

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté Des Sciences et de la Technologie et de la Matière**

**Département de Génie Electrique**



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

**Domaine** : Génie Electrique

**Filière** : Électrotechnique

**Spécialité** : Matériaux Electrotechnique

Présentée par : BRAHMIA Anis et SACI Abdel Basset

**Thème**

***Étude de l'influence de la barrière isolante sur la rigidité diélectrique de l'air***

Soutenu publiquement

Le : 23/06/2013

Devant le jury :

Mr.	N.AOUNALLAH	MAA	Président	UKM Ouargla
Dr.	N.M'ZIOU	MCA	Encadreur	UKM Biskra
Mr.	Y.BOUREK	MAA	Co-encadreur	UKM Ouargla
Mlle.	A.BELKBIR	MAA	Examineur	UKM Ouargla
Mr.	T.BOUCHAALA	MAA	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2012/2013

# Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier Dieu, notre créateur

Pour nous avoir donné la force afin d'accomplir ce travail.

Un grand remerciement ainsi qu'une immense reconnaissance à nos très chers parents, qui nous ont soutenus et assistés dans les études et la vie, à nos frères et nos sœurs chacun par son nom, pour leur amour et soutien sans omettre nos familles

A tous mes amis et collègue de l'Institut

Nos sincères remerciements à nos encadreurs : Monsieur Bourek Yacine

Madame DR N. M'ZIOU

Pour leurs grand soutien, leurs conseils ainsi que pour les efforts considérables déployés.

Nous remercions également tous les professeurs du

Département de « génie électronique » ayant participé de

près ou de loin à la Réalisation de ce travail.

*Merci*

# Dédicaces

*On dédie ce modeste travail :*

*À Nos très chers parents et à notre grande famille.*

*À tous les enseignants de département Génie  
électrique à l'université d'Ouargla*

*À nos très chers frères et sœurs.*

*À tous nos amis.*

*À tous ceux qui nous aiment et que nous 'aimons.*

*À vous.*

**Hani & Adel**

# *Sommaire*

## **INTRODUCTION GENERALE**

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## **CHAPITRE I : LES DECHARGES DANS L'AIR**

I .1 INTRODUCTION.....	4
I .2 PHENOMENE FONDAMENTAUX .....	4
I.2.1 Théorie cinétique des gaz .....	4
I.2.2 Phénomène de collision.....	5
I.2.2.1 Notion de section efficace et libre parcours moyen .....	5
I .3 MECANISME FONDAMENTAUX D'IONISATION DES GAZ.....	5
I.3.1 Ionisation par simple collision.....	5
I.3.2 Excitation.....	6
I.3.3 Ionisation par double impact d'électron.....	6
I.3.4 Photo ionisation.....	6
I.3.5 Attachement d'électrons ou recombinaison d'ions.....	6
I.3.6 Détachement d'électrons.....	7
I.3.7 Ionisation thermique.....	8
I.3.8 Autres processus.....	8
I.3.8.1 Mobilité.....	8
I.3.8.2 Diffusion.....	8
I.4 Rigidité diélectrique des isolants solides .....	9
I.4.1 Définitions .....	9
I . 5 DECHARGES DANS LES GAZ.....	9

I.5.1 Mécanisme d'avalanche électronique (décharge de Townsend).....	9
I.5.1.1 Modélisation de la décharge de Townsend.....	11
I.5.1.2 Loi de Paschen.....	15
I.5.2 Théorie du streamer.....	17
I.5.2.1 Influence de la distribution du champ électrique appliqué.....	19
I.5.2.2 Influence du type de tension appliquée.....	19
I.6 Paramètres influant sur le développement de la décharge.....	19
I.6.1 Présence des particules conductrices dans l'air .....	19
I.6.2 Influence du type de matériaux de la pointe .....	20
I.7 CONCLUSION.....	20
 <b>CHAPITRE II : INFLUENCE DE LA BARRIERE ISOLANTE SUR LA RIGIDITE DIELECTRIQUE DE L'AIR</b>	
II.1 INTRODUCTION.....	22
II.2 INFLUENCE DES PARAMETRES DEFINISSANT LA NATURE DE LA BARRIERE .....	23
II.2.1 Résistivité transversal.....	23
II.2.2 Résistivité Superficiel.....	23
II.2.3 Constante diélectrique ou permittivités relative .....	23
II.3 INFLUENCE DES DECHARGES SUPERFICIELLES ET DES DECHARGES PARTIELLES SUR LE DIELECTRIQUE SOLIDE.....	23
II.4 MECANISME DE RUPTURE DIELECTRIQUE DES ISOLANTS SOLIDES.....	25
II.4.1 Généralités.....	25
II.4.2 Mécanisme électrique .....	25
II.4.3 Mécanisme thermique.....	26
II.4.3.1 Rupture locale.....	26
II.4.3.2 Rupture global.....	27

II .5 INFLUENCE DE LA BARRIERE ISOLANTE SUR LA TENSION DE DEHARGE...	28
II.5.1 Influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'air.....	28
II.5.2 Influence de l'épaisseur et de la permittivité.....	28
II.5.3 Influence de la largeur.....	28
II.5.4 Influence de la polarité de l'électrode pointue.....	28
II.5.5 Influence du matériau de la barrière.....	29
a) Plexiglas.....	29
a).1 : caractéristique diélectriques.....	29
a).2 : caractéristique mécanique.....	29
II.5.6 Influence de l'accumulation de la charge d'espace.....	29
II.6 Formes de décharge.....	30
II.6.1 Décharge directe.....	30
II.6.1.a La décharge perce la barrière.....	30
II.6.1.b La décharge contourne la barrière.....	30
II.6.2 Décharge par étape.....	30
II.7 Conclusion.....	31
<b>Chapitre III : Essai au laboratoire HT à l'université de Biskra</b>	
III.1 Introduction.....	33
III.2 Dispositif expérimental.....	33
III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université de Biskra) .....	33
III .2.1.1 Équipement de la station d'essai.....	33
III.2.1.2 Transformateur d'essai .....	33
III.2.1.3 Transformateur de réglage .....	33
III.2.1.4 Oscilloscope numérique .....	33
III.2.1.5 Pupitre de commande .....	34
III.2.1.6 Appareils de mesure et de protection.....	34
III.2.1.7 Diviseur de tension .....	35
III.2.1.8 Circuit d'essai à tension alternatif .....	35

III.3 Objet d'essai.....	36
III.3.1 Préparation de l'isolateur.....	36
III.3.2 Arrangement "pointe-barrière-plan".....	36
III.4 Résultats et interprétations.....	38
III.4.1 Essais sans barrière.....	38
III.4.2 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive.....	38
III.4.3 Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive .....	40
III.4.4 Influence de la position de la barrière sur la tension de claquage pour différentes épaisseurs .....	41
III.4.5 Influence de rayon des trous au milieu de la barrière sur la tension disruptive.....	43
III.5 CONCLUSION .....	46
CONCLUSION GENERAL.....	48
Annexe.....	50

# *Chapitre I*

Figure (I.1) : Schéma de l'avalanche de Townsend.....	10
Figure (I.2) : Caractéristique de Townsend.....	11
Figure (I.3) : Modélisation de la décharge de Townsend.....	12
Figure (I.4) : Courbe de Paschen.....	16
Figure (I.5) : Schéma d'une avalanche électronique.....	17
Figure (I.6) : Etapes successives de développement du streamer positif.....	18



# *Chapitre II*

Figure (II.1) : Isolant comportant une inclusion gazeuse.....	24
Figure (II.2) : Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides.....	25
Figure (II.3).....	26
Figure (II.4).....	27

# Chapitre III

<b>Figure (III.1) :</b> Circuit d'essai à fréquence industrielle.....	35
<b>Figure (III.2) :</b> Arrangement pointe- barrière- plan.....	37
<b>Figure III.3.1.</b> Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive (épaisseur de barrière $e_p=1\text{mm}$ ).....	39
<b>Figure (III.3.2)</b> Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive (épaisseur de barrière $e_p=3\text{mm}$ ).....	39
<b>Figure (III.4.1)</b> Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive. (épaisseur de barrière $e_p=1\text{mm}$ ).....	40
<b>Figure (III.4.2)</b> Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive. (épaisseur de barrière $e_p=3\text{mm}$ ).....	41
<b>Figure (III.5.1)</b> Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive (la largeur de barrière $2L=20\text{cm}$ ).....	41
<b>Figure (III.5.2)</b> Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive (la largeur de barrière $2L=10\text{cm}$ ).....	42
<b>Figure (III.5.3)</b> Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive (la largeur de barrière $2L=5\text{cm}$ ).....	42
<b>Figure( III.6.1)</b> influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=5\text{cm}$ et epaisseur $e_p=1\text{mm}$ ).....	43
<b>Figure(III.6.2)</b> . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=5\text{cm}$ et epaisseur $e_p=3\text{mm}$ ).....	43
<b>Figure(III.6.3)</b> influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=10\text{cm}$ et epaisseur $e_p=1\text{mm}$ ).....	44
<b>Figure(III.6.4)</b> . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=10\text{cm}$ et epaisseur $e_p=3\text{mm}$ ).....	44
<b>Figure(III.6.5)</b> . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=20\text{cm}$ et epaisseur $e_p=1\text{mm}$ ).....	45
<b>Figure (III.6.6)</b> . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur $2L=20\text{cm}$ et epaisseur $e_p=3\text{mm}$ ).....	45

# Introduction Générale

## *Introduction générale*

Le développement des systèmes de haute tension a donné une grande impulsion à la recherche sur la décharge dans les intervalles d'air. Des nombreux travaux ont été orientés pour l'analyse des différents paramètres caractérisant la décharge tel que le courant, le champ électrique...etc.

La connaissance de ces paramètres est d'une grande importance pour la coordination de l'isolement dans l'engineering des systèmes de haute tension.

En effet le dimensionnement et l'évaluation des performances d'un système de haute tension, reposent sur la connaissance du champ électrique dont découle le calcul de la charge d'espace, la rigidité du système,...etc.

Le recours, pour des raisons économiques, à des tensions de plus en plus élevées pour le transport de l'énergie électrique a nécessité et nécessitera encore, des distances d'isolement dans l'air de plus en plus grand.

Il est connu que l'insertion d'une barrière solide isolante dans les intervalles d'air pointe-barrière-plan provoque l'amélioration de la tension disruptive (claquage) [1].

L'effet des barrières dans l'augmentation de la rigidité des systèmes pointe -plan,est connu depuis 50 ans. Il est exploité aussi dans la fabrication des câbles de haute tension dans le but d'augmenter leurs durées de vie, ainsi que leurs rigidités.

L'influence de la barrière sur l'intervalle d'air pointe-plan dépend de plusieurs paramètres. Parmi ces paramètres on trouve la position et les dimensions de la barrière.

L'influence de la barrière est surtout liée à l'accumulation des charges sur la surface de la barrière du côté de la pointe. Le calcul de la charge d'espace est d'une importance incontestablement remarquable pour la détermination des performances du système pointe-barrière-plan.

Dans ce mémoire nous avons étudié l'influence d'une barrière isolante sur l'intervalle d'air pointe-plan à fréquence industrielle. L'étude expérimentale a été réalisée au sein du

# Introduction générale

---

laboratoire de haute tension de l'université de Mohamed kheider -Biskra-. Pour accomplir ce travail nous avons suivi le plan du travail suivant:

Une partie théorique qui comprend les chapitres suivants:

Chapitre 1 : Les décharges dans l'air.

Chapitre 2 : L'influence de la barrière isolante sur la rigidité diélectrique de l'air.

Une partie expérimentale où on trouvera les essais réalisés au laboratoire de haute tension, les résultats obtenus ainsi une discussion et interprétation de ces résultats. Nous achèverons notre travail par une conclusion générale qui représente une synthèse global de notre travail.

# chapitre I

Les décharges dans l'air

## **I.1 Introduction :**

L'air est l'isolant le plus utilisé en Technique de la haute tension (lignes et postes), et l'étude des décharges électriques dans l'air présente de l'intérêt d'un point de vue industriel pour les problèmes liés à l'isolement et à la protection des réseaux de transport et de distribution d'énergie (lignes à haute tension, transformateurs. générateurs...)[2].

Un gaz est constitué d'un grand nombre de particules de différents types, atomes, molécules, ions, électrons en agitation incessante [2]. En l'absence de champ électrique, les molécules de gaz sont soumises à l'agitation thermique et subissent une multitude de chocs. Ces particules bombardées, ou parfois non-élastiques avec transfert total ou partiel d'énergie. Ces chocs ont pour cause des agents extérieurs tels que la radioactivité terrestre et atmosphérique, ainsi que les différents rayonnements cosmiques [3].

En présence d'un champ électrique les molécules de gaz se mettent en mouvement dans la direction du champ. Leur vitesse variera en fonction de la distribution et de l'intensité du champ, ainsi que d'autres paramètres tels que la pression, la température et l'humidité du gaz [3].

Ce chapitre sera consacré pour l'étude des décharges électriques dans les gaz en particulier l'air.

## **I.2 Phénomènes fondamentaux**

### **I.2.1 Théorie cinétique des gaz**

A l'équilibre, et en l'absence de forces extérieures, un gaz est constitué d'un ensemble de particules uniformément réparties, dont les vitesses n'ont aucune direction privilégiée (distribution isotrope). L'énergie de chaque particule peut être stockée sous différente forme, énergie de translation dans le cas d'un atome, énergie de rotation et de vibration dans le cas d'une molécule [2].

Dans le cas simple d'un atome en translation, son énergie est égale à :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} K T \quad (I.1)$$

Où :

$m$  : est la masse de la particule

$K$  : est la constante de Boltzmann ( $K = 1.38.10^{23}$  J/K)

$T$  : est la température thermodynamique

$v$  : est la vitesse quadratique moyenne de la particule.

### **I.2.2 Phénomène de collision**

Au cours de leur mouvement, les particules peuvent se rencontrer, au sens où elles se rapprochent suffisamment pour donner lieu à une modification de leurs énergies respectives (avec conservation de l'énergie totale).

Si les particules n'échangent que l'énergie cinétique de translation on parle de choc élastique, c'est le cas presque tous les atomes dans un gaz pris dans les conditions de pression et de température normales [2].

Si les particules échangent une partie de leur énergie interne, on parle de choc non élastique. L'échange d'énergie est d'autant plus grand que les masses des particules sont voisines.

En ce qui concerne la décharge dans les gaz, les collisions non élastiques ne concernent que les électrons de la couche supérieure, électrons dits de valence qui sont impliqués dans la réaction chimique [4].

#### **I.2.2.1 Notion de section efficace et libre parcours moyen :**

C'est la distance parcourue entre deux chocs successifs. Il est à prévoir que le libre parcours est une quantité aléatoire et sa valeur moyenne dépend de la concentration des particules ou la densité du gaz.

### **I.3 Mécanismes fondamentaux d'ionisation des gaz :**

L'existence d'une décharge électrique résulte du passage d'un courant dans les diélectriques gazeux et donc de la possibilité de créer des particules chargées à partir des atomes ou molécules neutres constituant ces gaz. Ce courant est porté essentiellement par les particules rapides, c'est-à-dire les électrons. Il est donc important d'étudier tous les mécanismes régissant l'existence de ces électrons libres [5].

#### **I.3.1 Ionisation par simple collision :**

Lorsque l'énergie cinétique d'un électron ( $1/2 mv^2$ ), en collision élastique avec une molécule neutre de gaz, dépasse l'énergie d'ionisation ( $E_i = e.V_i$ ) de cette molécule, une ionisation, schématisée comme suit, peut se produire [5].





En général, un ion positif et 2 électrons mobiles lents résulteront. La probabilité pour que ce processus se produise n'est nul, pour des énergies égales à l'énergie d'ionisation et croît lorsque l'énergie cinétique de l'électron augmente.

### I.3.2 Excitation :

Dans le cas où l'énergie transférée pendant la collision entre l'électron primaire et la molécule neutre est faible, il n'y aura pas possibilité d'ionisation. Toute fois, la molécule se retrouve dans un état excité  $M^*$  qui consiste en un déplacement de l'électron de son orbitale fondamentale (ou de repos) vers l'orbitale suivante [5].



