

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE EN
ELECTROTECHNIQUE**

OPTION : MACHINES ELECTRIQUES

THEME

**Influence d'une barrière diélectrique sur la
rigidité diélectrique de l'air**

Proposé par :

M^f. MOUDOUD Mustapha.

Réalisé par :

M^{elle}. FALI Ouardia

M^{elle}. AIDENE Fatiha

PROMOTION: 2011/2012

Remerciements

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la volonté, la santé et la patience.

Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à M^r. MOUDOUD Mustapha de nous avoir proposé ce sujet et de nous avoir aidé et orienté tout le long de la réalisation de ce mémoire, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude. Nous tenons également à remercier vivement tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à accomplir ce travail. Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'Electrotechnique qui ont contribué à notre formation, nos sincères remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis pour leur soutien moral et matériel...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A tous ceux qui me sont **chers***

*A mes très chers **parents***

*A ma **grand-mère**.*

*A mes très chers **frères**.*

*A mes très chères **sœurs**.*

*A mes très chers **neveux et nièces**.*

*A ma **famille**.*

*A mon **binôme***

*A mes très chers **amis**.*

AIDENE Fatiha

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A tous ceux qui me sont **chers***

*A mes très chers **parents***

*A mes très chers **frères**.*

*A ma très chère **sœur**.*

*A mes très chers **neveux et nièce**.*

*A ma **famille**.*

*A mon **binôme***

*A mes très chers **amis**.*

FALI Ouardia

Introduction générale	1
Chapitre I : généralités sur les décharges dans l'air	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique.....	3
I.3. définition.....	3
I.4. Sources des électrons germes.....	4
I.5. Mécanismes de décharge électrique.....	4
I.5.1. Mécanisme de Townsend.....	5
I.5.2. Mécanismes du canal (Streamer).....	8
I.6. Influence de la polarité de la tension appliquée.....	11
I.6.1. Décharges pointe positive-plan.....	12
I.6.2. Décharges pointe négative-plan.....	12
I.6.3. Décharges sous tension alternative.....	12
I.7. Effet de couronne.....	13
I.8. Conclusion.....	15
Chapitre II : généralités sur les décharges à barrières diélectriques	
II.1. Introduction.....	17
II.2. Généralités sur les plasmas.....	17
II.2.1. Introduction.....	17
II.2.2. Définition.....	17
II.2.3. Les processus physico-chimiques internes.....	17
II.2.4. Paramètres caractéristiques d'un plasma.....	19
II.2.5. Classification des plasmas.....	20

II.3. Généralités sur les décharges à barrière diélectrique	21
II.3.1. Introduction.....	21
II.3.2. Définition.....	21
II.3.3. Principe de la décharge à barrière diélectrique.....	21
II.3.4. Les différents régimes des décharges à barrière diélectrique.....	22
a. Décharges à barrière diélectrique volumique.....	22
b. Décharge à barrière diélectrique surfacique.....	25
II.3.5. Paramètres influençant la DBD.....	26
a. Influence de la DBD.....	26
b. Influence de l'épaisseur de la barrière et de la permittivité.....	26
c. Influence de la largeur de la barrière.....	26
d. Influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'aire.....	27
e. Influence de la pollution.....	27
f. Influence de l'état de surface	27
g. Influence de la construction de la triple jonction.....	27
h. Influence des paramètres atmosphériques.....	28
i. Influence de la polarité de l'électrode pointe.....	28
II.3.6. Homogénéité et non homogénéité de la décharge.....	29
a. Les décharges homogènes.....	29
b. Les décharges non homogènes.....	29
II.4. Les applications les plus courantes des décharges à barrière diélectrique.....	30
II.4.1. Introduction.....	30
II.4.2. Production et utilisation d'ozone.....	30
II.4.3. Dépollution traitement des déchets.....	33
II.4.4. Métallurgie.....	34
II.4.5. Catalyse de réactions chimiques.....	35
II.4.6. Dépôts et gravure.....	35
II.4.7. Ecrans à plasma.....	36
II.4.8. Excilampes.....	37
II.5. Conclusion.....	37

Chapitre III : partie expérimentale et discussion

III.1. Introduction.....	39
III.2. Montage expérimental.....	39
III.3. Partie expérimentale.....	42
III.3.1. Décharge dans l'air.....	42
III.3.2. décharge avec barrière diélectrique.....	44
III.3.3. Décharge avec barrière diélectrique flottante	45
III.4. Résultats expérimentaux et discussion.....	46
III.4.1. Décharge dans l'air.....	46
III.4.2. Décharge avec barrière diélectrique $g=0$	47
III.4.3. Barrière flottante $g \neq 0$	55
Conclusion générale.....	63

Bibliographie

Résumé

De nombreuses études expérimentales et numériques ont été consacrées à la décharge avec barrière diélectrique dans l'air, et aucun des modèles mathématiques n'a été proposé. Comme ils dépendent de plusieurs paramètres, il est difficile de trouver une formule qui tient compte de nombreux facteurs.

Notre travail porte sur l'étude de l'influence d'une barrière diélectrique sur la tension de claquage et cela en fonction de plusieurs paramètres tels que:

- ❖ La distance interélectrodes.*
- ❖ Le diamètre de la barrière.*
- ❖ La nature du matériau (de la barrière).*
- ❖ La position de la barrière dans l'intervalle d'air (barrière flottante).*

Introduction :

Les décharges à barrières diélectriques ont fait l'objet de nombreuses études par le passé [1-8], mais l'élargissement de leur champ d'application dans l'industrie à suscité un regain d'intérêt notamment dans la production d'ozone à des fins diverses tels que le traitement de surface, dépollution de l'eau...etc.

Dans des conditions atmosphériques données, le claquage de l'air dépend de plusieurs paramètres dont la tension appliquée, la distance interélectrodes, la forme des électrodes, la configuration de ces dernières...etc. Afin d'améliorer la tenue d'un intervalle d'air, une barrière diélectrique a été introduite dans cet intervalle.

Notre mémoire porte sur l'influence d'une barrière diélectrique sur la rigidité diélectrique de l'air. Des travaux ont déjà été publiés sur ce sujet [1-4], c'est pourquoi nous avons commencés par présenter une étude bibliographique afin de rappeler les phénomènes qui se produisent lors de ces décharges, et faire le point sur l'avancement des recherches dans ce domaine.

La partie expérimentale a été consacrée à l'étude de l'influence d'une barrière diélectrique sur la rigidité diélectrique de faibles intervalles d'air. Un dispositif expérimental a été réalisé dans ce sens afin d'observer la tension de claquage en fonction de plusieurs paramètres dont:

- La distance interélectrodes.
- Le diamètre de la barrière.
- La nature du matériau (de la barrière).
- La position de la barrière dans l'intervalle d'air (barrière flottante).

I.1. Introduction :

L'étude et la compréhension des phénomènes physiques intervenants lors des décharges électriques présente de l'intérêt d'un point de vue industriel, elle permet de faire face aux problèmes liés à l'isolation et à la protection des réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique (lignes haute tension, transformateurs, appareils de coupures...etc.)

I.2. Historique :

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII^e siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs des orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis à 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 luminescentes en utilisant des tubes contenant des gaz à une pression de l'ordre de 100 Pa sous 1000 V. Par la suite, à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e 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 Crooke et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge et la mesure du rapport e/m (e : la charge d'un électron et m : masse d'un électron).

Vers 1900, un élève de Thomson, Townsend, réalisa la première modélisation d'une décharge, correspondant au cas de la décharge luminescente en champ uniforme. Langmuir travailla aussi sur les décharges et introduisit le concept de plasma. Au cours du XX^e siècle on passa à l'exploration des décharges en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges [3].

I.3. Définition :

Sous l'action d'un champ électrique suffisamment grand entre deux électrodes placées dans un gaz, ce dernier peut s'ioniser et laisser passer un courant; c'est ce qu'on appelle décharge électrique.

Pour que l'initiation de la décharge se produise, il faut qu'au moins une particule chargée dite particule germe, généralement un électron, soit présent dans ce gaz. Dès lors que

cet électron est créé, il est accéléré par le champ électrique appliqué, qui peut être continu, alternatif, ou impulsionnel [1].

I.4. Sources des électrons germes:

La décharge électrique s'établissant dans un espace gazeux soumis à un potentiel, nécessite la présence de charges libres dans le milieu : électrons germes. Ces électrons libres présents dans le milieu gazeux, gagneront de l'énergie sous l'action du champ électrique externe et en perdent sous l'effet des collisions élastiques et inélastiques avec les particules présentes dans le gaz.

Nous allons maintenant donner quelques indications sur les sources possibles d'électrons germes, nécessaires à l'amorçage de notre décharge.

a. Rayonnement cosmiques ou radioactivité naturelle :

Sous l'effet de l'irradiation par rayonnements cosmiques ou par les processus de radioactivité naturelle, 7 à 20 électrons par cm^3/sec sont produits dans l'air à la pression atmosphérique.

b. Détachement d'électrons des ions négatifs :

C'est le processus principal de production d'électrons à partir d'ions négatifs. Ces derniers peuvent préexister dans l'espace inter-électrodes, c'est le cas de la présence des impuretés telles que O_2 ou H_2O et les pourvoyeurs principaux en électrons germes seront les ions négatifs $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$ ou $\text{H}_2\text{O}^-(\text{H}_2\text{O})_n$ liés aux impuretés.

c. Contribution de la cathode :

Dans le cas d'une configuration pointe positive-plan négatif, la cathode est généralement des cas, une source d'électrons germes peu efficace, parce qu'elle est d'une part soumise à un champ électrique faible et d'autre part située à une distance importante de la zone de décharge [5].

I.5. Mécanismes de décharge électrique :

La décharge ou le claquage électrique se produit suivant deux mécanismes : le mécanisme de Townsend ou le mécanisme du canal (Streamer en anglo-saxon) et cela en fonction de plusieurs paramètres tels que la distribution du champ électrique entre les électrodes, l'intensité de ce champ, la forme de la tension appliquée, le taux d'humidité, ... etc. [6].

I.5.1. Mécanisme de Townsend :

La théorie de Townsend est basée sur la multiplication électronique par ionisation du gaz.

Sous l'effet d'un champ électrique homogène (uniforme), un ou plusieurs électrons germe placés entre deux électrodes peuvent acquérir une énergie suffisante pour ioniser les molécules rencontrées au cours de leur trajet vers l'anode, cette énergie acquise dépend non seulement du champ électrique appliqué mais aussi du **libre parcours moyen** qui est la distance moyenne que peut parcourir un électron entre deux chocs successifs [7].

Lors de chaque collision ionisante, il se forme un ion positif et un électron nouveau ; c'est ce que traduit l'expression suivante [7] :



Les deux électrons obtenus par ionisation sont alors accélérés par le champ électrique et peuvent à leur tour ioniser de nouvelles molécules. **Townsend** a proposé en 1914 d'introduire un coefficient d'ionisation α (appelé premier coefficient de Townsend) pour traduire mathématiquement ce phénomène d'ionisation. Son inverse $1/\alpha$ représente le libre parcours moyen. L'apparition d'un électron primaire au niveau de la cathode se traduit par l'arrivée de $e^{\alpha d}$ électrons au niveau de l'anode. Ce processus est appelé « avalanche électronique ». La relation de Townsend s'écrit alors :

$$I = I_0 \cdot e^{\alpha d} \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

I : courant (A).

I_0 : courant initial dû aux électrons primaires (A).

d : distance inter électrode (m).

α : premier coefficient de Townsend (1/m).

L'étude expérimentale du courant I en fonction de la distance d effectuée par Townsend, montre que ce courant augmente plus rapidement que celui donné par la relation (I.2) ; comme le montre la figure ci-dessous [2]

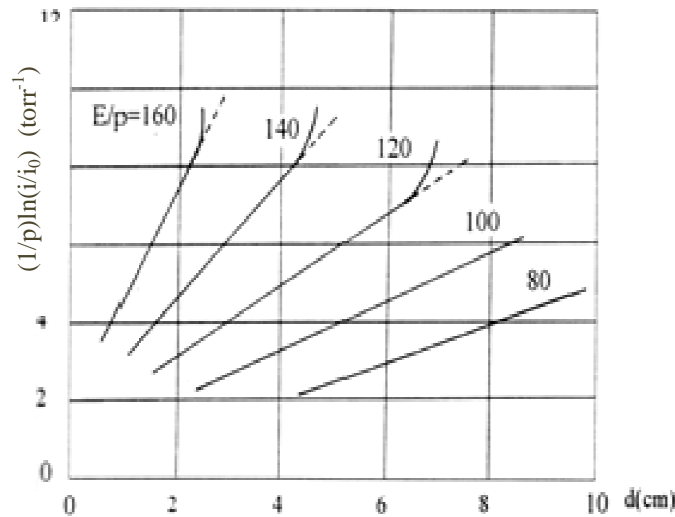


Figure I.1 : Evolution de $(1/p)\ln(i/i_0)$ avec la distance interélectrodes à différentes valeurs de E/p dans l'air. Loeb 1965

Le coefficient α est obtenu par la mesure de la pente des caractéristiques $\ln(i/i_0)$ en fonction de la distance interélectrodes d (fig.I.1). On se rend compte que dans certaines conditions, le courant augmente plus rapidement que ne le prévoit l'expression (I.2). C'est le cas pour des valeurs élevées du champ électrique. Ceci montre l'existence d'autres processus d'ionisation que celui dû aux impacts électronique. La figure I.1 montre qu'au-delà du coude, l'explication du phénomène par le seul coefficient de Townsend est impossible. Ce coude représente aussi le passage du régime de décharge non autonome au régime autonome.

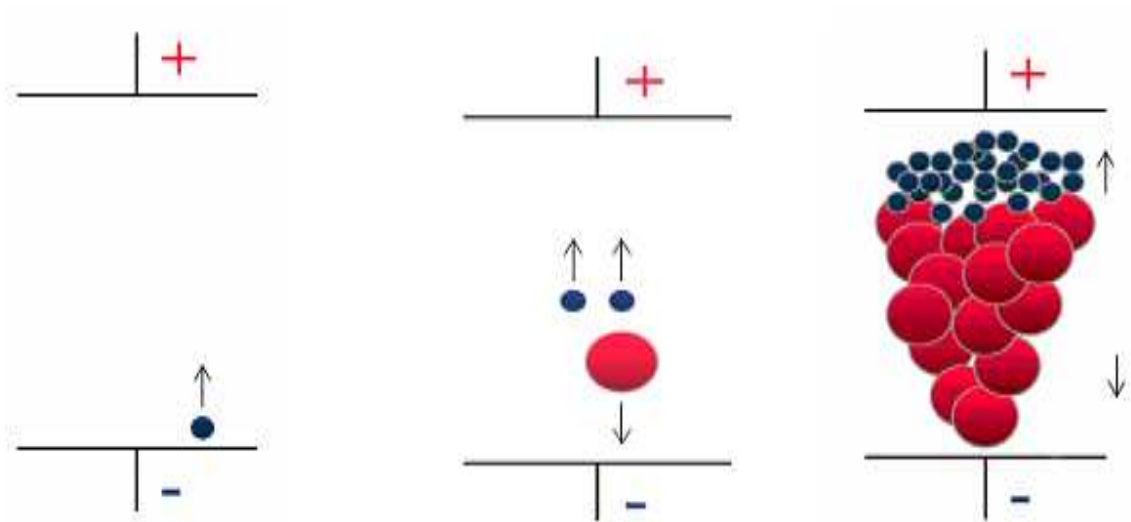
D'autres phénomènes peuvent intervenir lors de la décharge et avoir pour effet la production des électrons. Townsend a introduit alors un coefficient γ (appelé second coefficient de Townsend) généralisé qui serait représentatif de tous les processus d'émission secondaire tel que : l'extraction des électrons de la cathode sous effet de la radiation due à la décharge elle-même (effet photo-électrique), et l'existence simultanée des deux phénomènes ionisation des gaz inter électrode et ionisation en surface de la cathode par les ions positifs tous ces processus peuvent mener à l'amorçage de la décharge autonome [2].

Le courant collecté à l'anode vaut alors [1]:

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha \cdot d}}{1 - \gamma(e^{\alpha \cdot d} - 1)} \dots\dots\dots(I.4)$$

Townsend a établi le critère d'auto-entretien de la décharge qui est [7]:

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1 \dots\dots\dots(I.5)$$



a) Accélération de l'électron. b) Ionisation par collision c) Avalanche électronique.

Figure I.2 : Schématisation du mécanisme de Townsend [6].

➤ **Les limites de la théorie de Townsend :**

La théorie avancée par Townsend s'est vue apportée par la suite de nombreux compléments et ajustements. Pour des pressions élevées, les ions positifs sont freinés et leur énergie cinétique n'est plus suffisante pour extraire des électrons de la surface cathodique. D'ailleurs les travaux de Fletcher confirment la non validité de cette théorie pour des pressions des gaz élevées en champ uniforme. Le mécanisme de Townsend est valable pour un produit p.d inférieur ou égale à 200 torr.cm (p : pression du gaz et d:distance inter électrodes) [1]. Pour les grandes valeurs du produit p.d >200 torr.cm, l'explication du

développement d'un arc, et surtout de la forme distordue de son canal conducteur n'est pas possible. De plus, le temps de transit des ions positifs vers la cathode est beaucoup plus grand que le temps de retard de décharge [2].

I.5.2. Mécanismes du canal (Streamer) :

Pour le produit $p.d$ supérieur à 200 torr.cm, Meek et Raether ont définis une théorie basée sur le passage de l'avalanche primaire en streamer.

Raether a établi un critère basé sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique pour que le streamer puisse se développer. Le critère est [1] :

$$\int_0^{L_c} \alpha \cdot dx = \ln N_c \quad \dots\dots\dots(I.6)$$

Avec :

N_c : nombre critique d'électrons en tête d'avalanche (de l'ordre de 10^8).

L_c : est la longueur critique de l'avalanche.

Dans la théorie du Streamer, la présence d'une seule avalanche de taille suffisamment importante (critique) peut provoquer le claquage par l'intermédiaire d'un canal ionisé appelé Streamer. Les mécanismes de base de cette théorie sont :

- La création d'une avalanche primaire du type Townsend engendrée par un électron germe.
- Le renforcement du champ électrique local par la charge d'espace positive laissée par la première avalanche.
- La photo ionisation du gaz à la tête de l'avalanche.
- La transition avalanche-Streamer lorsque le champ de charge d'espace devient de l'ordre de grandeur du champ électrique appliqué.

