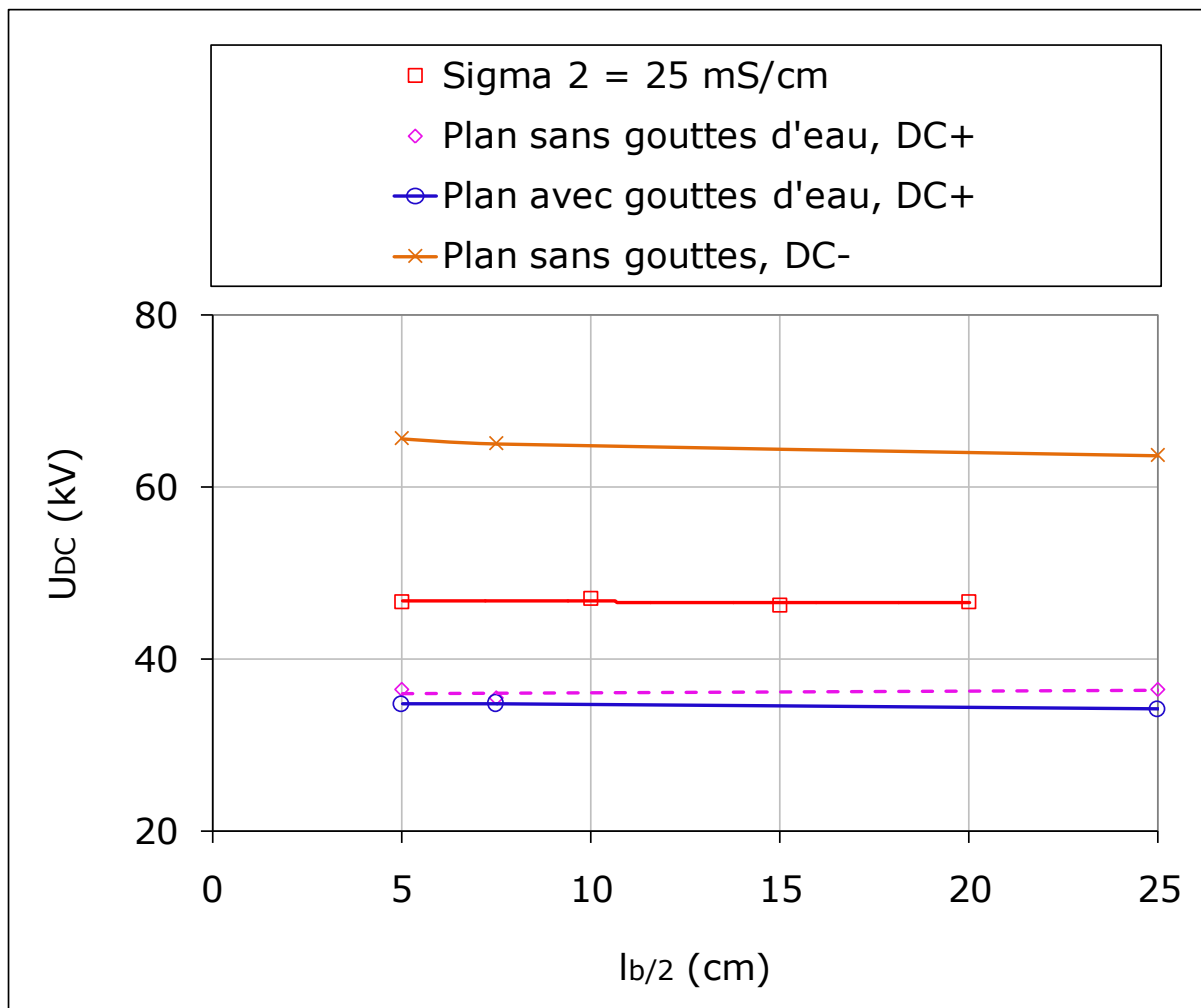
**Fig. IV. 14** : Phase de développement de la décharge dans un système pointe-barrière faiblement polluée - pointe, a) naissance de la décharge, b) propagation de la décharges, c) disruption de l'espace d'air du système



**Fig. IV. 15** : Développement de la décharge dans un système pointe-barrière fortement polluée ( $\sigma_v = 25\text{ms/cm}$ ) - pointe

### IV. 5. 3 Configuration pointe – plan conducteur

La caractérisation des décharges électriques évoluant dans l'intervalle d'air pointe - plan sous tension continue a été réalisée pour un plan conducteur de diamètre variable (10 cm, 15 cm, et 25 cm). Les résultats de mesure de la tension de disruption du système en fonction du diamètre du plan conducteur et de la présence ou non de gouttes d'eau sur celui-ci ( $d = 4\text{cm}$ ), sont illustrés par la figure IV. 16.



**Fig. IV. 16 :** Tension continue de claquage d'un intervalle d'air pointe-plan ( $d = 4$  cm) à diamètre du plan conducteur variable ( $d = 4$  cm)

Il résulte de la figure IV. 16 que la tension disruptive du système pointe- pointe avec barrière fortement polluée en contact avec la pointe sous tension continu négative est plus grande que celle du système pointe positive – plan est plus petite que celle du système pointe négative – plan.