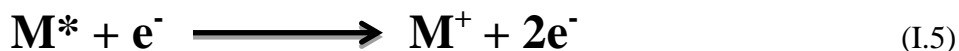
Cette molécule excitée peut retrouver son état fondamental en libérant un photon d'énergie  $h\nu$



$h$  est la constante de Planck =  $6,624 \times 10^{-34}$  J.s

### I.3.3 Ionisation par double impact d'électron :

Une molécule de gaz, déjà excitée lors d'un précédent choc, peut être ionisée par collision avec un électron relativement lent (de faible énergie cinétique). Cette molécule nécessitera une énergie moindre pour être ionisée [5].



### I.3.4 Photo ionisation :

Une molécule à l'état fondamental peut être ionisée par un photon de la fréquence  $\nu$  à condition que les quantum d'énergie  $h\nu$  émis par un électron déjà excité ou ionisé, lors de son retour à son état de repos (fondamental), est plus grands que l'énergie d'ionisation de la molécule [5].

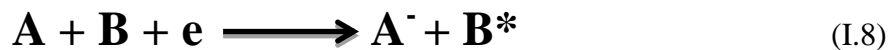
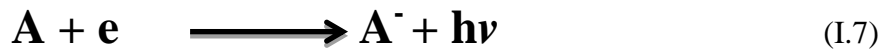


### I.3.5 Attachement d'électrons ou recombinaison d'ions :

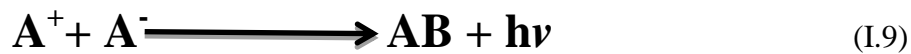
Les processus conduisant à la diminution du nombre d'électrons libres dans un gaz ionisé peuvent, être de deux types, attachement ou recombinaison.

L'attachement consiste en la fixation d'un électron par une molécule ou un atome neutre. La formation d'un ion négatif, l'excès de l'énergie fournie par l'électron incident peut se trouver, soit sous la forme d'une émission radiative dans le cas d'une collision entre deux corps, soit sous la forme d'une fourniture d'énergie cinétique à une troisième particule dans le cas d'une collision à trois corps.

Ces processus sont décrits respectivement par les équations [2] :



La recombinaison est obtenue par collision d'un ion positif avec un électron ou un ion négatif, suivant la réaction [2]:



La recombinaison de deux ions est consécutive à une dissociation. Ces deux processus peuvent être schématisés par :

- Dissociation :



- Recombinaison :



### I.3.6 Détachement d'électrons :

Ceci se produit quand un ion négatif renonce à son électron supplémentaire, et devient une molécule neutre [5].



### I.3.7 Ionisation thermique :

Une élévation de température engendre une agitation thermique croissante, rendant le processus de collisions plus efficace, surtout si la pression est élevée. Dans ce cas, l'ionisation ne se produit pas au cours d'un seul choc, mais est le résultat d'excitations successives [2].

En effet, la forte densité des particules rend la fréquence des chocs très élevée, le temps moyen entre chocs successifs est inférieur à la durée de vie des niveaux excités si bien que les excitations successives d'atomes déjà excités se cumulent pour éventuellement aboutir à l'ionisation [2].

### I.3.8 Autres processus :

#### I.3.8.1 Mobilité :

En l'absence de force extérieure, les particules chargées du gaz sont mises en mouvement par l'agitation thermique. En présence d'un champ électrique, elles acquièrent une vitesse  $v$  proportionnelle à l'intensité du champ  $E$ . Le rapport entre la vitesse  $v$  et le champ est la mobilité  $\mu$  [5].

$$\mu = \frac{v}{E} \quad (\text{I.13})$$

#### I.3.8.2 Diffusion :

Le mécanisme de diffusion d'un gaz apparaît dès qu'il existe une différence de concentration entre deux points voisins [2].

Si un gradient de concentration  $\partial n/\partial x$  existe suivant une direction  $x$ , un flux de particules va s'établir vers la zone ayant la plus faible concentration, suivant la

$$\Gamma = -D \cdot \partial n / \partial x \quad (\text{I.14})$$

Où :

$\Gamma$  est le nombre de particules qui traversent par second une aire unitaire dans la direction  $x$   
( le flux dans la direction  $x$ ).

$D$  est appelé coefficient de diffusion.

## I.4 Rigidité diélectrique des isolants solides

### I.4.1 Définitions

La rigidité diélectrique d'un matériau est la valeur maximale du champ électrique que l'on peut lui appliquer sans que se produise une dégradation irréversible nommée claquage ou perforation diélectrique rendant impossible une nouvelle application de la tension [2]. Le claquage est précédé par une augmentation importante du courant circulant dans le matériau avec des conséquences thermiques destructives : fusion, évaporation, décomposition, carbonisation, ...[2].

Divers mécanismes peuvent conduire au claquage. Nous citerons les principaux mécanismes connus actuellement.

## I.5 Décharges dans les gaz

La décharge est produite dans un gaz au moment où le champ électrique dépasse la valeur seuil nécessaire à l'amorçage de la décharge

Les mécanismes de décharge connus dans un gaz sont :

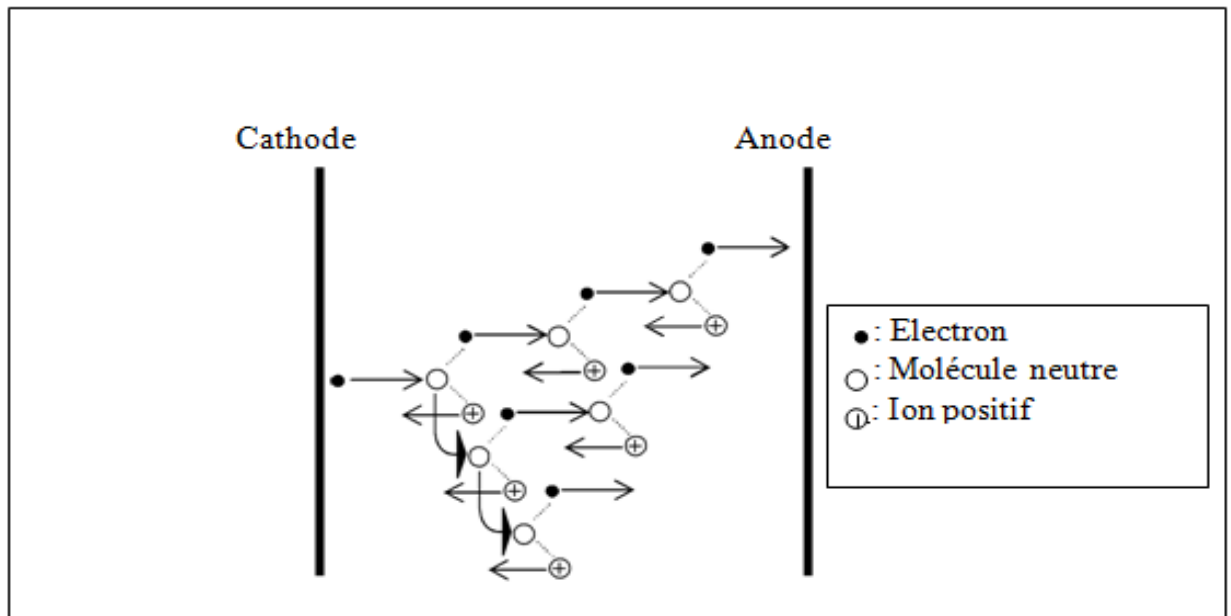
- 1- mécanisme d'avalanche électronique.
- 2-streamer.

### I.5.1 Mécanisme d'avalanche électronique (décharge de Townsend)

Si on considère un gaz contenu entre deux électrodes, il peut exister dans ce gaz, en l'absence de tout champ électrique appliqué, un certain nombre de particules chargées produites soit par des mécanismes naturels, tels que rayonnement ultraviolet ou radioactivité, soit par des mécanismes artificiels, par exemple en bombardant la surface cathodique avec une source de rayonnement ultraviolet pour en extraire des électrons [2].

Si un champ électrique est appliqué, les électrons sont suffisamment accélérés par le champ pour produire d'autres électrons par des collisions, qui à leur tour acquerront par le champ électrique assez d'énergie pour ioniser d'autres atomes, et ainsi de suite, et le nombre d'électrons libres continuera à augmenter comme il continuera à se déplacer sous l'action du champ électrique. La quantité des électrons et des ions positifs produits de cette façon s'appelle une avalanche électronique. C'est ce phénomène, qui provoque un accroissement

exponentiel de la densité de charge électronique lorsqu'on s'éloigne de l'électrode [2]. Le claquage donc lieu du fait du phénomène d'avalanche figure (I.1).



**Figure I.1.** Schéma de l'avalanche de Townsend.

Cette avalanche peut être étudiée quantitativement à partir de la connaissance du coefficient  $\alpha$ , dit premier coefficient d'ionisation de Townsend.  $\alpha$  représente le nombre d'électrons (ou d'ions positifs) créés par un électron par élément de longueur le long d'une ligne de force du champ appliqué [2].

Une expression empirique exploitable considère que l'énergie thermique des électrons est acquise par le travail du champ électrique sur une distance de l'ordre du libre parcours moyen. Or ce dernier est inversement proportionnel à la pression. Donc, en introduisant les constantes et B déterminées expérimentalement, on a :

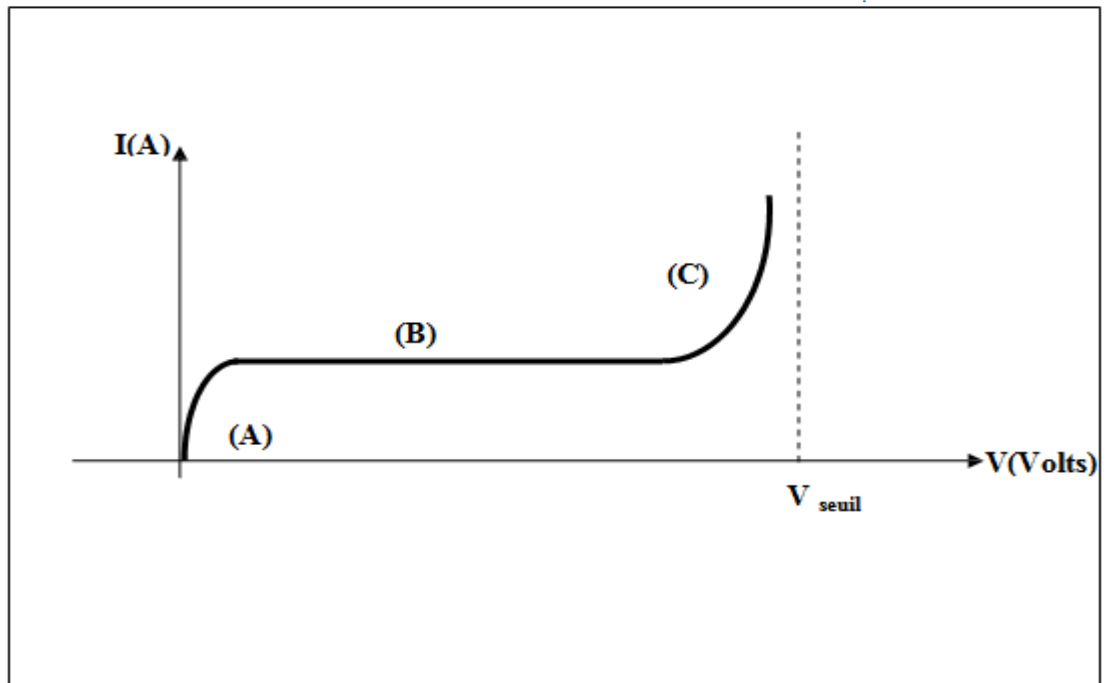
$$\alpha = AP \exp(-BP/E)$$

P : la pression atmosphérique

E : le champ électrique appliqué

$\alpha$  : le premier coefficient d'ionisation de Townsend

L'allure du courant obtenu quand on fait croître la tension est donnée par la figure



**Figure I.2.** Caractéristique de Townsend

Nous constatons une augmentation linéaire dans la zone (A) représentant une phase ohmique, suivie d'une saturation (zone (B)) correspondant à la collecte de toutes les charges sur les électrodes. En augmentant la tension (zone (C)), à partir de la tension seuil  $V_{seuil}$ , le courant croît très rapidement. Cette tension est dite d'amorçage ou de décharge.

### **I.5.1.1 Modélisation de la décharge de Townsend :**

L'avalanche électronique peut être étudiée quantitativement à partir de la connaissance du coefficient  $\alpha$  dit le premier coefficient d'ionisation de Townsend.

Ce coefficient représente le nombre d'électrons (ou ions positifs) créés par un électron par élément de longueur le long d'une ligne de force du champ appliqué [4].

A titre d'illustration considérant un système à champ uniforme : deux électrodes planes à une distance  $d$  l'une de l'autre contenant un gaz à la pression  $P$  avant le claquage figure(I.3).

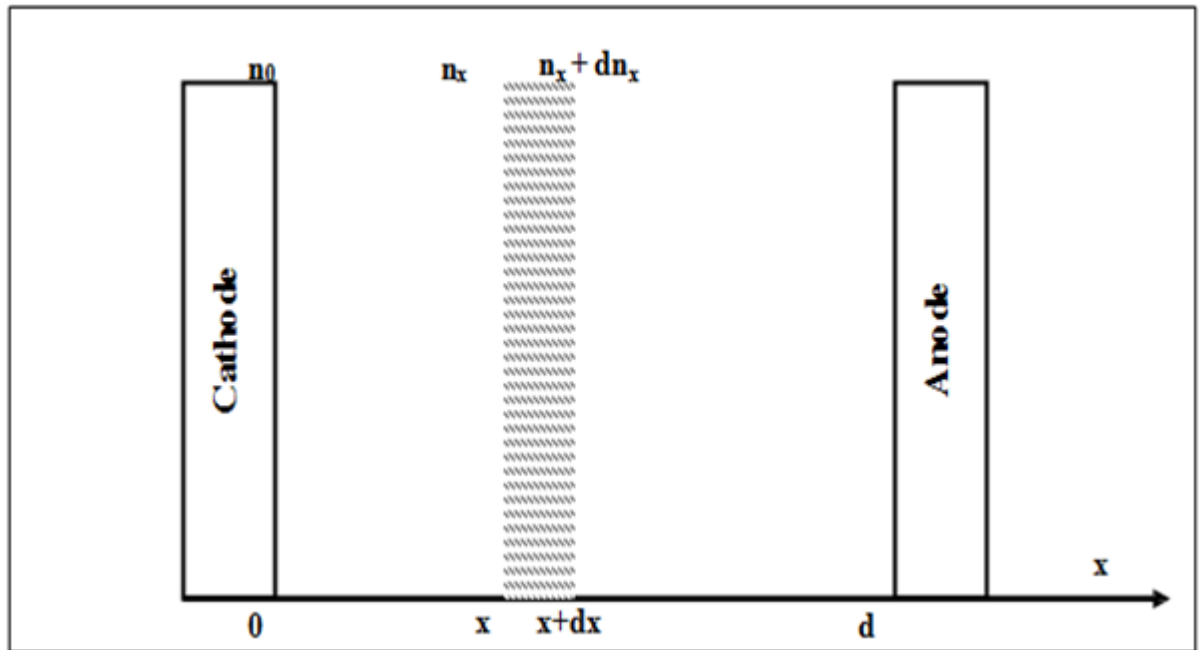


Figure I.3. Modélisation de la décharge de Townsend [4].

Où :

$n_0$  : nombre d'électrons/seconde émis de la cathode

$n_x$  : nombre d'électrons à l'abscisse  $x$

$dn_x$  : nombre d'électrons créés à l'abscisse  $x$

Sur un élément de longueur  $dx$ , un électron crée  $\alpha \cdot dx$  électrons, on écrit :

$$dn_x = \alpha n_x dx \quad (I.15)$$

Lorsqu'à une abscisse  $x$ , il existait  $n_x$  électrons, le nombre  $dn_x$  d'électrons créés sera multiplié par  $n_x$ . L'équation (I.14)

$$\frac{dn_x}{n_x} = \alpha dx \quad (I.16)$$

L'intégration :

$$\int \frac{dn_x}{n_x} = \int \alpha dx \Rightarrow \ln(n_x) = \int \alpha dx \quad (I.17)$$

La répartition des électrons en fonction de l'abscisse  $x$  sera donnée par:

$$n_x = A e^{\int \alpha dx} \quad (I.18)$$

Dans le cas que nous traitons, le champ est uniforme donc constant dans l'intervalle inter-électrodes, de ce fait, le premier coefficient de Townsend est constant. L'équation (I.16) se simplifiera pour s'écrire :

$$n_x = Ae^{\alpha x} \quad (\text{I.19})$$

En considérant la condition à  $x=0$  (à la cathode)  $n_x = n_0$ , on aura  $A=n_0$  et l'expression finale de la répartition devient :

$$n_x = n_0 e^{\alpha x} \quad (\text{I.20})$$

Le nombre d'électrons à la distance  $d$  est:

$$n_d = n_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.21})$$

Le courant mesuré est donné par :

$$I_a = I_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.22})$$

Où :

$I_0$ : est la courante photo électrique initiale à la cathode

Par conséquent, en moyenne chaque électron laissant la cathode produite

$$\frac{n_d - n_0}{n_0} \quad (\text{I.23})$$

Nouveaux électrons (et ions correspondant) dans l'espace inter électrodes [5].