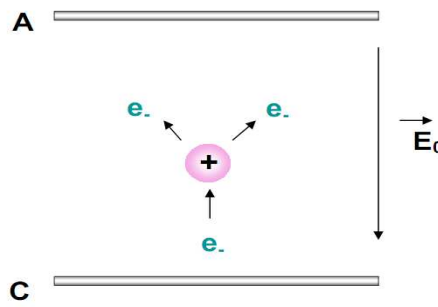
L'avalanche primaire peut prendre naissance en un point quelconque de l'intervalle inter-électrodes pour une valeur critique du champ électrique. Cette avalanche est accompagnée de la création d'une charge d'espace. En effet, dans une avalanche, les électrons forment un nuage négatif qui progresse rapidement vers l'anode (électrode positive) alors que de l'autre

côté, les ions positifs restent immobiles (la mobilité des électrons est 100 à 1000 fois supérieure à celle des ions). Le champ devient alors non uniforme et plus intense près des pôles de l'avalanche et surtout au voisinage du pôle positif (constitué par les ions positifs) qui joue le rôle d'une pointe conductrice. Le champ électrique sur les flancs de l'avalanche quant à lui, diminue. Dès que la charge d'espace de l'avalanche primaire atteint une taille critique (soit environ 10^8 électrons), elle va contribuer à intensifier les collisions ionisantes sur les pôles. Dans l'avalanche, les électrons et les ions se recombinent en partie. L'énergie rayonnée peut provoquer la photo ionisation des particules de gaz se trouvant à l'intérieur et à l'extérieur de l'avalanche. Les électrons nouvellement créés peuvent, si le champ local est suffisamment intense, conduire par chocs ionisants, à la naissance de nouvelles avalanches dites secondaires qui vont créer à leurs tours une charge d'espace positive à l'avant de la première. Ces avalanches secondaires jouent le rôle de facteur d'entretien et la décharge devient autonome.

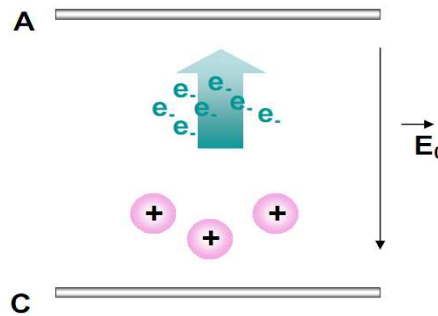
Chaque avalanche se développe pour son propre compte et de façon très rapide. La première n'a pas fini de croître que déjà toute une chaîne se crée. Alors que les électrons se déplacent vers l'anode, la chaîne semble progresser vers la cathode. La progression de cette chaîne est très rapide du fait que les phénomènes se transplantent par rayonnement lumineux et non par migration d'électrons et d'ions. L'ionisation se fait donc sans l'intervention de la cathode. La décharge prend alors la forme d'un canal dans la direction de l'axe des électrodes. Son développement dépend de la répartition du champ électrique.

D'autre part, lors de collisions élastiques (non ionisantes) avec les particules neutres du gaz, les charges leur transmettent une partie de leurs énergies cinétiques. Il en résulte une augmentation de la température du gaz. Tant que celle-ci est inférieure à celle nécessaire à l'ionisation thermique, elle n'aura aucune influence sur le développement de la décharge.

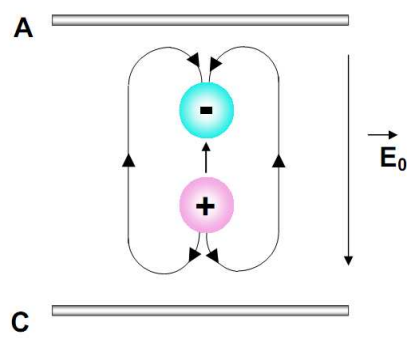
C'est le cas dans le développement du type Streamer. Le champ électrique extérieur nécessaire à l'entretien du streamer est inférieur à celui conditionnant l'ionisation par collisions. Pour l'air, par exemple, le champ moyen du Streamer se développant à partir de l'anode est d'environ $0.5 \cdot 10^6$ V/m et de $1.5 \cdot 10^6$ V/m lorsque celui-ci se développe à partir de la cathode alors que le champ critique est d'environ $3 \cdot 10^6$ V/m (dans les conditions normales de pression et de température) [6].



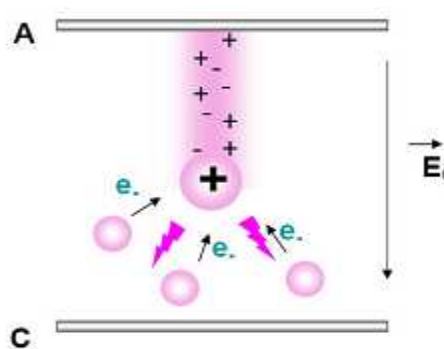
a) Multiplication des électrons par avalanche électronique.



b) Les électrons mobiles laissent les ions derrière eux.



c) La charge d'espace forme un dipôle qui renforce localement le champ appliqué.



d) La distorsion du champ en tête du streamer accélère les électrons vers la tête. Les nouveaux électrons sont produits par photo-ionisations.

Figure I.3 : Schématisation du mécanisme du streamer [4].

➤ **Steamer négatif :**

Dans le cas du streamer négatif, les ions positifs créés par les avalanches secondaires viennent extraire des électrons de la cathode qui neutralisent les ions positifs et donnent au streamer un excédent de charges négatives. À la différence du streamer positif où les avalanches se développent vers la tête du streamer, c'est-à-dire dans le sens où le champ de charge d'espace croît, les avalanches secondaires dans le streamer négatif se propagent vers l'anode, dans le sens où l'effet de la charge d'espace décroît rapidement

La propagation des streamers est très rapide du fait que l'ionisation se réalise essentiellement par des photons. Ceci donne aux streamers leur caractère lumineux qui fait qu'ils apparaissent sur une photographie statique comme d'étroits filaments d'éclairs. L'aspect filamentaire résulte de l'intégration de cette lumière au cours du temps. Du fait de la nature aléatoire des mécanismes de photo-ionisation, les photoélectrons sont produits non seulement en tête du streamer dans la direction du champ maximal, mais aussi dans une direction radiale par rapport à son avancement. Le streamer peut alors présenter une tortuosité ou même donner naissance à plusieurs branches secondaires si des photoélectrons produits simultanément dans des directions opposées créent des avalanches de taille comparable.

La propagation des streamers est une étape fondamentale dans le processus de décharge électrique. Son mécanisme est lié au nombre d'électrons et d'ions positifs créés par les avalanches, donc à la densité de la charge d'espace et à l'efficacité des photo-ionisations [1].

I.6. 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.6.1. Décharges pointe positive-plan

Dans le modèle proposé par Townsend, un électron présent au voisinage de la pointe est accéléré vers celle-ci par le champ électrique. Il subit lors de son trajet des collisions ionisantes, produisant une avalanche d'électrons attirés eux aussi vers la pointe. Après leur collecte par l'anode, ils laissent dans leur sillage des cations qui forment une zone de charges d'espace positive. Celle-ci modifie localement le champ électrique, prolongeant celui créé par l'anode dans l'espace inter électrodes. La photo-ionisation a lieu suffisamment près de la charge d'espace afin de bénéficier d'un champ électrique local important. Ces électrons sont à leur tour accélérés par le champ électrique et engendrent des avalanches secondaires provoquant la propagation du streamer. Selon J. Braithwaite, le streamer dont le diamètre mesure environ $20\ \mu\text{m}$, se propage à une vitesse de 10^5 à 10^6 m/s. La densité électronique en tête de streamer atteint 10^{15} à 10^{16} électrons par cm^3 et l'énergie moyenne des électrons y est d'environ 15 eV. La température est de l'ordre de 300 à 350 K et l'amplitude de l'impulsion de courant due à l'arrivée des électrons sur le plan peut atteindre quelques centaines de milliampères.

I.6.2. Décharges pointe négative-plan

Dans le cas d'une pointe alimentée par une tension négative (pointe cathodique), l'apparition d'un électron germe à proximité de la pointe peut provoquer une avalanche électronique qui se développe en champ divergent. La cathode accélère alors les ions positifs qui la percutent et lui arrachent des électrons secondaires. La charge d'espace positive domine dans la zone d'ionisation tandis que la zone de dérive ionique possède une charge d'espace négative, faible ou forte suivant l'importance des processus d'attachement électronique.

Au delà d'une tension supérieure à un seuil V_s , le courant circule en impulsions très régulières (Trichel). La fréquence de l'impulsion augmente avec la tension appliquée.

I.6.3. Décharges sous tension alternative

En appliquant un champ alternatif au gaz, alors le comportement du système dépend de la distance inter électrodes et de la fréquence de la tension d'alimentation. En effet, si le temps de parcours de l'intervalle par les particules chargées du gaz est inférieur au temps d'inversion de la polarité, alors les charges d'espace créées par une décharge auront quitté l'espace inter électrodes avant l'apparition de la décharge suivante. Le comportement élémentaire du système consistera donc en une alternance de décharges positives puis

négatives indépendantes. En augmentant la fréquence du signal électrique, une charge d'espace résiduelle persistera dans l'espace inter électrodes, favorisant le déclenchement de la décharge suivante. Ce phénomène peut se traduire par le maintien de la décharge avec une tension d'alimentation légèrement inférieure à la tension de claquage de la décharge [1,2].

I.7. Effet de couronne :

Le terme effet couronne englobe l'ensemble des phénomènes se produisant dans un milieu gazeux au voisinage d'un conducteur de faible rayon de courbure, porté à une tension suffisamment élevée pour que le champ électrique soit supérieur au champ disruptif de ce gaz. Ce type de décharge ne nécessite aucune source d'ionisation externe pour se développer. C'est une décharge autonome qui, pourtant, nécessite un électron germe pour l'amorcer.

La décharge couronne se manifeste dans plusieurs configurations d'électrodes (Fig.I.4). Ce phénomène est d'une grande importance dans l'ingénierie en HT où les champs électriques sont inévitables. Il est responsable des pertes dans les lignes de transport d'énergie et conduit souvent à la détérioration de l'isolation sous l'action combinée de la décharge et des composants chimiques qu'elle produit. Ainsi la décharge couronne présente des aspects utiles (traitement de surface, précipitateurs électrostatiques, destruction des polluants par DC, générateurs d'ozone...etc.) et des aspects nuisibles (pertes de puissance dans les lignes de transport d'énergie, défaut d'isolation, perturbations radioélectriques..., etc.). L'effet couronne se manifeste par l'apparition d'effluves lumineux entourant le conducteur HT et l'apparition d'un crépitement audible [1] :

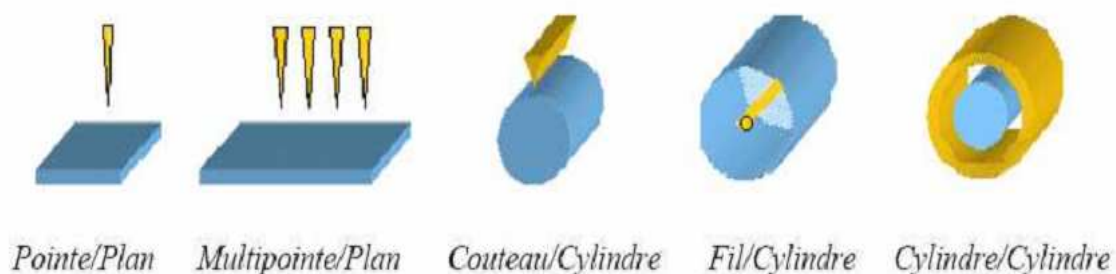


Figure I.4: Systèmes d'électrodes couramment utilisés pour la production de la décharge couronne.

La décharge couronne est une décharge qui peut se développer dans un gaz du fait de la divergence du champ électrique. Elle peut être considérée comme la superposition de deux régimes de décharge. Le premier fait intervenir tout l'intervalle inter électrodes ; c'est la décharge de Townsend. Le second correspond à l'apparition dans l'intervalle de leurs prenant l'aspect de filaments lors de sa transition vers l'arc ; ce sont les streamers.

➤ **Développement de la décharge couronne :**

Une très forte activité de photo-ionisation 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 kV/cm est suffisant pour maintenir la propagation de ces streamers [15]. 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 [1].

I.8. Conclusion :

La pression du gaz est un facteur très important dont dépendent les caractéristiques de la décharge. Donc nous résumons la décharge dans l'air en deux théories : La théorie de Townsend pour des faibles pressions et la théorie des streamers pour des pressions élevées. On trouve d'autres paramètres influant sur la décharge dans l'air tel que : les paramètres atmosphériques, la présence des particules conductrices dans l'air, le type de matériau de la pointe et la pollution de l'air.

II.1. Introduction:

Ce chapitre décrit dans une première partie quelques généralités sur les plasmas et nous rappellerons les différents paramètres mis en jeu permettent leur classification. La deuxième partie est consacrée aux principes fondamentaux d'une décharge à barrière diélectrique à la pression atmosphérique, ces caractéristiques, ainsi que les différents régimes de décharge. La troisième partie parle des diverses applications des DBD et des plasmas.

II.2. Généralités sur les plasmas :

II.2.1. Introduction :

Les décharges électriques sont un type de plasma. Le terme plasma du grec « matière informe » à été introduit pour la première fois dans les années 1930 par le physicien américain Irving Langmuir (1881-1957) pour désigner, dans les tubes à décharges, certaines régions équipotentielles, contenant un gaz ionisé électriquement neutre [8-10].

II.2.2. Définition :

Un plasma est un gaz ionisé. Comme tel, il est donc constitué en général d'électrons, d'ions, d'espèces atomiques ou moléculaires neutres et de photons [11] Les électrons et les ions positifs peuvent survenir si :

- on soumet le gaz à un champ électrique de forte intensité.
- à des températures élevées.
- s'il est soumis à un champ électromagnétique très intense.
- un bombardement de particules [12].

Le plasma est désigné comme étant le quatrième état de la matière faisant suite dans l'échelle des températures aux trois états classiques : solide, liquide et gaz [5, 8-11]. Mais accomplir expérimentalement la transformation entre ces quatre états, est un exercice difficile, voire impossible, à cause de l'énorme différence de température requise, pour passer de l'état solide jusqu'au plasma, si nous prenons par exemple un glaçon : 0 °C sont nécessaires pour passer à l'état liquide (eau) ,100 °C à l'état gazeux et 100.000 °C au plasma [8,10].

II.2.3. Les processus physico-chimiques internes :

Un plasma est le siège de processus réactifs entre particules qui le composent. Soumis à un champ électrique, par conséquent à la force de Coulomb, les particules chargées vont

entrer en collision avec les molécules environnantes. On distingue alors les collisions élastiques et des collisions inélastiques.

- Dans les collisions élastiques : les atomes conservent la même structure interne. Ceux-ci n'échangent pas d'énergie entre eux ni même avec le milieu extérieur, seuls leurs vecteurs vitesse respectifs changent en direction et en norme. Globalement, l'énergie cinétique du système reste inchangée.
- Dans les collisions inélastiques : l'énergie interne des particules change. L'énergie de la particule incidente, dans ce cas, est suffisante pour que la particule heurtée passe à un niveau excité ou soit ionisée. Les collisions (chocs) inélastiques sont donc la source d'un nombre de réactions physico-chimiques qui vont modifier les propriétés macroscopiques du gaz. Les phénomènes élémentaires principaux sont l'excitation, l'ionisation, l'attachement pour les phénomènes dit ionisants ; la recombinaison et le détachement pour les phénomènes désionisants.

➤ Phénomènes ionisants :

- L'excitation : ce phénomène se produit lorsqu'un atome a acquis suffisamment d'énergie pour qu'un des électrons passe à un orbital supérieur. L'atome passe alors de son état fondamental à un état excité.
- L'ionisation : elle advient quand l'énergie absorbée par un atome lors du choc inélastique est suffisante pour qu'un de ses électrons soit soustrait à l'attraction du noyau formant ainsi un ion positif. L'électron ainsi libéré peut alors s'apparier à un autre atome pour former un ion négatif (attachement) ou s'éloigner à l'infini.
- L'absorption : ce processus se produit au moment où un atome absorbe un photon et se retrouve dans un état excité ou ionisé.

➤ Phénomènes désionisants :

- La recombinaison est le phénomène inverse de l'ionisation et se produit quand un ion positif rencontre un électron ou lorsque deux ions de signes contraires se rencontrent. Ceci aboutit à la formation d'atomes neutres stables.
- Le détachement : il se produit lorsqu'un ion négatif perd un électron supplémentaire suite à un choc.

- L'émission est le phénomène qui survient quand un atome se désexcite en émettant un photon.

II.2.4. Paramètres caractéristiques d'un plasma :

Bien que l'étude des plasmas se heurte à des théories plutôt complexes, il est tout de même possible d'introduire un certain nombre de paramètres permettant leur classification. Ces paramètres sont les suivants :

- La densité électronique : la densité électronique n_e est le nombre d'électrons libres par unité de volume (cm^{-3}).
- Le degré d'ionisation : le degré d'ionisation α représente le rapport du nombre d'électrons libres n_e sur le nombre de particules totales $n_e + N$ (N étant le nombre de particules neutres par unité de volume). Le degré d'ionisation est alors donné par [10-12] :

$$\alpha = \frac{n_e}{n_e + N}$$

✓ Un degré d'ionisation nul signifie que l'on a affaire à un gaz neutre ; si $\alpha \ll 1$ le plasma est dit faiblement ionisé alors que si $\alpha \approx 1$ on dit que le plasma est fortement ionisé.

- Le libre parcours moyen : le libre parcours moyen λ correspond à la distance moyenne parcourue par une particule chargée entre deux collisions. Celui-ci dépend de la vitesse des particules, de même que la probabilité de collision.
- La fréquence de Langmuir : cette fréquence est caractéristique des oscillations des charges électriques présentes dans les milieux conducteurs et ces oscillations se produisent, à faible température électronique, à la pulsation suivante [7,10-12]:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{m_e \epsilon_0}}$$

Avec ϵ_0 la permittivité du vide ($8,84 \cdot 10^{-12}$ F/m), e la charge d'un électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C) et m_e masse d'un électron = $9,10938188 \times 10^{-31}$ kg.

- La longueur de Debye : la longueur de Debye λ_d définit la longueur à partir de laquelle le champ électrique Coulombien issue d'une particule chargée est neutralisé par un ensemble de particules de signe opposé dans le volume environnant. Elle est donnée par la relation suivante [10,12]:

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{kT_e \epsilon_0}{n_e e^2}}$$

- La température électronique : T_e est la température électronique qui correspond à la température absolue en Kelvin des électrons. On peut aussi utiliser l'énergie électronique kT_e (en électronvolt). Dans la nature, les plasmas tels que les étoiles ont une température d'environ 107 K et l'ionosphère terrestre de 100 K [9,12].

II.2.5. Classification des plasmas :

Dans un plasma, chaque espèce qui le compose (ions, électrons et neutres) peut avoir sa propre distribution de vitesse et donc sa propre énergie d'agitation thermique. Les électrons ont une masse beaucoup plus faible que les ions, ils ont donc moins d'inertie par conséquent ils sont plus réactifs. Il est donc plus facile de transmettre de l'énergie aux électrons qu'aux espèces plus lourdes. On va différencier alors les plasmas dans lesquels :

- Seuls les électrons ont acquis relativement d'énergie pour effectuer des réactions, ce sont les plasmas froids également appelés plasma bitempérature ou plasma hors équilibre.
- Les ions ont la même énergie que les électrons et influencent donc le comportement du plasma, ce sont les plasmas chauds.

