



**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES**  
**DÉPARTEMENT de GÉNIE ÉLECTRIQUE**



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master**

Spécialité : Génie Electrique

Option : Réseaux Electrique et Haut Tension

**Présenté par :**

BOUCHENAF Nasreddine

YAGOUB Salem

*Sujet du mémoire*

**ETUDE PARAMETRIQUE DE LA DECHARGE  
ELECTRIQUE AVEC BARRIERE DIELECTRIQUE**

*Soutenu publiquement devant le jury composé de :*

Mr, MODJAHED Mohamed

Mr, SMAILI Atallah

Mr, BOUAZZA Abd-el-Kader

Président

Rapporteur

Examineur

PROMOTION : 2015

# Remerciements

## Remerciements

*Nous rendons nos profondes gratitudees à **ALLAH** qui nous a aidés à réaliser ce modeste travail.*

*Ce passage incontournable peut être l'occasion d'exprimer une gratitude sincère envers les personnes qui ont apporté une aide, une écoute ou simplement une chaleur gratuite et généreuse.*

*Nous remercions chaleureusement l'encadreur Mr ISMAILI Atallah pour leurs soutiens et leurs encouragements prodigués tout au long de la réalisation de ce travail. Leurs conseils et tous les commentaires précieux nous ont permis de surmonter les difficultés et de progresser dans ce mémoire.*

*Nous remercions **Mr BEKKI Yacine** pour les efforts qu'elle a déployés, pour nous aider, conseiller et encourager.*

*Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail, qui espérons le sera à la hauteur de leur attente.*

*Enfin, nos remerciements les plus sincères sont adressés à tous les professeurs, l'administration et le personnel du département de génie électrique qui ont contribué à forger nos connaissances et à assister notre formation, et à toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# SOMMAIRE

---

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

## **CHAPITRE I : Généralité sur les décharges électriques**

I.1 Introduction.....	4
I.2 Historique.....	4
I.3 Généralités sur les décharges électriques.....	4
I.4 Définition générale.....	5
I.5 Milieu de décharge.....	6
I.6 Décharges électriques dans les gaz.....	6
I.7 Différents régimes de décharge électrique.....	7
I.8 Phénomènes de collision.....	8
I.8.1 Collision élastiques.....	8
I.8.2 Collision inélastiques.....	8
a) Excitation.....	8
b) Ionisation.....	9
c) Recombinaison.....	9
d) Détachement.....	9
I.9 Classification des plasmas.....	9
I.9.1 Plasmas thermiques.....	9
I.9.2 Plasmas hors-équilibre.....	10
I.10 Classification des décharges électriques dans les gaz.....	10
I.10.1 La décharge électrique à basse pression.....	11
a) Avalanche d'électrons.....	11
b) Décharge de Townsend.....	11
c) La décharge luminescente.....	13
d) Le régime d'arc.....	13
I.10.2 Décharge à haute pression.....	14
a) La décharge couronne.....	14

b) Théorie des streamers.....	15
I.11 La foudre.....	16
I.11.1 L'éclair et le déclenchement du foudre.....	17
I.11.2 Catégories de coups de foudre.....	17
I.11.3 Les paramètres électriques de la foudre.....	19
I.12 Décharge dans liquide.....	20
I.13 Décharge dans solide.....	20
I.14 Conclusion.....	21

## **CHAPITRE II : Décharge à barrière diélectrique**

II.1 Introduction.....	23
II.2 Définition d'une DBD.....	23
II.3 Principe de la décharge à barrière diélectrique.....	23
II.4 Géométries de DBD.....	24
II.4.1 Décharge en volume.....	25
II.4.2 Décharge en surface.....	25
II.4.3 Décharge coplanaire.....	26
II.5 Matériaux utilisés comme barrière « Diélectriques ».....	26
II.5.1 Quelques milieux diélectriques usuels.....	27
II.5.2 Grandeurs caractéristiques des milieux diélectriques.....	27
a) Permittivité.....	28
b) Rigidité diélectrique.....	28
c) Calcul de l'angle de pertes diélectriques.....	29
II.5.3 Phénomène physique dans les milieux diélectriques.....	29
II.5.4 Diélectriques polaires et non polaires.....	31
II.5.5 Diélectrique linéaires et non linéaires.....	31
II.5.6 Diélectrique piézo-électrique.....	32
II.5.7 Electret.....	32

II.6 Les types de la décharge à barrière diélectrique.....	32
II.6.1 Décharge silencieuse.....	32
II.6.2 Décharge lumineuse homogène.....	32
II.7 Caractéristiques d'une DBD.....	33
II.8 Applications de DBD.....	33
II.8.1 décharge couronne.....	33
II.8.2 Production d'ozone.....	33
II.8.3 Traitement de surfaces.....	34
a) La plasturgie.....	34
b) Le textile.....	34
c) Elimination de l'électricité statique.....	34
d) Dépollution des effluents gazeux.....	35
II.8.4 Lampes fluorescentes.....	36
II.9 Conclusion.....	37

### **CHAPITRE III : Paramètres influents la DBD**

III.1 Introduction.....	39
III.2 Paramètres influents la Décharge avec Barrière Diélectrique.....	39
III.2.1 Paramètres atmosphériques.....	39
III.2.2 Influence de la tension.....	40
III.2.3 Influence des paramètres définissant la nature de la barrière.....	40
III.2.4 Influence de la barrière isolante sur la tension de décharge.....	41
III.2.5 Influence de l'accumulation de la charge d'espace.....	42
III.2.6 Formes de décharge.....	43
III.3 Paramètres de régulation de la décharge à barrière diélectrique.....	44
III.3.1 Influence de la tension.....	44
III.3.2 Influence de la fréquence.....	45
III.3.3 L'influence de la distance inter-électrodes.....	46

III.4 Les travaux sur les paramètres influents la DBD.....	46
III.4.1 Influence selon C.P Steinmetz.....	46
III.4.2 Influence selon H .Roser.....	47
III.4.3 Influence selon Tikhodeev.....	47
III.4.4 Influence selon M.Awad.....	48
III.4.5 Influence selon A.Boubakeur.....	48
III.4.6 Influence selon Z.You Bin.....	51
III.4.7 Influence selon M.V.Sokolova.....	52
III.4.8 Influence selon F.V. Topalis et I.A.Stathopulos.....	53
III.5 Conclusion.....	54
Conclusion générale.....	56
Références bibliographiques.....	58

# Liste des figures

---

**Figure I.1.**Caractéristique courant tension d'une décharge dans l'air à pression atmosphérique.

**Figure 1.** Régime de décharge en courant continu

**Figure I.3.** Génération d'avalanches secondaires dans un processus de décharge positive

**Figure I.4.**Les différents types de décharge

**Figure I.5.**Descendant négatif

**Figure I.6.**Descendant positif

**Figure 1.7.**Ascendant négatif

**Figure 1.8.**Ascendant positif

**Figure I.9.** Mécanisme de la décharge dans les liquides

**Figure II.1.a)** Exemple de configuration de DBD avec deux diélectriques solides

b) son schéma électrique équivalent

**Figure II.2 :** Géométries principales de DBD.

**Figure II.3.**Différentes géométries possibles de décharges en volume.

**Figure II.3.**Diagramme de Fresnel correspondant au schéma équivalent parallèle

**Figure II.4.** Schéma d'un dipôle

**Figure II.5.**Polarisation électronique

**Figure II.6.**Polarisation macroscopique

**Figure II.7.** Schéma de principe d'un ozoniseur utilisé dans le traitement de l'eau

**Figure II.8.** Utilisation d'une DBD dans le traitement surfacique de plastiques

**Figure II.9.** Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne.

**Figure II.10.** Lampe fluorescente à base d'un excimères du Xe.

**Figure III.1.** Décharges glissantes sur une barrière isolante

**Figure III.2.** Figures de Lichtenberg d'une DBD à différentes puissances

**Figure III.3.** Evolution du nombre de micro-décharges en fonction de la tension appliquée

**Figure III.4.** Charge par micro-décharge selon la distance inter-électrodes

**Figure.III.5.** Distribution des charges au niveau de la barrière isolante.

**Figure.III.6.** Décharge directe du système pointe-barrière-plan

**Figure.III.7.** Système pointe-barrière-plan

**Figure III.8.** Décharge disruptive dans un intervalle d'air pointe-barrière-plan

**Figure. III.9.** Influence du nombre de barrières sur la tension disruptive en système pointe-pointe et pointe-plan



# Liste des tableaux

---

**Tableau I.1.** Réactions de phase gazeuse impliquant des électrons.

**Tableau I.2.** Classification et développement des décharges électrique dans les gaz.

**Tableau. III.1.** Paramètres de la décharge dans l'air pour différents matériaux

**Tableau. III.2.** Courant maximum de décharges dans le cas d'un état de surface différent de la barrière

# **Introduction Générale**

# Introduction Générale

---

Les phénomènes de décharge électrique, étudiés pourtant depuis près de deux siècles, font toujours l'objet de recherche active auprès des scientifiques, de nombreux travaux ont été consacrés la physique de la décharge électrique, est classifié selon où la décharge a lieu (Décharge électrique dans les gaz, les liquides, les solides, le vide).

Une décharge électrique suppose toujours l'existence de charges libres et d'un champ électrique qui peut être continu, alternatif ou impulsionnelle, uniforme ou non. Les décharges électriques peuvent être produites dans le volume du gaz ou la surface des électrodes l'aide d'un agent ionisant extérieur (rayonnement de particules, chaleur, etc.).

L'inconvénient de la décharge électrique est la transition à l'arc électrique. Pour éviter ce type de problème, plusieurs solutions ont été avancées pour limiter le courant de décharge. L'une de ces solutions est de disposer une barrière diélectrique entre les électrodes.

La décharge à barrière diélectrique est une décharge silencieuse qui permet de générer un plasma hors-équilibre thermodynamique à des pressions proches de la pression atmosphérique. Les DBD sont en général excitées en appliquant une tension alternative de forme sinusoïdale, d'amplitude de quelques kilovolts avec une fréquence de répétition pouvant atteindre quelques kilohertz, entre deux électrodes métalliques séparées par un gaz et par au moins une couche d'un matériau isolant (diélectrique), constituer d'une certaine façon une capacité en série avec l'espace de gaz. L'utilisation de la barrière diélectrique homogénéise la répartition des charges en surface des électrodes et empêche toute transition à l'arc et tout échauffement locale important [1]. Ce type de décharge est utilisé pour la génération d'ozone, plus récemment pour le traitement de surface, et depuis une dizaine d'années dans les écrans plats à plasma.

Dans le premier chapitre, on présente des généralités sur la décharge électrique, tout en décrivant les phénomènes de décharge apparaissant dans les gaz.

Dans le deuxième chapitre on a donné la définition de la DBD : Décharge avec Barrière Diélectrique et son principe. Ensuite les Géométries de DBD et on a terminé par les applications des DBD

Le dernier chapitre est consacré aux paramètres influent la DBD, ainsi les travaux de recherches menés sur la DBD.

# **Chapitre I**

## Généralité sur les décharges électriques

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

## I.1 Introduction

L'étude des décharges électriques dans les intervalles d'air présente un grand intérêt du point de vue industriel, la compréhension des phénomènes physiques intervenant lors des décharges permet d'expliquer les mécanismes fondamentaux qui régissent la propagation de la décharge dans les gaz.

Le premier chapitre sera consacré à la présentation de la décharge électrique dans les différents milieux et nous nous intéresserons plus particulièrement à la décharge électrique dans les gaz. Une classification des plasmas, en fonction de la température du gaz est également proposée.

## I.2 Historique

L'étude scientifique des décharges électriques a commencé au XVIII<sup>e</sup> siècle par l'observation expérimentale d'étincelles produites par des générateurs électrostatiques et des éclairs d'orages. Ensuite l'invention de piles suffisamment puissantes a permis 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 Volt. Par la suite, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, la physique des décharges électriques dans les gaz a permis à la physique atomique de faire ses premiers progrès avec les travaux de William Crookes et de Thomson, avec en particulier la mise en évidence du rôle fondamental des électrons dans la décharge et la mesure du rapport  $e/m$ . 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 ces décharges et introduisit le concept du plasma. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle on passa à l'exploration des décharges électriques en fonction de la fréquence, tandis que la modélisation progressait en raison du développement d'applications de plus en plus nombreuses des décharges [2].

## I.3 Généralités sur les décharges électriques

Les plasmas de décharges réalisés au laboratoire et utilisés pour des applications technologiques sont des milieux faiblement ionisés contenant des électrons libres, des ions positifs et éventuellement des ions négatifs. Selon les valeurs de températures et/ou de

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

degré d'ionisation ces plasmas peuvent être classés en deux grandes catégories : les plasmas thermiques et les plasmas non thermiques hors équilibre. Selon les techniques utilisées pour les générer, la pression appliquée et la géométrie des électrodes, les plasmas hors équilibre se présentent sous différentes formes telles que la décharge lumineuse, couronne ou encore les décharges à barrière diélectrique (DBD) [3].

La décharge lumineuse est une décharge obtenue le plus souvent à basse pression (moins de 10 mbar), entre deux électrodes planes. Les électrons produits dans ce type de décharge sont fortement énergétiques. Les atomes neutres excités ainsi que les molécules génèrent une luminescence typique (comme dans les tubes fluorescents). Toutefois, les décharges lumineuses ou ce que l'on appelle aussi les décharges *glow*, ne sont pas adaptées pour la synthèse chimique. Notons que des décharges lumineuses à pression atmosphérique ont été développées très récemment

La décharge couronne est une décharge non homogène, générée à pression atmosphérique dans un système d'électrodes fortement dissymétriques (système pointe- plan). En effet, lors de la décharge, l'électrode de faible rayon de courbure soumise à une haute tension est le siège d'un fort champ électrique, qui constitue le facteur clé dans l'ionisation des espèces neutres présentes dans le gaz .

La décharge à barrière diélectrique, ou ce qu'on appelle aussi la décharge silencieuse, combine le large volume d'excitation de la décharge *glow* avec les caractéristiques haute pression de la couronne. Dans ce type de décharges, un diélectrique couvre l'une des électrodes. la surface entière de l'électrode devient effective pour les réactions chimiques . La DBD est initiée en chaque point du gap. Les charges ainsi cumulées sur le diélectrique forment un champ électrique qui s'oppose au champ appliqué et permet d'interrompre le courant pendant quelques nanosecondes. La durée du pulse de courant dépend de la pression, des propriétés du gaz ainsi que de la nature du matériau diélectrique [4].