Afin de mieux décrire la multiplication électronique dans la zone à faible champ, Où l'attachement ne peut plus être négligé, on est amené à écrire:

$$n_x = n_0 e^{\int (\alpha - \eta) dx} \quad (\text{I.24})$$

Où:

$\eta$ : est le coefficient d'attachement.

La multiplication électronique s'arrête lorsque l'attachement équilibre la formation des



nouveaux électrons donc :  $\alpha = \eta$

Pendant que les électrons se déplacent sous l'action du champ électrique vers l'anode, les ions positifs se déplacent vers la cathode. En se retrouvant sur la cathode, ces ions positifs auront tendance à récupérer les électrons qui leur manquent en les arrachant à la cathode [5].

Le nombre d'ions positifs qui arrivent sur la cathode et qui proviennent du gaz est donné par :

$$n_{+0} = n_d - n_0 = n_0(e^{\alpha d} - 1) \quad (\text{I.25})$$

On définit un coefficient  $\gamma$ , dit deuxième coefficient d'ionisation de Townsend [2],  $\gamma$  représente le nombre d'électrons arrachés à la cathode par ion positif incident [5].

En exploitant cette dernière définition, le nombre d'électrons arrachés à la cathode sera :

$$n_{arra} \geq n_0 \implies \gamma(e^{\alpha d} - 1) \geq 1 \quad (\text{I.26})$$

Le courant généré par la décharge de Townsend est donné par l'expression suivante :

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)} \quad (\text{I.28})$$

On voit que si que  $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$  s'approche de l'unité  $I$  croît d'une façon rapide que :

$$I \approx I_0 e^{\alpha d} \quad (\text{I.29})$$

Le critère de claquage selon Townsend est alors défini comme la tension pour laquelle le courant devient infini [5].

Le critère de Townsend peut s'interpréter simplement en considérant que représente le nombre d'ions positifs créés par une avalanche primaire à partir d'un seul électron.

Ces ions arrivant vers la cathode vont produire en moyenne  $\gamma e^{\alpha d}$  électrons secondaires.

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.

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 des décharges. Ce critère définit donc la tension d'amorçage.

Si  $\gamma e^{\alpha d} > 1$ , le processus des avalanches successives est cumulatif et le courant de décharge croît d'autant plus rapidement que  $\gamma e^{\alpha d}$  dépasse l'unité [5].

### II.5.1.2 Loi de Paschen [6]

La loi de Paschen décrit la tension de décharge qui varie avec la pression du gaz et la distance  $d$  entre les deux électrodes. La loi s'applique uniquement dans le cas d'un champ électrique uniforme entre les deux électrodes. Dans ce cas  $E = V/d$ .

Lorsque le dénominateur de l'équation (I.27) tend vers zéro cela implique que:

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1 \Leftrightarrow e^{\alpha d} = \frac{1}{\gamma} + 1 \Leftrightarrow \alpha d = \ln \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) \quad (\text{I.30})$$

On peut déterminer  $\alpha$  de manière expérimentale pour obtenir:

$$\alpha = P.A. \exp \left( \frac{-BP}{E} \right) \quad (\text{I.31})$$

Où:

$P$ : est la pression du gaz,

$A$  et  $B$  sont des constantes connues.

En remplaçant la valeur de  $\alpha$  dans (I.28) on obtient:

$$\ln \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) = PdA \exp \left( \frac{-BP}{E} \right) \Leftrightarrow \ln \left( \ln \left( \frac{1}{\gamma} + 1 \right) \right) = \ln(PdA) - \frac{BP}{E} \quad (\text{I.32})$$

Dans le cas d'un champ électrique uniforme :  $E = V/d$

Où :

$V$  : est la tension appliquée.

Un tel potentiel signifie que les champs du aux électrons et ions sont petits comparés au champ appliqué.

En substituant pour E on obtient :

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{\gamma} + 1\right)\right) = \ln(PdA) - \frac{BPd}{V} \quad (I.33)$$

En isolant V et en appelant V.de la tension de décharge et en considérant Le coefficient d'ionisation secondaire de Townsend pour un métal j.

$$Vd = \frac{B.Pd}{\ln(Pd.A) - \ln\left(\ln\left(\frac{1}{\gamma_j} + 1\right)\right)} \quad (I.34)$$

$$B = \frac{\sigma V}{KT}, \quad A = \frac{\ln 2.\sigma}{KT} .$$

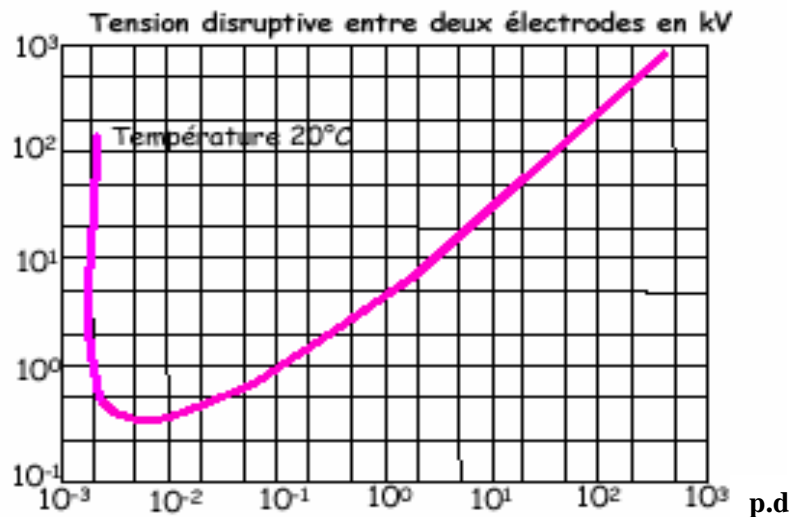


Figure I.4.Courbe de Paschen

Ces courbes montrent que \$V\_S\$ a un minimum unique, pour une valeur :  $pd=(pd)_{min}$ . Si l'on augmente le produit  $pd$ , un électron accéléré par le champ électrique aura une probabilité plus grande de rencontrer une molécule du gaz, mais l'énergie moyenne acquise entre deux collisions étant plus faible, la probabilité d'obtenir une collision ionisation diminue, à moins d'augmenter la tension. Si  $(pd) < (pd)_{min}$ , la tension d'amorçage croît également par diminution du nombre de collisions.

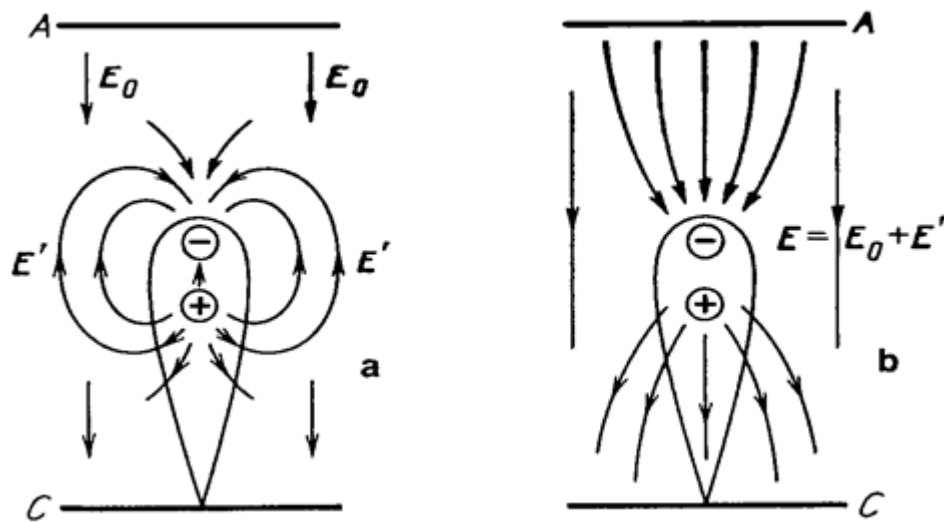
### I.5.2 Théorie du streamer

La vitesse des électrons étant environ 100 fois supérieure à celle des ions c'est bien que l'avalanche conduite à la formation d'une structure dipolaire comme le montre la figure (I.7).

- une région (vers l'anode) à forte densité d'électrons
- une région (vers la cathode) à forte densité d'ions positifs.

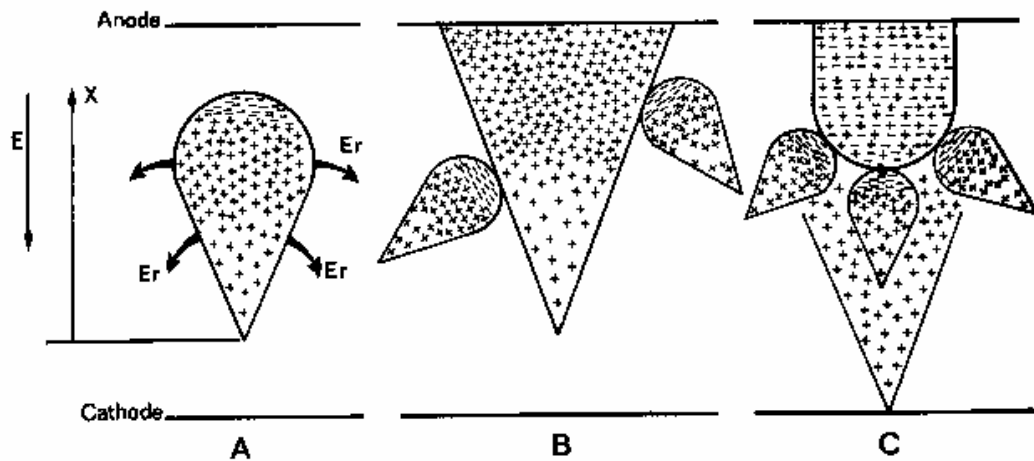
Le champ électrique est alors fortement perturbé par ces charges d'espace.

Si ces densités sont importantes un nouveau mécanisme est déclenché: le streamer [2].



**Figure I.5.** Schéma d'une avalanche électronique

En la direction de la cathode, le champ électrique est augmenté par la charge d'espace positive. Dans cette région de nombreux électrons sont créés (par photo-ionisation) et de nouvelles avalanches dites "secondaires" se développent en direction de la première (l'avalanche principale). Les électrons de ces avalanches viennent neutraliser la charge d'espace positive figure (I.6).



**Figure I.6.** Etapes successives de développement du streamer positif [2]

$E_r$  : champ décharge d'espace.

De l'endroit où naissent les avalanches secondaires, de nouvelles "têtes" de charges d'espace positives apparaissent augmentant le champ électrique en aval. Le déclenchement de nouvelles avalanches est encore favorisé vers la cathode [2].

Ainsi le streamer consiste en:

- une région ionisée, légèrement conductrice (5kV/cm) composée d'ions positifs et d'électrons
- une région "active" composée d'ions positifs qui favorisent les développements d'avalanches électroniques secondaires.

La taille critique de l'avalanche qui donne naissance au streamer est définie par plusieurs critères:

\* Critère de *Meek*: l'avalanche peut se transformer en streamer si le champ de charge d'espace  $E_r$  des ions positifs est sensiblement égal au champ appliqué  $E_g$ .

$$E_r = K.E_g \quad K \approx 1$$

Bon accord pour des valeurs de  $pd$  de l'ordre de 10 000 torr.cm.

\* Critère de *Raether*: l'avalanche peut se transformer en streamer si le nombre de charges de l'avalanche principal atteint 10<sup>8</sup> à 10<sup>10</sup> électrons. Critère énoncé pour une pression atmosphérique.

### **I.5.2 .1 Influence de la distribution du champ électrique appliqué**

La distribution du champ électrique influence le comportement du streamer. Si les électrodes sont des plans parallèles, le champ est homogène. Si son intensité est telle qu'un streamer prend naissance, son développement sera infini, jusqu'à la cathode. La condition de claquage de l'intervalle se ramène à la condition d'apparition du streamer

Si les électrodes sont dissymétriques, par exemple une configuration pointe-plan, les avalanches se développeront préférentiellement dans la région de fort champ c'est-à-dire près de la pointe. Le streamer s'il prend naissance se propagera tant que le champ électrique total ( $E_g + E_r$ ) dans la région active permet de reproduire des avalanches secondaires.

Si la pointe est à un potentiel négatif, les avalanches s'éloignent de la pointe et les streamers aussi. Ce mécanisme de propagation du streamer est plus complexe et pas parfaitement expliqué

### **I.5.2.2 Influence du type de tension appliquée**

L'existence ou non du streamer est liée à l'amplitude du champ électrique dans l'intervalle, donc de la tension appliquée aux bornes de l'intervalle, d'air en l'occurrence. La forme de la tension appliquée est donc importante pour décrire le déclenchement du streamer. Elle peut être alternative.

**En tension alternative** (50ou60Hz), les processus sont identiques car la fréquence de la tension appliquée est très inférieure à celle des streamers. La fréquence de répétition des couronnes est du domaine de l'audible. C'est précisément les bourdonnements que l'on entend sous les lignes HT. Dans ce cas, les streamers se développent tout autour du câble HT et on parle de "décharge couronne".

## **I.6 Paramètres influant sur le développement de la décharge**

### **I.6.1 Présence des particules conductrices dans l'air**

Les particules existant dans l'intervalle d'air pointe-plan son responsables des modifications des conditions de décharge. La présence de particules conductrices réduit la rigidité de l'air. Un champ uniforme, relativement faible, peut déplacer des objets fins métalliques d'où la décharge est initiée par des micros-décharge produite par ces particules quand elles sont proches des électrodes. A.Sumuilaet L.Dascalescu [7], ont analysé les conditions de décharge en présence de petites particules conductrices sphérique, de rayon R et de masse m sous l'effet du champ  $E_{ni}$  de décharge de couronne pour un système pointe-plan avec une polarité positive.

### I.6.2 Influence du type de matériaux de la pointe

La tension de décharge change en changeant le matériau de la pointe, et on obtient les résultats présentés dans le tableau(I.1) :

Longueur de l'intervalle (mm)	Tension de décharge (kV)	
	Aluminium	Acier
10	80.4	83.2
50	291	294
100	569	583

**Tableau(I.1)** Caractéristique de la tension de décharge en fonction longueur

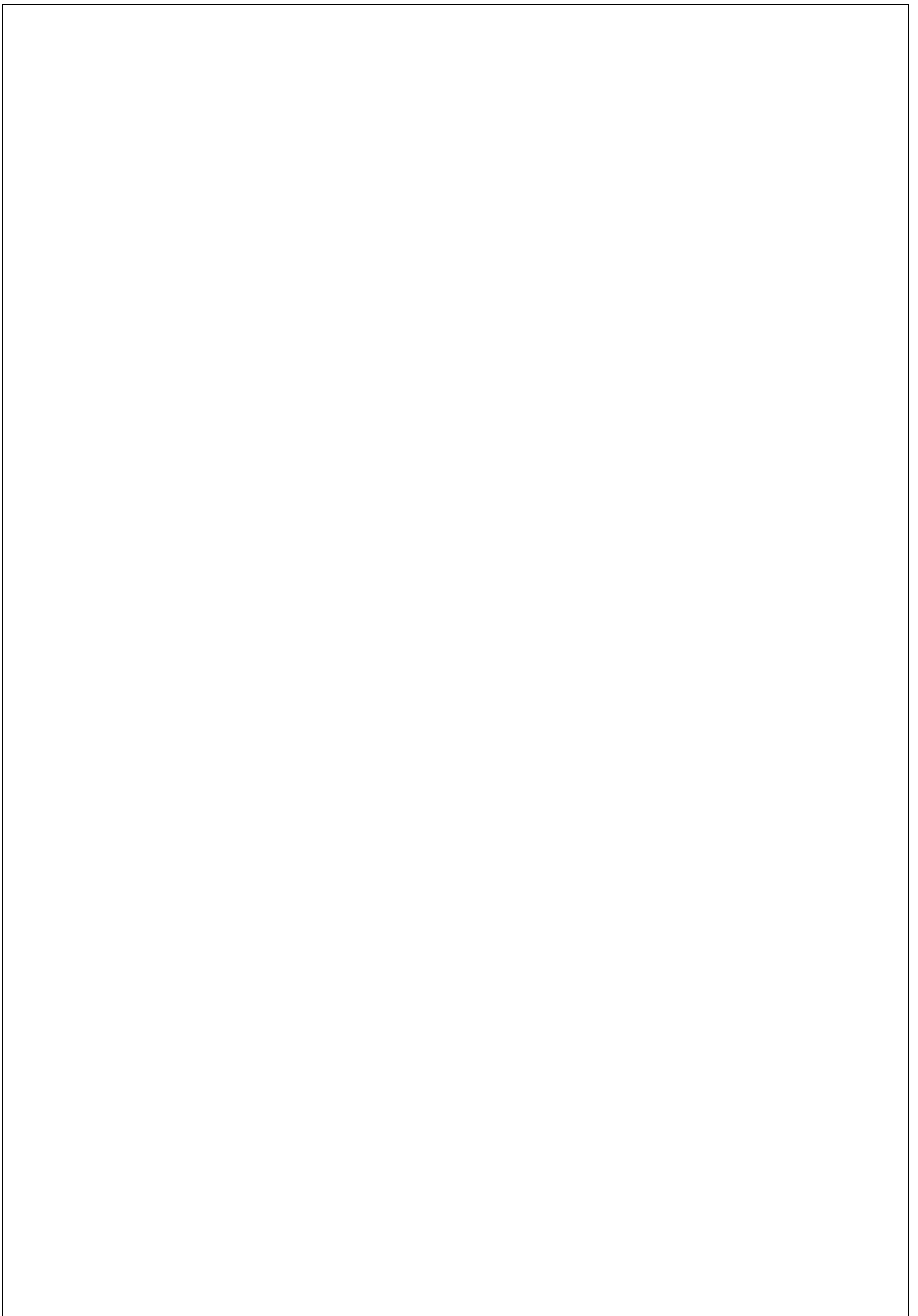
### I.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une synthèse sur les phénomènes d'ionisation, et de la physique des décharges électriques dans les gaz.