Cette dénomination de plasmas froid ou chaud peut surprendre mais elle trouve son origine dans le fait qu'en physique des plasmas, on mesure généralement l'énergie cinétique des électrons ou des ions par leur température (ou leur énergie). Dans le cas des plasmas froids, la température des électrons est très supérieure à celle des ions ($T_e \gg T_i$). Les ions sont considérés comme froids car ils sont à la même température que les neutres du gaz environnant ($T_i = T \approx 300$ K). Les décharges que l'on utilise dans nos travaux appartiennent à la catégorie des plasmas froids. Pour identifier les différents plasmas, Hollahan et Bell ont réalisé une classification de ceux-ci en fonction de la densité électronique, de l'énergie

électronique et de la longueur de Debye. Les plasmas produits par des décharges électriques dans les gaz recouvrent une gamme de faible longueur de Debye (10^{-8} à 10^{-3} m), correspondant à des températures relativement faibles (≤ 5.104 K) et des densités électroniques élevées ($\geq 10^8$ cm⁻³) [12].

II.3. Généralités sur les décharges à barrière diélectrique :

II.3.1. Introduction :

Les décharges à barrière diélectrique (DBD) sont connues depuis plus d'un siècle, les premiers écrits relatant la réalisation d'une décharge à barrière diélectrique semblent converger vers l'expérience mise au point par Théodose Du Moncel, en 1853, La décharge produite à l'aide la bobine de Ruhmkorff [13], fut décrite comme un « flux lumineux bleuâtre », ou encore une « pluie de feu de couleur bleue ». C'est la première fois que le « feu électrique » était observé entre deux matériaux isolants. Puis vient le réacteur de l'industriel allemand Werner Von Siemens permet de démontrer l'efficacité des DBD pour la production d'ozone [13].

II.3.2. Définition :

La décharge à barrière diélectrique est une décharge silencieuse produite entre deux électrodes entre lesquelles est disposé au moins un matériau diélectrique.

La décharge produite est hors équilibre thermodynamique et peut être développé dans une grande plage de pression, c'est-à-dire entre 10^2 Pa et 10^8 Pa. Cependant, elle est majoritairement utilisée autour de la pression atmosphérique (entre 10^4 et 10^5 Pa) ; L'intérêt d'opérer à la P.A provient du fait qu'il est possible d'effectuer des traitements à grande échelle (visée industrielle), tout en gardant les coûts d'opération bas.

Les DBD sont en générales excitées en appliquant une tension alternative de forme sinusoïdale d'amplitude de quelques kilovolts avec une fréquence pouvant atteindre quelques kilohertz. Son utilisation homogénéise la répartition des charges en surfaces des électrodes et empêche toute transition à l'arc et tout échauffement locale important.

II.3.3. Principe de la décharge à barrière diélectrique :

Comme nous l'avons vue précédemment, ce type de décharges est obtenu par insertion d'un matériau à propriétés diélectriques entre les deux électrodes. L'accumulation de charges

à la surface de cette barrière diélectrique entraîne une chute de potentiel entre les deux électrodes et évite le passage à l'arc. L'utilisation d'une alimentation alternative est alors indispensable (de quelques Hz à quelques centaines de kHz) pour éviter que l'accumulation excessive des charges électriques à la surface du diélectrique ne neutralise la décharge.

Le principe d'une décharge à barrière diélectrique est le suivant:

- **Le claquage ou la formation de la décharge** : quand on applique un champ électrique dans l'espace inter électrodes (de l'ordre de quelques millimètres), une avalanche électronique peut être initiée dans le gaz résiduel.
- **Le transport des charges dans l'espace inter électrode ou l'impulsion de courant** : il y'a établissement d'un canal de conduction qui conduit à l'apparition d'une charge d'espace. L'accumulation des charges au voisinage ou sur le diélectrique entraîne une diminution rapide de la différence de potentiel de l'espace gazeux. Cependant, les mécanismes de destruction des électrons (recombinaison et attachement) deviennent plus importants que les mécanismes de production (ionisation), ce qui entraîne l'extinction de la décharge et le courant devient impulsionnel.

II.3.4. Les différents régimes des décharges à barrière diélectrique:

Selon la distance inter électrode on peut distinguer deux régimes de décharge à barrière diélectrique :

a. Décharges à barrière diélectrique volumique :

Ce genre de décharge est établit entre deux électrodes séparées l'une de l'autre par un diélectrique comme le montre la figure ci-dessous [3] :

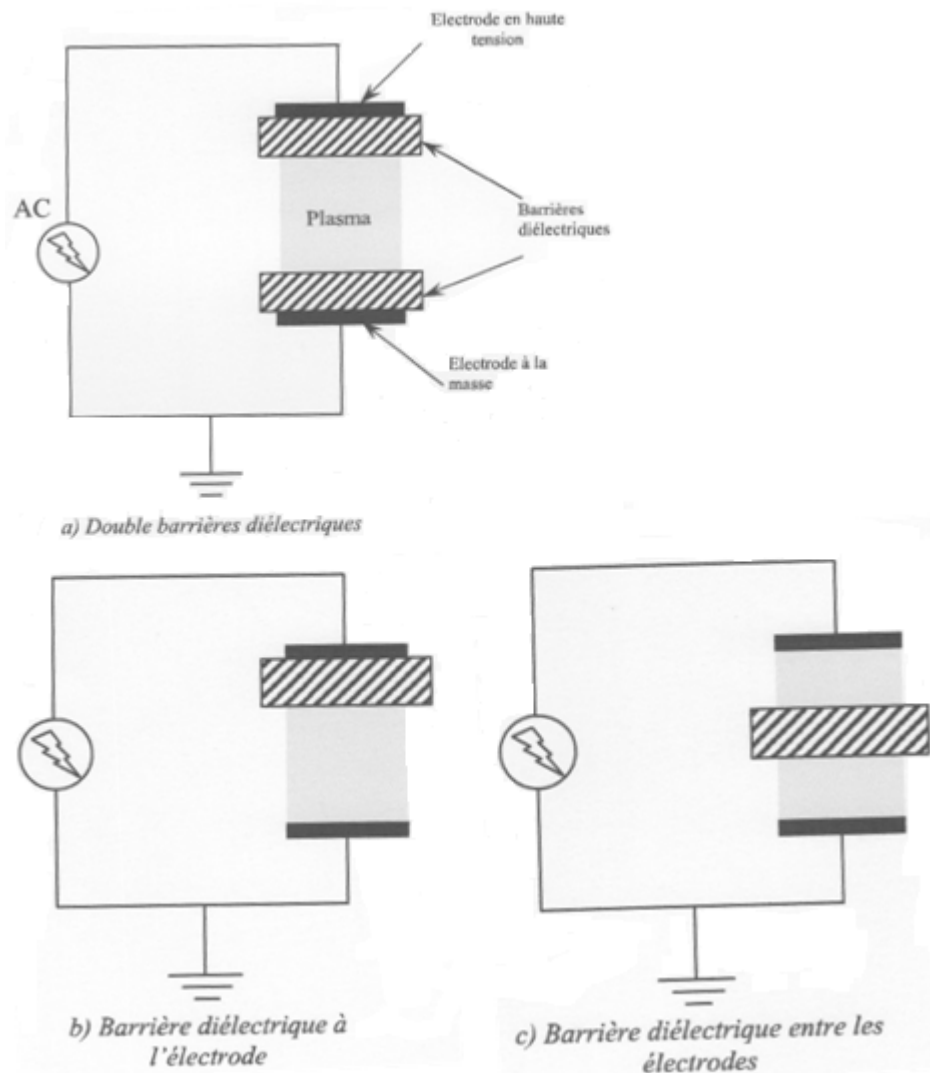


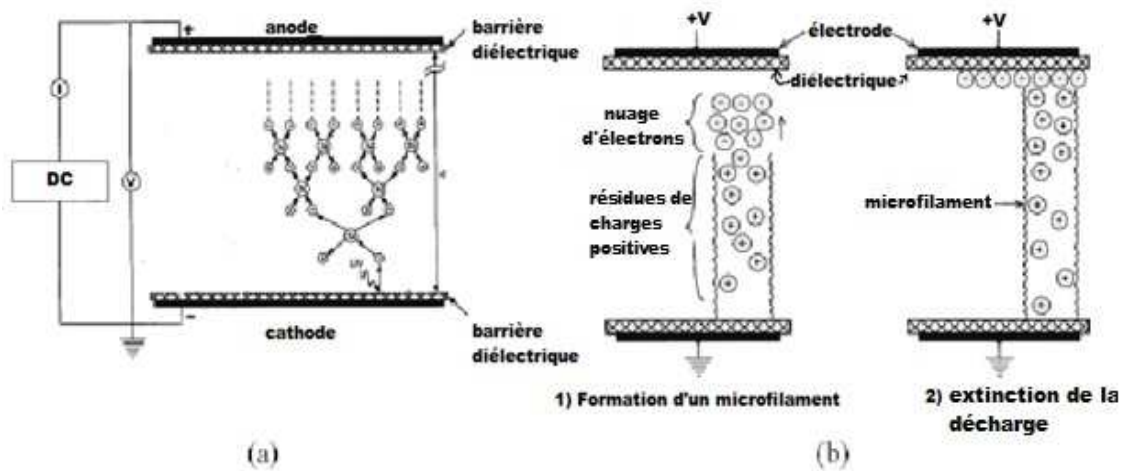
Figure II.1 : Schéma de la configuration de la décharge à barrière diélectrique volumique.

Selon le type de claquage du gaz et le produit pression du gaz \times distance inter électrode, on peut distinguer deux types de décharge volumique [10].

- **Décharge filamentaire:**

La décharge filamentaire est le premier mode de décharge à barrière diélectrique découvert et le plus facile à obtenir, Ce type de décharge est composé d'une multitude de filaments initiés par un claquage de type streamers, Il est caractérisé par la distribution d'une multitude de micro décharges dans l'espace inter électrode de façon aléatoire. Lorsque la tension appliquée aux électrodes est suffisamment importante, des phénomènes d'ionisation par effet d'avalanche apparaissent. Les électrons « germes » naturellement présents dans le gaz vont être accélérés par le champ électrique et vont, par collision, créer de nouveaux électrons, c'est la phase d'avalanche. Les charges apparues modifient localement le champ

électrique. Ces charges, en se propageant selon les lignes de champ, laissent une traînée ionisée (*streamer*) qui correspond au canal d'une micro décharge dont le rayon est d'environ 100 μm . La durée de vie d'une micro-décharge est de l'ordre de la dizaine de nanosecondes. Lorsqu'un canal ionisé est établi entre l'électrode et le diélectrique, celui-ci se charge, ce qui diminue le champ électrique et provoque l'extinction de la micro-décharge. Les principales réactions chimiques caractéristiques de la DBD interviennent dans la phase *streamer* : ce sont des réactions produites par des collisions électroniques. Après l'extinction du *streamer* et la recombinaison des charges, les différentes espèces neutres créées (molécules et radicaux) réagissent dans un milieu dont la température est voisine de la température ambiante. Dans la phase *streamer*, dont la durée est très courte (10 ns), les électrons peuvent cependant acquérir des énergies très élevées [10].



(a) Initialisation de la décharge

(b) Formation d'un canal conducteur [7,10]

Figure II.2 : Schéma de la formation de la décharge filamentaire:

- **Décharge lumineuse homogène:**

Dans certaines conditions que nous préciserons par la suite, il est possible d'obtenir une décharge homogène recouvrant l'intégralité de la surface des électrodes à la pression atmosphérique. Deux familles de décharges dites homogènes sont alors distinguées : les décharges par couplage de *streamers* (fig.1) et les décharges de Townsend et luminescentes (fig.2). Même si elles ont une homogénéité spatiale semblable, les phénomènes de leur établissement et les mécanismes physiques responsables de leur propagation sont différents.

Les premières se rapprochent de la décharge filamentaire, alors que les secondes sont voisines des décharges luminescentes à basse pression [10].



Fig.1: Couplage de streamers.



Fig.2 : Luminescente.

Il est toutefois possible d'obtenir des décharges lumineuses et homogènes (sans filaments) dans l'air à pression atmosphérique en appliquant des champs électriques de quelques kV à des fréquences de l'ordre du kHz et avec des distances inter-électrodes de 0,5 à 3 cm (Roth). Dans ce cas, la décharge silencieuse est remplacée par un régime lumineux homogène (d'un point de vue macroscopique). En remplaçant l'électrode plane par une grille, Okazaki et al ont obtenu des décharges lumineuses avec une fréquence de l'ordre de 50 Hz. Dans tous les cas, la décharge est contrôlée par une barrière diélectrique qui rend la décharge de courte durée et une répartition de charges telle que les micro-décharges soient rares (Massines et al) [12].

b. Décharge à barrière diélectrique surfacique:

Ce genre de décharge est établit entre deux électrodes séparées de part et d'autre par un diélectrique. On l'appelle surfacique car il n'y a plus comme dans le régime précédent, d'espace gazeux entre les deux électrodes, c'est-à-dire que le diélectrique occupe tout l'espace inter électrode.

Dans ce cas, le bombardement ionique sur la surface est très important et alimente la décharge en électrons secondaires, ce qui modifie grandement les caractéristiques de chaque filament de plasma. Ces géométries se rencontrent en particulier dans les cellules d'écran plasma. Ce type de DBD permet également de générer des vents ioniques lorsque les électrodes sont dissymétriques, ce qui permet de contrôler des écoulements fluides dans des réacteurs.

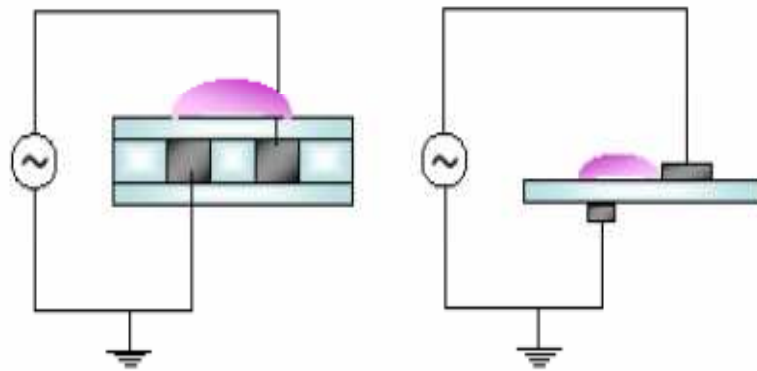


Figure II.3 : géométrie de DBD générant une décharge surfacique

II.3.5. Paramètres influençant la DBD :

a. Influence de la DBD :

La charge à la surface de la barrière diélectrique permet l'auto-extinction de la décharge après la chute de potentiel du gaz et son écoulement en surface agit sur les caractéristiques de cette dernière. Le diélectrique influe sur le comportement de la décharge à travers l'émission d'électrons secondaires extrait du matériau et il intervient aussi de part et d'autre sur les réactions chimiques qui découleront [7].

b. Influence de l'épaisseur de la barrière et de la permittivité :

Ces deux paramètres ont une influence sur la distribution des porteurs de charge positives et sur la tension à la surface de la barrière [7]. D'après différentes études mener auparavant, la rigidité diélectrique d'un système pointe-barrière-plan, décroît quand ces deux paramètres ont des valeurs importantes. Ceci est dû au fait que le champ dans le gaz soit élevé. Ceci produit des décharges locales qui conduisent jusqu'au claquage de toute l'isolation [2,7].

c. Influence de la largeur de la barrière :

En augmentant la largeur de la barrière isolante, les streamers provenant de la pointe ne pouvant pas atteindre l'électrode plane, ce qui fait augmenter la tension appliquée à la pointe, les charges issue de streamers s'accumulent sur la barrière et le plan s'accroît graduellement, le claquage est accompli lorsque le champ entre la barrière et le plan atteint

une valeur critique à laquelle de nouveaux streamers sont générés entre la barrière et le plan [1,2].

d. Influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'air :

Des travaux antérieurs ont montré que la position optimale de la barrière se situe entre 0 et 20% à partir de la pointe. La tension de décharge passe par un maximum pour une position de la barrière de 20% [1,2,15].

e. Influence de la pollution :

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. Notamment dans le domaine d'électrotechnique, la pollution constitue un sérieux problème dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'isolement des lignes de transport et de l'appareillage haute tension. En effet, les dépôts polluants qui recouvrent les surfaces isolantes peuvent conduire au contournement total des systèmes d'isolation [1].

f. Influence de l'état de la surface :

Les résultats des essais obtenus par des études menées auparavant, montrent que le polissage de la surface de la barrière améliore la rigidité diélectrique du système ; sa empêche la formation de décharges superficielles et apporte des modifications aux caractéristiques de la surface tels que l'énergie d'incidence des électrons et le coefficient γ [2].

g. Influence de la construction de la triple jonction :

Les décharges partielles prennent naissance à la triple jonction barrière-pointe-vide où existent des microdéformations. La triple jonction est alors la source principale de l'émission secondaire, son rôle dans la décharge est important. Deux configurations de la triple jonction peuvent être utilisées (jonction d'about et jonction avec enfoncement) la rigidité du système est améliorée par la jonction avec enfoncement car les microdéformations sont réduites [2].

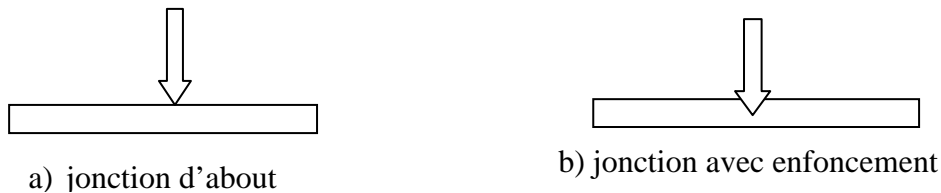


Figure II.4 : différentes configurations de la triple jonction

h. Influence des paramètres 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 δ et l'humidité Ha :

L'influence de la densité entraîne implicitement celle de la température T et de la pression P , vu leur dépendance mutuelle où :

$$\delta = \frac{P}{760} \cdot \frac{293}{273 + T}$$

Avec :

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 , Ha) 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 [7], quant à l'humidité, la rigidité diélectrique du système est améliorée (inférieur à 75%) car elle favorise le phénomène d'attachement [2].

i. Influence de la polarité de l'électrode pointe :

Avec la polarité négative; la décharge se déroule par étape pour toute les positions de la barrière sans aucune amélioration de la tension disruptive. L'amélioration n'a été mentionnée que pour la polarité positive de la pointe [2,7].

II.3.6. Homogénéité et non homogénéité de la décharge :

a. Les décharges homogènes :

On parle de décharges en configuration homogène, ou quasi-homogène, lorsque les électrodes présentent des profils géométriques proches. Les deux géométries typiques de telles décharges sont des réacteurs plan-plan ou cylindre-cylindre tels que les deux cylindres soient coaxiaux.