## I.4 Définition générale

Une décharge électrique suppose toujours l'existence de charges libres et d'un champ électrique qui peut être continu, alternatif ou impulsionnelle, uniforme ou non. Les décharges électriques peuvent être produites dans le volume du gaz ou la surface des électrodes l'aide d'un agent ionisant extérieur (rayonnement de particules, chaleur, etc.). Sous l'action d'un champ électrique suffisamment grand, les charges peuvent se multiplier,

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

augmentant ainsi le courant de la décharge. Les décharges qui peuvent survivre à l'agent ionisant extérieur sont dites autonomes. Elles apparaissent lorsque la tension appliquée aux électrodes dépasse une valeur minimale. Au delà de cette valeur le gaz devient le siège d'un ou plusieurs phénomènes produisant les électrons nécessaires à l'entretien de la décharge sans intervention d'un agent ionisant extérieur. Par contre, la décharge est dite non-autonome si elle s'interrompt dès que cesse d'agir l'agent ionisant extérieur. Dans tous les cas, la pression  $p$  du gaz est un facteur très important dont dépendent les caractéristiques de la décharge. Les mécanismes de décharges sont distingués en fonction du produit de la pression par la distance inter électrodes ( $p \times d$ ).

## I.5 Milieu de décharge

Si le champ électrique appliqué à un gaz est suffisamment intense, celui-ci devient plus ou moins conducteur et les phénomènes complexes qui se produisent alors portent le nom de décharge dans les gaz : ils sont dus à l'apparition d'électrons et d'ions libres.

La décharge électrique peut être classifiée, suivant le milieu où la décharge a lieu :

- Décharge électrique dans les gaz.
- Décharge électrique dans les liquides.
- Décharge électrique dans les solides.
- Décharge électrique dans le vide.

La décharge dans les gaz est la plus courante son mécanisme est basé généralement sur la collision entre les électrons et les molécules du gaz. Cette décharge qui est divisée en deux grandes catégories : La décharge autonome qui peut durer sans supplément d'électrons externes et la décharge non autonome qui ne dure pas sans supplément d'électrons externes, peut être classifiée suivant différents critères : la pression, la caractéristique tension courant, la nature du gaz, la configuration des électrodes [5].

## I.6 Décharges électriques dans les gaz

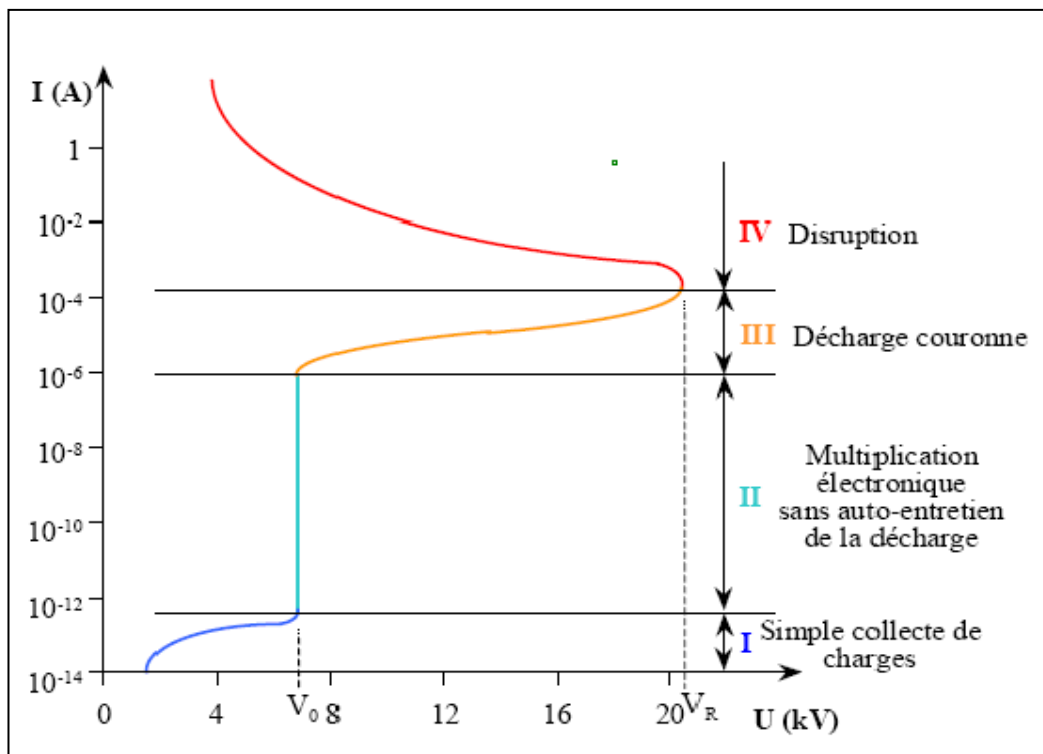
Généralement, les gaz sont considérés comme des isolants parfaits car ils ne contiennent qu'une concentration infime de porteurs de charge. Si les gaz sont soumis un champ électrique, le courant qui peut apparaître est typiquement de l'ordre du femto ampère, ceci pour des dizaines de kilovolts appliqués sur quelques centimètres d'air. Lorsqu'un champ électrique d'amplitude suffisante est appliqué, un courant nettement plus important est

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

détecté, c'est la décharge électrique qui peut conduire au claquage. En fonction des conditions expérimentales (pression, répartition du champ électrique, type de tension appliquée, etc.), les phénomènes de décharges et de claquage peuvent être de différents types, tant dans leur déroulement que dans leur nature [6].

## I.7 Différents régimes de décharge électrique

La caractérisation tension-courant de la décharge couronne est obtenus en faisant croître la tension appliquée à l'intervalle gazeux, différents régimes de décharges sont alors parcourus (Figure I.1).



**Figure I.1.** Caractéristique courant tension d'une décharge dans l'air à pression atmosphérique [7].

La courbe est obtenue avec une tension continue et elle représente 4 différents régimes de courant correspondants aux 4 régimes suivants :

✓ le premier régime : consiste en la collecte des espèces chargées présentes naturellement dans le milieu. Ces espèces sont produites par l'impact de rayons cosmiques ou de particules issues de la désintégration spontanée de certains atomes (radioactivité naturelle) sur le gaz présent dans l'espace inter électrodes.



# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

- ✓ Le second régime : qui se produit à partir d'une tension seuil « $V_0$  », traduit le déclenchement de l'avalanche électronique de Townsend mais ne répond pas encore au critère d'auto-entretien de la décharge, la décharge est qualifiée de non autonome car elle dépend de processus d'ionisation externes pour donner naissance aux électrons germes. le courant augmente très fortement pour une très faible variation de la tension appliquée.
  
- ✓ Le troisième régime : l'ionisation du gaz par la décharge est suffisant pour ne plus nécessiter de phénomènes d'ionisation extérieurs : la décharge est autoentretenu. C'est le régime de la décharge couronne, où apparaissent les dards, appelés aussi streamers, qui est responsable de la composante impulsionnelle du courant.
  
- ✓ Le quatrième régime : au-delà d'une tension appliquée « $V_r$  », la température du canal augmente fortement, ce qui provoque la dilatation brutale du gaz. Le champ réduit « $E/N$  » est alors suffisamment important pour que les phénomènes d'ionisation deviennent majoritaires par apport à l'attachement électronique. Le régime d'arc est atteint, le milieu passe à l'état de plasma thermique.

## **I.8 Phénomènes de collision**

Il existe alors deux grands types de collision entre ces éléments.

### **I.8.1 Collision élastiques**

Qui ne participent pas directement à l'activation du gaz, mais qui sont responsables de la conduction et de la diffusion de la chaleur.

### **I.8.2 Collision inélastiques**

Qui sont responsables de changements au niveau de l'énergie interne des molécules, de la nature des particules (ionisation, dissociation, attachement électronique,...etc.), en fonction de l'énergie cinétique des électrons. On distingue alors les phénomènes :

#### **a) Excitation**

Lorsqu'un atome a acquis suffisamment d'énergie pour qu'un des électrons passe un niveau (orbital) d'énergie plus élevé. L'atome passe alors de son état fondamental un état excité.

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

## b) Ionisation

Dans ce cas, l'énergie absorbée par l'atome lors de la collision est suffisante pour qu'un de ses électrons soit arraché de l'attraction du noyau. L'électron est alors soit attaché à un autre atome (attachement), soit il s'éloigne à l'infini.

## c) Recombinaison

La recombinaison est le phénomène d'attachement de particules lorsqu'un ion positif rencontre un électron ou lorsque deux ions de signes contraires se rencontrent.

## d) Détachement

C'est le phénomène qui se produit lorsqu'un ion perd son électron supplémentaire.

Réactions	Description	Evidence
$e^- + A \rightarrow A + e^-$	dispersion élastique	électrons thermiques
$e^- + A \rightarrow A^+ + e^- + e^-$	ionisation	conductivité
$e^- + A \rightarrow A^* + e^-$	excitation	
$e^- + A^* \rightarrow e^- + A + h\nu$	désexcitation	émission légère
$e^- + A \rightarrow A^+ + e^- + e^-$	ionisation en deux étapes	efficacité d'ionisation
$e^- + AB \rightarrow A + B + e^-$	fragmentation	analyse résiduelle de gaz
$A^+ + e^- \rightarrow B + e^-$	ionisation dissociative	
$A^- + B$	attachement dissociative	
$e^- + A^+ + B \rightarrow A + B$	recombinaison de volume	plasma faible et en équilibre

Tableau I.1. Réactions de phase gazeuse impliquant des électrons [8].

## I.9 Classification des plasmas

A partir des paramètres physique (densité électronique, température, longueur de Debye), (Hollahan et Bell, 1974)[9], il est possible alors de distinguer et classer les différents plasmas. Cette classification permet alors de ressortir deux grandes catégories de plasmas : les plasmas « froids » et les plasmas « chauds ».

### I.9.1 Plasmas thermiques

Sont générés par des torches à plasmas ou des arcs. Les températures de ces plasmas sont typiquement comprises entre 5000 °K et 50 000 °K. Ces plasmas, dont la puissance varie de quelques kilowatts à quelques mégawatts, nécessitent la mise en jeu de courants importants.

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

## I.9.2 Plasmas hors-équilibre

Sont généralement produits par décharge luminescent, décharge couronne ou courant inductif radiofréquence. Leur température électronique ( $1000 \text{ }^0\text{K}$  à  $10000 \text{ }^0\text{K}$ ) est très supérieur à la température du gaz, proche de l'ambiante ( $<500 \text{ }^0\text{K}$ ) Dans ce type de plasmas, la majeure partie de l'énergie n'est pas convertie en chauffage du gaz mais en réactivité chimique par conduction d'espèces métastables, dissociées et ionisées. Les puissances typiquement mises en jeu pour obtenir un plasma hors-équilibre vont de quelques watts à quelques kilowatts [10].

## I.10 Classification des décharges électriques dans les gaz

A une pression du gaz, le développement de la décharge montre différents caractéristiques ou aspects, cela peut être résumé dans le tableau suivant :

Décharge non autonome		Courant sombre	
Décharge autonome	A faible pression		<b>Avalanches</b> d'électron → Décharge de <b>Townsend</b> → Décharge <b>luminescente</b> → Décharge d' <b>arc</b>
	A haute pression pour un champ non uniforme.	Polarité Positive	<b>Avalanches</b> → Décharge <b>Couronne</b> (des éclats positifs) → lueur positive et lueurs pulsé <b>Streamers</b> positif → <b>Arc</b>
		Polarité Négative	<b>Avalanches</b> → Décharge <b>Couronne</b> (lueur négative et Trichel Pulsés) → <b>Streamers</b> Négatif → <b>Arc</b>

**Tableau I.2.** Classification et développement des décharges électrique dans les gaz [11].

Les plus importants processus physiques d'une décharge électrique dans les gaz sont :

- La formation des électrons libres et des ions positifs par ionisation ( $\alpha$ )
- La formation des ions négatifs par attachement ( $\eta$ )
- La formation des électrons secondaires à la cathode ( $\gamma$ )
- Le détachement d'un électron venant d'un ion négatif instable ( $\delta$ )
- La conversion d'un ion négatif instable vers un ion stable ( $\beta$ ).

En général les coefficients ( $\alpha, \eta, \gamma, \delta, \beta$ ) pour chaque gaz sont des fonctions de la pression et du champ électrique  $E$  appliqué [11]. Dans ce qui suit, nous allons donner une description détaillée des mécanismes de la décharge électrique.

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

## I.10.1 La décharge électrique à basse pression

La différence principale entre la décharge à basse et à haute pression dans un réacteur est le nombre de molécules du gaz. Généralement, la densité volumique du gaz dans la décharge à basse pression est  $3,5 \times 10^{13} \sim 3,5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  à la pression  $10^{-3} \text{ mm Hg}$  tandis que le nombre de molécules des gaz aux conditions normales de température et de pression ( $T = 273 \text{ K}$  et à la pression atmosphérique  $P = 760 \text{ mm Hg}$ ) est  $2,69 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  (nombre de Loschmidt)[12]. Par conséquent à basse pression on peut facilement contrôler la densité des électrons, des ions, la température, et la distribution d'énergie.

### a) Avalanche d'électrons

Les décharges électriques dans les gaz sont habituellement déclenchées par un champ électrique intense accélérant les électrons libres. Ces électrons initiaux qui commencent le processus d'ionisation sont souvent créés par photo-ionisation : un photon venant d'une source extérieure ionise un atome donnant une paire électron ion. Quand ces électrons acquièrent une énergie suffisante, ils peuvent produire de nouveaux ions par collisions.

Ce processus s'appelle l'ionisation par effet d'impact d'électrons. Les électrons se multiplient jusqu'à atteindre le processus secondaire qui conduit à la décharge autonome.

Townsend a décrit à l'aide d'un coefficient le nombre d'électrons produit par un seul électron parcourant une distance de 1cm dans un champ uniforme : un électron crée de nouveaux électrons à un taux  $\alpha$  par unité de longueur (cm) de sorte que dans une distance  $x$  la quantité d'électrons est  $\exp(\alpha x)$ , formant ce qu'on appelle une avalanche d'électron. Ce coefficient  $\alpha$  est connu en tant que premier coefficient d'ionisation de Townsend qui change avec l'intensité du champ électrique, la pression du gaz, et d'autres conditions qui influencent la production des paires d'électrons [13].