## IV. 6 Conclusion

L'étude de La caractéristique de la décharge électrique dans un système pointe-barrière polluée-pointe sous tension continue a été analysée et confirmée séparément par un système pointe-barrière –plan avec différentes polarités. Il découle de cette analyse les conclusions suivantes:

- la tension de disruption du système croît linéairement avec l'élévation de la taille de la barrière isolante et diminue en fonction de sa conductivité.
- La décharge sur la surface de la barrière propre est de type streamers positifs indépendamment de la polarité DC.
- lorsque la barrière est faiblement ou fortement polluée les deux décharges positive et négative créent séparément ou simultanément sont toujours de type leader.
- lorsque la barrière est fortement polluée les glissements des décharges électriques sur les deux faces sont complètement absents et celle-ci se comporte comme une barrière conductrice.

## Conclusion général

Le travail que nous avons réalisé a porté sur la caractérisation de la décharge électrique dans un intervalle d'air pointe – barrière polluée – pointe sous tension continue, les principales conclusions auxquelles nous sommes arrivés sont les suivantes :

- L'insertion d'une barrière isolante 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 et la rigidité électrique de ce système.
- la tension disruptive de l'intervalle d'air du système à champ non uniforme avec barrière polluée décroît en fonction de la conductivité et la rigidité de ce système est réduite.
- La décharge sur une surface de la barrière propre d'un système pointe - barrière –plan généralement est de type streamers positifs indépendamment de la polarité de la tension continue appliqué.
- lorsque la barrière est faiblement ou fortement polluée les deux décharges positive et négative créent séparément ou simultanément sont toujours de type leader.
- lorsque la barrière est fortement polluée les glissements des décharges électriques sur les deux faces sont complètement absents et celle-ci se comporte comme une barrière conductrice.

## Bibliographies

- [1] E. Kuffel and M. Abdoullah, « High voltage engineering », Library of Congress Catalog Card N° 72-85501, first edition.1970.
- [2] M. Coulibaly, « Caractérisation des décharges électriques se propageant aux interfaces gaz/solide - Relation entre propriétés des matériaux et dimension fractale », Electric power. Ecole Centrale de Lyon, 2009.
- [3] J.S, Townsend, « Electricity in gases », Oxford University Press, 1914.
- [4] H.Raether, « Zum Aufbau von Gasentladungen », Rev. Mod. Phys., 28(47-48), 729-752(1940).
- [5] L. B. Loeb, « Electrical breakdown of gases with steady or direct current impulse potentials », in Encyclopedia of Physics, volume XXII: Gas Discharges II edited by S. Flügge, Springer Verlag, Berlin (1956).
- [6] Y. D. Korolev and G. A. Mesyats, « Physics of Pulsed Breakdown in Gases », URO-Press, Yekaterinburg (1998).
- [7] W. Rogowski, « Stosspannung und Durchschlag bei Gasen », Arch. Elektrotech, 20(1), 99-106 (1928).
- [8] Groupe des Renardières, « L'amorçage en polarité négative des grands intervalles d'air aux Renardières », Electra N° 74, 1981.
- [9] Gallimberti I, « The mechanism of long spark formation », J. Phys., N°7, tome 40, pp. 193–250, 1979.
- [10] Gibert A., Duputy J., Domens P., Hutzler B., Edlinger., Riu J.P., « Caractéristiques du canal de décharge déduites d'enregistrements », Electra N° 74, 1981.
- [11] L. B. Loeb, « Electrical Coronas, Their Basic Physical Mechanisms », University of California Press, United States, 1965.
- [12] M. Giralt, « Adaptation d'un modèle de décharge en vue de son application à la conception de l'isolation aérienne H.T et T.H.T», thèse de doctorat, École Centrale de Lyon-France, pp 15-41, 1999.
- [13] A. Samuila, L. Dascalescu, R. Tabazeon, « Breakdown of ionized air gaps in the presence of spherical conductive particle », session 2143, 9<sup>th</sup> ISH, pp.1-4, Graz 1995,