Dans ce cas de géométrie homogène, la génération de décharge se fait dès que le champ électrique atteint une valeur seuil d'initiation. L'écart inter-électrodes est en général assez faible pour ce type de géométrie afin de faciliter l'initiation des décharges pour des valeurs de champ électrique, et donc des tensions, peu élevées. La plage de réglage en tension étant généralement limitée, le risque de passage à l'arc est évité, dans ces décharges, par l'ajout de barrières diélectriques.

Ce type de décharge permet donc d'obtenir des décharges se répartissant de manière uniforme et diffuse dans tout le volume inter-électrodes, on parle généralement de « glow ».

Ces décharges sont habituellement générées dans des conditions entre les faibles pressions et la pression atmosphérique. Elles sont particulièrement adaptées à des traitements de gaz en écoulement, dans le cas des décharges coaxiales. Ce type de décharge est également utilisé pour les dépôts de matériaux (SiO, polymères...), le traitement de surface ou la stérilisation. La production d'Ozone, de manière industrielle, se fait d'ailleurs généralement sur ce principe.

b. Les décharges non homogènes :

Les décharges en configuration inhomogène sont constituées de deux (ou plus) électrodes présentant des profils géométriques différents. De manière générale, une des deux électrodes présente un rayon de courbure beaucoup plus faible que l'autre. Cependant, nous pouvons déjà dire que plus ce rayon de courbure est faible, plus le champ électrique est important autour de cette électrode. La génération de streamer sera donc facilitée. De plus, cette inhomogénéité permet des possibilités de réglage de tension, entre le seuil d'initiation et le seuil de claquage, beaucoup plus importantes qu'en configuration homogène. Par contre, lorsque l'on s'éloigne de l'électrode émettrice, la valeur du champ électrique diminue fortement et de façon proportionnelle au rayon de courbure de l'électrode. La décharge se propage alors de manière auto-consistante. Il est alors possible d'éloigner les électrodes de façon plus importante que dans le cas des décharges homogènes. Ceci est intéressant dans le cas d'application de traitement gazeux nécessitant des débits importants, ou pour des

visualisations directes de décharges par divers procédés d'imagerie ou de spectroscopie. Diverses associations d'électrodes sont présentées dans la figure suivante [3] :

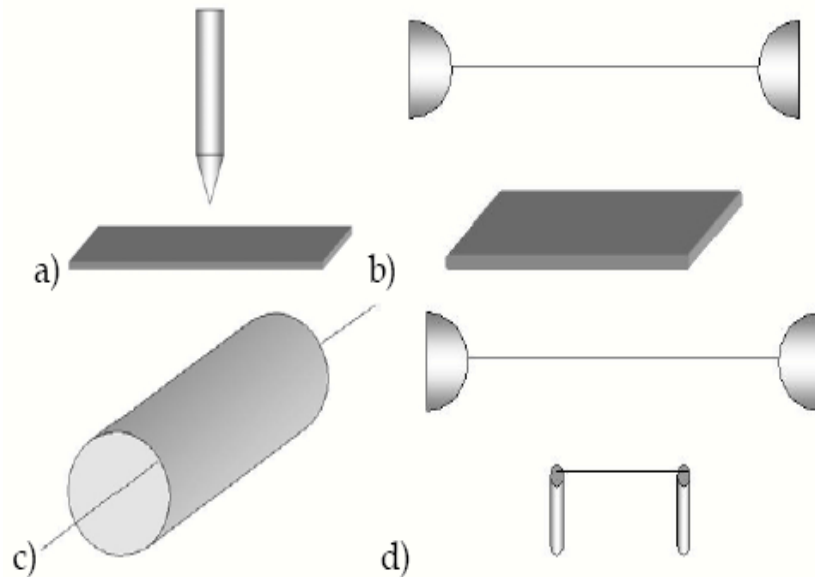


Figure II.5 : Diverses configurations de décharge non homogène :

a) point-plan b) fil-plan c) fil-cylindre d) fil-fil.

La configuration choisie pour notre travail, est la configuration (a) c'est-à-dire la géométrie pointe-plan.

II.4. Les applications les plus courantes des décharges à barrière diélectrique :

II.4.1. Introduction :

Dans cette section nous allons évoquer quelques usages des DBD, en commençant par la plus ancienne : la production d'ozone, puis les plasmas qui sont utilisés à différents titres.

II.4.2. Production et utilisation de l'ozone :

Après que l'ozone ait été identifié en 1839 comme un nouveau composé chimique, Werner Siemens, en 1857, a proposé une méthode efficace pour la production d'ozone en faisant passer l'air ou l'oxygène à travers une décharge à courant alternatif délimitée par au moins une barrière diélectrique. Les deux gaz, l'oxygène et l'air, sont encore utilisés aujourd'hui pour la génération industrielle d'ozone.

Une installation d'ozonation comprend 4 parties (Figure II.6) :

- Le traitement de l'air utilisé pour la production d'oxygène.
- Le générateur électrique d'ozone.
- Le transfert de l'ozone dans l'eau par turbinage, hydro-injection ou diffusion dans des cuves en béton armé.
- Le système de récupération et traitement des événements ozonés.

L'air enrichi en ozone ainsi produit est alors ajouté à l'eau à traiter dans des tours de contact par le biais d'une diffusion d'air ozoné à travers des poreux ou à l'aide d'hydro éjecteurs ou de turbines.

Les événements chargés en ozone sont récupérés, éventuellement réutilisés pour une étape de pré ozonation de l'eau en tête de traitement, et l'excès d'ozone est éliminé par destruction thermique ou catalytique.

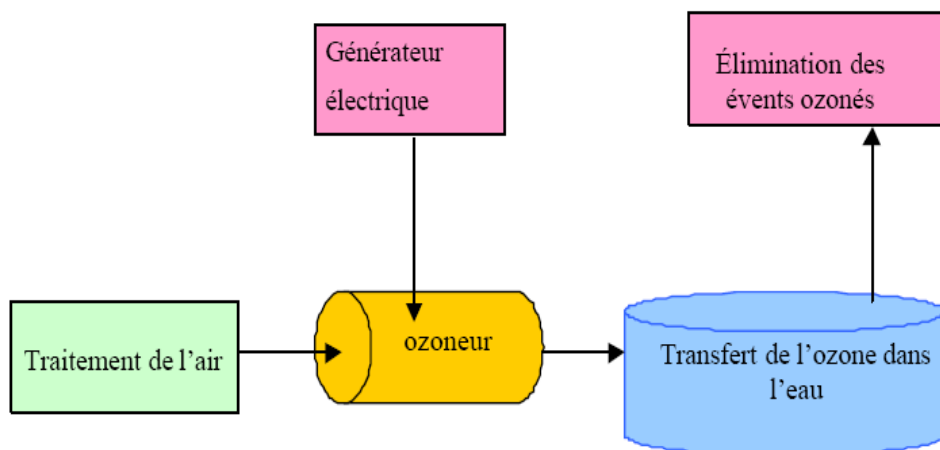


Figure II.6 : Les principaux composants d'un système d'ozonation de l'eau.

Utilisation de l'Ozone :

- **Élimination de la couleur**

L'ozone attaque les colorants organiques naturels (acides humiques, tanins, lignines...) et artificiels responsables de la coloration des eaux.

- **Elimination des odeurs**

L'action désodorisante de l'ozone n'est pas due à un simple effet de camouflage de l'odeur, mais il s'agit bien d'une véritable destruction chimique de celle-ci.

La méthode d'élimination des odeurs par l'ozone est fondamentalement très simple. Les molécules malodorantes sont des composés réducteurs, alors que l'ozone est un oxydant puissant. Lorsque ces deux types de molécules se retrouvent en contact, ils réagissent en formant de nouveaux composés. La molécule d'ozone « O_3 » perd un atome d'oxygène pour devenir une molécule d'oxygène « O_2 ». L'addition d'un atome d'oxygène au composé odorant provoque sa rupture en des composants plus petits, ou sa transformation en un nouveau composé stable « par exemple, H_2 devient H_2O ». Ces nouvelles molécules produites ne sont plus malodorantes.

Dans le traitement des eaux usées, diverses molécules sont responsables des odeurs. Elles proviennent essentiellement de la dégradation des composés azotés ou soufrés, amines, ammoniacque, mercaptans, etc. Mais la molécule qui pose le plus de problème est généralement l'hydrogène sulfuré « H_2S », qui possède une odeur caractéristique d'œuf pourri.

- **Inactivation des micro-organismes**

L'ozone a un potentiel normal d'oxydoréduction supérieur au chlore. Il possède un spectre d'action germicide supérieur au chlore en ce qui concerne les bactéries et surtout les virus. Il est aussi très efficace contre les protozoaires. Des études ont montré que l'application à d'une eau potable d'une dose d'au moins 0,4 mg/l d'ozone pendant 4 minutes garantissait l'élimination des virus. Dans une gamme de PH compris entre 6 et 10, à une température de 3 à 10 °C, une dose de 0,3 à 2 mg/l d'ozone permet l'élimination du virus de l'hépatite A pour un temps de contact de 5 secondes. De même, les entérovirus sont éliminés par l'application d'une dose de 0.5 – 0.6 mg/l d'ozone en 5 minutes.

- **Enumération des avantages de l'ozone**

Les compagnies de traitement d'eau dans les pays développés ont utilisé la technologie d'ozone pour le traitement de grandes quantités d'eau pendant de nombreuses années en raison de son efficacité dans la purification de l'eau et de conditionnement, en raison de ses propriétés uniques pour :

1. Eliminer les bactéries mille fois plus rapidement que le chlore ou le brome.
2. Eliminer les virus au contact.
3. Empêcher la formation des spores d'algues, champignons, moisissures et levures.

4. Permet de précipiter les métaux lourds en les éliminant par filtration en les rendant non solubles.
5. Retirer l'excès de fer, le manganèse et du soufre par un procédé connu sous le nom de micro-floculation, et conditionne ainsi l'eau naturelle, sans additifs chimiques.
6. Supprimer la couleur et l'odeur, en offrant une eau fraîche et pratiquement totalement désinfectée pouvant être consommée en toute tranquillité.
7. Réduire l'accumulation de tartre sur les équipements tels que sur les tuyaux et les chauffe eau, et la coloration des douches, évier, baignoires et toilettes.
8. L'ozone ne laisse aucun résidu, son seul sous-produit est de l'oxygène pur [11].

II.4.3. Dépollution et traitement des déchets:

Une première utilisation des hautes températures des plasmas est le traitement de déchet afin de limiter la toxicité de certains résidus ou de recycler des matières métalliques.

- **Décontamination du sol :**

Ce type de procédé permet de transformer les déchets chimiques et non organiques, qui sont nocifs pour l'environnement, en un matériau vitreux stable et non toxique.

- **Incinération des déchets ménagers :**

L'utilisation de plasmas permet de limiter au maximum la pollution engendrée ; en effet, les déchets ménagers sont dans un premier temps triés pour être recyclés. La partie non recyclable des déchets est incinérée. De cette incinération, il subsiste des déchets solides en bas du four (mâchefer) qui servent à fabriquer des enduits pour les routes et le REFIOM (Résidu d'Épuration de Fumées d'Incinérateurs d'Ordures Ménagères). On utilise alors une torche à plasma pour vitrifier celui-ci. Le produit de cette vitrification est concassé et utilisé pour faire des dalles, des pavés ou des bordures de trottoir.

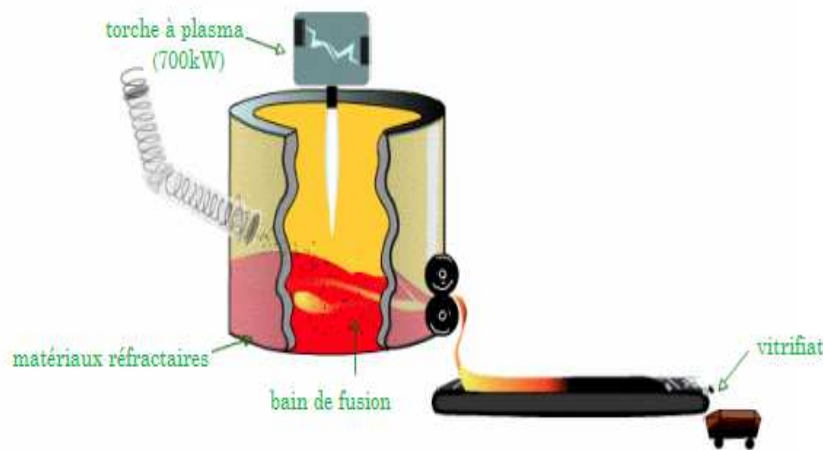


Figure II.7: schéma de fonctionnement du four de vitrification des REFIM de l'UVE DE Cenon

- **Récupération de métaux précieux :**

Des installations de récupération de métaux précieux (Palladium, platine, iridium...) contenus dans les catalyseurs de pot d'échappement sont développées en utilisant des torches à plasma. [3,16]

- **Traitement des crasses d'aluminium :**

Le terme de « crasse d'aluminium » désigne les déchets restés collés aux parois des cuves où l'aluminium se trouvait à l'état liquide. L'entreprise Hydro-Quebec (Canada) a développé, vers 1987, des essais de traitement des crasses d'aluminium avec une torche PEC (torche d'arc transféré à électrode froide) de 150kW dans un four avec de l'air comme gaz plasmagène. En 1988, une usine pilote de 1 MW est construite et en 1991, Plasma Processing Corporation construit aux USA une usine de capacité de 40 000 t/an. Ce procédé de traitement par torche à plasma permet de récupérer 90,5 % de l'aluminium contenu dans les crasses, avec toutefois d'importantes pertes énergétiques. [3,16]

II.4.4. Métallurgie:

La métallurgie utilise les fours à arc pour obtenir les températures élevées nécessaires au traitement de l'acier. Les fours destinés à cet usage peuvent fonctionner en courant alternatif ou en courant continu. Ce sont de gros consommateurs d'électricité, puisque leur consommation totale représente près de 4% de la consommation de la grande industrie en France. La capacité des fours modernes avoisine les 200 t avec une consommation

énergétique comprise entre 400 et 500 kWh/t. Cette consommation de puissance est telle qu'elle génère des problèmes sur les réseaux électriques (des papillotements de l'éclairage ou « flicker »). Cela est dû aux variations de tension sur le réseau, provoquées par les instabilités des arcs des fours.

Les fours à arc sont composés d'un récipient dans lequel repose le métal en fusion et d'électrodes en graphite situées au dessus. Ce récipient qu'il est possible de faire basculer pour recueillir le métal en fusion, dispose d'éléments pour refroidir sa voûte et retenir la chaleur du métal en fusion. La hauteur des électrodes est réglable afin de contrôler la tension de la décharge. Dans le cas des fours à courant continu, il y a une électrode au dessus et une électrode intégrée dans le fond du récipient contenant le métal en fusion [16].

II.4.5. Catalyse de réactions chimiques :

Les espèces chimiques présentes dans les plasmas sont réactives et permettent de catalyser des réactions chimiques.

- **Reformage de l'hydrogène à partir d'hydrocarbure :**

Bien que ce ne soit pas la seule voie possible. Le principe de ce type de dispositif est de mélanger les réactifs à l'état gazeux dans le réacteur où on entretient une décharge électrique.

II.4.6. Dépôts et gravure :

L'utilisation de plasmas permet de réaliser des traitements de surface, afin d'obtenir ou d'améliorer certaines propriétés spécifiques. On peut ainsi solidifier des pièces métalliques, graver avec précision ou déposer des molécules sur des matériaux plastiques pour en changer les propriétés.

- **Rechargement des pièces usées :**

Certaines pièces de métallurgie s'usent de manière importante, notamment lorsqu'elles sont sujettes à de fortes contraintes mécaniques : pièces de centrales nucléaires, pièces de matériaux de forage... Ces pièces peuvent être traitées et renforcées en y déposant du carbure de tungstène ou d'autres composés en fonction des propriétés recherchées (anticorrosion...) Cette opération de « rechargement » est effectuée à l'aide de torches à plasma.

- **Gravure de semi-conducteur :**

On utilise des décharges à barrière diélectrique pour effectuer la gravure du silicium de

composants microélectroniques. Cela permet de réaliser des gravures très précises. Ce type de technologie est également utilisé dans certaines disciplines des sciences de la vie, pour créer des substrats d'étude de cellules isolées ou canalisées. [3,16]

- **Traitement de surfaces**

Grace à la caractéristique « homogène » des DBDs, elles sont utilisées dans la modification de surfaces ; un exemple est le traitement des plastiques, pour leur permettre de coller facilement ou d'être réceptifs à l'encre d'impression. La DBD peut être facilement introduite dans le processus industriel de production de papier, en effectuant la décharge entre un rouleau qui fait tourner le papier et une électrode (parfois plusieurs) recouverte par un diélectrique, comme le montre la figure ci dessous. [3, 8,16]

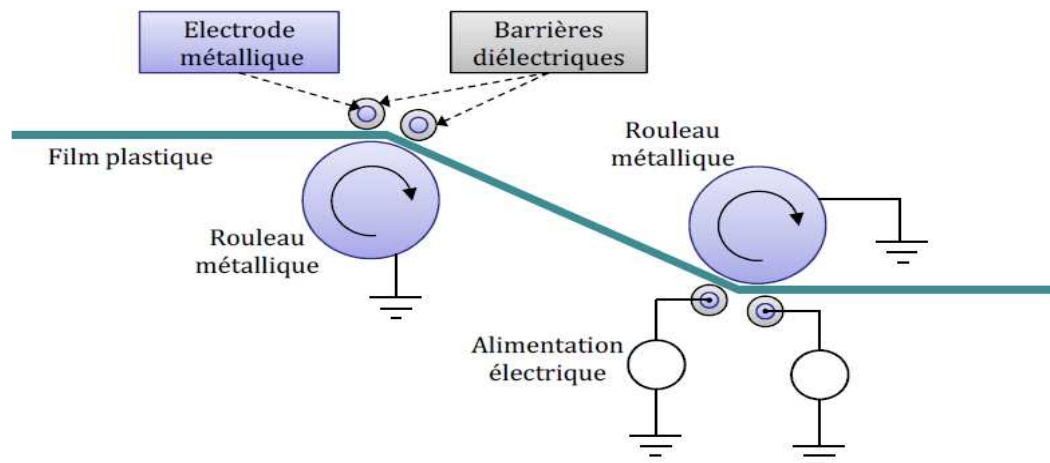


Figure II.8 : le processus industriel de production de papier.