### b) Décharge de Townsend

Le mécanisme de la décharge de Townsend est caractérisé par un grand nombre d'avalanches d'électrons successives qui proviennent de la génération secondaire d'électrons conduisant au claquage de Townsend où le champ de la charge d'espace dû aux mouvements différentiels entre les électrons et les ions positifs est supposé faible comme il peut être complètement négligeable; c'est-à-dire, le nombre d'électrons dans l'avalanche est inférieur à une certaine valeur critique.

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

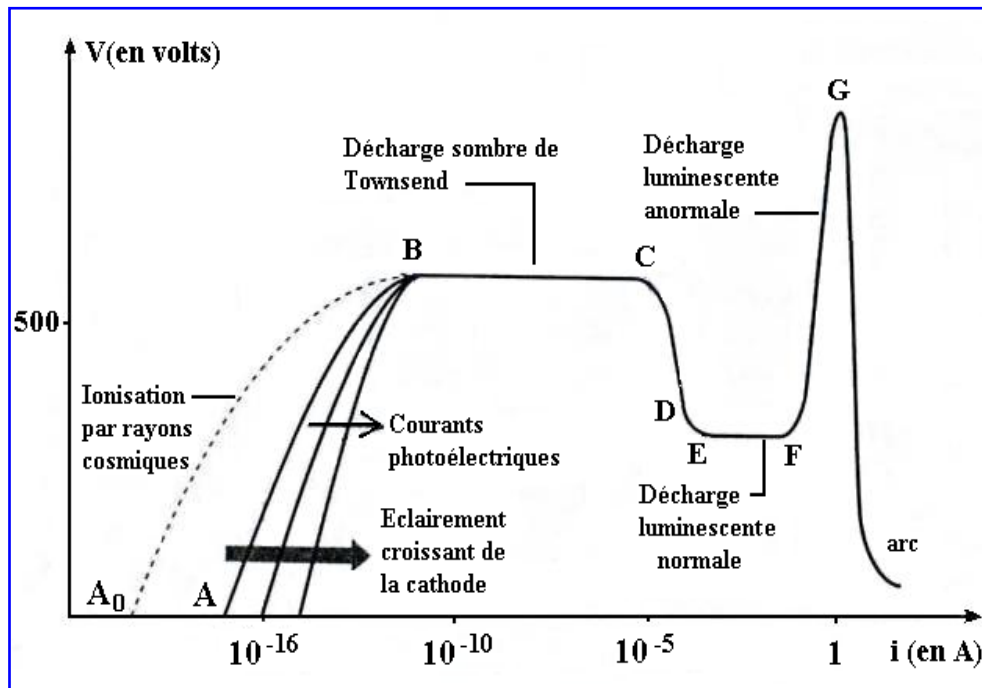
A titre d'exemple la **Figure. I.2** représente un régime de décharge où sur le palier *BC* : Quand on s'approche du point *B* de petites variations de *V* correspondent à des accroissements très importants de *i* ; dans cette région on montre que le courant est de la forme :

$$i = i_0 \left( \frac{\exp \alpha d}{1 - \gamma (\exp \alpha d - 1)} \right) \quad (I.1)$$

Dans cette formule  $i_0$  représente le courant dû aux sources extérieures, le facteur  $\alpha$  décrit un effet de multiplication des électrons dans le gaz par les collisions ionisantes électrons-molécules, et le facteur  $\gamma$  décrit des divers effets secondaires de production de nouveaux électrons (par exemple émission d'électrons secondaires due au bombardement de la cathode par les ions produit dans le gaz) [14]. Les coefficients  $\alpha$  et  $\gamma$  (coefficients de Townsend) décrivent un cycle de deux réactions en chaîne. Lorsque le rendement de ce cycle est égal à l'unité, la condition suivante est vérifiée :

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (I.2)$$

C'est la condition de claquage.



**Figure 1.** Régime de décharge en courant continu [5].

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

## c) La décharge luminescente

La décharge luminescente est une décharge autonome avec une cathode froide émettant des électrons (émission secondaire) due généralement au bombardement par des ions positifs. Cette décharge est caractérisée par une grande charge d'espace positive formant une couche à la cathode, avec un champ intense à la surface et une chute considérable de tension de 100-400V (ou plus). Cette chute est nommée "la chute cathodique", et l'épaisseur de la couche de chute cathodique est inversement proportionnelle à la densité (pression) du gaz. Si la distance inter électrode est suffisamment grande, une région de plasma électriquement neutre caractérisée par un champ assez faible est formée entre la couche cathodique et l'anode. La partie relativement homogène s'appelle la colonne positive, elle est séparée de l'anode par la zone anodique.

L'existence de la couche cathodique est essentielle pour la décharge luminescente contrairement à la colonne positive, donc si la distance est insuffisante pour la formation de la couche cathodique, la décharge luminescente ne peut pas être produite [14].

Dans la **Figure I.2**, si l'on augmente encore le courant on constate que le tube devient assez lumineux et que le potentiel  $V$  décroît. La luminosité n'est pas homogène : le tube présente une suite caractéristique de régions lumineuses et sombres. Cela tient au fait que les effets de la charge d'espace sont maintenant importants : les champs électrique entre les électrodes n'est plus uniforme, il est concentré au voisinage de la cathode, ce réarrangement du champ le rend plus efficace pour l'ionisation, d'où la diminution de  $V$  [14].

Après les régions de transition  $CDE$ , on atteint le palier  $EF$  qui correspond à la décharge luminescente dite normale [5].

## d) Le régime d'arc

La décharge d'arc est une décharge autonome caractérisée par une faible chute cathodique (de l'ordre du potentiel d'ionisation ou d'excitation des atomes c.-à-d. de l'ordre de 10eV). Cette caractéristique distingue la décharge d'arc de la décharge luminescente dans laquelle la chute cathodique est de l'ordre de centaines de volts. La petite chute cathodique résulte des mécanismes d'émissions cathodiques qui sont capable de fournir un courant important d'électrons égal à peu près au courant totale de la décharge. Ce facteur élimine le besoin

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

d'une amplification considérable de courant d'électrons qui est réalisé par la grande chute cathodique dans la décharge luminescente.

Ce régime peut prendre des formes diverses, mais il est toujours caractérisé par l'apparition d'effets thermiques importants : le gaz est fortement chauffé, les électrodes également, la cathode peut émettre des électrons par effet thermoïonique.

Dans la **Figure I.2**, si l'on augmente suffisamment  $I$  dans une décharge luminescente normale, toute la surface de la cathode est utilisée et on pénètre dans la zone  $FG$  qui est le régime de décharge luminescente anormale caractérisée par une augmentation rapide de  $V$ .

Si l'on augmente encore le courant,  $V$  recommence à décroître et, après une région de transition, on atteint le régime d'arc. La tension  $V$  devient très basse (quelques dizaines de volts) et le courant n'est en général limité que par la résistance de charge. Un tube fonctionnant en régime d'arc devra être en général robuste et sérieusement refroidi, l'apparition accidentelle d'un régime d'arc dans un tube non spécialement étudié pour celui-ci conduit en général à la destruction du tube [5].

## I.10.2 Décharge à haute pression

Lorsque dans un tube à décharge le produit  $p \times d$  est supérieur à 500 torr.cm, les propriétés de la décharge sont profondément modifiées. Les modifications portent essentiellement sur le régime de Townsend et sur la décharge luminescente, tandis que les arcs à haute pression ne diffèrent pas essentiellement des arcs à basse pression [5].

### a) La décharge couronne

La décharge couronne à haute pression correspond à la décharge luminescente à basse pression qui peut être définie comme suit :

Une décharge couronne est une décharge autonome où le champ électrique limite les processus d'ionisation primaires aux régions près des électrodes ou des isolants de haute intensité de champs. Ainsi, ce système est composé des électrodes actives à champ intense entourées par des régions d'ionisation où les charges libres sont produites; région de dérive à champ faible où les particules chargées se meuvent et réagissent, et des électrodes passives de champs faibles agissant principalement en tant que collecteurs de charges.

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

Le mécanisme de la décharge couronne est très semblable à la décharge luminescente tandis que la région de dérive montre la particularité intrinsèque de cette décharge. Par exemple, le processus secondaire est important pour soutenir la décharge pour les deux cas. Cependant, il y a des différences évidentes existantes entre les deux décharges : la décharge couronne apparaît dans un champ non uniforme tandis que la décharge luminescente se produit dans un champ uniforme. La décharge couronne peut être distinguée par son apparence : par exemple dans le cas d'une décharge couronne positive on observe des éclats positifs, leur positive et leur pulsé, flammes positives 'streamers' [11].

Dans les décharges couronnes positives la cathode est isolée de la région d'ionisation par celle de dérive, qui absorbe les photons et piège les électrons secondaires venant de la cathode par attachement. Chaque électron apparaissant dans la région d'ionisation crée des ions positifs, des photons, et des métastables, au moins une de ces espèces réussit à produire un électron supplémentaire dans la région d'ionisation.

Ces processus secondaires d'ionisation (processus  $\gamma$ ) sont définis par le coefficient secondaire d'ionisation :  $\nu = \nu_p + \nu_i + \nu_m$

Qui est le nombre d'électrons produit par collision ionisante dans la région d'ionisation.

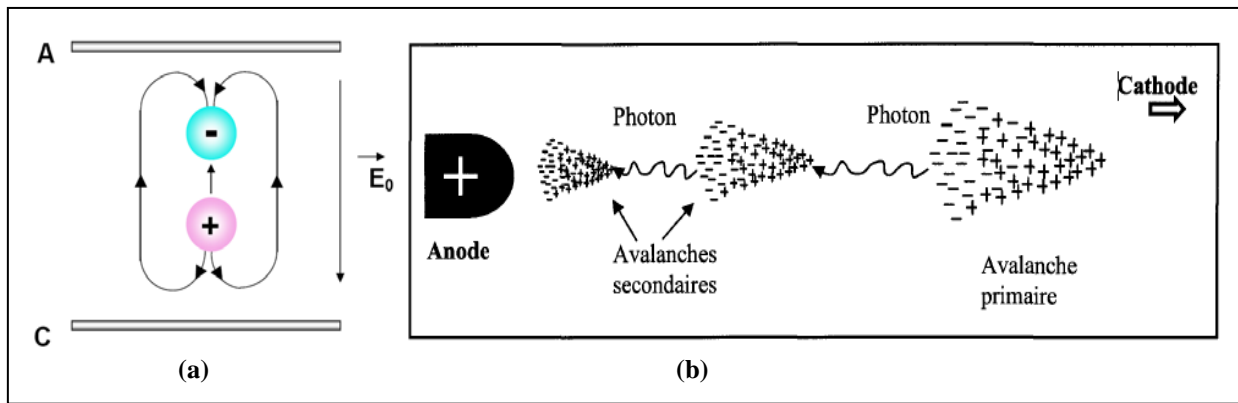
Dans les couronnes négatives, la cathode est près de la région d'ionisation, ceci rend les mécanismes secondaires cathodiques ( $\gamma_p, \gamma_i, \gamma_m$ ) rapides et efficaces. Cette décharge devient autonome par le mécanisme de rétroaction à la cathode (mécanisme de Townsend), qui diffère des couronnes positives où la rétroaction des photons dans la région d'ionisation ( $\gamma_{pg}$ ) prédomine c à d que les électrons secondaires se produisent par photo ionisations dues à la désexcitation. Toutes les décharges couronnes s'arrêtent quand leurs densités de courant provoquent une ionisation thermique suffisante dans l'espace de la décharge, c'est-à-dire une étincelle ou un arc se produit dépendant des paramètres du circuit externe.

## b) Théorie des streamers

Dans un champ électrique suffisant pour créer l'amorçage, la vitesse des électrons est environ 100 fois supérieure à celle des ions positifs, si bien que l'avalanche se développe comme un nuage d'électrons laissant derrière lui des ions positifs quasi stationnaires, l'avalanche conduit alors à la formation d'une structure dipolaire comme le montre la **Figure 1.3**.



# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques



**Figure I.3.** Génération d'avalanches secondaires dans un processus de décharge positive

(a) , (b). [15]

Par conséquent la séparation des électrons et des ions génère une charge d'espace importante produisant un champ électrique « $E$ » de structure dipolaire et s'opposant à la séparation qui s'ajoute vectoriellement au champ extérieur. Le champ résultant est alors plus faible que « $E_0$ » et acquiert une composante radiale entre les deux nuages de charges.

Le taux d'ionisation, croit avec le champ électrique et augmente à la tête de l'avalanche, tandis qu'il diminue à l'intérieur de celle-ci par le développement du champ résultant. C'est l'affaiblissement du champ dans l'avalanche qui favorise la formation d'un plasma quasi-neutre. Les processus d'évolution des streamers sont représentés sur la **Figure I.3**.

## I.11 La foudre

La foudre est définie comme une décharge électrique d'une longueur de plusieurs kilomètres associée à une impulsion de courant transitoire de très forte amplitude. La source la plus commune de la foudre est la séparation des charges dans les nuages d'orage, les cumulonimbus. Les orages les plus fréquents font suite à des fronts froids. A l'arrivée d'un de ceux-ci, la masse d'air froid s'infiltré sous l'air chaud et le soulève; ceci engendre des turbulences dans l'air chaud rejeté en altitude: ainsi se forment les nuages d'orage ou les cumulonimbus. L'électrisation de ces nuages résulte d'un processus complexe. La distribution des charges dans un nuage d'orage est présentée dans la figure ci-dessous.

La partie supérieure, constituée de glace, est chargée positivement (région P), tandis que la partie inférieure constituée de gouttelettes d'eau est chargée négativement (région N). Souvent, un îlot de charges positives (région p) est enserré dans cette masse de charges négatives.