# chapitre II

*L'influence de la barrière isolante  
sur la rigidité diélectrique de l'air*





## **II.1 Introduction**

Juste après la première guerre mondiale, et plus particulièrement au milieu des années mille neuf cent vingt, il a été constaté par E. Marx et H. Roser de l'Université de Braunschweig en Allemagne, que l'introduction d'une barrière isolante pouvait améliorer la rigidité diélectrique des intervalles d'air à champ non uniforme [9].

La meilleure amélioration est obtenue lorsqu'une barrière isolante est placée à proximité de la pointe dans un système pointe-plan.

Depuis les découvertes faites par Steinmetz et les deux auteurs déjà cités, des dizaines de travaux de recherche ont été entrepris dans différents pays. Les principales constatations sont les suivantes [9]. L'influence d'une barrière dépend des paramètres principaux suivants:

- distribution du champ dans l'intervalle d'air concerné.
- type de tension appliquée.
- position de la barrière vis à vis des électrodes.
- largeur de la barrière.
- épaisseur de la barrière.
- nature de la barrière (matériau).

Plusieurs phénomènes de décharge peuvent être observés. En tension alternative ou en tension de choc positive, ou tension continue positive la décharge disruptive peut avoir lieu de manière directe ou par étapes. Elle est généralement par étapes, lorsque la barrière est très proche de l'une des deux électrodes, et directe dans les autres cas [9].

Dans le cas de décharge directe, la tension de décharge disruptive du système avec barrière est pratiquement égale à celle de l'intervalle sans barrière ayant une distance entre électrodes égale à la longueur de la décharge dans l'intervalle avec barrière (et qui correspond à la distance: pointe - bord de la barrière – plan) [9].

## II.2 Influence des paramètres définissant la nature de la barrière

### II.2.1 La résistivité transversale

La résistivité transversale d'un matériau  $\rho_v$  est le quotient du gradient de potentiel par la densité de courant qui le travers [9].

La résistivité transversale spécifique  $\rho_v$  est exprimée d'ordinaire en  $\Omega\text{cm}$ , la valeur numérique de  $\rho_v$  est égale à la résistance d'un cube dont les arêtes sont de 1 cm [9].

### II.2.2 La résistivité superficielle:

La résistivité superficielle d'un matériau isolant  $\rho_s$  est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur.

La résistivité superficielle spécifique est exprimée en ohms, elle est numériquement égale à la résistance qu'offre un carré plan, lorsque la longueur du trajet du courant est égale à la largeur d'écoulement [9].

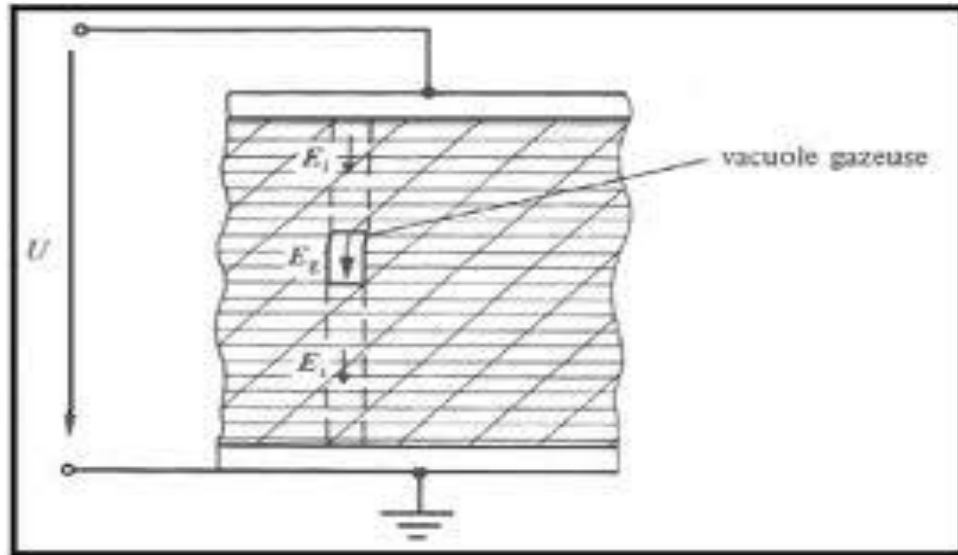
### II.2.3 Constante diélectrique ou permittivité relative ( $\epsilon_r$ ):

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique  $E$  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. Ce champ électrique propre est cependant insuffisant pour annuler le champ électrique extérieur appliqué comme c'est le cas dans un milieu conducteur [9].

Cette caractéristique des isolants solides (et liquides) porte le nom de permittivité relative.

## II.3 Influence des décharges superficielles et des décharges partielles sur le diélectrique solide

Les matériaux isolants de qualité technique comportent toujours des inclusions de particules étrangères et de vacuoles gazeuses. Lorsque ces isolants sont soumis à une certaine tension alternative à fréquence industrielle on constate que le champ électrique est plus élevé dans les vacuoles gazeuses  $E_g$  que dans l'isolant  $E_i$  (Figure (II.1)) [10].



**Figure II.1.** Isolant comportant une inclusion gazeuse.

Les décharges partielles peuvent être internes ou externes. Dans le premier cas, elles se produisent à l'intérieur du matériau, et dans le second, à la surface de séparation du matériau solide avec d'autres milieux. Dans ce dernier cas, nous sommes en présence de décharges superficielles. Le terme de décharges partielles externes est très rarement utilisé pour désigner des décharges incomplètes dans les gaz (on préfère: "effet de couronne", aigrettes, streamers..) [10].

Lorsque les décharges partielles apparaissent dans les vacuoles de gaz présentes accidentellement dans le volume de l'isolant solide, la température du gaz augmente.

Cette augmentation de température est suivie d'une augmentation de la pression du gaz risquant d'engendrer l'érosion du matériau, qui conduirait de proche en proche, à la rupture totale du diélectrique [10].

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

- d'une part la permittivité relative des isolants solides étant toujours plus élevée (2 à 6 fois) que celle des gaz ( $\epsilon_{rg} = 1$ ), le champ électrique dans les vacuoles est proportionnellement plus élevé [10].
- D'autre part, la rigidité diélectrique des gaz est nettement plus basse (environ 10 fois) que celle des solides.

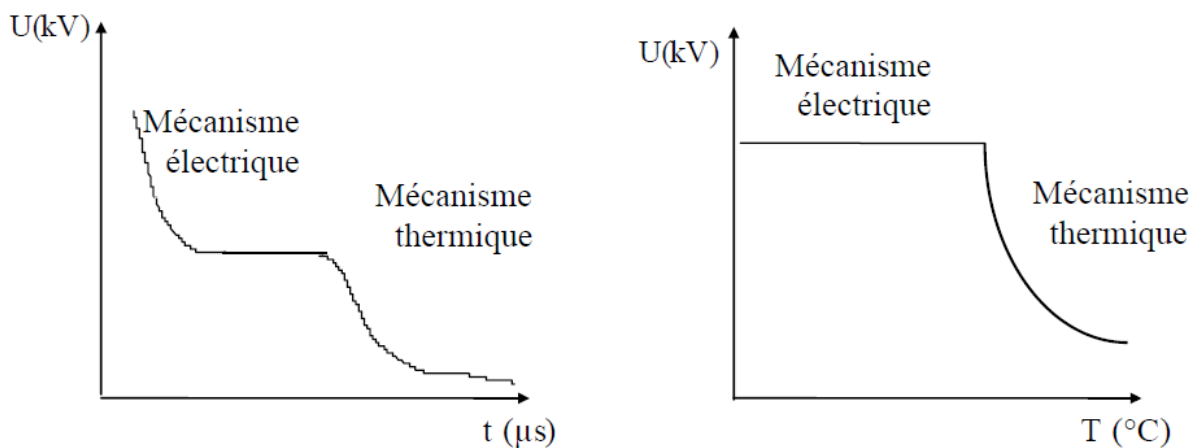
## II.4.1 Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides [11]

### II.4.1 Généralités

Les deux principaux mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides sont:

- 1- le mécanisme de rupture intrinsèque (rupture électrique).
- 2- le mécanisme thermique.

Les mécanismes électriques et thermiques peuvent être distingués l'un de l'autre, d'après la variation de la tension de décharge disruptive (rupture diélectrique) en fonction du temps d'application de la tension ou en fonction de la température, selon la figure (II.2) ci-dessous: [11]



**Figure II.2.** Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides.

### II.4.2 Mécanisme Electrique

La rupture intrinsèque est de nature électronique et a lieu à des temps de l'ordre de 10-8s. La rigidité diélectrique est de l'ordre de 1000 kV/cm.

La rupture est atteinte quand les électrons acquièrent suffisamment d'énergie dans le champ appliqué, afin de traverser la bande interdite de l'isolant (passage de la bande de valence à la bande de conduction). Selon le degré d'homogénéité et de pureté du matériau, on aura un certain transfert d'énergie entre les électrons de conduction et le réseau cristallin. On aura aussi une certaine distribution des électrons dans la bande de conduction [11].

### II.4.3 Mécanisme Thermique

#### II.4.3.1 Rupture locale

D'après K.W.Wagner, la rupture thermique a lieu après la formation d'un canal le long duquel la conductivité du diélectrique devient beaucoup plus importante que dans le reste du volume diélectrique (figure ci-dessous) [11].

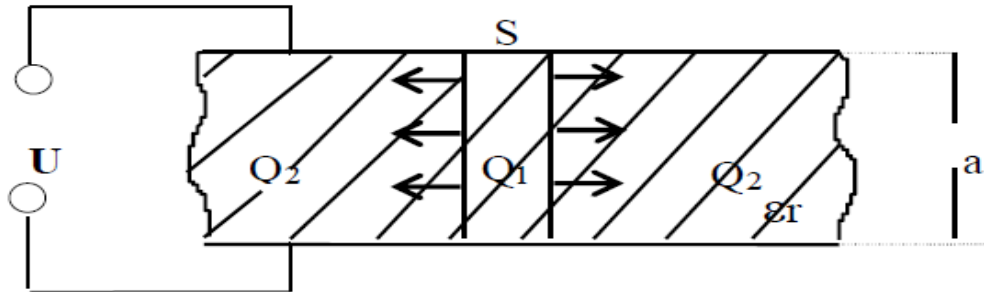


Figure II.3.

La quantité de chaleur dans le canal s'exprime par:

$$Q_1 = 0,24.I^2.R = 0,24.U^2.\gamma. (S/a) \quad (\text{II.1})$$

Avec:

S: section du canal,

a: épaisseur du diélectrique,

$\gamma$ : conductivité moyenne du canal.

$$\gamma_\theta = \gamma_{\theta_0} \cdot e^{\alpha(\theta - \theta_0)} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$\gamma_\theta$ : conductivité du diélectrique à la température  $\theta$ ,

$\gamma_{\theta_0}$ : conductivité du diélectrique à la température  $\theta_0$ ,

$\alpha$ : coefficient de température,

$\theta$ : température du diélectrique dans le canal,

$\theta_0$ : température du diélectrique en dehors du canal.

La quantité de chaleur dissipée  $Q_2$  est donnée par l'expression suivante:

$$Q_2 = \lambda_{th} \cdot (\theta - \theta_0) \cdot a \quad (II.3)$$

Avec:

$\lambda_{th}$ : facteur de conduction thermique.

La rupture diélectrique est atteinte lorsque les conditions suivantes sont réunies:

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{et} \quad \delta Q_1 / \delta \theta = \delta Q_2 / \delta \theta \quad (II.4)$$

Tenant compte de toutes les équations citées ci-dessus, la tension de rupture diélectrique, valable pour les épaisseurs relativement petites, est donnée par la formule suivante :

$$U_d = a \cdot [\lambda_{th} / (0,24 \cdot \gamma_0 \cdot e \cdot S \cdot \alpha)]^{1/2} \cdot e^{-(\alpha/2) \cdot \theta_0} \quad (II.5)$$

Avec:

$\gamma_0$ : conductivité à la température  $0^\circ\text{C}$ , ( $\gamma_0 = \gamma_0 \cdot e^{\alpha \cdot \theta_0}$ )

### II.4.3.2 Rupture global

Dans ce cas on suppose que la chaleur (et la température) est répartie de manière uniforme à l'intérieur du diélectrique (figure ci-dessous) [11].

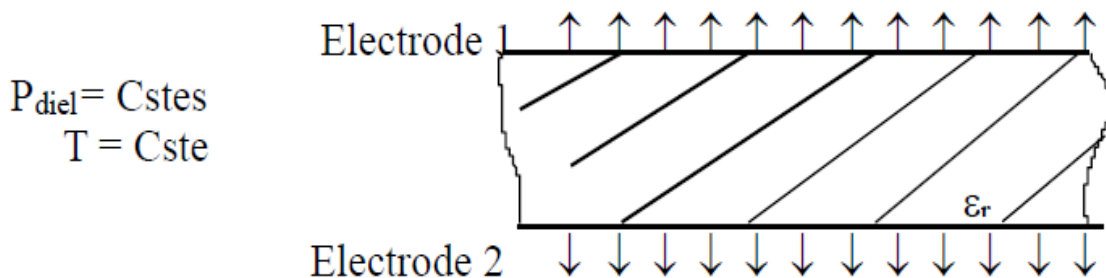


Figure II.4.

En régime stable nous avons les conditions suivantes:

$$P_{diel} = P_{ref} \text{ et } \delta P_{diel} / \delta \theta = \delta P_{ref} / \delta \theta \quad (II.6)$$

La puissance dissipée à l'extérieur par conduction thermique est donnée par la formule suivante:

$$P_{dis} = - \text{div} (\lambda_{th} \cdot \text{grad} \theta) \quad (7)$$

En égalant la puissance dissipée aux pertes diélectriques, la tension critique de rupture diélectrique thermique sera donnée par l'expression suivante:

$$U_c = 1,875 \cdot [\lambda_{th} \cdot (P_c \cdot \alpha \cdot e^{\alpha(\theta-\theta_0)})]^{1/2} \quad (II.8)$$

Avec:

$$P_c = \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \text{tg} \delta_0$$

## II.5 Influence de la barrière isolante sur la tension de décharge

### II.5.1 Influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'air

La tension de décharge passe par un maximum pour une position de la barrière à 20% de l'intervalle à partir de la pointe pour des largeurs définies. Cette augmentation est due à l'allongement du canal de la décharge [12]. L'amélioration de la rigidité diélectrique des intervalles d'air pointe-plan est due au fait que la barrière forme un obstacle géométrique à la décharge directe [12].