II.4.7. Ecrans à plasma :

Le principe de la technologie plasma part du fait qu'un gaz est excité avec de l'électricité pour donner de la lumière. Le gaz en question est un mélange de gaz rares, le xénon et l'argon. Il est placé dans des microcellules qui représentent les pixels de l'écran plasma. Des électrodes situées sur les bords des cellules alimentent celles-ci par une tension alternative et selon une fréquence variable. Ces variations de potentiel et de fréquence induisent la variation des rayons ultraviolets générés par le gaz excité. Les couleurs sont obtenues grâce à des scintillateurs qui reproduisent les couleurs de base, à savoir le rouge, le vert et le bleu. Chaque pixel en est constitué et pour obtenir le noir, il suffit de ne pas alimenter la cellule concernée. La technologie plasma offre un rendu graphique très

performant notamment au niveau des contrastes et de la fluidité des images. Les écrans plasma possèdent par ailleurs un temps de réaction assez court et la technologie plasma est idéale pour les écrans de grande taille. L'architecture de base des dalles plasma repose donc sur des composantes mécaniques, électriques, chimiques et optiques [8].

II.4.8. Excilampes :

Une application spécifique des DBD concerne les dispositifs destinés à produire un rayonnement UV, créé par des excimères ou des exciplexe.

Parmi les applications les plus courantes de ces lampes, basées sur l'utilisation du rayonnement UV produit, nous trouvons : les traitements dermatologiques, la stérilisation de l'eau et les procédés pour la microélectronique

Les lampes à espèces excitées, excimères ou exciplexe, présentent des avantages par rapport aux techniques classiques de production d'UV :

- Elles n'utilisent pas le mercure dans le mélange gazeux, évitant des conséquences graves pour la santé et l'environnement.
- Elles n'ont pas besoin d'un système de chauffage du gaz (mercure) et peuvent être employées dans des applications à basse température (régime luminescente au lieu du régime d'arc).
- Leur spectre d'émission peut être réglé avec le mélange gazeux, avec multiples choix [8].

II.5. Conclusion :

Le regain d'intérêt, autour des années 90, pour les DBD à la pression atmosphérique a été initié par l'émergence de nouvelles applications dans le but de s'affranchir d'installations trop onéreuses.

III.1. Introduction :

Ce chapitre met en évidence la partie expérimentale de notre travail. Dans un premier temps nous décrirons la procédure suivie pour nos différents essais, puis nous discuterons les résultats obtenus.

Afin de mettre en évidence au laboratoire, l'influence d'une barrière diélectrique et quelques paramètres de cette dernière (diamètre, matériau...) sur la rigidité diélectrique de l'intervalle d'air compris dans un système d'électrode pointe-plan sous une tension alternative 50Hz, nous avons été amenés à réaliser un dispositif expérimental qui nous facilite les observations et les mesures nécessaires pour les différents types d'essais :

1. Décharge dans l'air.
2. Décharge avec barrière :
 - Barrière en verre.
 - Barrière en plexiglas.
3. décharge avec barrière flottante :

III.2. Montage expérimental :

Les expériences sont effectuées au laboratoire de haute tension. L'installation électrique à l'intérieur est sujette à des défauts d'isolement qui se produisent de temps en temps, c'est pour cela que les pièces métalliques (ex. cage de Faraday) sont mises à la terre afin de pouvoir décharger toutes fuites d'électricité sur ces pièces et ainsi éviter les risques d'électrocution.

Afin de pouvoir observer tout phénomène se produisant pendant la décharge, l'obscurité totale est nécessaire.

➤ Description des composants du dispositif expérimental :

Le dispositif utilisé pour nos essais est montré dans la figure (III.1). Il est constitué de :

- Un dispositif en bois.
- Des électrodes en aluminium.
- Des barrières circulaires (verre et plexiglas).

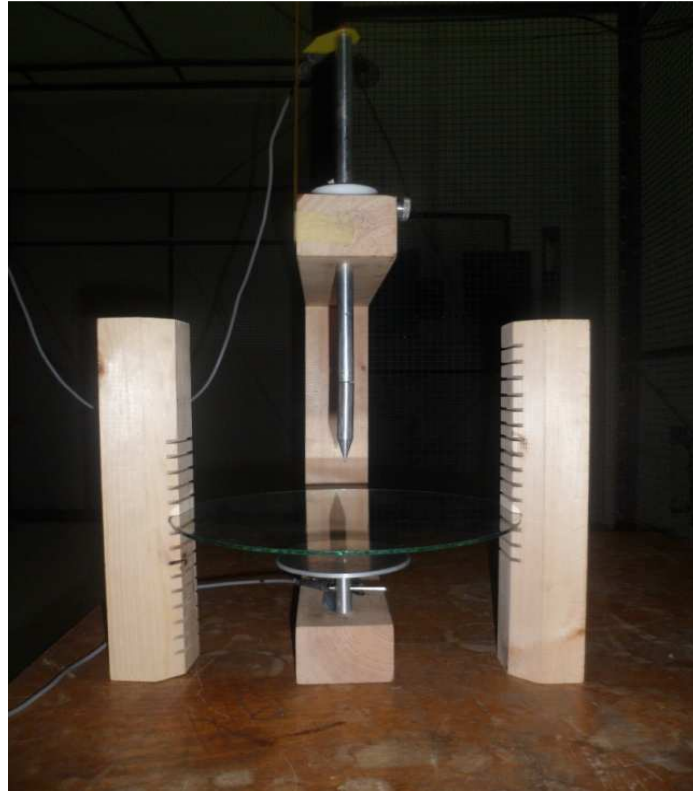


Figure III.1 : dispositif expérimental

A. Alimentation du dispositif :

Le transformateur d'essai utilisé délivre une tension alternative de 50Hz et il a les caractéristiques suivantes :

- Primaire : 220V/6A
- Secondaire : 106KV /10mA

La variation de la tension d'alimentation du transformateur d'essai se fait à l'aide d'un auto-transformateur se trouvant au niveau du pupitre de commande comme le montre la figure ci-dessous:

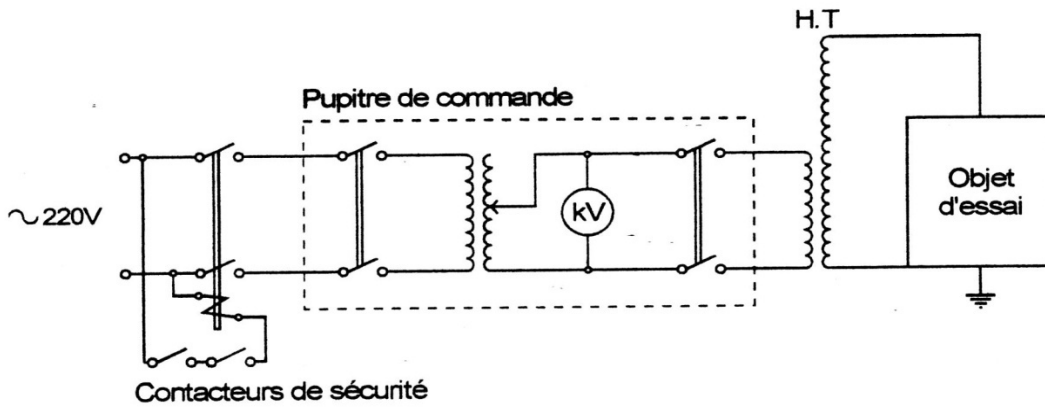


Figure III.2 : circuit d'essai.

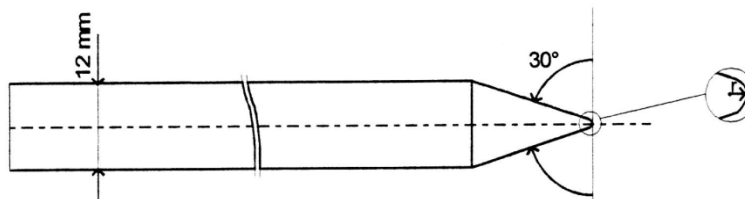
B. Choix des électrodes :

1) Electrode plane :

Le plan est une plaque en aluminium de forme circulaire à bord arrondi de 100mm de diamètre et de 5mm d'épaisseur.

2) Electrode pointe :

L'électrode pointe est constitué d'une tige, en aluminium de 12mm de diamètre. Cette tige est caractérisée par une pointe à bout conique faisant un angle de 30° et un rayon de courbure r .



C. Choix des barrières:

Les barrières utilisées dans cette étude sont des disques en Plexiglas et en verre de différents diamètres : 100, 110, 125, 130, 150, 170, 200, 220 et 250mm et d'épaisseur 3mm.

- **Caractéristiques électriques des barrières :**

Les caractéristiques électriques des barrières diélectriques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Matériau	Verre	Plexiglas
ϵ_r		
$\text{tg } \delta$		
Rigidité diélectrique (kV/mm)		
Résistivité transversale ($\Omega \cdot \text{cm}$)		

Où :

ϵ_r : permittivité relative ou constante diélectrique.

$\text{tg } \delta$: facteur de pertes diélectrique

Rigidité diélectrique (kV/mm) : représente la valeur maximum du champ électrique que le milieu peut supporter avant de claquer (de se rompre).

Résistivité transversale ($\Omega \cdot \text{cm}$) : cette résistivité détermine le courant de fuite à travers l'isolant (barrière). Une résistivité transversale faible permet le passage d'un courant de fuite dangereux à travers l'isolation

III.3. Partie expérimentale :

III.3.1. Décharge dans l'air :

- **Model expérimental :**

Le model expérimental utilisé dans ces essais est représenté dans la figure III.3. Les deux électrodes (pointe et plan) sont séparées par un intervalle d'air de longueur variable (de 1 à 8cm).

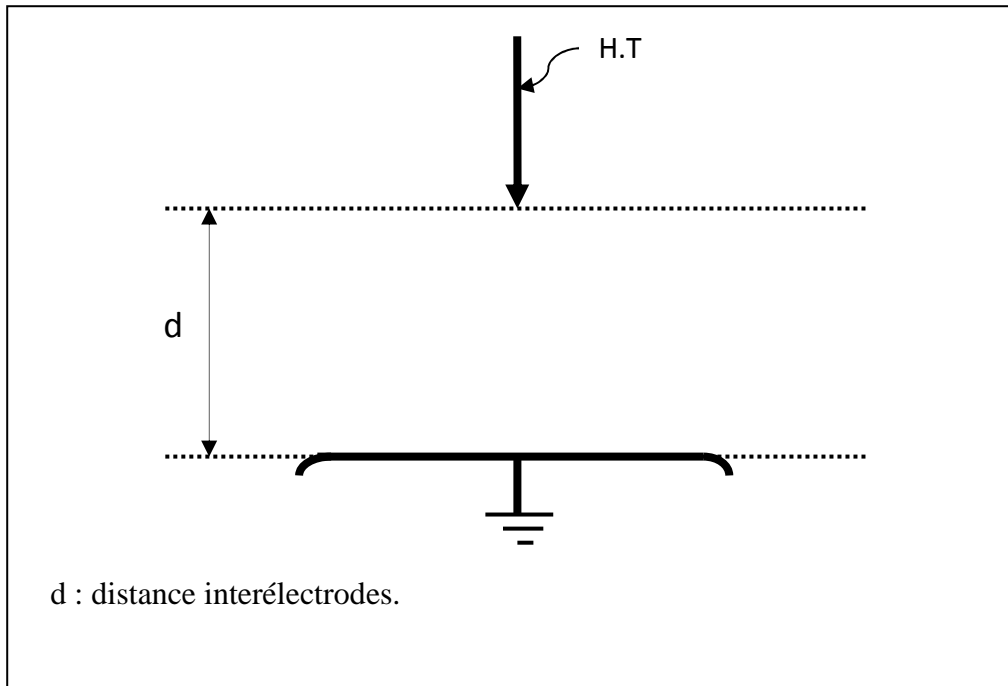


Figure III.3 : schéma général du dispositif sans barrière.

- **Mode opératoire :**

Ces essais sont consacrés à l'étude de l'influence de la distance interélectrodes sur la tension disruptive d'un intervalle d'air. Il s'agit de relever la tension de claquage (disruptive) de l'intervalle d'air en fonction de la distance interélectrodes.

Après avoir mis en place notre dispositif expérimental, on augmente progressivement la tension avec une vitesse pratiquement constante, jusqu'à constatation de bruits caractérisant la décharge couronne (effet couronne), ensuite la tension est augmenté jusqu'au claquage de l'intervalle d'air. Cinq mesures ont été effectuées pour chaque distance interélectrodes et la valeur prise en considération est la moyenne des cinq valeurs mesurées.

Les résultats des essais, en système pointe- plan, ont été ramenés aux conditions normales suivant la norme C.E.I 60.

III.3.2. décharge avec barrière diélectrique :

- **Model expérimental :**

En plus du model décrit en figure III.3, on insère une barrière diélectrique (verre ou plexi) dans l'intervalle d'air comme le montre la figure III.4 :

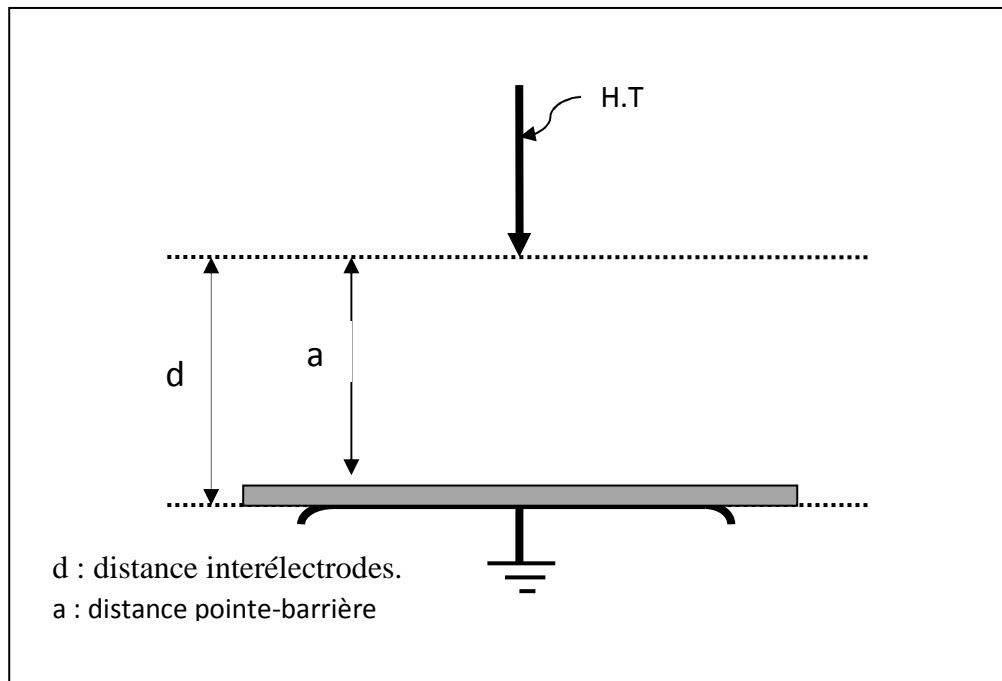


Figure III.4 : schéma général du dispositif avec barrière.

- **Mode opératoire :**

Dans ces essais, il s'agit d'étudier l'influence sur la tension disruptive de :

- a. La distance interélectrodes.
- b. Du diamètre des différentes barrières.
- c. De la nature de la barrière (verre et plexi).

Dans un premier lieu, on met une barrière d'un certain diamètre sur l'électrode plane, puis on fait varier la distance interélectrodes de 0.3cm à 8.3cm. Ensuite on change le diamètre de la barrière, et on refait la même chose.

Pour finir, c'est la nature de la barrière qui change et toujours suivant les mêmes étapes.

La tension de claquage est mesurée comme lors des essais précédents c'est-à-dire suivant le même principe.

III.3.3. Décharge avec barrière diélectrique flottante :

- **Model expérimental :**

Le model expérimental est représenté dans la figure III.5 :

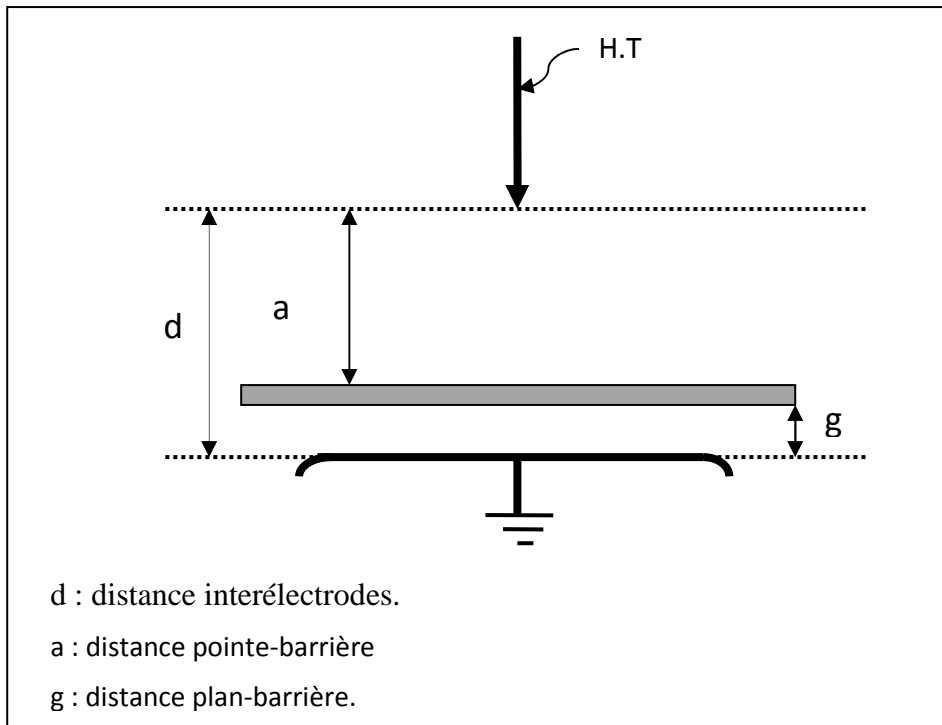


Figure III.5 : schéma général du dispositif avec barrière flottante.

- **Mode opératoire :**

Dans ces essais nous allons nous intéresser à l'influence de la position et du diamètre de la barrière en verre dans l'intervalle d'air sur la tension disruptive.

On fixe la distance interélectrodes à $d=5.4$ cm, puis on fait varier la position de la barrière de $g=0$ jusqu'à $g=5.1$ cm.

La manipulation se fait toujours suivant la même procédure que lors des essais précédents.