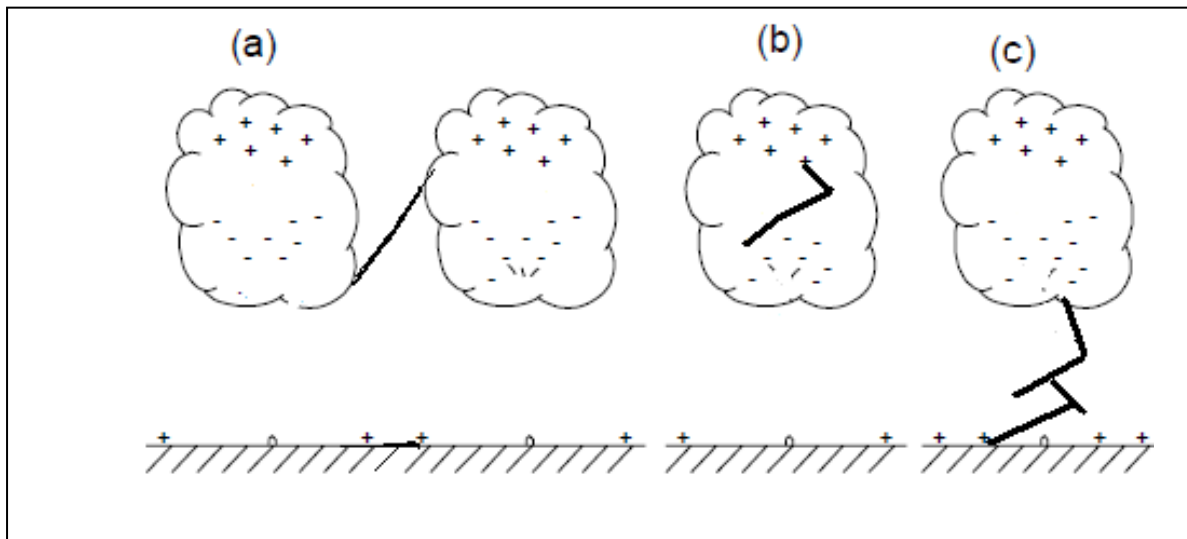
# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

A l'approche d'un nuage orageux, le champ électrique atmosphérique au sol qui est de l'ordre d'une centaine de volts par mètre par beau temps commence par s'inverser, puis croît dans de fortes proportions. Lorsqu'il atteint 10 à 20 kV/m, une décharge au sol est imminente [16].

## I.11.1 L'éclair et le déclenchement du foudre

L'éclair est un phénomène résulte lorsqu'il y a une décharge produite à l'intérieur du même nuage, ou entre deux nuages orageux (intra-nuage ou inter- nuage) **Figure I.4.** (a)et (b).

La décharge qui frappe le sol est appelé foudre ou coup de foudre Précisons que 90 % des décharges se produisent à l'intérieur des nuages (éclaires).on trouve seulement 10 % des décharges qui frappent le sol, ce sont les coupes de foudre.



**Figure I.4.** Les différents types de décharge [16].

## I.11.2 Catégories de coups de foudre

Les décharges de foudre nuage-sol ont été subdivisées en quatre catégories. Ces catégories sont définies selon d'une part la direction, ascendante ou descendante, du traceur (leader en anglais) qui déclenche la décharge, et d'autre part le signe de la charge portée par le traceur, positive ou négative [16].

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

## a) Coup de foudre descendant négatif

Dans les régions tempérées, plus de 90% des coups de foudre nuage sol sont de cette catégorie.

Ce type de décharges appelées décharges négatives, Cette forme de décharge est déclenchée par un traceur descendant chargé négativement. Le traceur ici progresse en direction du sol par bonds successif d'environ 10 mètre La figure ci-dessous illustre ce catégorie [16].

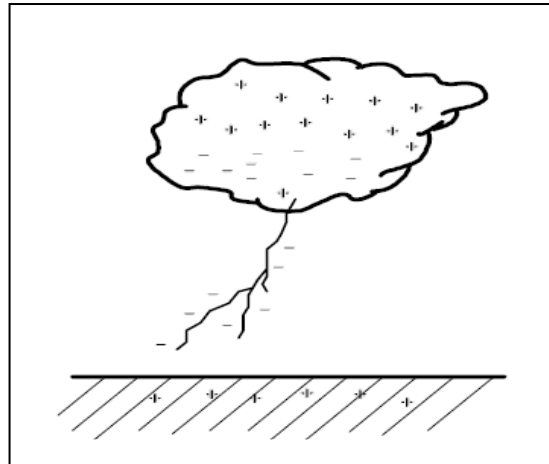


Figure I.5 Descendant négatif [16].

## b) Coup de foudre descendant positif

Les coups de foudre appartenant à cette catégorie sont aussi déclenchés par un traceur descendant, mais chargé positivement (décharge dite positive).

Cette catégorie regroupe moins de 10% des décharges nuage-sol la figure suivante montre le phénomène [16].

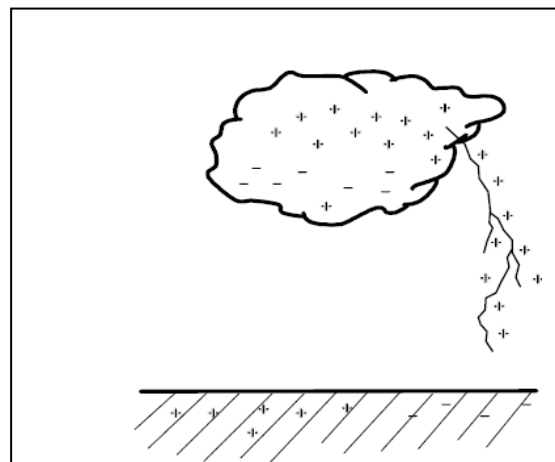


Figure I.6 Descendant positif [16].

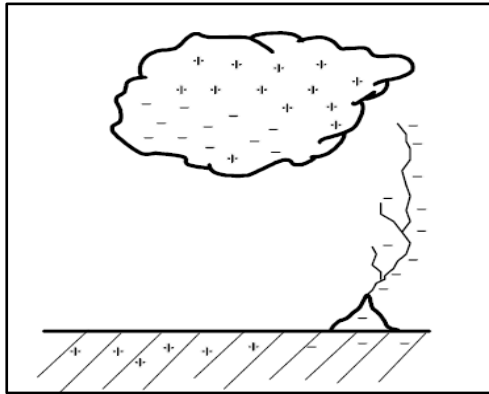
---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

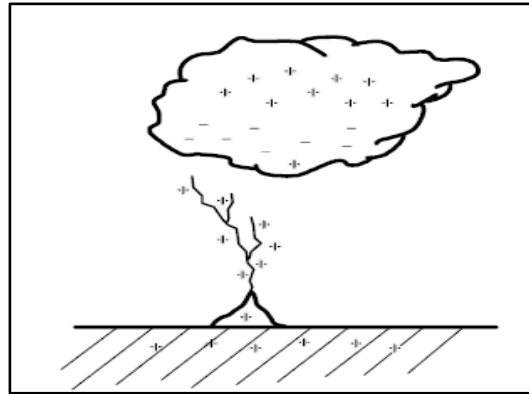
---

## c) Coup de foudre ascendant (négatif et positif)

Les décharges des catégories (Ascendant négatif ou positif) **Figure(I.7)** et **(I.8)** qui sont déclenchées par des traceurs ascendants, sont relativement rares et apparaissent généralement aux sommets des montagnes ou des longues structures [16].



**Figure 1.7.**Ascendant négatif [16].



**Figure 1.8.**Ascendant positif [16].

### I.11.3 Les paramètres électriques de la foudre

Un coup de foudre est composé en général de plusieurs décharges partielles s'écoulant par le même canal ionisé de l'arc en retour qui est responsable de la majorité des dégâts causés par la foudre[17], les principales caractéristiques de la foudre sont généralement les suivantes:

- Valeur de crête du courant.
- Temps de montée.
- Temps de décroissance.
- Raideur de l'impulsion.
- L'énergie spécifique.
- La charge totale
- La durée de l'éclair.
- Le nombre de l'arc en retour.
- L'onde de choc acoustique (tonnerre).

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

## I.12 Décharge dans liquide

Le courant qui s'établit dans un liquide isolant, en fonction de la tension (ou du champ E) passe schématiquement par 3 étapes, avant le claquage.

- ✓ Le courant ohmique qui s'établit à faible champ est essentiellement tributaire des impuretés présentes dans le liquide.
- ✓ Il n'existe pas de « Loi de Paschen » dans les liquides.

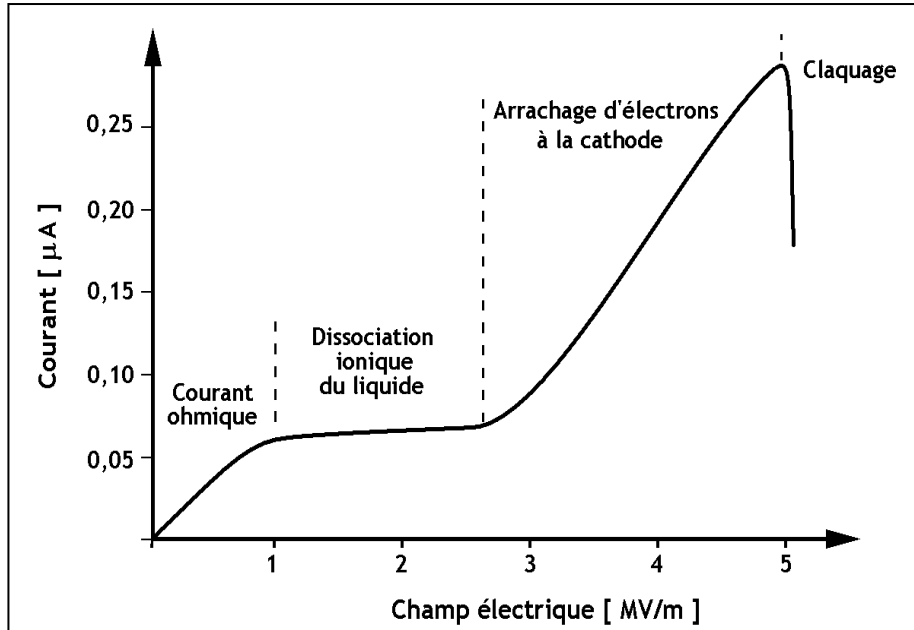


Figure I.9. Mécanisme de la décharge dans les liquides.

## I.13 Décharge dans solide

Divers processus peuvent conduire au claquage dans un solide.

Le claquage thermique dû à l'élévation de la température par effet Joule (à basse fréquence) ou par résonance avec la polarisation par orientation (autour du MHz).

Le claquage électromécanique dû aux forces de compression provoquée par le champ électrique.

- Le claquage par streamer dû au déclenchement d'une avalanche électronique.
- Le claquage par érosion dû essentiellement à l'effet des décharges partielles sur le long terme.

---

# Chapitre I : Généralité sur les décharges électriques

---

Dans les isolants solides, la décharge disruptive est appelée :

- ✓ perforation, lorsqu'elle traverse le matériau en y produisant souvent des dégâts irréversibles.
- ✓ contournement, lorsque l'arc ne traverse pas l'isolant mais suit sa surface externe ou un chemin extérieur.

## I.14 Conclusion

Après l'étude bibliographique de la décharge électrique, nous déduisons les conclusions suivantes :

- La décharge électrique classifié selon où la décharge a lieu (Décharge électrique dans les gaz, les liquides, les solides, le vide).
- La décharge dans les gaz est la plus courante son mécanisme est basé généralement sur la collision entre les électrons et les molécules du gaz.
- Les plasmas peuvent être classés en deux grandes catégories : les plasmas thermiques et les plasmas non thermiques.

# **Chapitre II**

## Décharge à barrière diélectrique

### II.1 Introduction

Les décharges à barrière diélectrique **DBD** sont connues depuis plus d'un siècle, et les premières expériences avec ces décharges ont été rapportées par Siemens [18]. Le champ d'applications de ce procédé est très large: génération d'ozone, traitement d'effluents gazeux, activation et traitement de surface, laser CO<sub>2</sub>, excilampes (lampe à excimères), écrans plasmas, etc., et touche de nombreux domaines industriels : électronique, textile, emballage, automobile [19]. Cette décharge présente des caractéristiques tout à fait intéressantes dont on peut citer: pression de travail élevée (autour de la pression atmosphérique, PA); fréquence d'excitation de l'ordre du kHz; au moins une électrode recouverte par un diélectrique; distance inter-électrodes de l'ordre de quelques mm ; tension appliquée de l'ordre de quelques kV.

### II.2 Définition d'une DBD

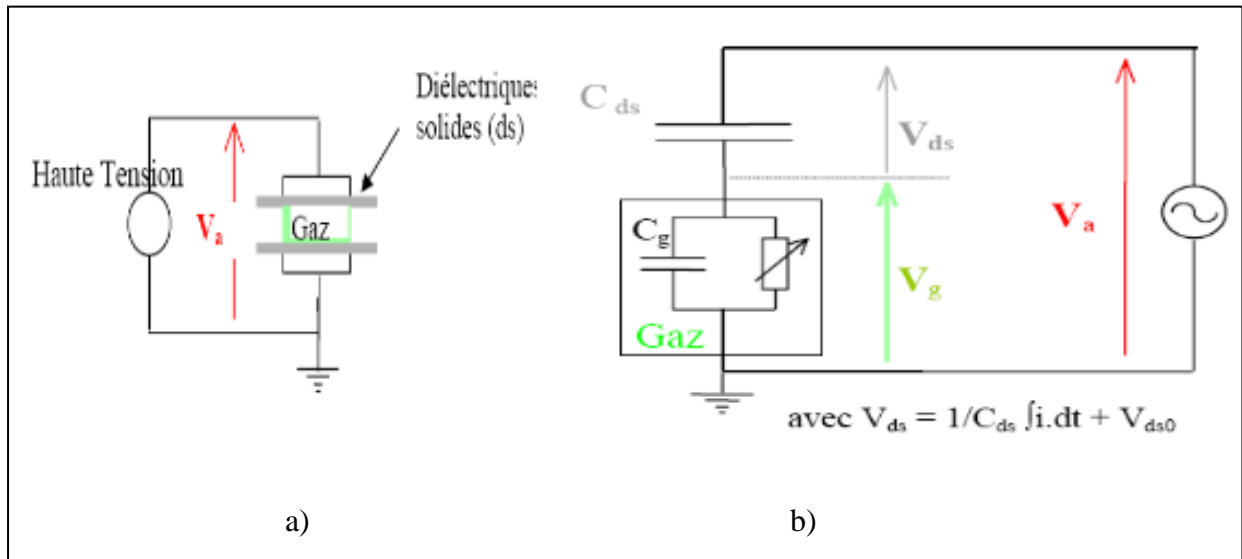
Le terme décharge contrôlée par barrière diélectrique DBD regroupe les configurations de décharges pour lesquelles un courant transite entre deux électrodes métalliques séparées par un gaz et par au moins une couche de diélectrique. Pour transporter un courant autre que celui de déplacement (courant passant dans la capacité) dans l'espace de décharge, le champ électrique doit d'être assez intense pour provoquer le claquage du gaz. Pour des valeurs élevées de pression (et de distance inter électrodes), l'augmentation du courant entre deux électrodes métalliques entraîne généralement le passage vers un régime d'arc, synonyme de plasma à haute température et de dommages à la surface. Le rôle du diélectrique est de constituer d'une certaine façon une capacité en série avec l'espace de gaz. Et donc sa charge limitera la tension appliquée au gaz, ce qui permet d'éviter la transition vers un arc.