A partir des observations photographiques et de l'analyse des résultats expérimentaux, établit que la tension disruptive correspond à la longueur du canal de la décharge. Elle est approximativement égale à la tension disruptive de l'arrangement pointe-plan sans barrière ayant une distance entre électrodes égale à la longueur de la décharge dans l'intervalle avec barrière [12].

### II.5.2 Influence de l'épaisseur et de la permittivité

Ces deux paramètres ont une influence sur la distribution des porteurs de charges positifs et sur la chute de tension sur la surface de la barrière. Quand ces deux paramètres auront des valeurs importantes, le champ entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme, mais l'influence de ces paramètres est beaucoup moins importante par comparaison à l'effet de la largeur et de la position [12].

### II.5.3 Influence de la largeur

Quand la largeur de la barrière n'est pas aussi grande que la distance inter électrodes, la rigidité de l'arrangement pointe-barrière-plan dépend de la longueur du canal de la décharge. Cette longueur est approximativement égale à la distance pointe-bord de la barrière et barrière – plan.

Pour des petites largeurs, la décharge pourrait se faire de manière directe, par contre pour de grandes largeurs de la barrière devant la longueur de l'intervalle pointe-plan, la décharge se fait par étapes [12].

### II.5.4 Influence de la polarité de l'électrode pointe:

Avec la polarité négative, la décharge se déroule par étapes pour toutes les positions de la barrière et aucune augmentation de la tension disruptive n'a été obtenue. Pour ce cas, les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière isolante. L'amélioration n'a été



mentionnée que pour une polarité positive de la pointe. Pour la pointe sous tension alternative l'amélioration de la rigidité du système est réalisée pour des positions de la barrière entre 20% et 60 % de l'intervalle [12].

Sous des impulsions de choc l'amélioration de la rigidité est visible à une position de la barrière de 60% de la longueur de l'intervalle, mais pour des positions proches de l'une des électrodes la rigidité diminue [12].

### **II.5.5 Influence du matériau de la barrière:**

Dans un travail, a effectué des mesures des courants de décharges pour des Intervalles d'air avec différents matériaux de la barrière.

L'analyse des oscillogrammes a montré que chaque impulsion de courant a une structure complexe avec un caractère irrégulier. Ceci reflète le processus de décharge, c.à.d. que la décharge se fait sous forme de séries de micro impulsions consécutives en utilise la matière Plexiglas [13].

#### **a) Plexiglas**

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

##### **a).1 : caractéristique diélectriques :**

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

##### **a).2 : caractéristique mécanique :**

- ✓ Densité :  $1.18 \text{ G/Cm}^3$
- ✓ Absorption d'eau à saturation :  $0.3\%$
- ✓ Résistance à la traction :  $74 \text{ N/mm}^2$
- ✓ Résistance à la flexion :  $140 \text{ N/mm}^2$
- ✓ Résistance aux chocs :  $20 \text{ J/m}$

### **II.5.6 Influence de l'accumulation de la charge d'espace**

L'accumulation de la charge sur un isolant modifie la distribution du champ et les niveaux de tension de décharge. La modification du champ sur la surface peut mener aux décharges glissantes. Il est incontestablement important de comprendre l'influence de cette accumulation sur la distribution du champ dans les systèmes stratifiés (gaz-solide), comme

étant un paramètre fondamental pour établir une isolation meilleure. Les techniques optiques sont capables de visualiser et quantifier la charge déposée sur le diélectrique [14].

[14] a utilisé la méthode de simulation de charge pour le calcul de champ et de la tension disruptive, les résultats sont comparés à une base de données expérimentale obtenue, par Nakanishi et Al.

## II.6 Formes de décharge

La forme de décharge dépend essentiellement du rapport ( $2L/a_1$ )

Où

$2L$  est la largeur de la barrière, et  $a_1$  est la distance pointe-barrière.

Si  $2L/a_1 < 4$  La charge se fait de manière directe. Par contre pour  $2L > 4$  la décharge s'effectue par étape.

### II.6.1 Décharge directe

La décharge directe est une décharge qui suit le chemin le plus court entre la pointe et le plan en passant par le bord de la barrière [9]

L'amorçage se fait en une seule étape : de la pointe vers le plan. On distingue deux cas:

#### II.6.1.a La décharge perfore la barrière

La barrière est perforée lorsqu'elle est très large et assez mince proche de la pointe. Dans ce cas la décharge se prolonge comme dans le système sans barrière [9].

#### II.6.1.b La décharge contourne la barrière

Pour un système pointe -plan avec barrière, la décharge parte de la pointe suivant le trajet « pointe-bord de la barrière-plan » quand l'écran n'est pas suffisamment large. La décharge se voit dévié vers le bord de l'écran à cause de l'existence de force électrique répulsive.

L'existence d'une décharge directe pour des barrières relativement larges est liée sur tout à la polarité de la pointe aussi qu'à la présence de forces électrostatiques à la surface de séparation des deux diélectriques (air-barrière) [9].

### II.6.2 Décharge par étape

L'amorçage des systèmes pointe-barrière-plan avec une barrière très larges s'effectue en trois étapes :

- L'effet couronne suivi de la décharge pointe-barrière qui constitue la première étape de décharge.

- La deuxième étape est le contournement de la barrière par les décharges glissantes pour des tensions élevées.
- Finalement, la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan. C'est la troisième étape.

La photo (II.1) présente de décharges glissantes à 50Hz (a) et décharge par étape (b)



(a)



(b)

**Photo (II.1):** Décharges glissantes sur une barrière isolante [9]

(a) : présente de décharges glissantes à 50Hz

(b) : décharge par étape

## II.7 Conclusion

L'introduction d'une barrière isolante à surface propre entraîne une variation de la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan. Cette variation est influencée par des paramètres concernant la barrière (la forme, le nombre de barrières utilisées, ses dimensions,...). Elle est influencée aussi par la configuration de l'intervalle (la longueur de l'intervalle, la position de la barrière) ainsi que la pollution de l'air est l'humidité.

# chapitre III

Essai au laboratoire HT à l'université de Biskra

## **RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATIONS**

### **III.1 Introduction**

Nous présentons dans ce chapitre les techniques expérimentales réalisées au laboratoire de Haute Tension de l'université de Biskra, l'influence de la position d'une barrière isolante propre à différentes épaisseurs sur l'amorçage de l'intervalle d'air "pointe - plan" à fréquence industrielle. L'amorçage de l'intervalle pointe-plan sans barrière pour une distance de 5 cm.

### **III.2 Dispositif expérimental**

#### **III.2.1 Circuit d'essai du laboratoire de Haute tension (Université de Biskra)**

Les essais sont effectués dans le laboratoire de haute tension de l'université de Biskra. Ce laboratoire est constitué de deux sources de tensions:

- Une source de tension à fréquence industrielle 50Hz,
- un générateur de tension continue,

#### **III .2.1.1 Équipement de la station d'essai**

La station d'essai de notre laboratoire comprend les organes suivants :

- Un transformateur d'essai,
- un transformateur de réglage,
- des diviseurs de tension,
- un pupitre de commande et des appareils de mesure et de protection,
- un oscilloscope numérique.

#### **III.2.1.2 Transformateur d'essai**

Nous avons utilisé un transformateur d'essai conçu et isolé pour la génération de haute tension. Il a un rapport de transformation de 250V / 100kV, avec une puissance de 5 kVA.

Ce transformateur permet la variation de la haute tension au secondaire de 0 à pleine tension.

#### **III.2.1.3 Transformateur de réglage**

Nous permettons la variation de la tension aux bornes du transformateur d'essai. Son rapport de transformation est de 220V/250V.

#### **III.2.1.4 Oscilloscope numérique**

C'est un appareil qui permet de donner la forme de l'onde. Les phénomènes enregistrés. (Photo III.1).

### III.2.1.5 Pupitre de commande

Ce pupitre est alimenté sous une tension de 220V. Ce pupitre nous permettons la variation automatique de la tension d'essai. Photo(III.1).



**Photo III.1.** Photo du pupitre de commande et oscilloscope numérique du laboratoire de haute tension de l'université de Biskra.

### III.2.1.6 Appareils de mesure et de protection

L'alimentation du laboratoire se fait à partir d'un pupitre de commande situé dans le laboratoire, mais à l'extérieur de la plate-forme d'essai (la cage de faraday). Le transformateur de haute tension et son régulateur sont protégés indépendamment par un fusible et un relais thermique de 250A. Ces protections sont liées avec le circuit de la bobine du contacteur principal, ce qui donne une protection suffisante contre les surcharges du transformateur et les courants de court-circuit.

Pour les mesures de tension on a :

DSM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension alternatif.

DGM : un voltmètre numérique pour mesurer la tension continue.

- Un voltmètre et ampèremètre pour mesurer de la tension primaire au niveau du transformateur d'essai.

### III.2.1.7 Diviseur de tension

Il existe deux diviseurs de tension :

- Un diviseur de tension capacitif pour la mesure de la tension à fréquence industrielle.
- Un diviseur de tension résistif pour la mesure de la tension continue.

### III.2.1.8 Circuit d'essai à tension alternatif

Les générateurs de haute tension alternative à fréquence industrielle sont utilisés pour:

- Les essais à haute tension alternative (transformateurs haute tension).
- L'alimentation (transformateurs haute tension) des redresseurs à courant continu, des générateurs à circuit oscillant et des générateurs de choc.

La figure III.3 représente le circuit d'essai à tension alternatif réalisé au laboratoire de haute tension. La photo III.2 est celle du montage réalisé au laboratoire de haute tension.

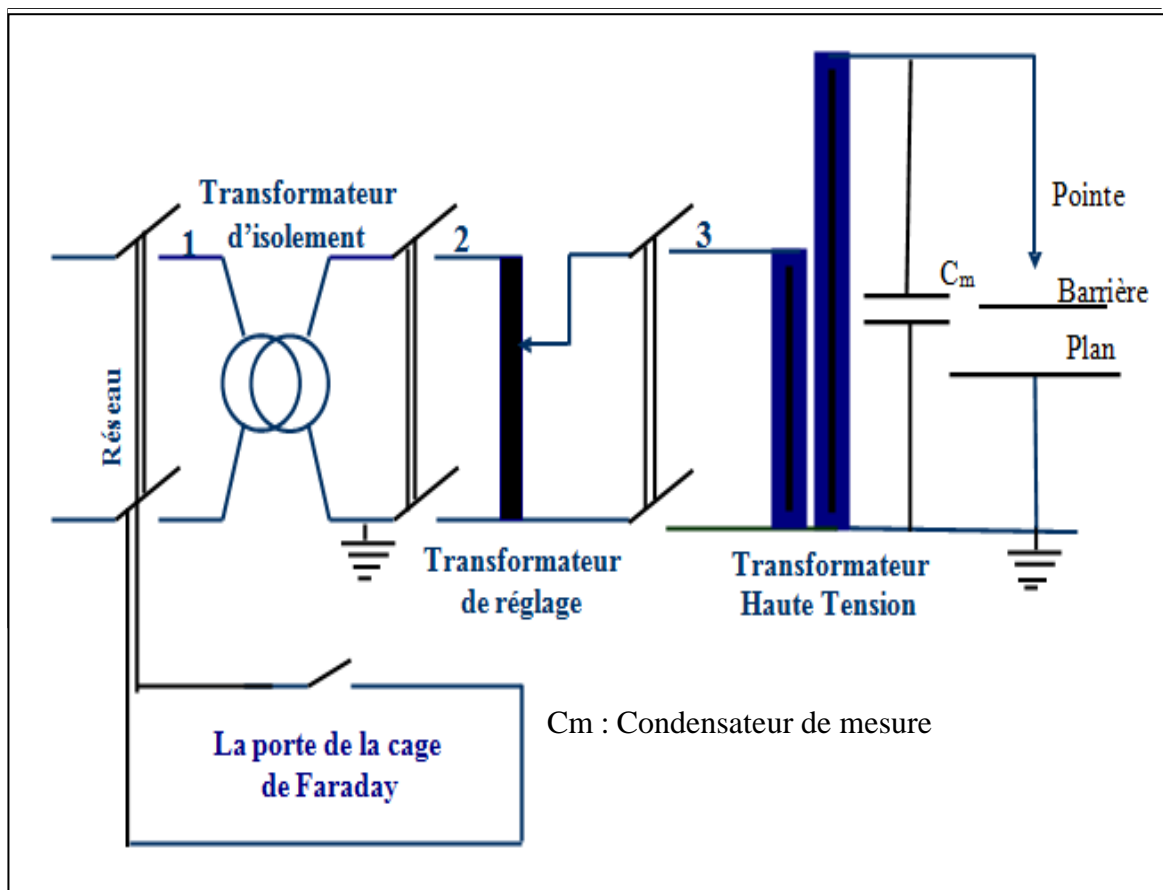


Figure III.1. Circuit d'essai réalisé à fréquence industrielle

$C_m$  : Condensateur de mesure.



**Photo III.2.** Photo du circuit d'essai à fréquence industrielle.

### **III.3 Objet d'essai**

L'isolateur est de type capot et tige. Ils sont constitués d'un bloc isolant portant à sa partie supérieure un capot scellé en fonte malléable et à l'intérieur une tige en acier, avec cannelures et dont la tête conique est également scellée dans le verre. L'extrémité inférieure de cette tige est arrondie et a les dimensions voulues pour pénétrer dans le capot de l'élément suivant, et y être maintenue par une goupille.

L'assemblage consiste à effectuer un scellement du capot et du diélectrique par du ciment, puis celui de la tige et du diélectrique.

#### **III.3.1 Préparation de l'isolateur**

Avant chaque essai, l'isolateur est bien nettoyé avec de l'eau distillée et séché en utilisant des serviettes en papier. Un deuxième nettoyage est effectué à l'aide d'un coton imbibé d'alcool chirurgical, afin d'assurer une propriété quasi-totale de l'isolateur.

#### **III.3.2 Arrangement "pointe-barrière-plan "**

Pour l'arrangement pointe-barrière-plan nous avons utilisé une pointe en cuivre de 30 cm de longueur, 2,8 cm de diamètre et à bout conique à 30°.

Des barrières en Plexiglas de 5, 10 et 20 cm de largeur et différentes épaisseurs (1 mm, 3 mm). Un plan en aluminium mis à la terre.



Pour faire changer la barrière pour plusieurs positions on a utilisé des supports en bakélite.

La figure (III.2) représente l'arrangement pointe-barrière-plan.

$a_1$  : distance pointe-barrière.

$d$  : distance pointe plan qui est fixée à 5 cm.

$d_{\text{géom.}}$  : La distance géométrique pointe-plan tels que :  $d_{\text{géom.}} = x + a_1$ .

On prend comme notation des différentes position de la barrière de la pointe ( $a_1/d$ ) en (%) qui prend les valeurs suivantes : 0% (0cm), 20% (1cm), 40% (2cm), 60% (3cm), 80% (4cm), 100% (5cm).