III.4. Résultats expérimentaux et discussion :

III.4.1. Décharge dans l'air :

Les résultats de la décharge dans l'air sont représentés dans la figure suivante :

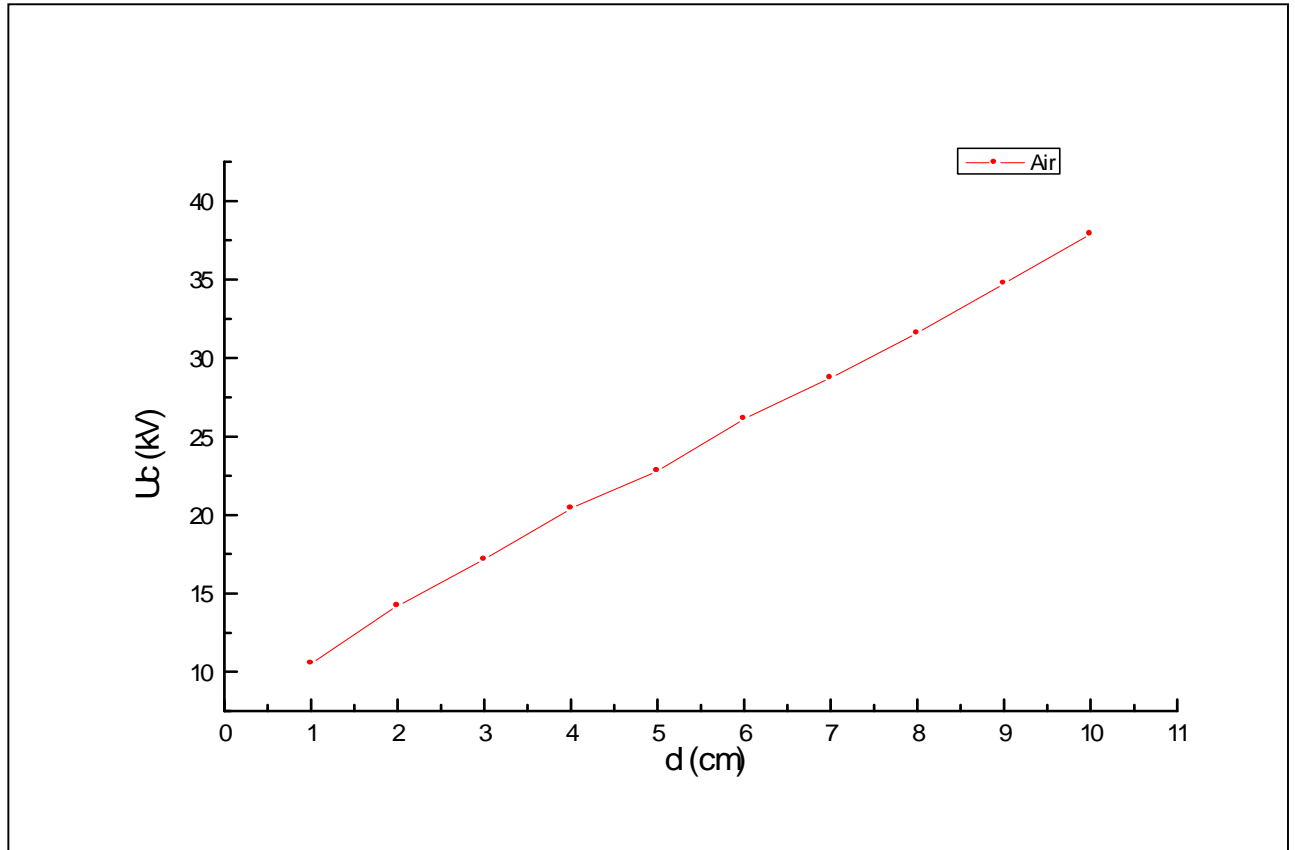


Figure III.6 : décharge dans l'air avec $U_c = f(d)$

Discussion :

L'allure de la courbe donnée en figure III.6 montre que la tension U_c augmente avec d .

III.4.2. Décharge avec barrière diélectrique $g=0$:

- **Influence de la distance interélectrodes : $U_c = f(d)$**

Afin de montrer l'influence qu'a une barrière diélectrique sur la rigidité diélectrique de l'air, nous avons effectué des mesures de la tension disruptive qui sont représentées dans les figures suivantes :

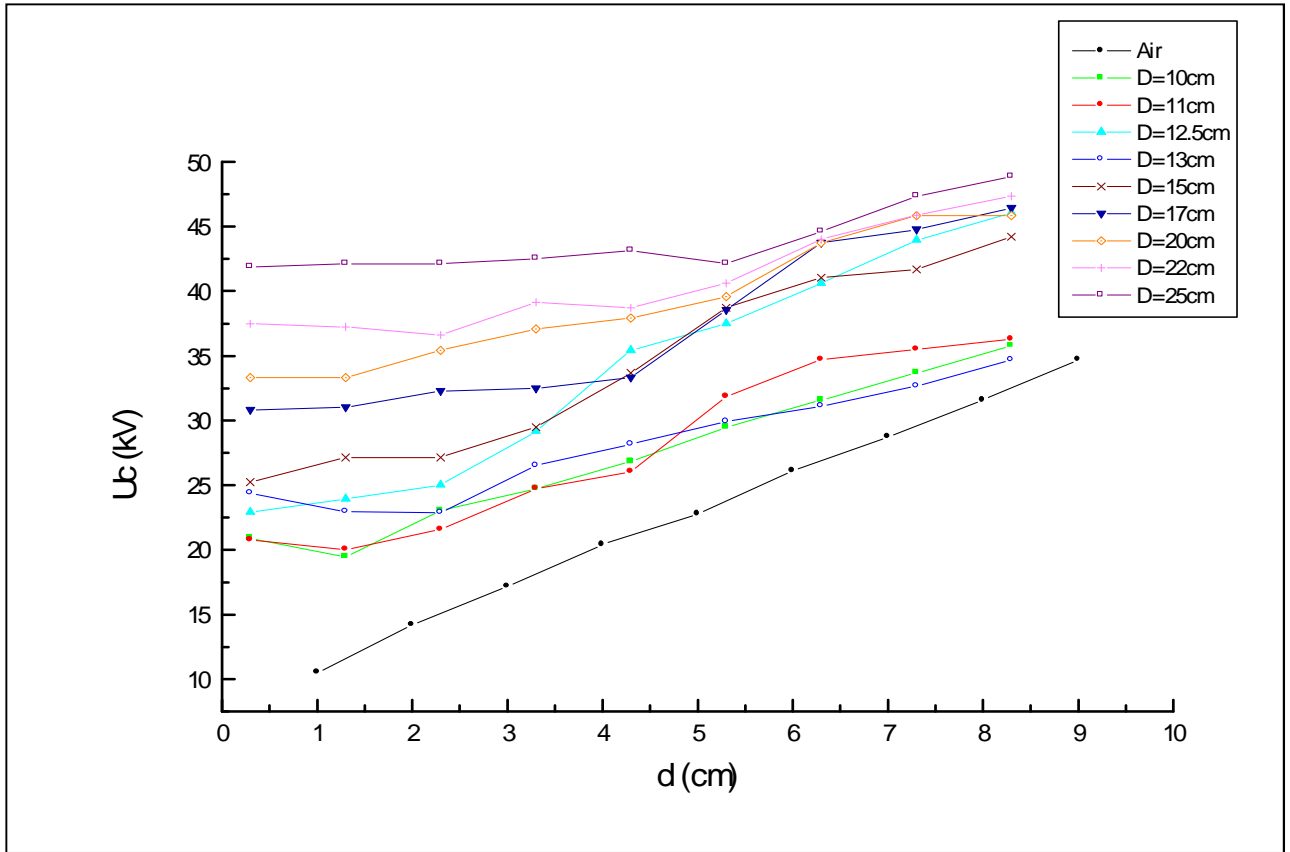


Figure III.7 : Influence de la distance interélectrodes $U_c = f(d)$ pour des barrières en verre.

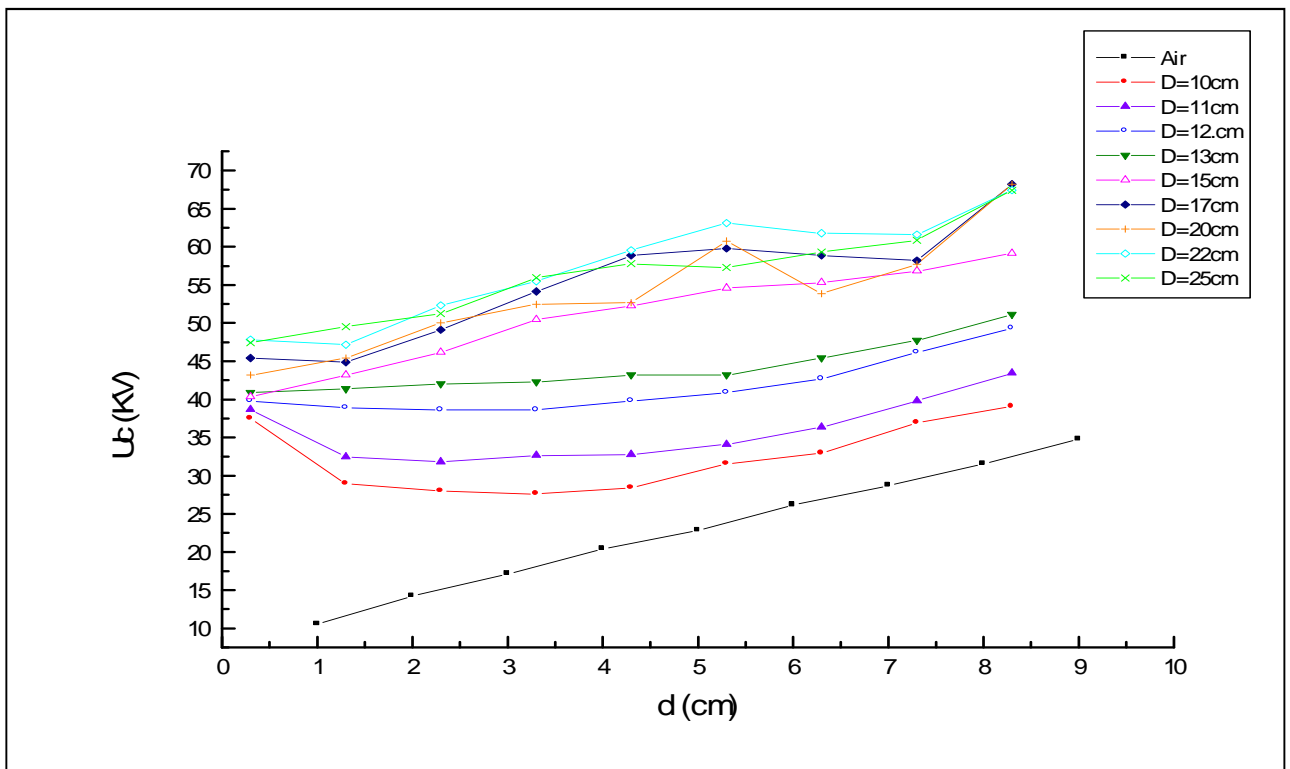


Figure III.8 : Influence de la distance interélectrodes $U_c = f(d)$ pour des barrières en plexiglas.

Discussion :

On remarque que l'insertion d'une barrière diélectrique dans un intervalle d'air améliore toujours sa rigidité diélectrique et cela quelque soit la nature de la barrière (verre ou plexiglas).

Pour le verre :

Pour des distances interélectrodes $d < 1.3\text{cm}$ et pour les diamètres $D = 10, 11$ et 13cm , la tension de claquage (disruptive) U_c diminue, alors que pour $D = 12.5, 15, 17, 20, 22$ et 25cm elle augmente même si ce n'est que légèrement.

Pour $d > 1.3$, la tension de claquage augmente d'une façon significative pour tous les diamètres.

On remarque aussi que pour $D = 12.5\text{cm}$ et $d > 2.3\text{cm}$, la tension disruptive augmente énormément avec l'augmentation de la distance interélectrodes.

Pour le plexiglas :

La figure III.8 montre qu'à des distances interélectrodes $d < 1.3\text{cm}$, il ya des zones de croissance et des zones de décroissance de la tension de claquage U_c , et ces fluctuations seraient dues à l'influence de la charge superficielle hétérogène en tension alternative comme l'ont suggérés plusieurs auteurs [2].

Pour $d > 1.3\text{cm}$, U_c s'accroît au fur et à mesure que la distance interélectrodes augmente. Mais cet accroissement, n'est pas le même pour tous les diamètres ainsi :

- Pour des diamètres inférieurs à 15cm , la tension disruptive n'augmente que légèrement, alors que pour les diamètres supérieurs à 13cm , U_c augmente significativement. Cela dit, on peut observer que pour d compris entre 5.3 et 7.3cm et D compris entre 17 et 22cm , U_c décroît puis augmente énormément pour $d > 7.3\text{cm}$.
- On remarque aussi que pour $d = 8.3\text{cm}$ et $D > 17\text{cm}$, la tension de claquage se stabilise autour d'une même valeur. Cela voudrait dire qu'à une certaine distance interélectrodes, l'augmentation du diamètre n'a plus d'effet sur la tension disruptive.

- La décharge à lieu à travers l'air en contournant la barrière pour des distances interélectrodes importantes (image 12), et par décharge glissante pour de faibles distances entre électrodes, ces phénomènes sont observés dans l'image 6.
- L'augmentation de la tension disruptive en fonction de la distance interélectrodes serait due à l'allongement du canal de la décharge avec l'élargissement de la barrière comme le montre l'image 11.

- **Influence du diamètre $U_c = f(D)$:**

Pour montrer l'influence du diamètre sur la rigidité diélectrique de l'air, les résultats sont représentés sur les figures suivantes :

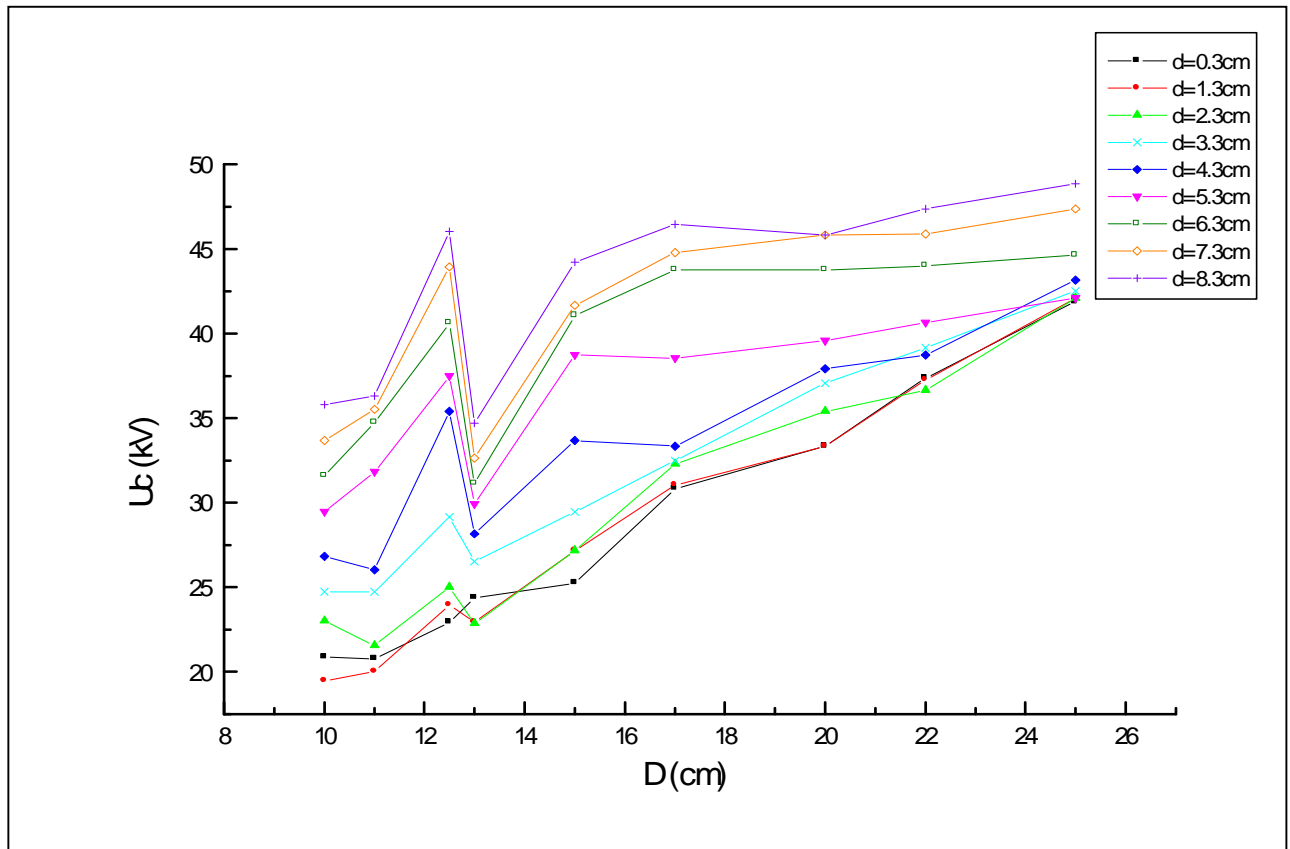


Figure III.9 : Influence du diamètre $U_c = f(D)$ pour des barrières en verre.

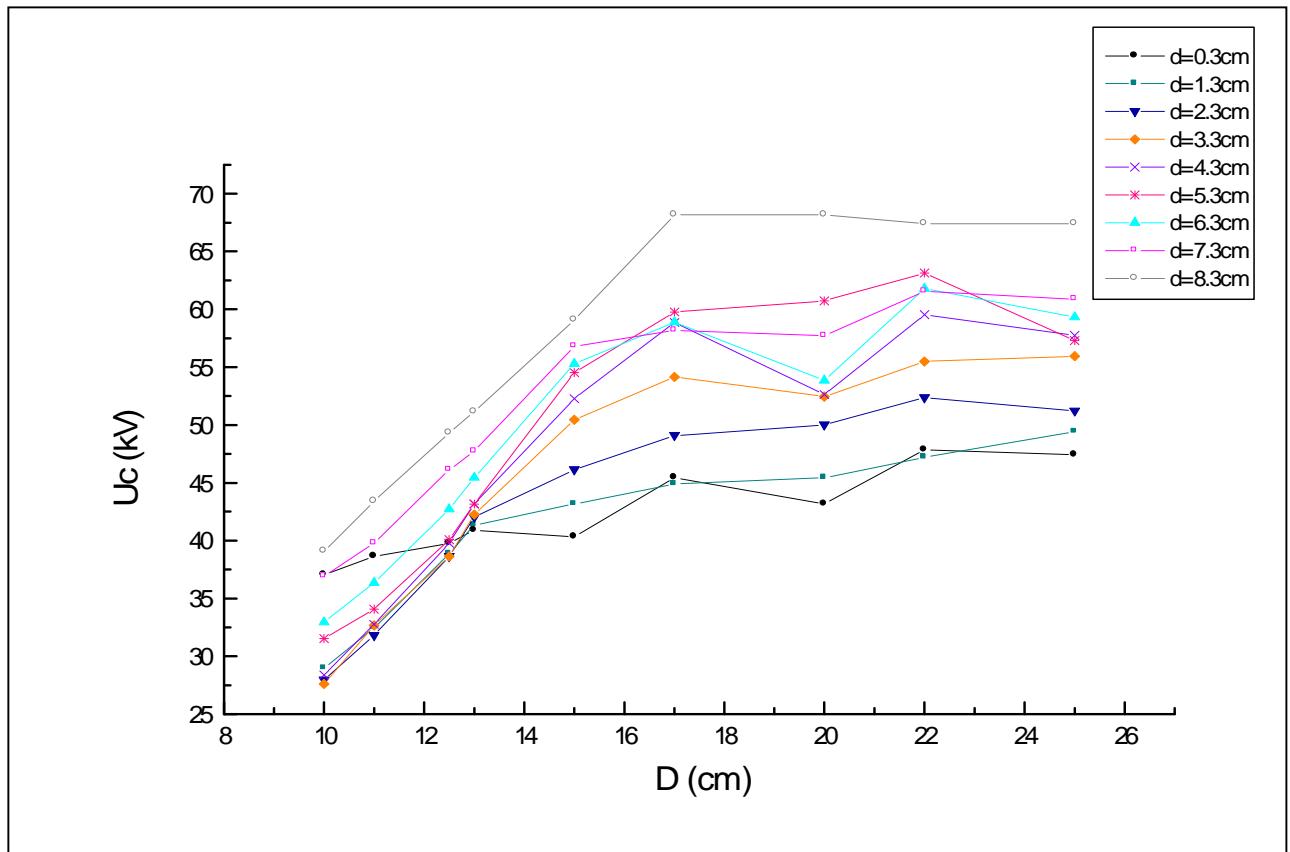


Figure III.10 : Influence du diamètre $U_c = f(D)$ pour des barrières en plexiglas.