### II.3 Principe de la décharge à barrière diélectrique

Le principe de fonctionnement est illustré sur la **Figure II.1**. Avec l'application de la tension « $V_a$ » sur les électrodes, le claquage du gaz conduit à la formation d'un canal conducteur, le passage du courant induit une accumulation de charges sur la surface de la barrière diélectrique et donc une tension « $V_{ds}$ » à ses bornes. Dans ce cas le diélectrique est considéré comme isolant d'un condensateur dont les armatures sont d'un côté la décharge et de l'autre côté l'électrode. Si l'augmentation, au fur et à mesure du développement de la décharge, est plus rapide que l'augmentation de la tension d'alimentation, elle cause une chute de la tension appliquée sur le gaz, « $V_g$ », ce qui conduit à l'extinction de la décharge. Ainsi, quelle que soit la taille et la distribution spatiale des décharges, elles sont bloquées bien avant d'atteindre un



degré d'ionisation suffisant pour échauffer la cathode et conduire à l'arc. Le rôle principale du diélectrique est de limiter la charge déposée sur les électrodes afin que la décharge ne devienne un arc comme cela peut arriver entre deux électrodes métalliques à pression atmosphérique. En contre partie, la présence d'un diélectrique impose l'utilisation d'une excitation électrique alternative afin de décharger le condensateur «Cds». Par ailleurs, l'utilisation de la barrière diélectrique a pour conséquence de tendre vers une répartition plus uniforme des micro-décharges sur toute la surface des diélectriques [20].



**Figure II.1.** a) Exemple de configuration de DBD avec deux diélectriques solides

c) son schéma électrique équivalent [20].

### II.4 Géométries de DBD

S'il existe de nombreuses géométries permettant d'obtenir des DBD, elles peuvent être regroupées en trois catégories :

- les décharges en volume, géométrie typique des DBD, constituées d'électrodes dont l'une au moins est recouverte de diélectrique, et séparées par un espace gazeux (**Figure II.2.a**).
- les décharges en surface, pour lesquelles une électrode longue et une (ou plusieurs en parallèle) est placée sur une surface diélectrique, de l'autre côté de laquelle se trouve une contre-électrode (**Figure II.2.b**).
- les décharges coplanaires, composées de paires d'électrodes parallèles de polarité opposée dans un matériau diélectrique à proximité de la surface (**Figure II.2.c**).

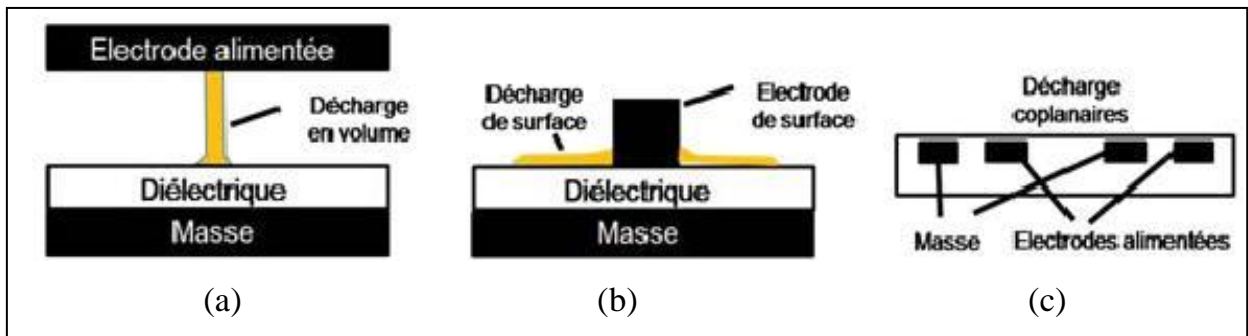


Figure II.2 : Géométries principales de DBD. Décharge en volume (à gauche), en surface (au centre) et coplanaire (à droite) [21].

II.4.1 Décharge en volume

Les DBD en volume, se caractérisent par une décharge de type filamentaire. Différentes possibilités des géométries de DBD en volume sont présentées dans la Figure II.3 [22].

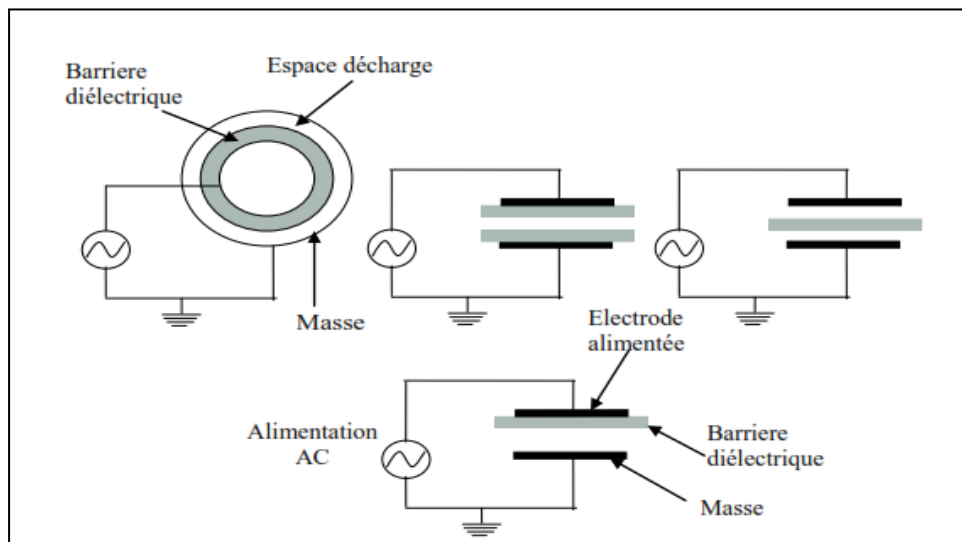


Figure II.3. Différentes géométries possibles de décharges en volume [22].

II.4.2 Décharge en surface

Les DBD en surface sont caractérisées par une faible tension d'allumage et une extension graduelle à la surface du diélectrique. Contrairement aux décharges en volume, il n'y a pas d'espace de décharge clairement défini, le claquage se produit à la tension minimale de Paschen près de la zone de triple jonction (métal-diélectrique-gaz) (Figure II.2.b). La décharge se propage à la surface mais est comblée rapidement après allumage, limitant son extension radiale.

La forme de la décharge dépend des polarités respectives de l'électrode de surface et de la contre électrode. Si l'électrode de surface est la cathode, la surface se charge de manière homogène ; pour des polarités opposées une structure de filaments apparaît [21].

### II.4.3 Décharge coplanaire

Les DBD coplanaire se développent entre les deux électrodes recouvertes de diélectrique (**Figure II.2.c**). La configuration coplanaire permet d'obtenir une distance très faible entre les électrodes (quelques centaines de  $\mu\text{m}$ ) sans passage à l'arc, un fort champ électrique apparaît dans la région de gaz entre les électrodes et la décharge comble cet espace très rapidement. Cette configuration présente des propriétés de décharges similaires à la décharge en volume, notamment son caractère filamentaire, et bénéficie des mêmes avantages que la décharge en surface, comme sa propriété d'allumage à tension faible.

### II.5 Matériaux utilisés comme barrière « Diélectriques »

Les diélectriques sont des matériaux plus ou moins isolants (résistivité élevée, bande d'énergie interdite de quelques eV), polarisables, c'est-à-dire dans lequel des dipôles électrostatique existent (diélectrique polaire) ou se forme sous l'effet d'un champ électrique (dipôles induits) [23].

En d'autres termes un diélectrique peut être défini comme un milieu matériel dans lequel la bande de conduction est séparée de la bande de valence par énergie supérieure à 5 eV [24]. Dans la pratique technologique la différence entre isolant et diélectrique ne découle pas de propriétés différentes mais de l'angle sous lequel est vu le problème. C'est ainsi que lorsque le souci d'empêcher un contact galvanique est important nous parlerons d'isolant, par contre lorsque notre intérêt est focalisé sur les propriétés découlant de la polarisation ou de la permittivité plus ou moins accentuée nous invoquons le terme diélectrique.

Enfin, compte tenu de ce qui vient d'être dit, les mots isolant et diélectrique peuvent être considérés comme étant des synonymes [25].

Les matériaux solides couramment utilisés comme isolants peuvent être classés en différentes familles :

- les isolants minéraux : verre, céramique.
- les isolants naturels : cellulose ou latex.
- les polymères thermoplastiques.
- les polymères thermodurcissables.
- les élastomères.

### II.5.1 Quelques milieux diélectriques usuels

#### a) Solides

- ❖ Le verre : utilisé pour faire des isolateurs de lignes haute tension.
- ❖ La céramique : très utilisée pour les matériels des postes électriques.
- ❖ La plupart des plastiques : en particulier polyéthylène sous sa forme réticulée (XLPE) et PVC, tous les deux sont utilisés pour les câbles.
- ❖ Le Polypropylène : utilisé en particulier dans les condensateurs.
- ❖ Le mica : qui n'est guère plus utilisé de nos jours dans l'industrie électrotechnique.
- ❖ La bakélite : autrefois très utilisée pour l'appareillage électrique basse tension.
- ❖ Le téflon : utilisé pour certaines pièces des disjoncteurs à haute tension.

#### b) Gazeux

- ❖ L'air.
- ❖ L'hexafluorure de soufre.
- ❖ L'azote.

#### c) Liquides

- ❖ Le pyralène : autrefois utilisé dans les transformateurs, mais qui tend à disparaître à cause de ses risques.
- ❖ L'huile minérale : qui a remplacé le pyralène dans les transformateurs.
- ❖ L'eau pure : si l'eau usuelle est conductrice, une eau parfaitement pure est un très bon isolant.
- ❖ La difficulté de garder une eau très pure rend toute utilisation industrielle difficile.

### II.5.2 Grandeurs caractéristiques des milieux diélectriques

Les matériaux diélectriques sont caractérisés en particulier par :

- leur permittivité diélectrique  $\epsilon$ .
- leur rigidité diélectrique.
- leur angle de perte ou tangente delta.

**a) Permittivité**

Cette grandeur s'exprime en Farad par mètre [F/m] dans le système international d'unités. Cette grandeur est également désignée parfois par le terme pouvoir inducteur spécifique ou constante diélectrique symbolise la propriété du matériau à s'opposer au passage d'un courant électrique .toutefois dans la pratique on utilise de façon quasi exclusive une permittivité relative(  $\epsilon_r$ )représentant le rapport de la permittivité absolue et la permittivité de vide(  $\epsilon_0$ ) la permittivité relative représente aussi le rapport de la capacité d'un condensateur ayant le matériau comme diélectrique à la capacité du même condensateur ,mais avec le vide à la place du diélectrique ,ceci est donné par la formule :

$$\epsilon_r = C/C_0 \quad (\text{II.1})$$

Plus le matériau limite le passage d'un courant électrique et plus son constant diélectrique est élevée. Dans la littérature, on parle souvent du constant diélectrique relatif

$$\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0 \quad (\text{II.2})$$

avec la constante diélectrique du vide ( $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  F/m).

**b) Rigidité diélectrique**

Elle représente l'une des caractéristiques important d'un isolant puisqu'elle traduit son aptitude à résister à une contrainte sans se détériorer. Elle s'exprime habituellement en kilovolts par millimètre [ $\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$ ].La rigidité diélectrique d'un matériau, dépend de la fréquence mais aussi de la durée d'application de la tension ainsi que la façon avec laquelle la contrainte est appliquée (rampe, choc).

La rigidité diélectrique d'un matériau est définie par le rapport de la tension pour laquelle se produit le claquage à la distance séparant des électrodes normalisées auxquelles est appliquée la tension.

$$G = \frac{u}{L} \quad (\text{II.3})$$

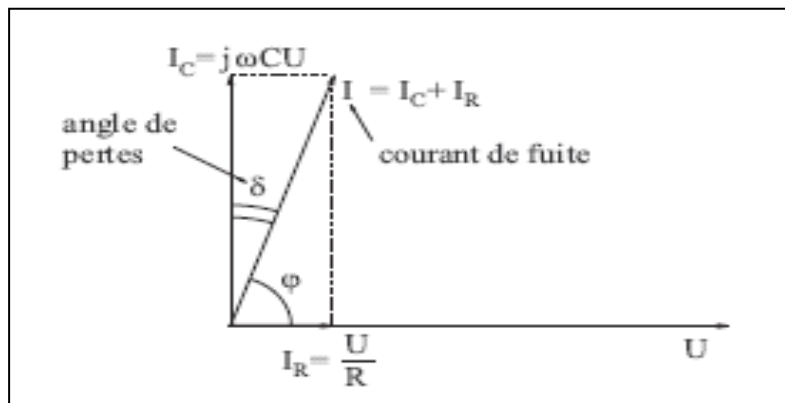
**c) Calcul de l'angle de pertes diélectriques**

L'angle de pertes  $\delta$  est défini comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension  $U$  entre les conducteurs et le courant de fuite  $I$  traversant l'isolant :

On a

$$\tan \varphi = \frac{CU\omega}{U/R} = RC\omega \tag{II.4}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\tan \varphi} = \frac{1}{RC\omega} \tag{II.5}$$



**Figure II.3.**Diagramme de Fresnel correspondant au schéma équivalent parallèle [26].

La valeur  $\tan \delta$  est appelée facteur de dissipation diélectrique

L'angle de pertes caractérise la qualité d'un isolant :

- bon isolant  $\rightarrow$  résistance d'isolement  $R$  élevée faible.
- mauvais isolant  $\rightarrow R$  faible,  $\delta$  élevé.