- [14] Z.You Bin, « The influence of the electrode material of rod-rod gap with tip on its DC breakdown voltage », session 2135, 9<sup>th</sup> ISH, pp.1-2, Graz 1995.
- [15] Groupe de travail 04 du comité d'étude N° 33, « Mesure de la sévérité de pollution des sites et application au dimensionnement des isolateurs pour les réseaux à courant alternatif », Electra N°64, 1979.
- [16] CEI 60383-2, « Technique des essais à haute tension, définitions et prescriptions générales relatives aux essais », 1993.
- [17] A. Boubakeur, « Influence des barrières sur la tension de décharge disruptive des moyens intervalles d'air pointe plan », Thèse de Doctorat, E.P .Varsovie, Pologne, 1979.
- [18] E. Marx, « Air dielectric strength in non uniform fields », E.T. Z., H 33, pp.1161, 1930.
- [19] H.Roser, « Dielectric strength screen in air », E.T.Z . H17, Bd 53, pp.411, 1932.
- [20] N.N. Tikhodeev, « Effect of an incomplete barrier in electrical discharge; new experiments and advances in theory », Soviet Physics Tech. Phys, Vol.2, pp.385, 1957.
- [21] M.P.Verma, « Electric field lines of rod-barrier-plane in positive impulse voltage », Wiss.Zeit. der TU Dresden H1, pp.111, 1962.
- [22] J. Pilling, « Dielectric barrier in uniform field », Elektrie 23, H11, pp.463, 1969.
- [23] M. Awad, « Disruption d'un intervalle d'air pointe-plan avec barrière polluée », Elektrie 29, H10, pp.559,1975.
- [24] A. Beroual, A. Boubakeur, « Influence of barriers on the lightning and switching impulse strength of mean air gaps in pointe-plane arrangements », IEEE Trans. Electr. Insul, Vol .20. N°6, pp.1131, 1991.
- [25] H.E. Remde, H. Boeker, « Voltage-current characteristics during propagation of a surge breakdown of a point-to-plane gap with insulating barrier », IEEE. Trans, Vol. 91, N° 1,pp.271-276, 1972.
- [26] A.Boubakeur, « Influence des barrières sur l'amorçage des moyens intervalles d'air pointe-plan », Rozprawy Elektryczne (Polish Academy of Sciences), Vol.27, N°3, pp.729-744, 1981.



- [27] A.Boubakeur, « Discharge phenomena in long air gaps with insulating screens », 4th International Symposium on High Voltage Engineering (4th ISH), paper 44-05, Athens, Greece, 1983.
- [28] L. Ming, M. Leijon, T. Bengston, « Factors influencing barrier effects in air gaps », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2168, pp.1-4, Graz 1995.
- [29] 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 (9th ISH), session 2135, pp.1-2, Graz 1995.
- [30] S. Chakravorti, M. C . Siddagangapa, « Effect of charge accumulation on the electric field distribution along spacer surfaces », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 8352, pp. 1-4, Graz 1995.
- [31] K.Nakanishi, A.Yoshiyoka, Y. Shibuya, « Surface charging on epoxy spacer at DC stress in compressed SF6 gas », IEEE Trans. Power Apparatus and Syst, Vol.102, N°12, pp. 3919-3927, 1983.
- [32] F.V. Topalis, I.A.Stathopoulos, « Barrier effect on electrical breakdown air gaps: a theoretical approach», International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2147, pp.1-4, Graz 1995.
- [33] O. Iamarene, «Influence d'une barrière isolante sur la tension de claquage et sur le champ électrique», PFE Ingénieur, UAM Béjaïa septembre 2005.
- [34] F. Amir et KH. Namaoui: « étude du comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative» PFE Ingénieur, UAM Béjaïa, juin 2004.
- [35] M. Nemamcha, « Claquage des isolants», haute tension 2001.
- [36] A. Chabloz, «Technologie des matériaux a l'usage de profession de l'électricité», 1986.
- [37] M.V. Socolova, A.N.Zhukov, « influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap », session 2899 , 9th ISH ,Graz 1995.

[38] 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.

[39] F. Amir; KH. Namaoui, mémoire d'ingénieur, « Etude du comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative », juin2004.

[40] D.Namane, (effet de discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolteurs haute tension, sous la fréquence 50Hz) thèse de Magister, Département de génie Electrique, ecole nationale polytechnique d'alger, février 1998

[41] Z.Sahli, «Etude de la non uniformité de la pollution sur des caractéristiques de contournement des isolateurs réels pollués sous tension continu», Mémoire de Magister, Génie Electrique, UAM Bejaia 2003.

[42] E.Diday, J.Lemaire, J.Pouget, F.Testu, "Eléments d'analyse de données», Edition Dunod.

[43] 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.

[44] J-F.Dubois, « Quelques pièges cachés des méthodes de sélection de variables en régression linéaire multiple», Mémoire présenté au département de mathématique et d'informatique en vue de l'obtention du grade de maitre des sciences, Janvier 2000.

[45] S. Merabet, R. Boudissa, S. Slimani et A. Bayadi, « Optimisation of the dielectric strength of a Non – Uniform Electric Field Electrode System under positive DC Voltage by Insertion of Multiple Barrières», IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 21, N°1 pp. 74 – 79, 2004.

[46] R. Boudissa, S. Merabet, S. Iouknane et A. Bayadi, « Effet of Isoltion Mode and Surface Condition of an Insulation Barrière on the Performance of a Non – uniform Field Electrode Système under Posive DC Voltage», IEEE Translations on Dielectrics and Elecrical Insulation, Vol. 20, N°. 5, pp. 1523 – 1529, 2013.

[47] E. Lemek, « Calibration procedure of the streamer leader model withe respect of the predtermination of the SI strenght of long an gaps», CIGRE 33 – 85 WG 0728IWD, 1985.

[48] A. Kuechler, « Hochspannungstechnik, Grundlagen, Technologie, Anwendungen », 3. ,  
new bearbeitete Auflage, Springer, London New York, 2009.