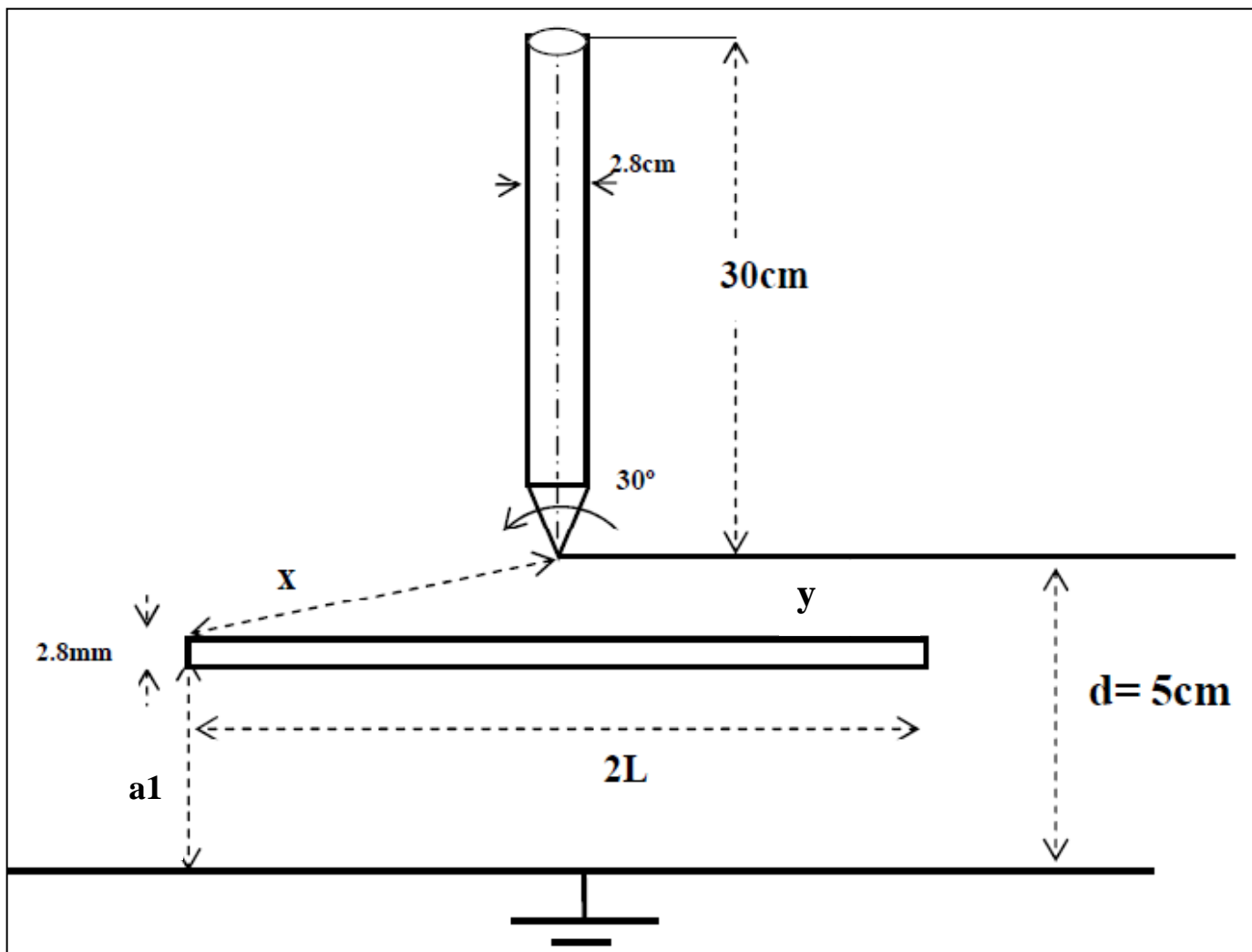


Figure III.2 Arrangement pointe-plan

### III.4 Résultats et interprétations

#### III.4.1 Essais sans barrière

Les essais de claquage effectués sont des essais préliminaires. Nous avons exploité ces résultats pour les comparer à ceux avec barrière pour voir l'influence des différents paramètres, sur la tension de claquage du système avec barrière. D'après la photo(III.3), la décharge est directe.



**Photo III.3.** Décharge directe sans barrière. Essai réalisé au laboratoire haute tension de l'université de Biskra.

#### III.4.2 Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive

Les positions de la barrière sont définies en fonction de la distance entre la pointe et la barrière. Cette distance prend différentes valeurs (de 0 jusqu'à 5) (cm) pour tous les essais.

Pour faire changer la position de la barrière on a utilisé des supports en bakélite.

On a réalisé (06) positions de la barrière vis-à-vis la pointe.

Les positions ( $p_0$ ) choisies sont:  $p_0 = (0\text{cm}; 1\text{ cm}; 2\text{ cm}; 3\text{ cm}; 4\text{ cm}; 5\text{ cm})$  .

Les barrières utilisées sont en plexiglas de largeur varié  $2L= (5, 10, 20\text{cm})$  et d'épaisseur  $e_p=1\text{mm}$  et  $e_p=2\text{mm}$  . Pour chaque position on a effectué quatre essais puis on a calculé la valeur moyenne pour avoir la tension mesurée.

Les figures (III.3.1 et III.3.2) représentent les variations de la tension disruptive moyenne en fonction de la position de la barrière ( $p_0$ ), pour différentes largeurs.(dans l'annexe on trouvera les tensions mesurées).

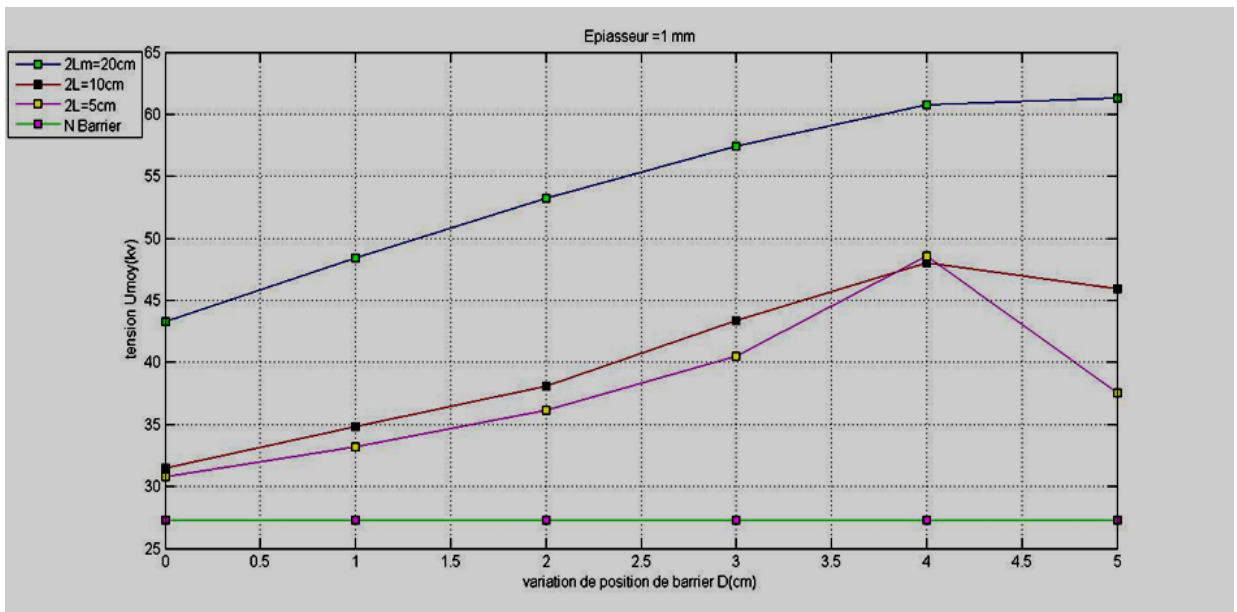


Figure III.3.1. Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive (épaisseur de barrière  $e_p=1\text{mm}$ )

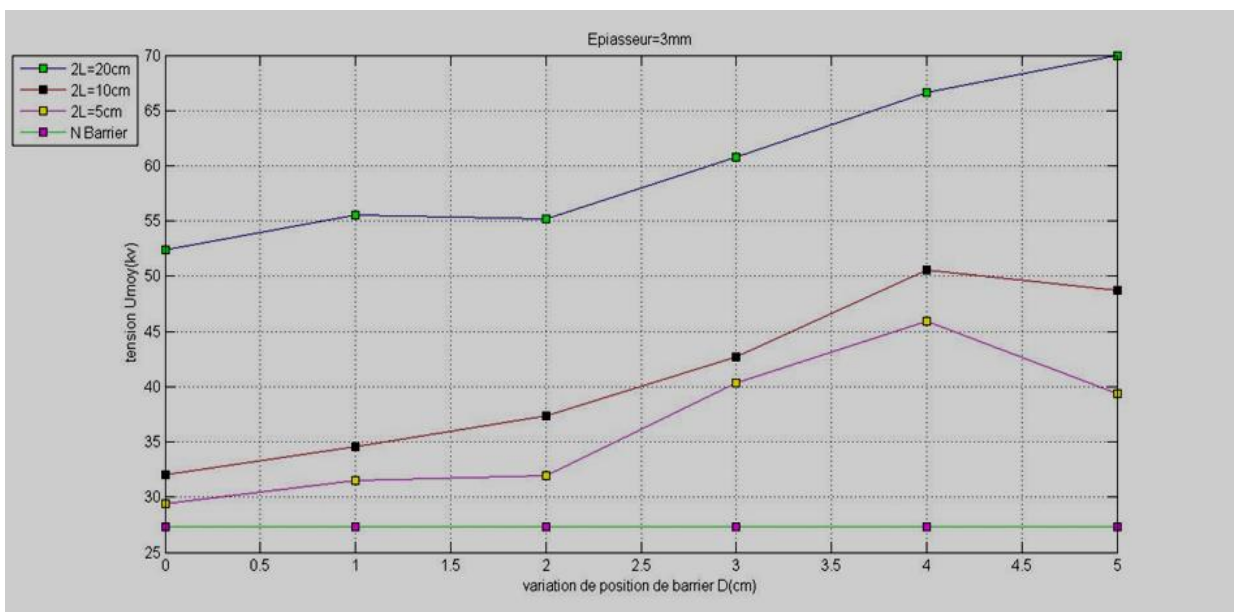


Figure III.3.2. Influence de la position de la barrière sur la tension disruptive (épaisseur de barrière  $e_p=3\text{mm}$ )

D'après ces courbes on peut remarquer que :

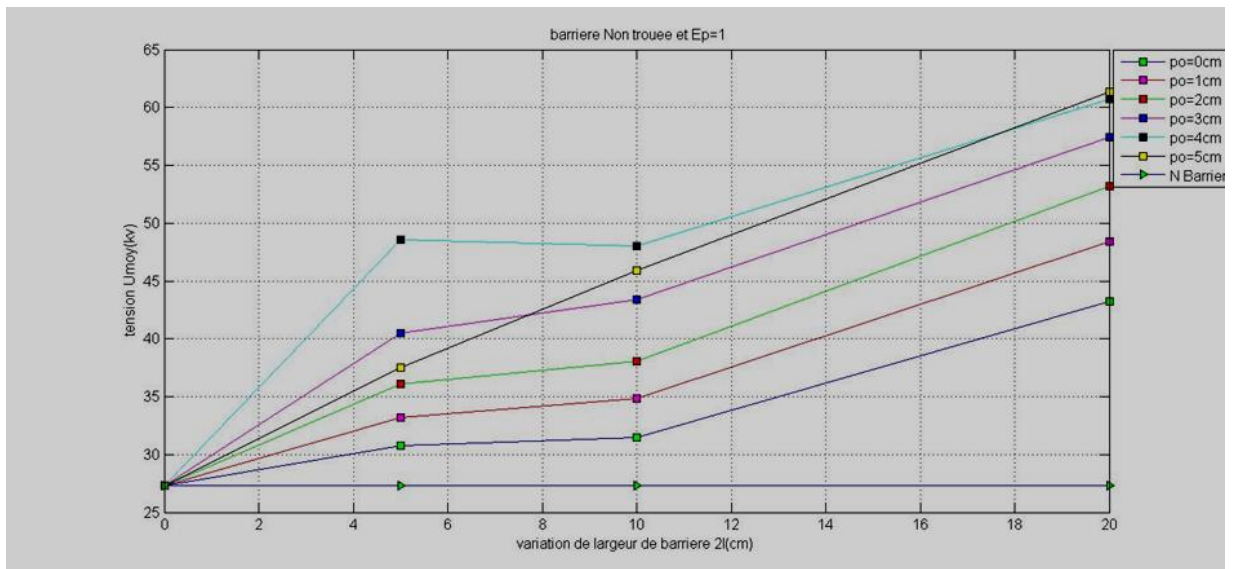
- La tension disruptive augmente fur à mesure que la barrière s'approche de la pointe.
- L'augmentation optimale de la tension disruptive est obtenue lorsque  $P_0=4\text{cm}$ .
- On voit clairement que lorsque la barrière s'éloigne de la pointe ( $P_0$  comprise entre 1cm et 5cm) la tension disruptive décroît de plus en plus quand  $a_1$  augmente : c'est-à-dire quand la barrière s'approche du plan et lorsqu'elle touche le plan son influence devient faible sur la tension disruptive

L'augmentation de la tension disruptive est liée surtout à l'allongement du canal de la décharge principale qui sera réduit quand la barrière s'approche du plan.

Après ces essais on peut affirmer que l'amélioration de la tension disruptive est importante quand la barrière est proche de la pointe.

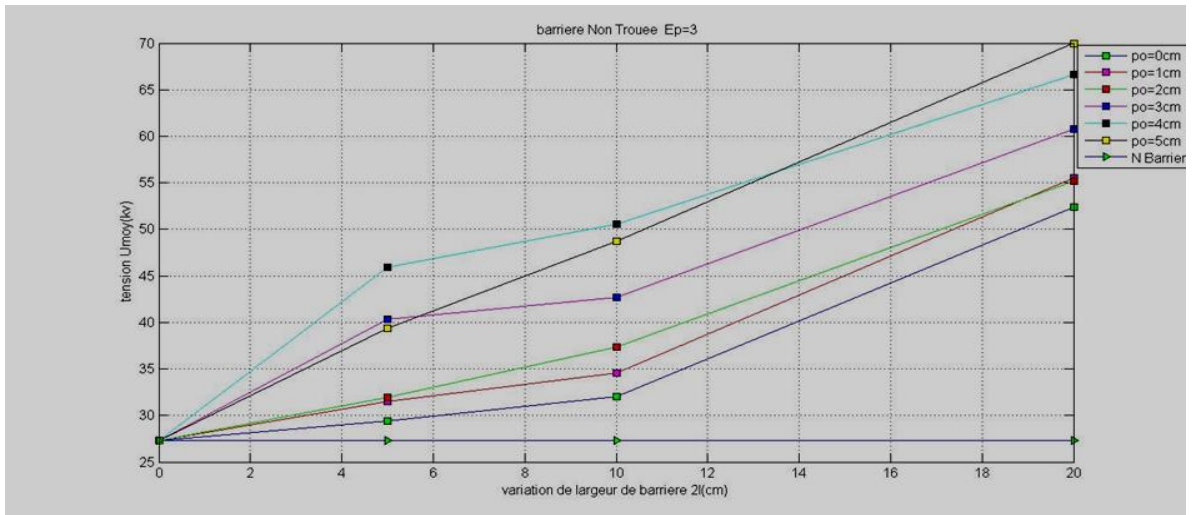
### III.4.3 Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive :

- a) Dans cet essai on a choisi des barrières en plexiglas avec différentes largeurs:  $2L=5\text{cm}$ ,  $2L=10\text{cm}$ ,  $2L=20\text{cm}$ . L'épaisseur des barrières  $e_p=1\text{mm}$  et  $e_p=3\text{mm}$ .