En pratique, le facteur de dissipation  $\tan \delta$  varie entre  $10^{-2}$  et  $10^{-4}$ .

**II.5.3 Phénomène physique dans les milieux diélectriques**

Les électrons présents dans un milieu diélectrique ne peuvent pas, par définition, se déplacer sur de grandes distances. Ils peuvent par contre présenter des mouvements d'amplitude négligeable à notre échelle, mais peuvent être à l'origine de nombreux phénomènes. Ces mouvements sont souvent des mouvements d'oscillation autour du noyau: le nuage électronique peut être déformé et ainsi créer un dipôle électrostatique. Il en va de même pour le déplacement global des atomes au sein du matériau (ils créent également des dipôles).

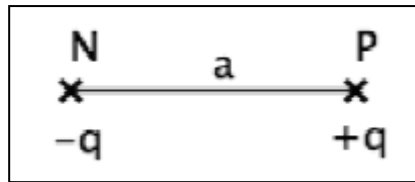


Figure II.4. Schéma d'un dipôle[23].

Un dipôle électrostatique se définit par un ensemble de 2 points P et N de charge respective +q et -q distant de a.

a) Description de la polarisation

La propriété la plus importante d'un diélectrique est la polarisation sous l'action d'un champ électrique externe. A l'échelle atomique : en l'absence d'un champ électrique, le moment électrique est nul car la somme algébrique des charges dans toutes les molécules dans un volume donné est nulle, du fait que les centres de gravité des charges positives et négatives coïncident. Lors de l'application d'un champ électrique, les centres de gravité ne coïncident plus et les particules (atomes et molécules) sont alignées suivant la direction E de et acquièrent un moment  $p_0$  (voir Figure II.5) [23].

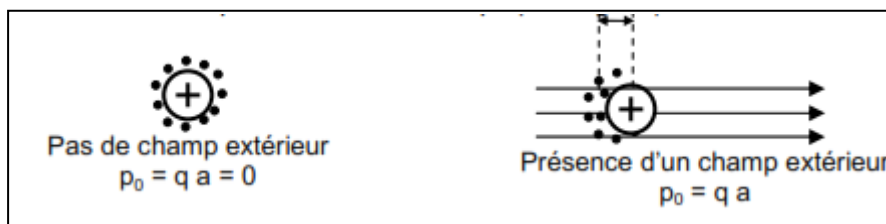


Figure II.5. Polarisation électronique [23].

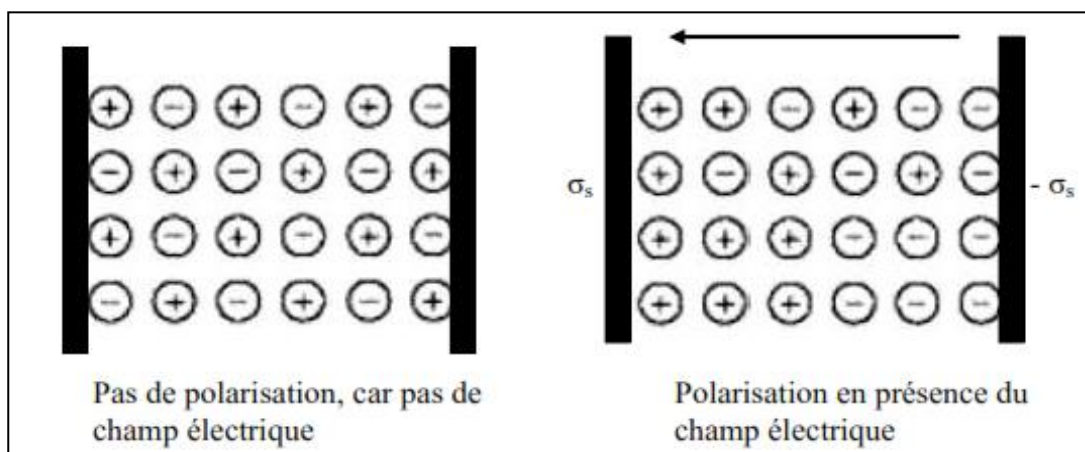


Figure II.6. Polarisation macroscopique [23].

### II.5.4 Diélectriques polaires et non polaires

Tous les diélectriques peuvent être divisés en deux catégories : Diélectriques polaires et diélectriques non polaires. La somme totale des charges dans une molécule est nulle, mais l'arrangement (la structure) de ces charges peut être différent d'une matière à une autre.

Les centres de gravité peuvent coïncider ou ne pas coïncider :

- Dans le 1<sup>er</sup> cas : la molécule est non polaire.
- Dans le 2<sup>ème</sup> cas : la molécule (et donc la matière en question) est dite polaire. Même en l'absence de champ électrique externe, la molécule possède un moment dipolaire.

Il est clair que les molécules arrangées de façon symétrique (qui possèdent un centre de symétrie) sont non polaires du moment que les centres de gravité des charges positives et négatives coïncident avec le centre de symétrie. Par contre, les molécules asymétriques sont polaires. Les molécules monoatomiques (He, Ne, Ar, Kr, Xe) et les molécules formées de deux atomes identiques (H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, etc...) sont non polaires. Par contre, les molécules à composition ionique telles que l'iode de potassium KI ont un moment dipolaire élevé [23].

### II.5.5 Diélectrique linéaires et non linéaires

Les diélectriques linéaires sont caractérisés par une relation linéaire entre la polarisation et le déplacement avec le champ électrique :

$$P = X \epsilon_0 E \quad (\text{II.6})$$

Avec :

E : le champ électrique.

$\epsilon_0$  : la constante diélectrique

X : la susceptibilité électrique

Pour certains matériaux « non linéaires » ces relations ne sont plus linéaires, la permittivité dépend alors du champ E. Ce type de diélectrique est utilisé dans certaines applications spécifiques. Il y a plusieurs types de diélectriques non linéaires, le diélectrique non linéaire le plus typique, en dehors de la dépendance de la permittivité en fonction du champ, il y a :

- phénomène d'hystérésis sous l'action d'une tension alternative entre et identique à l'hystérésis magnétique entre B et H
- de très grandes valeurs de la permittivité.
- variation, de ses paramètres en fonction de la température.
- présence d'une polarisation spontanée sans l'application d'un champ externe.



**II.5.6 Diélectrique piézo-électrique**

La piézo-électricité est découverte en 1800 par les chercheurs français Pierre et Paul-Jean Curie. C'est du à l'apparition de charges électriques sur les surfaces de quelques cristaux quand ils sont soumis à des forces mécaniques de compression ou de tension par exemple. Il existe l'effet inverse, à savoir la déformation sous l'action d'une tension électrique. Pratiquement, tous les diélectriques ferroélectriques sont piézo-électriques [25].

**II.5.7 Electret**

Un électret est un composé diélectrique, qui préserve sa polarisation pendant longtemps après que le champ électrique externe qui a produit cette polarisation est enlevé, et qui a installé un champ électrostatique dans l'espace environnant. L'électret crée un champ électrique de la même manière qu'un barreau aimanté crée un champ magnétique.

**II.6 Les types de la décharge à barrière diélectrique**

Deux types de décharge à barrière diélectrique peuvent être différenciés : décharge silencieuse et décharge lumineuse homogène.

**II.6.1 Décharge silencieuse**

C'est la première décharge qui a été observée. Dans ce type de décharge le diélectrique joue le rôle d'un condensateur avec le plasma, ce qui conduit à un effet stabilisateur avec un grand nombre de micro-décharges de petite impulsion dans tout l'espace inter-électrodes.

Ces micro-décharges sont caractérisées par un diamètre de quelques centaines de micromètres et un temps de vie de 100 ns. Ces caractéristiques dépendent de la nature et de la pression du gaz [20].

**II.6.2 Décharge lumineuse homogène**

En appliquant des champs électriques de l'ordre du Kv avec des fréquences de quelques kHz et des distances inter électrodes de 0.5 à 3 cm, on obtient des décharges lumineuses homogènes sans filament dans l'air à la pression atmosphérique. Dans ce cas la décharge silencieuse est remplacée par un régime lumineux homogène (d'un point de vue macroscopique). Okazaki et al ont obtenu des décharges lumineuses avec une fréquence de l'ordre de 50 Hz par l'utilisation d'une grille au lieu d'une électrode plane. Dans tous les cas, la décharge est contrôlée par une barrière diélectrique, car cette dernière rend la décharge de

courte durée. La répartition de charges telles que les micros décharges sont rares. Par contre, pour les décharges silencieuses, ont montré que ce type de décharge est caractérisé par un courant de décharge périodique, et que celui-ci a la même structure que les décharges observées à basse pression [20].

### II.7 Caractéristiques d'une DBD

La décharge à barrière diélectrique est caractérisée par :

- Sa pression de travail élevée (autour de la pression atmosphérique).
- La tension appliquée aux bornes des deux électrodes est de l'ordre de quelque kV.
- La fréquence d'excitation est de l'ordre du kHz.
- La décharge est contrôlée par une barrière diélectrique qui rend la décharge de courte durée et une répartition de charges telle que les micros décharges soient rares.
- La distance entre les électrodes est de l'ordre de quelque millimètre.

### II.8 Applications de DBD

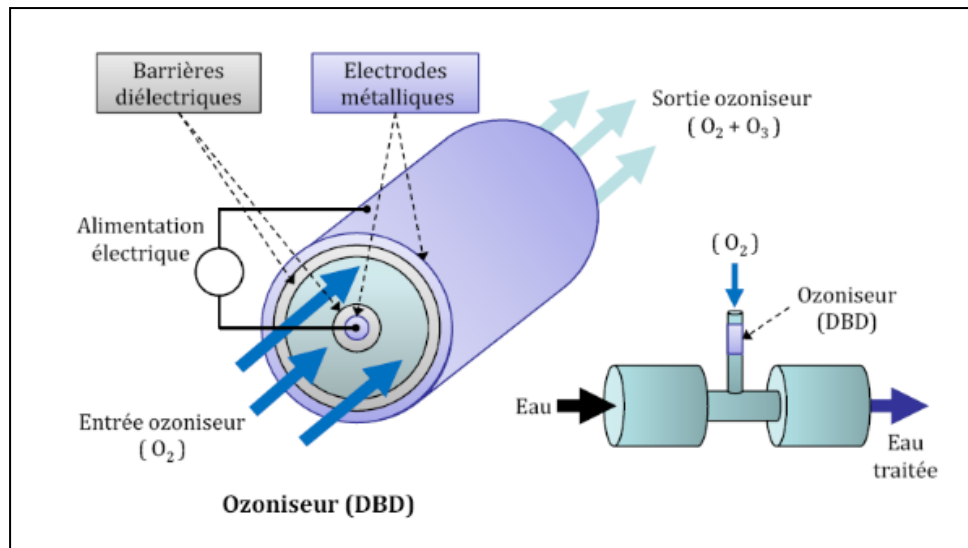
#### II.8.1 décharge couronne

Les décharges couronne sont utilisées dans de nombreux domaines où elles remplacent des techniques souvent plus polluantes (utilisation de solvants). Les décharges couronne offrent de nombreuses possibilités pour le traitement des gaz et plus particulièrement les gaz polluants. Les décharges couronne sont aussi employées dans les processus électrostatiques. Cependant elles restent pour certaines applications encore trop coûteuses d'un point de vue énergétique comparées à d'autres méthodes mieux maîtrisées. Mais les recherches effectuées sur le sujet tendent à accroître leur intégration dans le milieu industriel et ouvrent de nouvelles possibilités [27].

#### II.8.2 Production d'ozone

C'est la solution qui permet de traiter les effluents gazeux est d'utiliser l'ozone : au lieu de créer un milieu fortement réactif, l'ozone possédant un fort pouvoir oxydant, est introduit dans le gaz à traiter. L'ozone est également utilisé dans le traitement de l'eau mais aussi dans de nombreux domaines comme l'industrie agroalimentaire en tant que désinfectant ou conservateur. La **Figure II.7**. Donne le schéma de principe d'un ozoniseur alimenté en oxygène. Dans cet exemple la décharge est constituée de deux barrières diélectriques

coaxiales. La décharge s'effectue dans le volume de gaz par lequel le gaz circule, par conséquent le courant électrique va convertir une partie du gaz entrant en ozone.



**Figure II.7.** Schéma de principe d'un ozoniseur utilisé dans le traitement de l'eau [28].

### II.8.3 Traitement de surfaces

Le traitement de surfaces est le deuxième domaine d'utilisation des plasmas froids produits par décharge couronne. Le premier secteur à les avoir adoptés couramment est la micro-électronique pour la fabrication des circuits intégrés et des circuits imprimés. En raison de leurs caractéristiques et de leurs qualités intrinsèques, les plasmas froids se diffusent dans d'autres secteurs comme :

#### a) La plasturgie

Préparation de la surface à une enduction ultérieure, nettoyage et dégraissage, élaboration de fonctions sélectives sur membranes, modification du coefficient de frottement, création d'un effet barrière, notamment pour les emballages alimentaires.

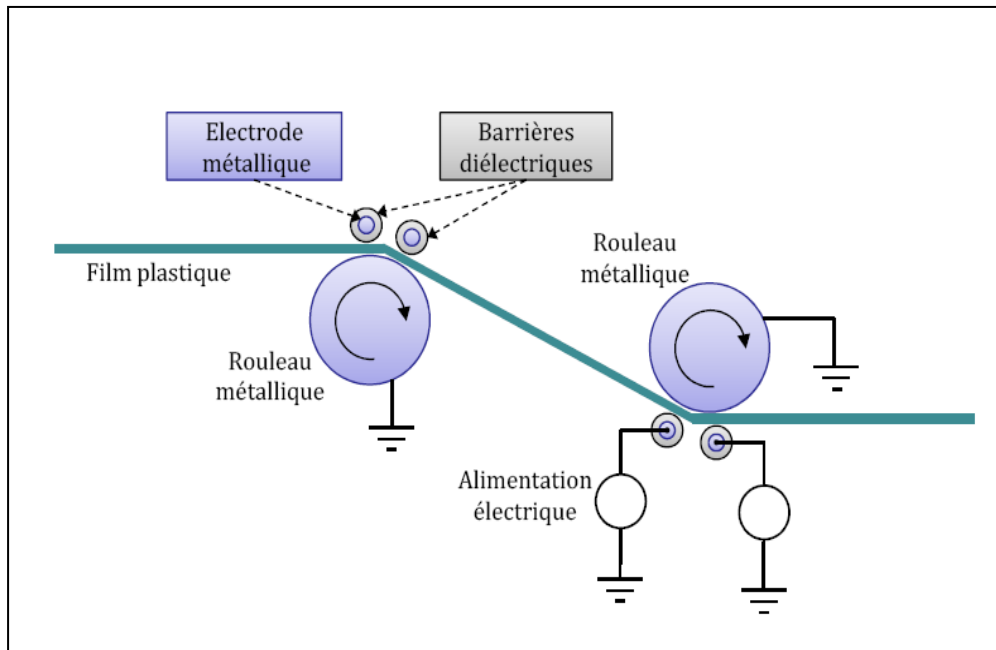
#### b) Le textile

Anti-mouillabilité, antiglisse ou encore l'optique et l'optoélectronique (dépôt, organométalliques multicouches).