Pour le verre :

D'après la figure III.9, la tension de claquage augmente d'une façon significative pour les diamètres supérieurs à 13 cm :

- Pour des distances interélectrodes inférieurs à 5.3cm, la tension disruptive augmente d'une façon très importante.
- Pour des distances interélectrodes supérieurs à 5.3cm et pour des diamètres compris entre 13 et 17cm, U_c augmente énormément, alors que pour des diamètres supérieurs à 17cm elle n'augmente que légèrement voir même se stabilise (à $d=6.3$ cm).

L'augmentation de la tension disruptive serait due à l'interaction de la surface de la barrière et de la décharge qui est stabilisé par la charge superficielle.

Pour des diamètres $D < 13$ cm, on remarque que :

- Pour de faibles distance ($d < 3.3$ cm), il ya des zones d'augmentations et des zones de diminution de la tension de claquage, alors que pour les distances interélectrodes

supérieurs à 3.3cm, U_c augmente très fortement ; ces fluctuations de la tension disruptive serait due à l'influence de la charge superficielle hétérogène en tension alternative.

Pour $D=12.5\text{cm}$, une augmentation de la tension de claquage très significative est observée, puis elle diminue fortement pour $D=13\text{cm}$.

Pour le plexiglas :

La tension de claquage augmente avec le diamètre de la barrière (figure III.10), cette augmentation est très significative pour des diamètres $D < 15\text{cm}$

Pour des diamètres $D > 15\text{cm}$ et pour une distance interélectrodes $d=8.3\text{cm}$, U_c n'augmente plus (elle se stabilise). Cela concorde avec le résultat trouvé précédemment, c'est-à-dire qu'à partir d'une certaine distance entre électrodes, l'augmentation du diamètre n'influence plus la tension de claquage.

- Les dimensions de la barrière influent considérablement sur la rigidité diélectrique. En effet, en augmentant la largeur de la barrière, la tension disruptive augmente, cette amélioration est particulièrement due à l'allongement du canal de la décharge avec l'élargissement de la barrière [1, 2, 11].
- La barrière par sa largeur constitue un obstacle géométrique au développement de la décharge vers le plan, plus le diamètre augmente plus le nombre d'ions freinés devient de plus en plus important. En effet ces ions dans leur mouvement vers la cathode (électrode plane), se répartissent sur la surface de la barrière, ainsi le processus de développement du canal (steamer) de plasma devient retardé, ce qui engendre alors une augmentation de la tension disruptive du système.

- **Influence du matériau :**

Pour montrer l'influence du matériau sur la rigidité diélectrique de l'air, nous avons comparé la tension disruptive du verre et du plexiglas pour différents diamètres.

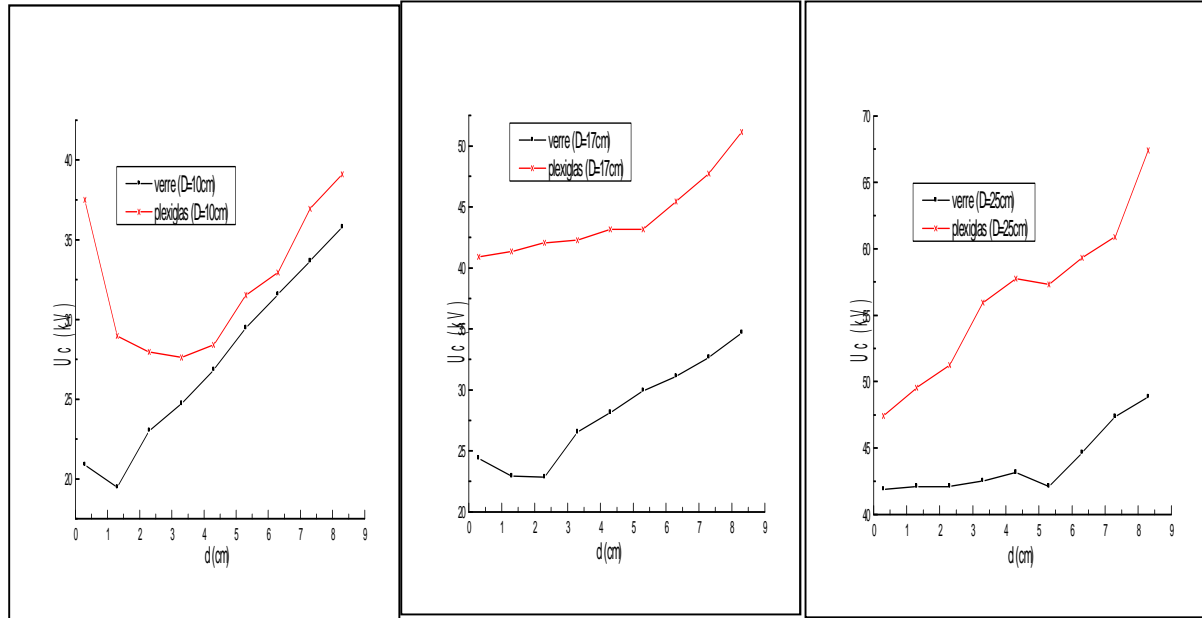


Figure III.11 : Influence du matériau de la barrière $U_c = f(d)$ pour $D = 10, 17$ et 25 cm

Discussion :

La tension disruptive avec barrière en plexiglas est plus grande que celle en verre. La différence entre ces deux tensions serait due à la différence entre les permittivités diélectriques des deux matériaux. La décharge progresse plus facilement sur l'isolant de plus grande permittivité, car le claquage se produirait en partie par décharge superficielle [1,2,11].

III.4.3. Barrière flottante $g \neq 0$:

La figure représentée ci-dessous, montre l'influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'air :

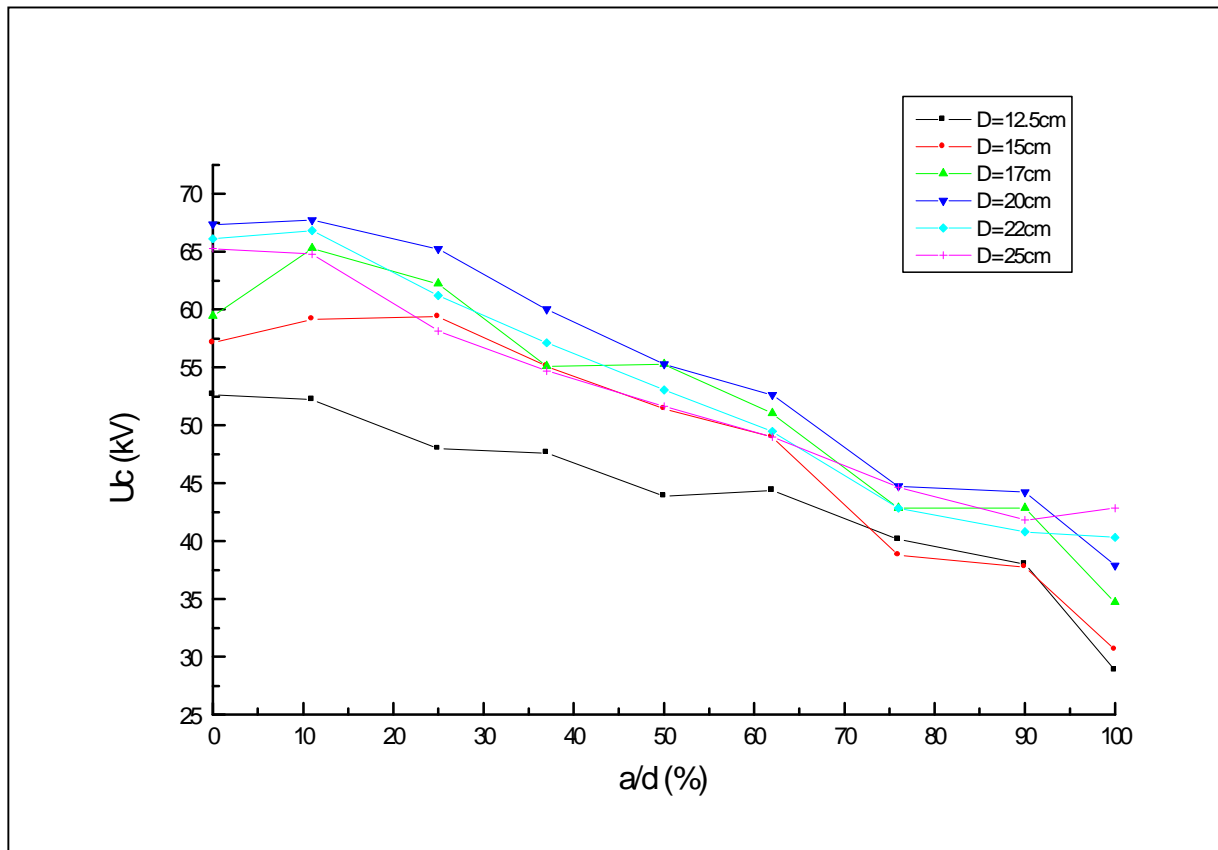


Figure III.12 : influence de la position de la barrière $U_c = f(a/d)$

Discussion :

La figure III.12 montre que la rigidité diélectrique de l'intervalle pointe-barrière-plan est nettement améliorée lorsque la barrière est proche de la pointe, puis elle décroît au fur et à mesure que l'on rapproche la barrière du plan. L'optimum concernant la tension disruptive est aux alentours de 10%. Ce résultat confirme les résultats obtenus par plusieurs recherches [1,15].

Les étapes observées lors de la décharge (claquage) pour de très faibles distances interélectrodes :

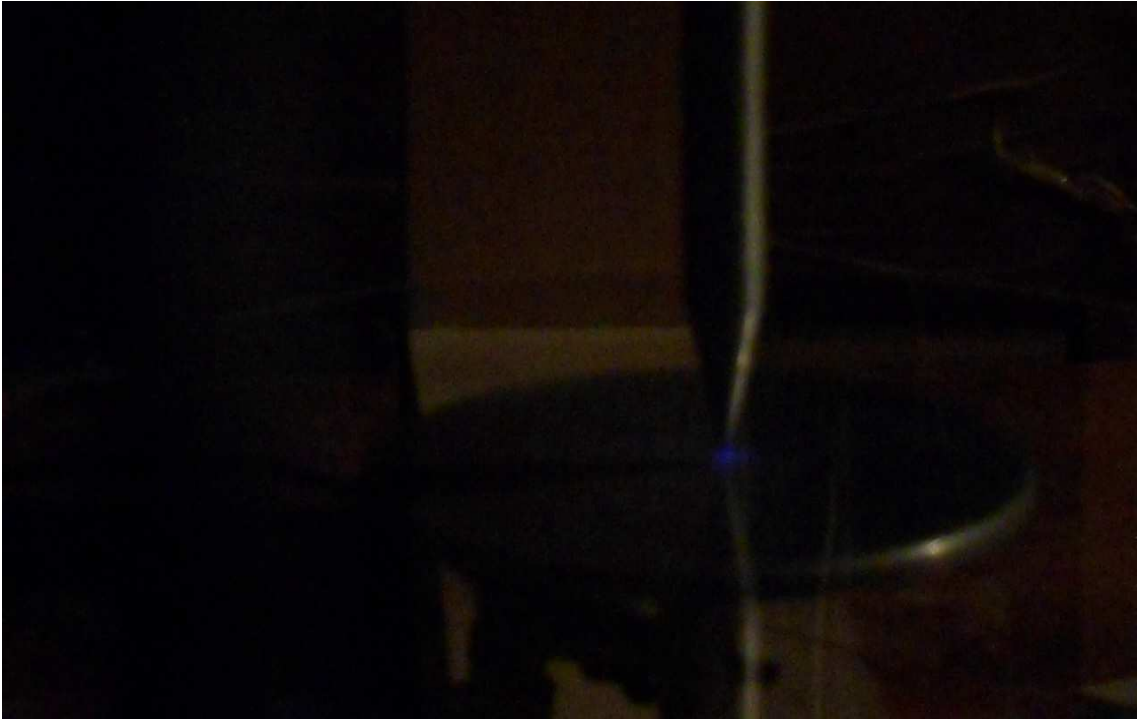


Image 1 : initiation de la décharge (effet couronne).

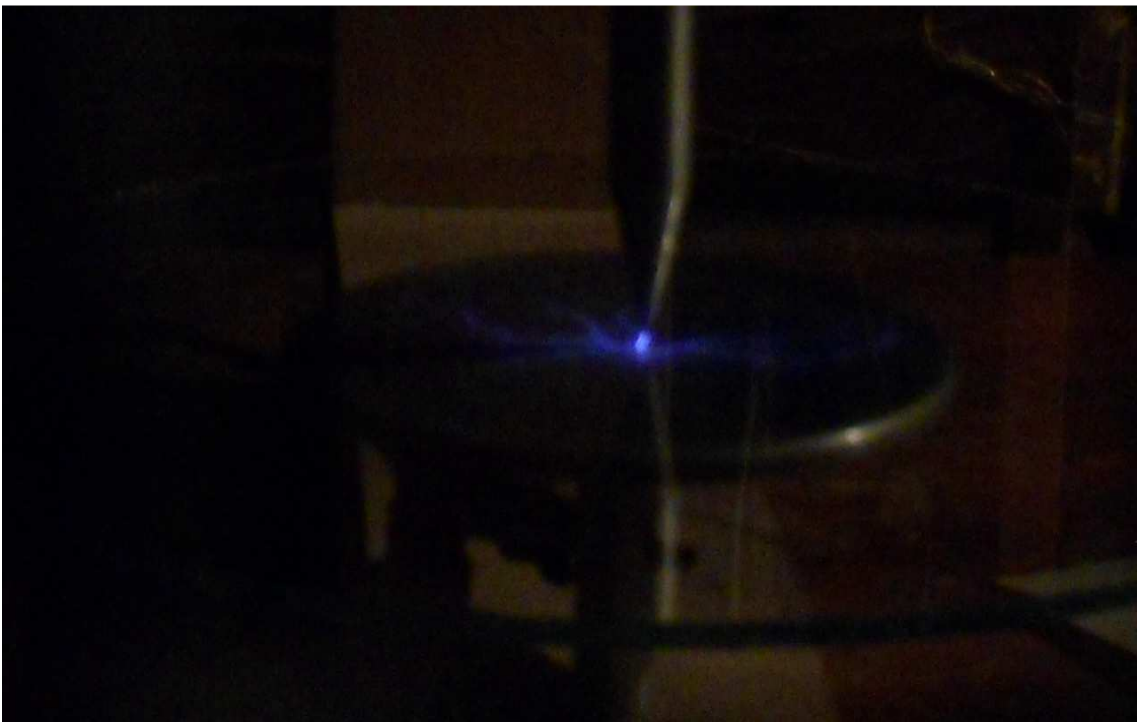


Image 2 : propagation de la décharge .



Image 3 : développement de la décharge sur un rayon égale à celui de l'électrode plane

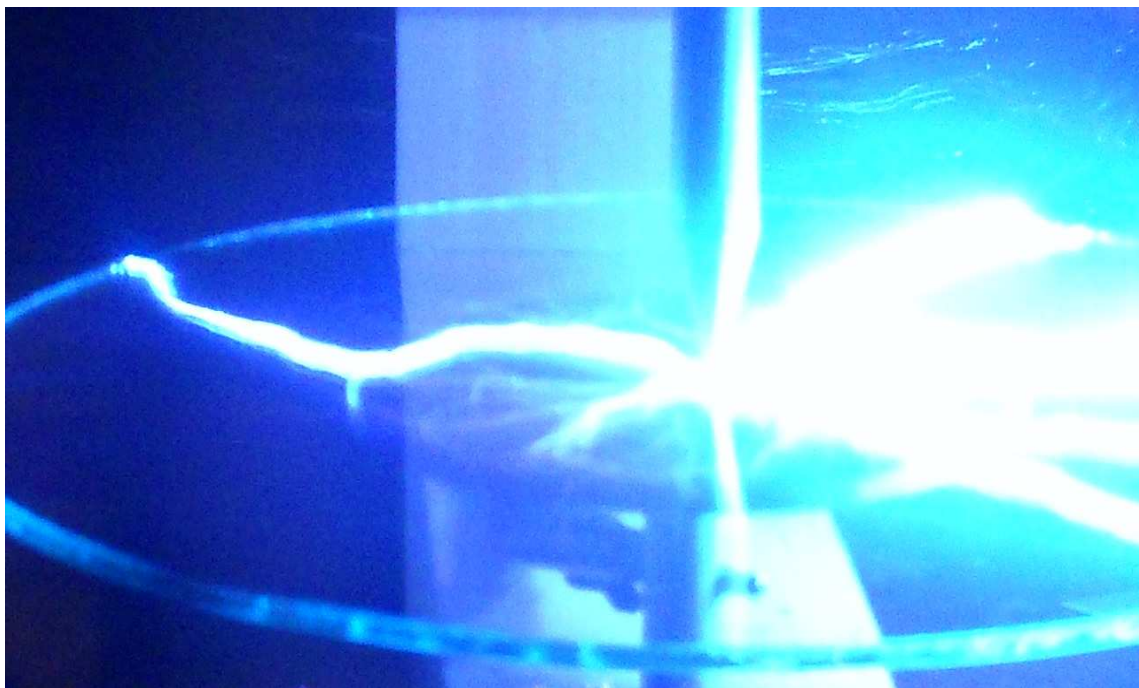


Image 4 : la décharge glissante.