**Figure III.4.1.** Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive.

(épaisseur de barrière  $e_p=1\text{mm}$ )

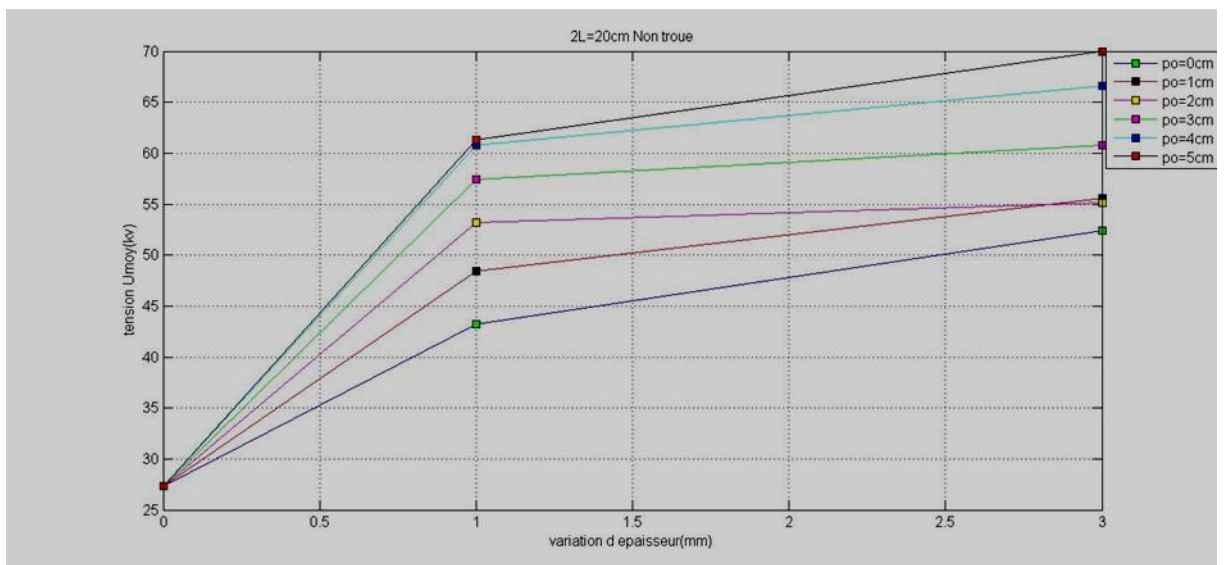


**Figure III.4.2.** Influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive.  
(épaisseur de barrière  $e_p=3mm$ )

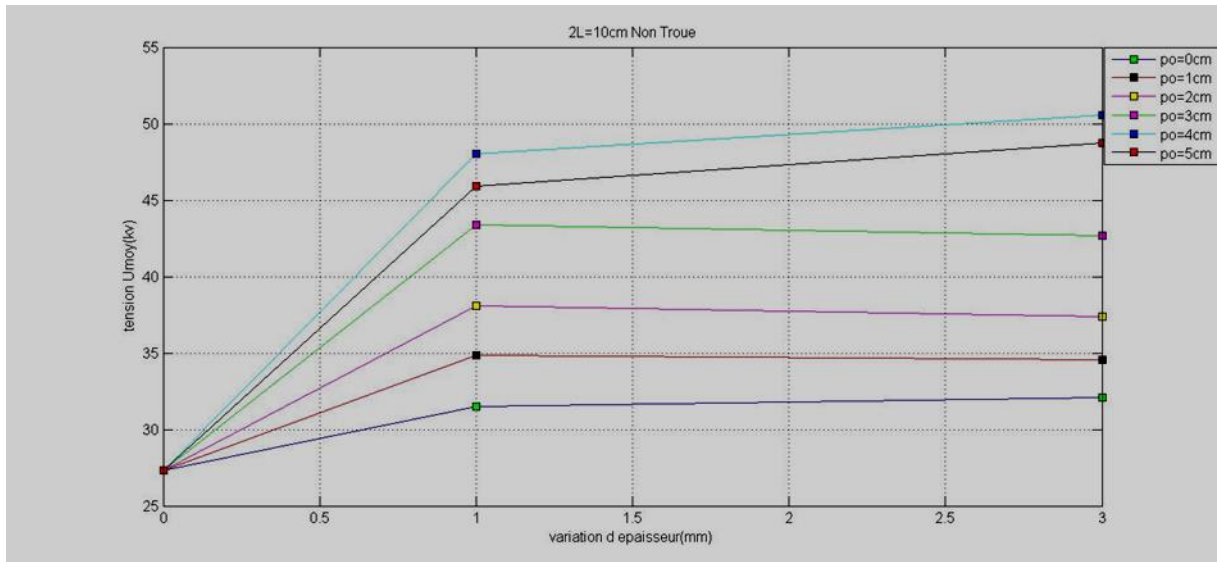
Nous observons sur les figures III.4.1 et III.4.2, que la tension de claquage augmente avec l'augmentation la largeur de la barrière. En effet, cette augmentation est due à l'augmentation de la longueur minimale de fuite de la décharge définie par la somme des distances pointe bord de la barrière, épaisseur de la barrière et distance entre la barrière et le plan.

#### III.4.4 Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive:

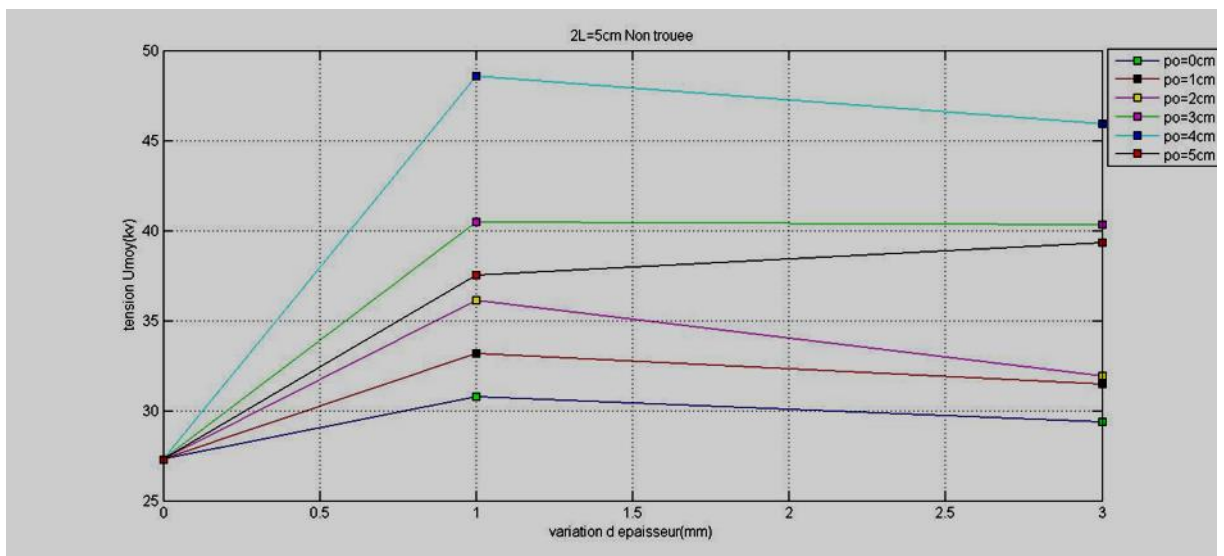
Ces essais sont réalisés en utilisant des barrières ayant différents épaisseur (1 et 3mm), pour différents distances inter électrodes variant de 0 à 5cm.



**Figure III.5.1** Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive.  
(la largeur de barrière  $2L=20cm$ )



**Figure III.5.2** Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive.  
(la largeur de barrière 2L=10cm)



**Figure III.5.3** Influence de l'épaisseur de la barrière sur la tension disruptive.  
(la largeur de barrière 2L=5cm)

Nous remarquons que la plupart des courbes montrées sur les figures (III.5.1, III.5.2 et III.5.3), que la tension de claquage augmente légèrement avec l'augmentation de l'épaisseur de la barrière.

Mais, cette augmentation est plus petite ; donc on peut dire que l'épaisseur n'a pratiquement qu'une légère influence.

### III.4.5 Influence de rayon des trous au milieu de la barrière sur la tension disruptive

Dans cette essai en crie des trous ou milieu de la barrière avec diamètre varie = (4, 8 et 12mm) et différentes de la largeur  $2L=5,10$  et  $20$ cm et l'épaisseur  $e_p=1,3$ mm

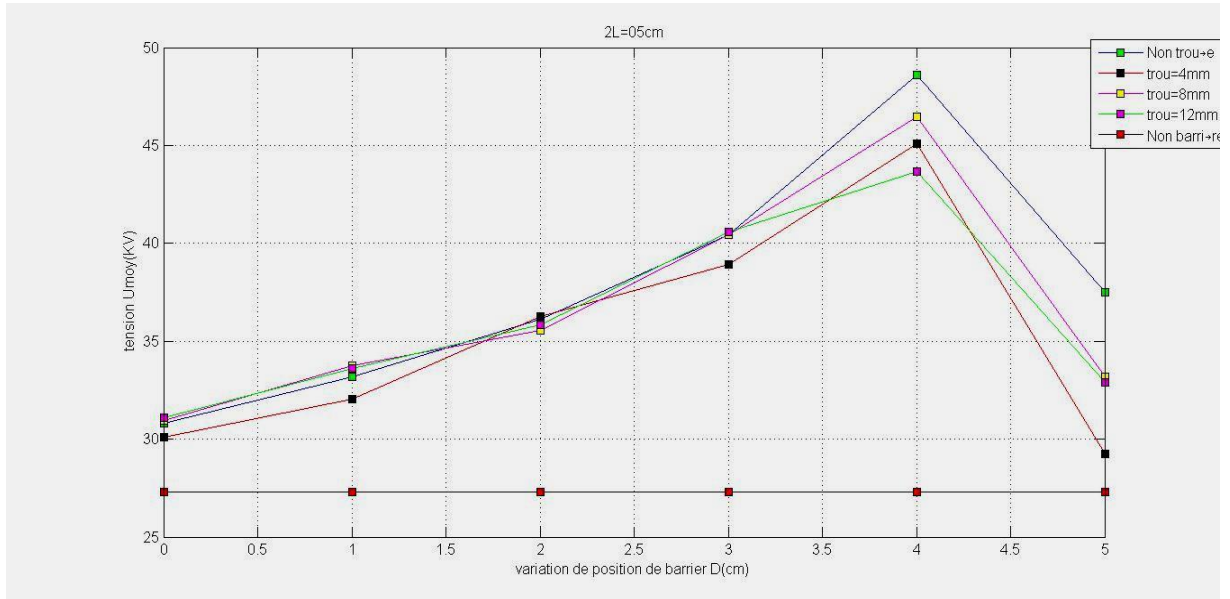


Figure III.6.1. influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=5$ cm et epiasseur  $e_p=1$ mm)

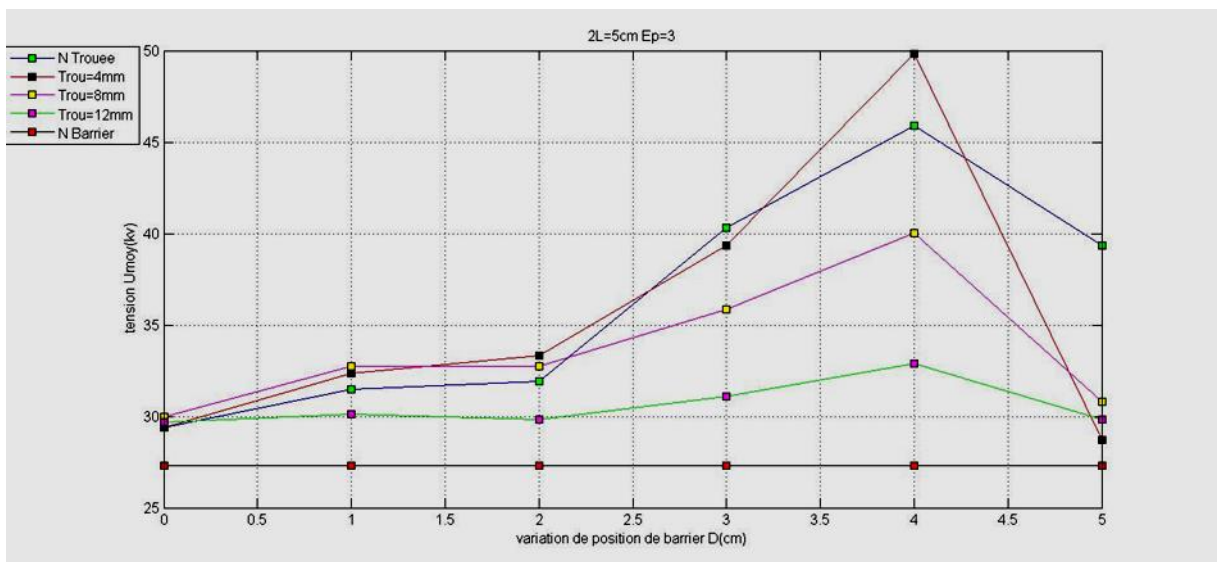


Figure III.6.2. influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=5$ cm et epiasseur  $e_p=3$ mm)

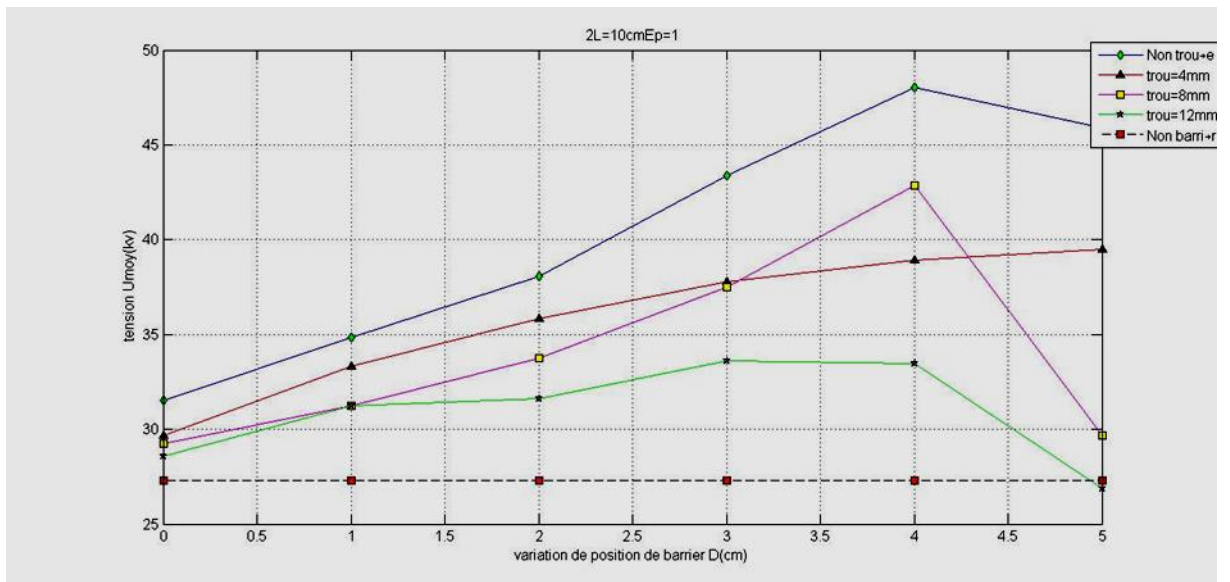


Figure III.6.3. influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=10\text{cm}$  et epaisseur  $e_p=1\text{mm}$ )

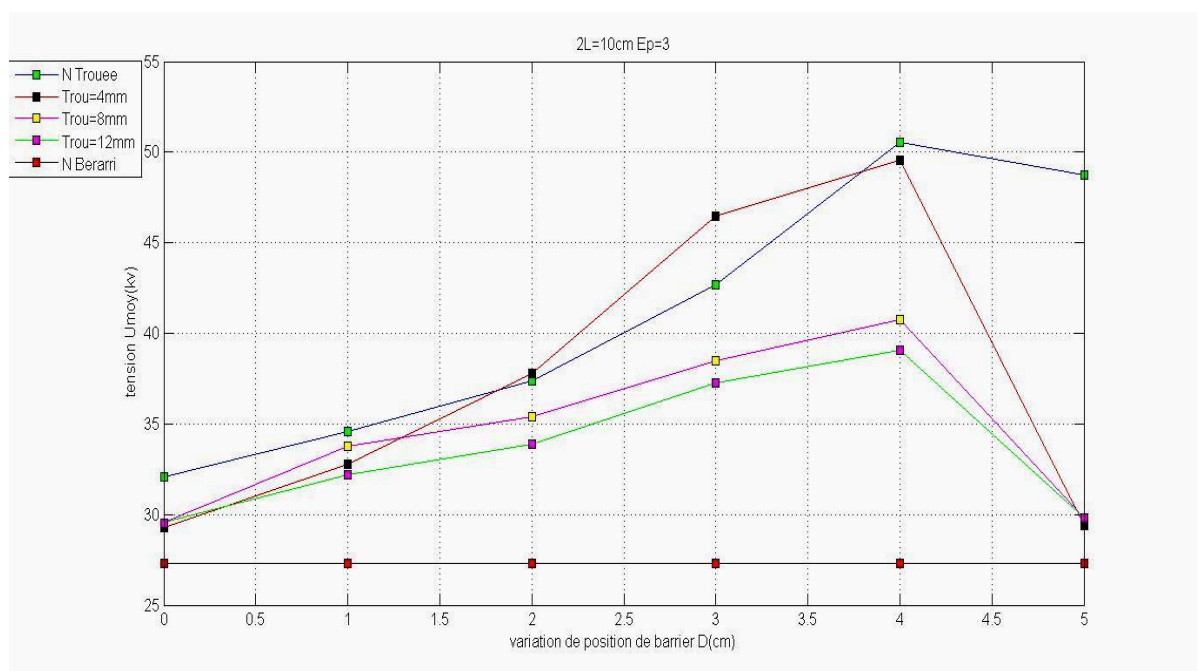


Figure III.6.4. influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=10\text{cm}$  et epaisseur  $e_p=3\text{mm}$ )