#### c) Elimination de l'électricité statique

L'électricité statique est, dans l'industrie, la source de dysfonctionnements gênants. Elle provoque des décharges néfastes aux dispositifs électroniques. La **Figure II.8** représente un

exemple d'utilisation de la décharge à barrière diélectrique pour le traitement d'une surface de plastique.

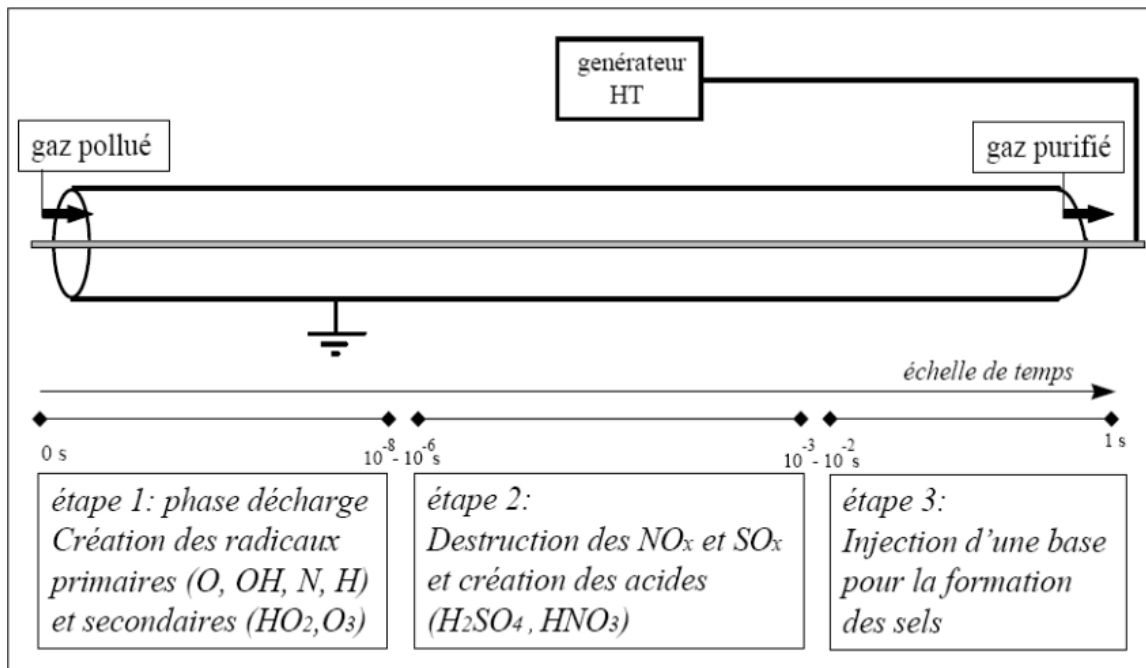


**Figure II.8.** Utilisation d'une DBD dans le traitement surfacique de plastiques [28].

### d) Dépollution des effluents gazeux

Le traitement de gaz avec les décharges couronne se fait par des réacteurs. L'utilisation des réacteurs plasmas froids hors équilibre générés par des décharges électriques de type couronne nous permet de traiter les gaz à pression atmosphérique. Le traitement s'effectue soit en détruisant les espèces toxiques, soit en les transformant en espèces moins nocives et/ou plus facilement traitables par d'autres techniques de dépollution. Les espèces toxiques traitées peuvent être des oxydes d'azote et de soufre ou des composés organiques volatiles. Des recherches sont également en cours pour estimer le potentiel de traitement des surfaces par des dispositifs hybrides couplant les décharges couronne avec des catalyseurs. Dans certains cas, le réacteur couronne peut également servir de précipitation électrostatique et piéger les poussières ou les particules lourdes [27].

Le traitement d'un gaz d'échappement par réacteur couronne s'effectue en trois principales étapes comme il est indiqué sur la **Figure II.9**.



**Figure II.9.** Représentation schématique des principales étapes de la destruction des oxydes toxiques par décharge couronne [27].

#### II.8.4 Lampes fluorescentes

Comme nous l'avons évoqué précédemment (application pour les écrans plasma), le rayonnement UV est ici utilisé pour exciter le phosphore et produire un rayonnement visible. L'avènement des excilampes fournit la possibilité de se passer du mercure (Hg) utilisé depuis des décennies dans des lampes fluorescentes [29].

Le remplacement du mercure Hg pour un rayonnement à base du xénon, (2 Xe à 172nm) a montré une grande efficacité [28]. La Figure II-10 montre une lampe cylindrique utilisée dans les nouvelles générations de scanners et photocopieurs. Les caractéristiques de ces lampes sont :

- ✓ Electrode externe.
- ✓ Mélange du gaz : Néon (Ne) et Xénon (Xe).
- ✓ Fréquence de fonctionnement : 20kHz.

Le (Ne) est utilisé pour réduire la tension de claquage et donc baisser les coûts.

Un avantage majeur de ces nouvelles lampes fluorescentes est qu'elles peuvent commuter très rapidement sans surchauffe ni ralentissement [30]. Dans les scanners et les photocopieurs, ces

lampes ne sont actives que durant la phase de scan ou de copie, c'est pourquoi leur durée de vie est assez longue.

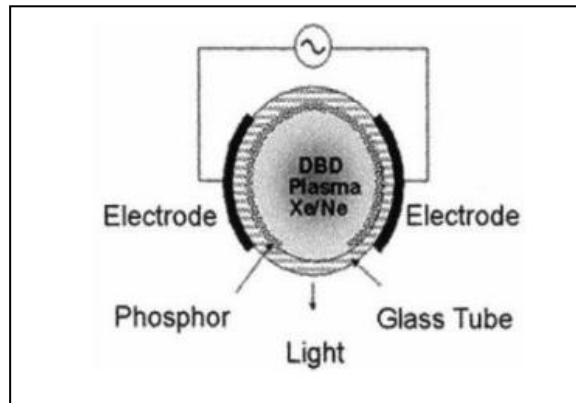


Figure II.10. Lampe fluorescente à base d'un excimères du Xe [30].

### II.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la décharge à barrière diélectrique et le principe général de la DBD, Une part prépondérante de cette étude bibliographique est consacrée aux DBD de voir le comportement des diélectriques utilisé comme barrière et les différents domaines d'applications industrielles des DBD.

Les géométries courantes des DBD, elles peuvent être regroupées en trois catégories décharge en volume, décharge en surface et décharge coplanaire.

Les types du décharge à barrière diélectrique (Deux types peuvent être différenciés: décharge silencieuse et décharge lumineuse homogène).

# **Chapitre III**

## **Paramètres influents la DBD**

### III.1 Introduction

L'amélioration de la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air par l'introduction convenable d'une barrière diélectrique est un phénomène très intéressant à exploiter dans les systèmes d'isolation. L'introduction d'une barrière influence par plusieurs paramètres la variation de la tension disruptive d'un intervalle d'air, parmi eux on trouve les paramètres de configuration de l'intervalle (longueur de l'intervalle, nombre de barrières utilisées, position de la barrière) et les paramètres concernant la barrière elle-même (son matériau, sa forme, ses dimensions...etc.)[31].

Ce dernier chapitre est consacré aux paramètres influents la décharge avec une barrière diélectrique ainsi les travaux de recherches et études paramétriques sur la DBD.

### III.2 Paramètres influents la Décharge avec Barrière Diélectrique

#### III.2.1 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 l'humidité  $H$ , la température  $T$  et de la pression  $P$ .

##### a) Humidité

L'influence de l'humidité sur la tenue diélectrique d'une interface solide/gaz est très importante surtout dans le cas où le champ électrique est non uniforme. Les résultats des essais trouvés par R. Fournie, montrent bien que la tension d'apparition des décharges superficielles est réduite 25% quand l'humidité dépasse 75%. D'après Halfield et Kuffel [32], l'humidité améliore la tenue diélectrique de ces interfaces quand elle est de l'ordre de 40%. L'amélioration de la tenue est due au fait que l'humidité favorise le phénomène d'attachement.

##### b) Température

La grande diversité de matériaux utilisés comme diélectrique dans les systèmes solide/gaz ne permet pas de dégager une loi générale sur leur comportement en température. Généralement, la rigidité diélectriques de ces systèmes augmente avec la température depuis les basses températures jusqu'à l'ambiance (au légèrement au-dessus) et redescend rapidement pour les températures élevées [33].



### c) Pression

D'après J. Lewis [34] et Y. Gosho, la tenue diélectrique des interfaces solide/gaz augmente avec la pression. On constate que pour les pressions inférieures à  $5.2 * 10^5$  Pa, l'introduction d'un isolant solide dans l'intervalle n'affecte pas la rigidité diélectrique de ce dernier. Par contre, pour les pressions supérieures à  $5.2 * 10^5$  Pa, l'isolant solide réduit la rigidité diélectrique de l'intervalle du gaz. En tension continue J.H.Mason [35], a trouvé pratiquement les mêmes résultats pour des systèmes solide/nitrogène et nitrogène seul.

### III.2.2 Influence de la tension

Dans la plupart des cas, l'effet des facteurs susnommés est étroitement lié à la nature de la tension (alternative, continue ou impulsionnelle). La valeur intrinsèque de la tenue diélectrique dépend également de la forme de la tension.

### III.2.3 Influence des paramètres définissant la nature de la barrière

#### a) La résistivité transversale

La résistivité transversale d'un matériau  $\rho_v$  est le quotient du gradient de potentiel par la densité de courant qui le travers. La résistivité transversale spécifique  $\rho_v$  est exprimée d'ordinaire en  $\Omega\text{cm}$ , la valeur numérique de  $\rho_v$  est égale à la résistance d'un cube dont les arêtes sont de 1 cm [36].

#### b) La résistivité superficielle

La résistivité superficielle d'un matériau isolant  $\rho_s$  est le quotient du gradient de potentiel en surface par le courant par unité de largeur. La résistivité superficielle spécifiques est exprimée en ohms, elle est numériquement égale à la résistance qu'offre un carré plan, lorsque la longueur du trajet du courant est égale à la largeur d'écoulement [36].

#### c) Constante diélectrique ou permittivité relative ( $\epsilon_r$ )

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique  $\mathbf{E}$  il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre  $\mathbf{E}_p$  à l'intérieur de la substance. Ce champ électrique propre est cependant insuffisant pour annuler le champ électrique extérieur appliqué comme c'est le cas dans un milieu conducteur [36]. Cette caractéristique des isolants solides (et liquides) porte le nom de permittivité relative.

### III.2.4 Influence de la barrière isolante sur la tension de décharge

#### a) Influence de la position de la barrière dans l'intervalle d'air

La tension de décharge passe par un maximum pour une position de la barrière à 20% de l'intervalle à partir de la pointe pour des largeurs définies. Cette augmentation est due à l'allongement du canal de la décharge. L'amélioration de la rigidité diélectrique des intervalles d'air pointe-plan est due au fait que la barrière forme un obstacle géométrique à la décharge directe. A partir des observations photographiques et de l'analyse des résultats expérimentaux, établit que la tension disruptive correspond à la longueur du canal de la décharge. Elle est approximativement égale à la tension disruptive de l'arrangement pointe-plan sans barrière ayant une distance entre électrodes égale à la longueur de la décharge dans l'intervalle avec barrière [37].

#### b) Influence de l'épaisseur et de la permittivité

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

#### c) Influence de la largeur

Quand la largeur de la barrière n'est pas aussi grande que la distance inter électrodes, la rigidité de l'arrangement pointe-barrière-plan dépend de la longueur du canal de la décharge. Cette longueur est approximativement égale à la distance pointe-bord de la barrière et barrière-plan. Pour des petites largeurs, la décharge pourrait se faire de manière directe, par contre pour de grandes largeurs de la barrière devant la longueur de l'intervalle pointe-plan, la décharge se fait par étapes [37].

#### d) Influence de la polarité de l'électrode pointe

Avec la polarité négative, la décharge se déroule par étapes pour toutes les positions de la barrière et aucune augmentation de la tension disruptive n'a été obtenue. Pour ce cas, les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière isolante. L'amélioration n'a été mentionnée que pour une polarité positive de la pointe. Pour la pointe sous tension alternative l'amélioration de la rigidité du système est réalisée pour des positions de la barrière entre 20%

et 60 % de l'intervalle . Sous des impulsions de choc l'amélioration de la rigidité est visible à une position de la barrière de 60% de la longueur de l'intervalle, mais pour des positions proches de l'une des électrodes la rigidité diminuent [37].

### e) Influence du matériau de la barrière

Dans un travail, a effectué des mesures des courants de décharges pour des Intervalles d'air avec différents matériaux de la barrière. L'analyse des oscillogrammes a montré que chaque impulsion de courant a une structure complexe avec un caractère irrégulier. Ceci reflète le processus de décharge, c.à.d. que la décharge se fait sous forme de séries de micro impulsions consécutives en utilise la matière Plexiglas [38].

#### ➤ Plexiglas

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

#### 1) caractéristique diélectriques :

Constante diélectrique :  $2.6 \text{ N.m}^2/\text{c}^2$

Rigidité diélectrique : 25 KV/mm.

#### 2) caractéristique mécanique

Densité :  $1.18 \text{ G/Cm}^3$

Absorption d'eau à saturation : 0.3%

Résistance à la traction :  $74 \text{ N/ mm}^2$

Résistance à la flexion :  $140 \text{ N/mm}^2$

Résistance aux chocs : 20 J/m

### III.2.5 Influence de l'accumulation de la charge d'espace

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

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

S. Chakravorti, a utilisé la méthode de simulation de charge pour le calcul de champ et de la tension disruptive, les résultats sont comparés à une base de données expérimentale obtenue, par Nakanishi et Al [39].