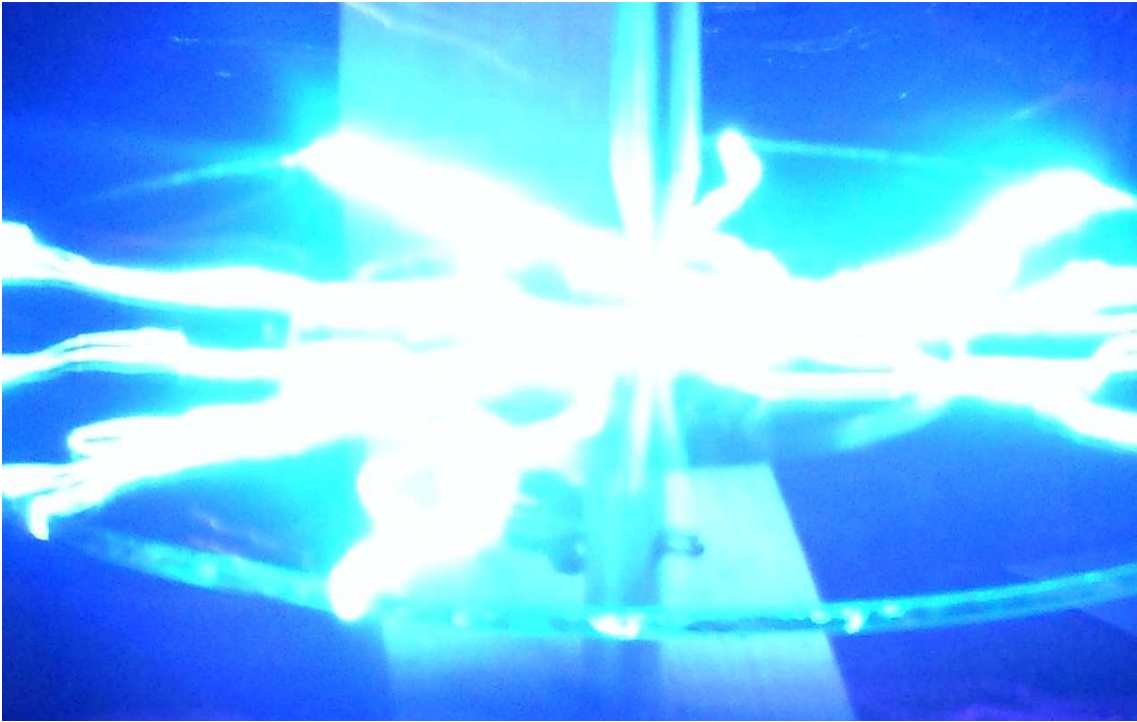


Image 5 : propagation de la décharge sur la barrière diélectrique.

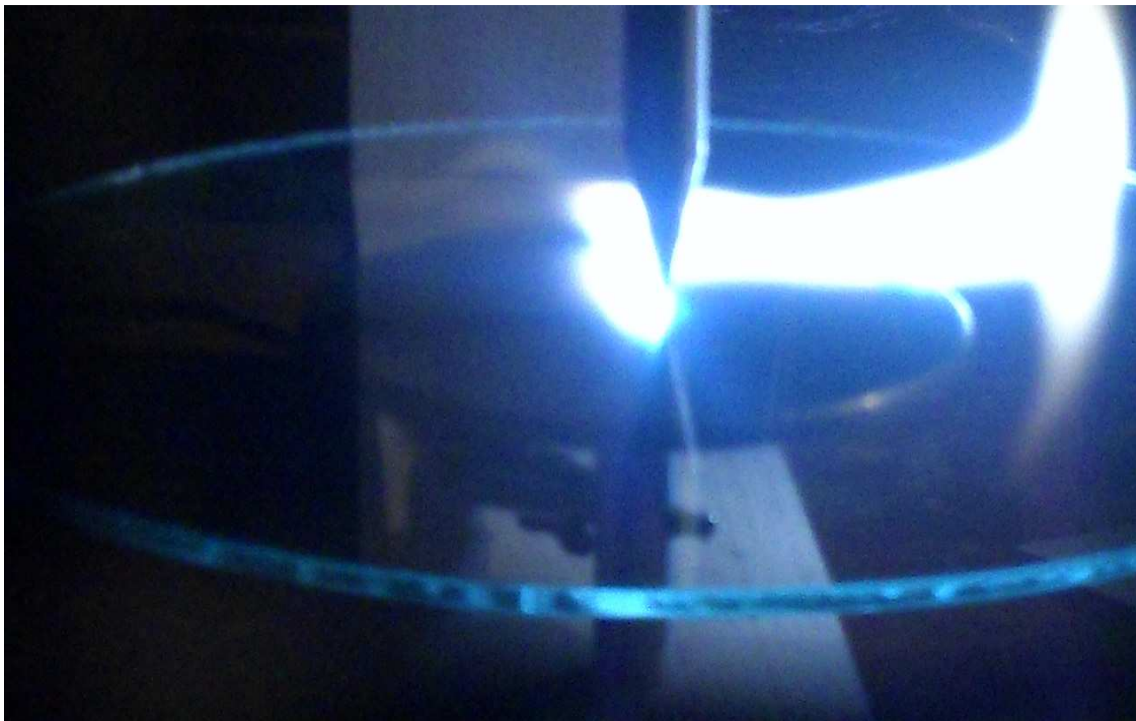


Image 6 : Claquage par décharge glissante.

Les étapes observées lors de la décharge (claquage) pour de grandes distances interélectrodes :

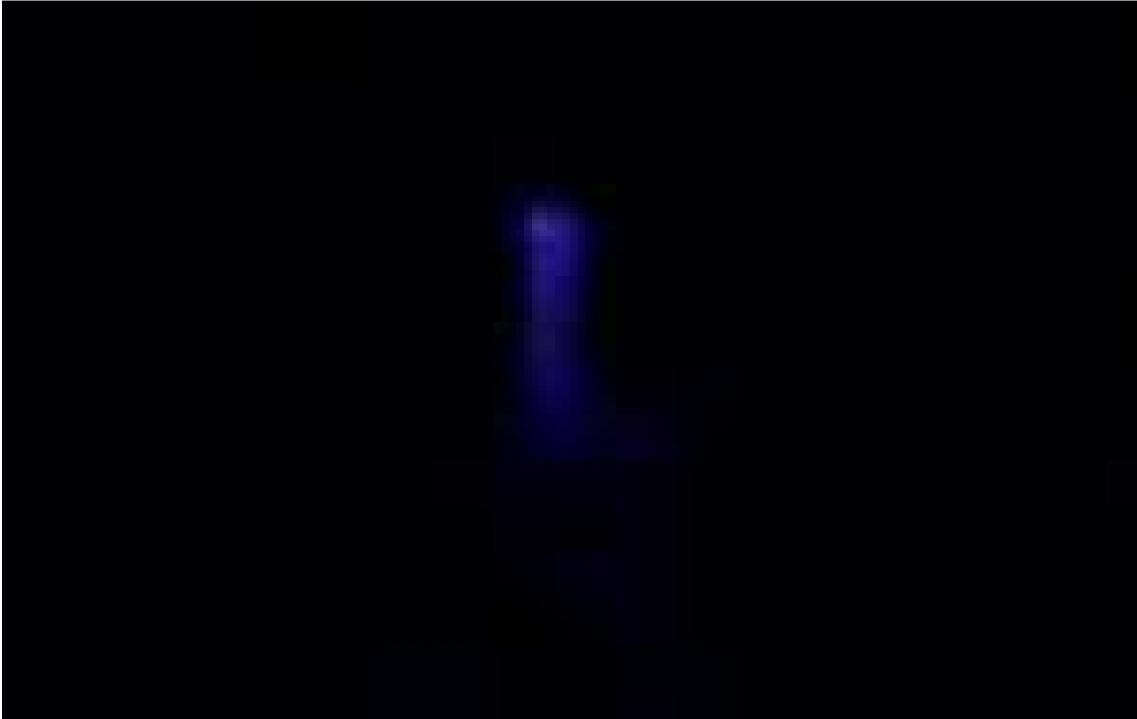


Image 7 : initiation de la décharge.

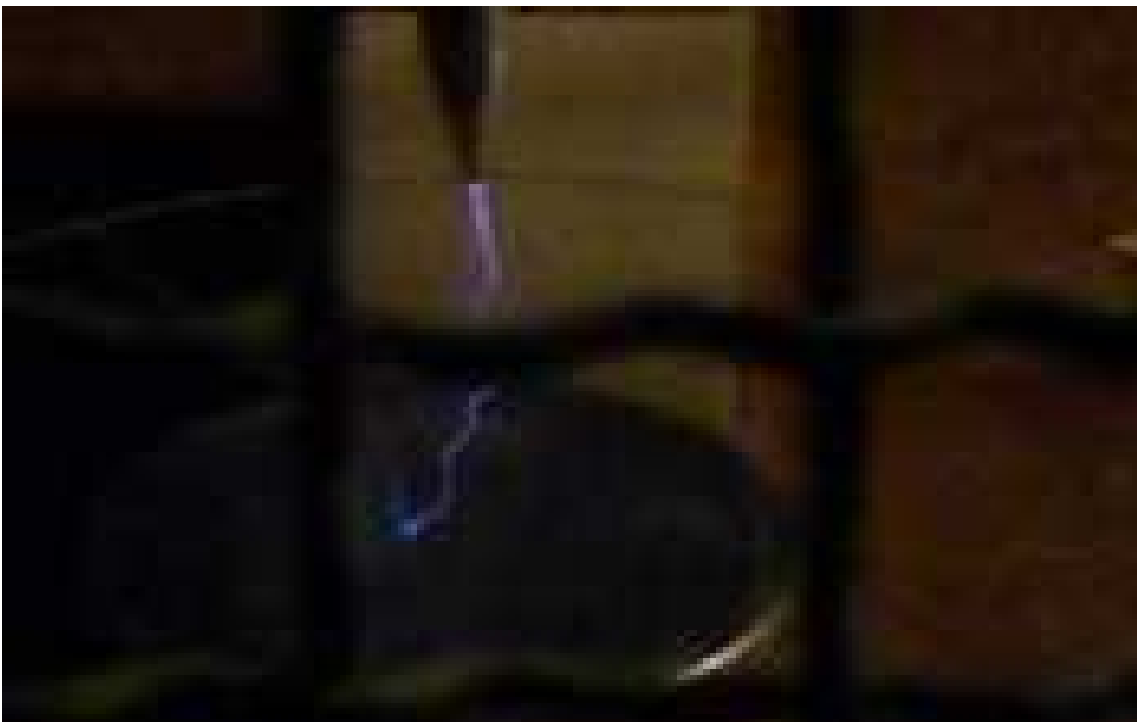


Image 8 : claquage de la couche d'air (apparition d'un streamer distordu).



Image 9 : développement du streamer.



Image 10 : développement de la décharge sur une surface du rayon égale à celui de l'électrode mise à la terre (plane).

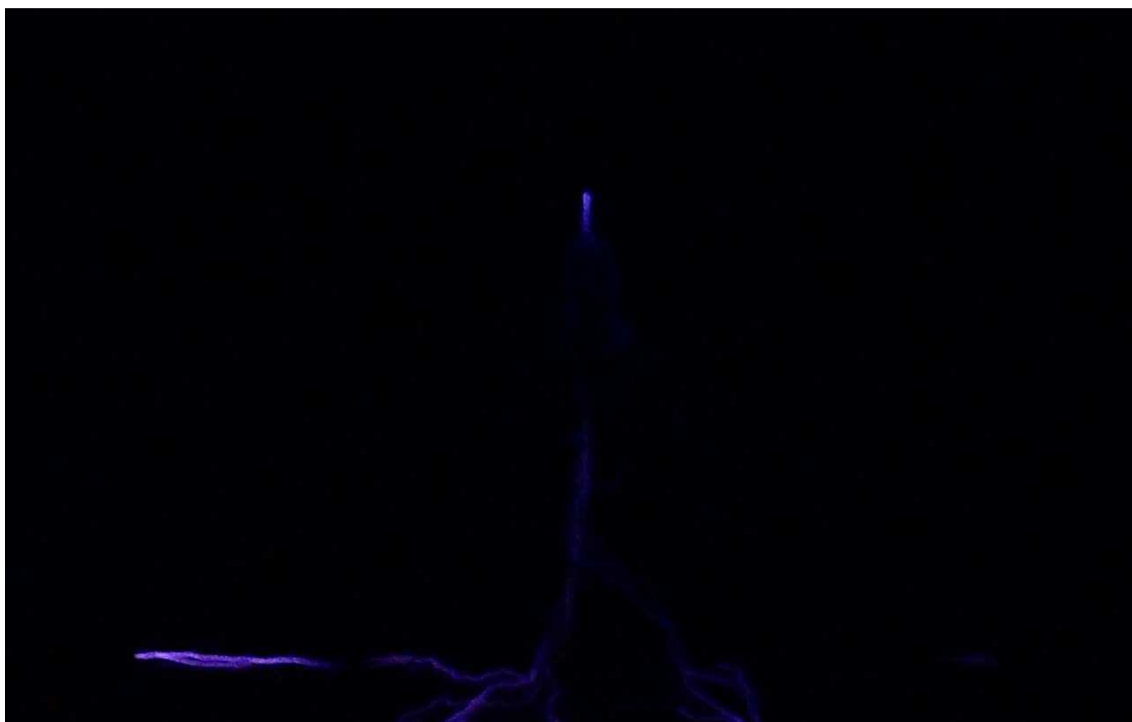


Image 11 : allongement du canal de fuite.



Image 11 : Claquage par contournement.

- [1] Samia MOUHOUBI née GHERBI :
« Etude de l'influence d'une barrière dans un intervalle pointe – plan, par la mesure de la tension disruptive, du champ électrique et des décharges partielles ».
Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Laboratoire de Recherche en Electrotechnique, 16 Novembre 2008.
- [2] M.MOUDOUD :
« Contribution à l'étude d'une isolation solide/air soumise à une tension alternative »
Mémoire de magistère, Université Mouloud MAMMERI, 1997.
- [3] Khadîdja KHODJA :
« Modélisation unidimensionnelle d'une décharge à barrière diélectrique pour lampe excimères ».
Thèse de doctorat, Université des sciences et de la technologie d'Oran-Mohamed Boudiaf, 04 Juillet 2010.
- [4] Katia ALLEGRAUD :
« Décharge à Barrière Diélectrique de surface : physique et procédé ».
Thèse de doctorat de l'école polytechnique, France. 2005.
- [5] Alyen ABAHAZEM :
« Études expérimentales des décharges couronne pour la dépollution des gaz ».
Thèse de doctorat, Université de Toulouse III – Paul Sabatier, 01 Décembre 2009.
- [6] Mounir HAIROUR :
« Etude diélectrique d'une isolation hybride gaz-solide pour appareillage haute tension ».
Thèse de doctorat, Université Montpellier II – Sciences et Techniques du Languedoc, 30 octobre 2007.
- [7] L.TOUILEB et N.ZEMOURI :
« Réalisation d'un réacteur à décharge plasma pour la stérilisation de matériel médical »
Mémoire d'ingénieur, Université Mouloud MAMMERI, Juin 2011.

- [8]Rafael DIEZ MEDINA :
« Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement ».
Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 16 octobre 2008.
- [9]M. Alexandre VALT :
« Etude de deux procédés de polymérisation d'un précurseur gazeux dans un plasma radiofréquence basse pression et liquide déposé sur un substrat activé par décharge à barrière diélectrique à pression atmosphérique : application aux propriétés antifouling ».
Thèse de doctorat, l'Université PIERRE et MARIE CURIE, 26 Septembre 2008
- [10] Mr BOULEGHLIMAT Oussama :
« Traitement de surfaces de films de polyimide par une décharge à barrière diélectrique ».
Thèse de doctorat, Université Mentouri De Constantine Faculté Des Sciences De L'ingénieur, 2009.
- [11] BENAOUUM BENALI :
« Etude et réalisation d'un générateur d'ozone à décharge à barrière Diélectrique »
Mémoire de magister, Université de Mascara, Faculté des Sciences et de la Technologie.
- [12] Jérôme JOLIBOIS :
« Étude et développement d'un actionneur plasma à décharge à barrière diélectrique – application au contrôle d'écoulement sur profil d'aile ».
Thèse de doctorat, Université de Poitiers 2006.
- [13]R.Maurau:
« Etude de l'influence du regime d'une décharge a barriere dielectrique dans un mélange hmdso/n2, sur les propriétés d'un procédé de dépôt ».

- [14] Nofel MERBAHI:
« Luminescence de l'argon et du xénon dans les décharges à barrières diélectriques mono-filamentaires. Analyses électrique et cinétique ».
Thèse de doctorat, Université PAUL SABATIER de TOULOUSE, 14 décembre 2004.
- [15] S. Mouhoubi, A.Boubakeur et R. Boudissa :
« Influence d'un écran isolant sur la rigidité diélectrique et le champ électrique d'un intervalle d'air pointe-plan sous tension alternative »
CNHT, Sidi Belabes, 2011.
- [16] M. SALANNE Jean-Philippe :
« Contrôle du point de fonctionnement des décharges électriques par l'intermédiaire de leur alimentation ».
Thèse de doctorat, l'institut national polytechnique de Toulouse, 18 novembre 2005.
- [17] A. AILAM et M.HADDAG :
« Influence d'une barrière sur la tenue d'intervalles d'air en tensions alternative 50Hz et continue »
Mémoire d'ingénieur, Université Mouloud MAMMERI, 1996.

Le travail que nous avons mené est une suite de certains travaux réalisés dans notre laboratoire de haute tension; il porte sur l'étude de l'insertion d'une barrière isolante sur la tenue diélectrique d'un intervalle d'air dans un système d'électrodes pointe-plan.

Nous avons étudié l'influence de la distance interélectrodes, du diamètre, de la nature et de la position d'une barrière diélectrique sur la tension de claquage de l'intervalle d'air. Les résultats obtenus sont en bonne concordance avec les résultats d'investigations d'autres chercheurs.

Nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- L'insertion d'une barrière diélectrique améliore toujours la rigidité de l'intervalle d'air, quelque soit sa nature (verre ou plexiglas).
- La tension de claquage est d'autant plus importante que la distance interélectrodes et le diamètre de la barrière isolante sont élevés.

Les observations visuelles durant le déroulement des essais de laboratoire ont confirmé que la décharge a lieu à travers l'air en contournant la barrière isolante pour les distances interélectrodes importantes, par ailleurs, le claquage est établi par décharges glissantes sur la surface de la barrière pour les faibles distances interélectrodes.

- Nous avons constaté également qu'au delà d'une certaine distance inter-électrodes, l'augmentation du diamètre de la barrière n'a plus d'effet sur le comportement de la décharge.
- La permittivité relative (la nature du matériau) joue un rôle très important sur la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air ; plus celle-ci est importante, plus la décharge progresse plus facilement.
- Enfin nous avons vu que la position optimum de la barrière diélectrique est aux alentours de 10% de la distance inter-électrodes à partir de l'électrode pointe.

Pour finir nous pouvons dire que l'étude des décharges à barrière diélectrique est très vaste et présente un intérêt réel du point de vue industriel.

Comme perspectives, nous souhaitons que ce travail soit continué en étudiant des tensions d'alimentations plus élevées (>70kV) ou des tensions impulsionnelle.