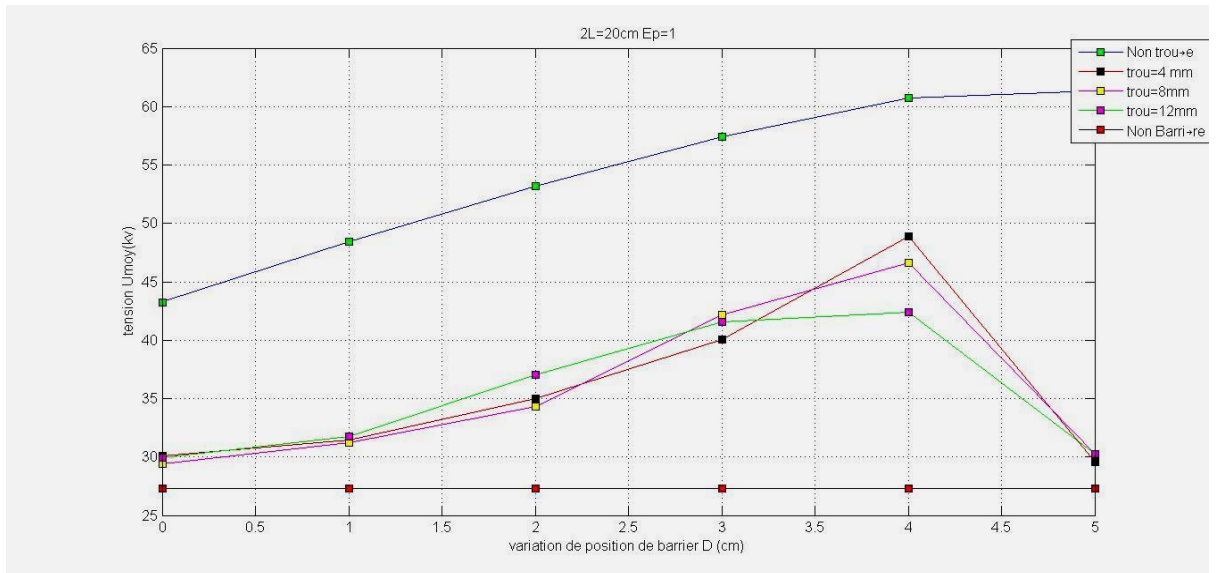


Figure III.6.5. . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=20\text{cm}$  et epaisseur  $e_p=1\text{mm}$ )

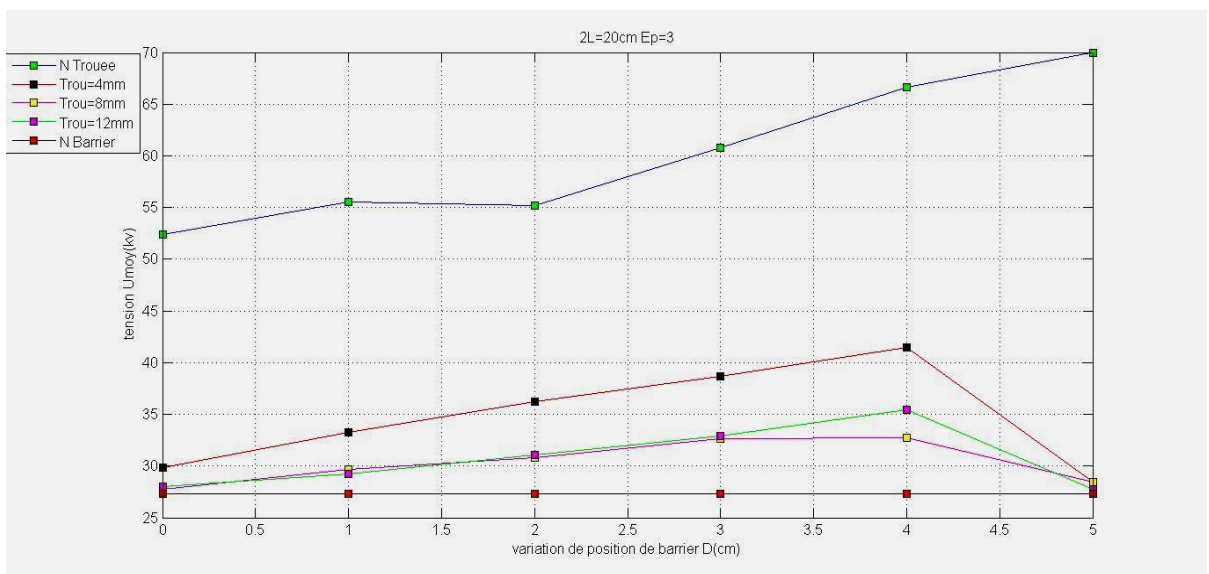


Figure III.6.6. . influence de position de barrière avec variation des trous sur la tension disruptive. (la largeur  $2L=20\text{cm}$  et epaisseur  $e_p=3\text{mm}$ )

**Remarque :**

Après les figures en trouve que la tension de claquage diminue avec l'augmentation la de diamètre rayons de la barrière.

Pour tous les barrières trouées, la tension de claquage augmente a partir de position  $p_o=0\text{cm}$  jusqu'à la position  $p_o=4\text{cm}$ .

Malgré que en varie la largeur et l'épaisseur de la barrière, en remarque que Si la pointe approche la barrière, la tension de claquage donné la même valeur des essais son barrière.

### **III.5 CONCLUSION**

A partir des résultats des essais on remarque que l'augmentation de la tension du claquage est dépend de:

- ✓ L'augmentation de la distance entre le cathode et la barrière.
- ✓ L'augmentation de la largeur de barrière.
- ✓ L'augmentation de l'épaisseur de la barrière.

Mais pour les barrières trouées (les défauts dans la barrière) on trouve que la tension du claquage se diminue avec l'augmentation du diamètre des trous des barrières, et si la barrière approche de la pointe, la tension de claquage sera du même valeur que celle des essais sans barrière.

# Conclusion générale

## CONCLUSION GENERAL

La recherche bibliographique répartie sur les deux premiers chapitres, nous a permis d'acquérir des connaissances sur les solides isolantes en général, et d'approfondir la compréhension des mécanismes conduisant aux claquages des diélectriques solides, ainsi que sur l'influence des barrières isolantes sur la tension de décharge disruptive dans les intervalles d'air.

Il ressort des différents résultats expérimentaux recueillis, les principales conclusions suivantes:

1- Dans les intervalles d'air « pointe– plan », pour une tension alternative à fréquence industrielle, la barrière isolante avec une surface propre joue en premier lieu le rôle d'obstacle géométrique provoquant l'allongement de la décharge disruptive et en conséquence l'augmentation de la tension disruptive.

2- L'efficacité de la barrière dépend principalement des positions entre l'électrode et le plan. Cependant, la caractéristique de la tension de claquage en fonction de la position de la barrière a une allure décroissante; elle a un maximum lorsque la barrière est placée au voisinage de l'électrode pointe. Cela est dû en fait que la barrière uniformise la distribution du champ électrique entre la barrière et le plan. D'autre part, la barrière joue le rôle d'obstacle géométrique à la décharge directe. En effet, nous avons observé expérimentalement qu'en présence d'une barrière isolante, la décharge se propage de la pointe vers le bord de la barrière, et en suite vers l'électrode plane.

3- L'efficacité de la barrière dépend aussi de ses dimensions (épaisseurs). Les résultats présentés dans le chapitre III montrent que plus l'épaisseur de la barrière n'est grande, plus le système d'isolation n'est rigide. Cependant nous avons trouvé que l'épaisseur n'a pratiquement qu'une légère influence.

4- après les mesures effectuées pour les barrières trouées on a trouvé que la tension de claquage diminue avec l'augmentation du diamètre des trous de la barrière; donc la possibilité de trouver des défauts dans la barrière change les résultats.

Annexe

## Annexe

$U_{mi}$ : la tension de décharge mesurée pour un système pointe-plan sans barrière avec  $d=5\text{cm}$

$U_{dsbn}$ : la tension de décharge normalisée pour un système pointe-plan sans barrière.

$$U_{dsbn}=27.3\text{kV}$$

$U_{moy}$ : la tension de décharge moyenne de la configuration pointe-barrière-plan. On a effectué 4 essais pour chaque manipulation ( $U_{mi}$ ) puis on a calculé la moyenne :

$$U_{moy} = (U_{m1} + U_{m2} + U_{m3} + U_{m4}) / 4.$$

$2L$ : la largeur de la barrière.

N B: essais sans barrière.

### I.1 Tension à fréquence industrielle :

$U_{m1}$	$U_{m2}$	$U_{m3}$	$U_{m4}$	$U_{moy}$
28	26.88	26.88	27.44	27.3

### I.2-Essaie avec barrière non trouée et épaisseur $e_p=1\text{mm}$ :

$2L$	$U_{dsbn}$	$U_{moy}$		
	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	30.8	31.5	43.26
1 cm	27.3	33.18	34.86	48.44
2 cm	27.3	36.12	38.08	53.2
3 cm	27.3	40.46	43.4	57.4
4 cm	27.3	48.58	48.02	60.76
5 cm	27.3	37.52	45.92	61.32

## [Annexe]

---

### I.3-Essais de Barrière avec troue de 4mm et épaisseur $e_p=1\text{mm}$ :

	$U_{dsbn}$	$U_{moy}$		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	30.1	29.68	30.1
1 cm	27.3	32.06	33.32	31.36
2 cm	27.3	36.26	35.84	34.58
3 cm	27.3	38.92	37.8	40.04
4 cm	27.3	45.08	38.92	48.86
5 cm	27.3	29.26	39.48	29.54

### I.4-Essais de Barrière avec troue de 8mm et épaisseur $e_p=1\text{mm}$ :

	$U_{dsbn}$	$U_{moy}$		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	30.94	29.26	29.4
1 cm	27.3	33.74	31.22	31.22
2 cm	27.3	35.56	33.74	34.31
3 cm	27.3	40.46	37.52	42.14
4 cm	27.3	46.46	42.84	46.62
5 cm	27.3	33.20	29.68	30.24

## [Annexe]

---

### I.5-Essais de barrière avec troue de 12mm et épaisseur $e_p=1\text{mm}$ :

	$U_{dsbn}$	Umoy		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	31.08	28.56	29.96
1 cm	27.3	33.6	31.22	31.78
2 cm	27.3	35.84	31.64	37.07
3 cm	27.3	40.6	33.6	41.58
4 cm	27.3	43.68	33.46	42.42
5 cm	27.3	32.9	26.88	30.24

### I.6-Essais de Barrières non trouée et épaisseur $e_p=3\text{mm}$ :

	$U_{dsbn}$	Umoy		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	29.4	32.06	52.36
1 cm	27.3	31.5	34.58	55.58
2 cm	27.3	31.92	37.38	55.16
3 cm	27.3	40.32	42.7	60.76
4 cm	27.3	45.92	50.54	66.64
5 cm	27.3	39.34	48.72	70



[Annexe]

---

**I.7-Essais de barrière avec troue de 4mm et épaisseur  $e_p=3\text{mm}$  :**

	$U_{dsbn}$	$U_{moy}$		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	29.4	29.26	29.82
1 cm	27.3	32.34	32.76	33.25
2 cm	27.3	33.32	37.8	36.26
3 cm	27.3	39.34	46.48	38.64
4 cm	27.3	49.84	49.56	41.44
5 cm	27.3	28.7	29.4	28.42

**I.8-Essais de barrière avec troue de 8mm et épaisseur  $e_p=3\text{mm}$  :**

	$U_{dsbn}$	$U_{moy}$		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	29.96	29.54	27.72
1 cm	27.3	32.76	33.74	29.68
2 cm	27.3	32.76	35.42	30.8
3 cm	27.3	35.84	38.5	32.62
4 cm	27.3	40.04	40.74	32.76
5 cm	27.3	30.8	29.82	28.42

## [Annexe]

---

### I.9-Essais de barrière avec trou de 12mm et épaisseur $e_p=3\text{mm}$ :

	$U_{dsbn}$	Umoy		
2L	N B	5 cm	10 cm	20 cm
0 cm	27.3	29.68	29.54	28
1 cm	27.3	30.1	32.2	29.26
2 cm	27.3	29.82	33.88	31.08
3 cm	27.3	31.08	37.24	32.9
4 cm	27.3	32.9	39.06	35.42
5 cm	27.3	29.82	29.82	27.72

# Références

# *References*

- [1] **A.Bérroual and A.Boubakeur**, " Influence of Barriers on the Lightning and Switching impulse strength of Mean Air gaps in point/plane Arrangements." , IEEE Transactions on Electrical Insulation. Vol. 26 No. 6, December 1991.
- [2] **G. Le Roy, C. Gray, B. Hutzler, J. Lalot, ChDubanton** , " les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tension". Edition eyrolles, Paris 1984.
- [3] **A.Boubakeur**, " FOUORE – zone d'attraction d'un paratonnerre – ", support pour conférence, Alger, 2004.
- [4] **J.Arianer** "les processus d'ionisation ". Cours université Paris sud .2004.
- [5] **J.R LUCAS** "high voltage engineering ".2001.
- [6] [www.ens-lyon.fr/dsm/magistere/projets-biblio/2003/Iblaise-\memoire.html](http://www.ens-lyon.fr/dsm/magistere/projets-biblio/2003/Iblaise-\memoire.html), Site web
- [7] **A.Samuila, L.Dasalescu et R.Tabazeon**, "breakdown of ionized air gaps in the presence of spherical conductive particle " Graz 1995.
- [8] **Z.You-Bin** "the influence of the electrode material of rod-rod cap with tip on its DC breakdown voltage" Graz 1995.
- [9] **A.Boubakeur**, "Influence d'une barrière isolante sur la rigidité des intervalles d'air Pointe-Plan à 50Hz". Laboratoire de haute tension ENP.
- [10] **M. Auguet, M. Ianoz** " Traité d'électricité ". Haute tension Volume XX II.
- [11] **A.Boubakeur**, "Mécanismes de rupture des isolants solides. Laboratoire de Haute Tension, E.N.P 1999.
- [12] **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.

## Références

---

[13] **M.V. Socolova, A.N.Zhukov**, " influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap " , session 2899 , 9<sup>th</sup> ISH,Graz 1995,pp.1-4.

[14] **S. Chakravorti, M.C. Siddagangapa**, " effect of charge accumulation on the electricfield distribution along spacer surfaces " , session 8352, 9<sup>th</sup> ISH,Graz 1995 , pp.1-4.

## Résumé

L'objectif de notre travail est d'étudier l'influence des barrières sur la rigidité diélectrique par rapport la tension de décharge disruptive des intervalles d'air, sous tension alternative à fréquence industrielle, dans un système d'électrodes pointe – plan. En effet, des associations de diélectriques isolants solide et gazeux formant des isolations composites. Il est donc nécessaire d'étudier le comportement des caractéristiques électriques et diélectriques. Nous montrons que l'efficacité de la barrière dépend principalement de sa position et de ses dimensions, Cependant nous avons trouvé que l'épaisseur n'a pratiquement qu'une légère influence. Par contre, les résultats des essais sur les barrières trouées donne que la tension de claquage diminue avec l'augmentation du diamètre de rayons de la barrière.

**Mots clés :** barrières isolantes, la rigidité diélectrique, intervalles d'air, système d'électrodes pointe – plan, barrière trouée.

## Abstract

The objective of our work is to study the influence of barriers on the dielectric rigidity by relatively the disruptive discharge voltage of the air intervals under alternative voltage using industrial frequency in points- plan system electrodes. Certainly, the combination of solids and gaseous dielectrics insulators forms a composite insulation. It is important to study the electric and dielectric characteristics. We show that the efficiency of the barrier depends mainly on its position and on its dimensions; however we found that the thickness has practically a weakly influence. On the other hand, the result of tests on the pierced barriers shows that the breakdown voltage decreases with the increase of plan diameter.

**Key words:** Insulating barriers, dielectric rigidity, discharge, air intervals, point-plan electrodes system, pierced barriers.

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الحواجز على شدة العزل الكهربائي بدلالة زياد توتر التفريغ (الصاعقة) بزيادة شدة التيار (التور العالي 50KHZ) في نظام نتوء- مسوى في وسط عازل (الهواء) ولذا فإن من الضروري دراسة الخصائص الكهربائية (الناقلية - العزل الكهربائي) للهواء و الحاجز. ولقد تبين لنا من خلال الجارب أن كفاءة الجدار العازل تعتمد أساسا على موضعها بين القطبين و أبعادها , ومع ذلك وجدنا أن سمك الجدار العازل عمليا ليس له أثر كبير. ومن ناحية أخرى، وجدنا أن ناتج التحارب على الحواجز المتقوية تبين تراجع في قيمة توار التفريغ بزيادة قطر الثقب في وسط الحاجز