### III.2.6 Formes de décharge

La forme de décharge dépend essentiellement du rapport ( $2L/a_1$ ) Où  $2L$  est la largeur de la barrière, et  $a_1$  est la distance pointe-barrière.

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

#### a) Décharge directe

La décharge directe est une décharge qui suit le chemin le plus court entre la pointe et le plan en passant par le bord de la barrière [36] L'amorçage se fait en une seule étape : de la pointe vers le plan. On distingue deux cas:

##### a).1 La décharge perfore la barrière

La barrière est perforée lorsqu'elle est très large et assez mince proche de la pointe. Dans ce cas la décharge se prolonge comme dans le système sans barrière [36].

##### a).2 La décharge contourne la barrière

Pour un système pointe -plan avec barrière, la décharge parte de la pointe suivant le trajet « pointe-bord, bord-plan » quand l'écran n'est pas suffisamment large. La décharge se voit dévié vers le bord de l'écran à cause de l'existence de force électrique répulsive. L'existence d'une décharge directe pour des barrières relativement larges est liée sur tout à la polarité de la pointe aussi qu'à la présence de forces électrostatiques à la surface de séparation des deux diélectriques (air-barrière) [36].

### b) Décharge par étape

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

1. L'effet couronne suivi de la décharge pointe-barrière qui constitue la première étape de décharge.
2. La deuxième étape est le contournement de la barrière par les décharges glissantes pour des tensions élevées.
3. Finalement, la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan. C'est la troisième étape. La **Figure III.1** présente de décharges glissantes à 50Hz (a) et décharge par étape (b)



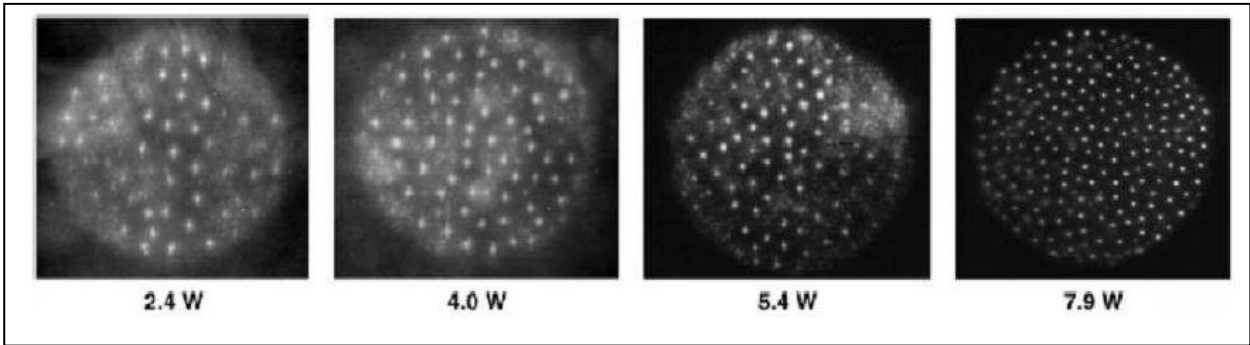
**Figure III.1.**Décharges glissantes sur une barrière isolante [36].

(a) : présente de décharges glissantes à 50Hz (b) : décharge par étape

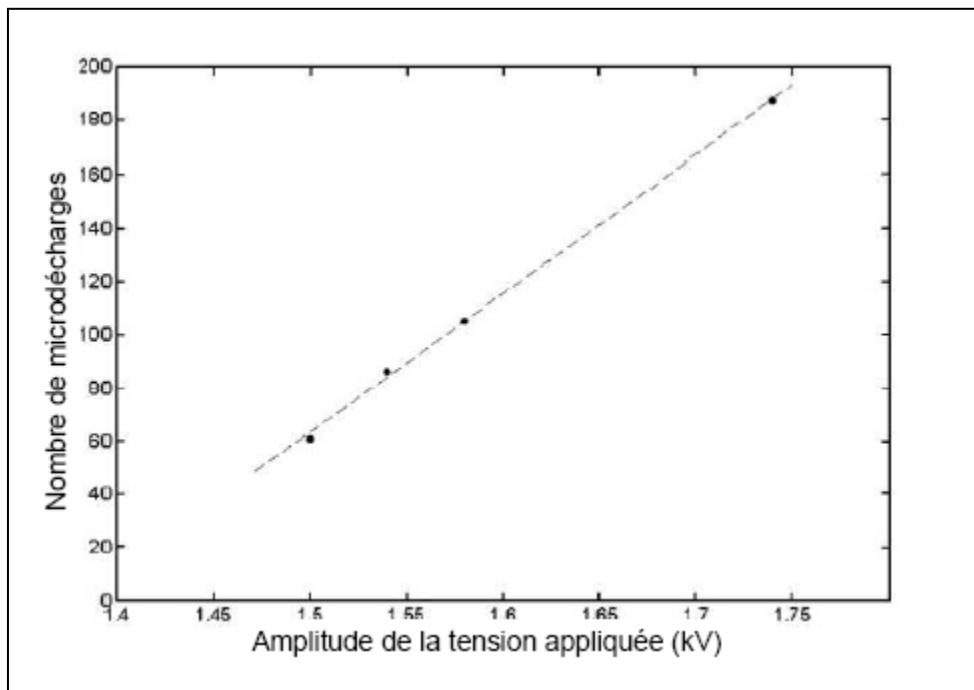
### III.3 Paramètres de régulation de la décharge à barrière diélectrique

#### III.3.1 Influence de la tension

La tension régule le nombre de micro-décharges par  $\text{cm}^3$  pendant une demi-alternance. Lorsque la tension augmente, le nombre de micro-décharges par demi-période augmente. Ceci est confirmé par les travaux de De Geyter et al [40]. Les **Figures III.2** et **III.3** illustrent cette influence.



**Figure III.2.** Figures de Lichtenberg d'une DBD à différentes puissances (diélectrique : verre 2mm ; distance inter-électrodes : 3mm, 5kPa, 50kHz, air)



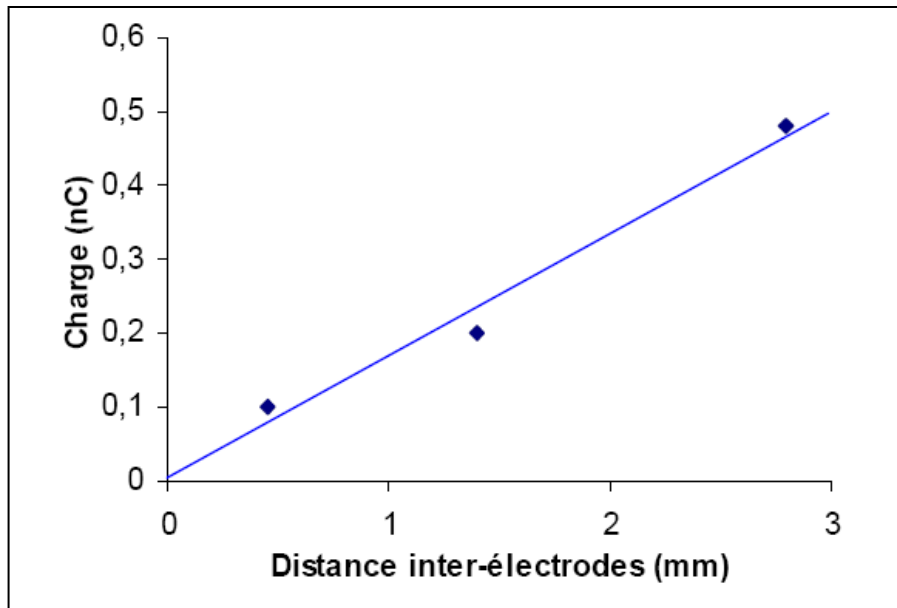
**Figure III.3.** Evolution du nombre de micro-décharges en fonction de la tension appliquée (diélectrique : verre 2mm ; distance inter-électrodes : 3mm, 5kPa, 50kHz, air) [40]

### III.3.2 Influence de la fréquence

Le courant de décharge et le nombre de décharges par unité de temps augmentent avec l'augmentation de la fréquence d'alimentation. Plus la fréquence est élevée et plus le temps entre la dernière décharge d'une demi-alternance et la première de la demi-alternance suivante est court. Les charges ont moins de temps de s'écouler et renforcent le champ [40].

### III.3.3 L'influence de la distance inter-électrodes

L'influence de la distance inter-électrodes sur la décharge est illustrée sur la **Figure III.4**.



**Figure III.4.** Charge par micro-décharge selon la distance inter-électrodes (verre,  $e=2$  mm) [40].

La **Figure III.4** montre que la distance inter-électrodes régule la quantité de charge par impulsion, qui définit l'énergie d'un filament et celle-ci augmente avec la distance inter-électrodes [40].

## III.4 Les travaux sur les paramètres influents la DBD

### III.4.1 Influence selon C.P Steinmetz

L'influence des barrières isolantes a été remarquée par C.P Steinmetz vers 1920 [37]. Depuis les découvertes faites par Steinmetz, des dizaines de travaux de recherche ont été entrepris dans différents pays. Les principales constatations sont les suivantes [36]. L'influence d'une barrière dépend des paramètres principaux suivants:

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

### III.4.2 Influence selon H. Roser

Il a été le premier à étudier l'influence des barrières de différentes permittivités sur la tension disruptive aux chocs de foudre, en tension alternative et continue, pour divers systèmes d'électrodes. Dans le cas du système pointe positive-plan, la charge d'espace qui se dépose à la surface de la barrière isolante est positive. Elle tend à uniformiser le champ électrique entre la barrière et le plan. Ceci engendre l'augmentation de la tension de décharge disruptive. Par contre, dans le cas de la pointe négative, il peut y avoir une réduction de la tension disruptive. Roser a notamment étudié l'influence des barrières poreuses et des barrières compactes trouées, où il a constaté qu'elles n'entraînent aucune amélioration notable de la tension disruptive [41].

### III.4.3 Influence selon Tikhodeev

Selon Tikhodeev le processus de décharge en tension impulsionnelle positive peut être subdivisé en trois étapes principales [42]:

➤ Etape non stationnaire de remplissage de la barrière par les charges. Cette étape commence dès que le seuil de la décharge couronne est dépassé. Une double couche de charges superficielle est formée, créant un champ de polarisation  $E_p$  à l'intérieur de la barrière, (**Figure.III.5**). En effet, la charge d'espace créée par la décharge couronne est stoppée par la barrière en se déposant dessus, ce qui conduit à la réduction du champ électrique à la surface de la pointe. La tension appliquée à la pointe devient alors insuffisante pour maintenir la décharge couronne. La charge installée à la barrière se répartie graduellement sur toute la surface de la barrière vu la valeur finie de la conductivité du matériau de la barrière. Dans ce cas la fréquence des impulsions de courant augmente, mais reste inférieure à celles de Trichel.

➤ Une étape stationnaire de contournement de la barrière par les décharges glissantes. En augmentant la tension, les impulsions de courant se serrent et des courants stationnaires sont collectés au plan.

➤ Etape de claquage de l'intervalle pointe –plan avec barrière, où la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan.

Pour une pointe négative on trouve trois étapes :

➤ La décharge s'effectue de la pointe vers la barrière.

➤ Pour un niveau de tension supérieur, la barrière est contournée par les décharge glissantes.



D'autre part, à partir de l'électrode plane apparaît une décharge vers la surface opposée de la barrière. L'amorçage s'effectue après la rencontre des deux décharges venant de part et d'autre de la barrière [42].

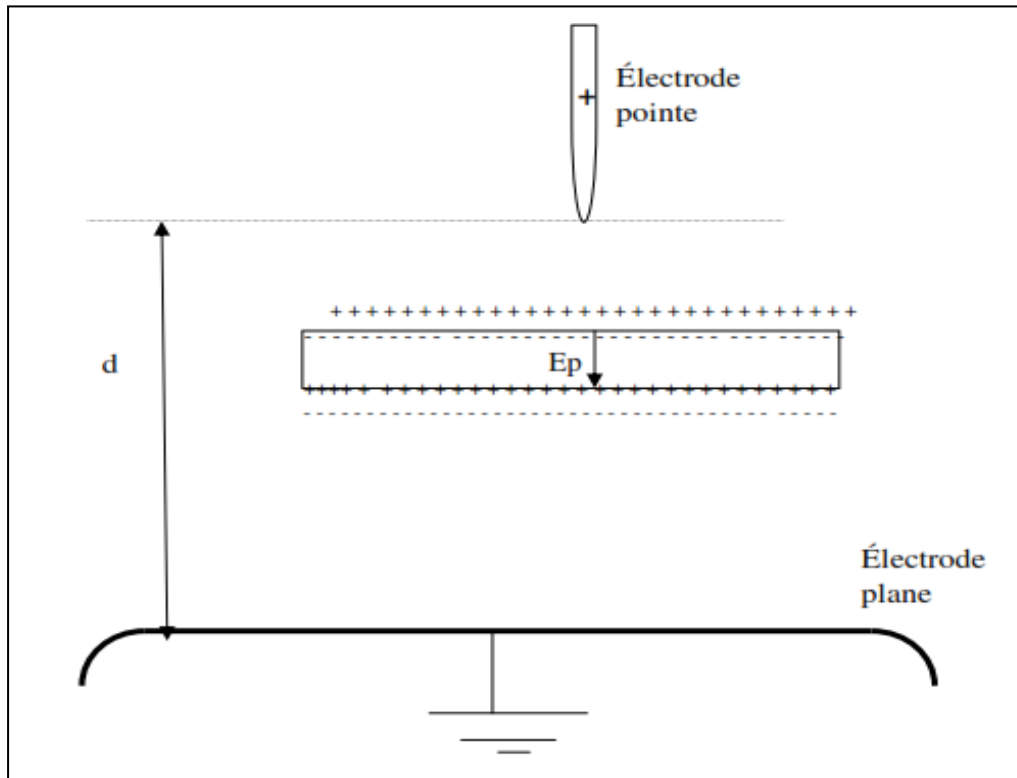


Figure.III.5. Distribution des charges au niveau de la barrière isolante.

### III.4.4 Influence selon M.Awad

Awad a étudié le comportement des barrières polluées dans des intervalles d'air pointe-pointe de longueur inférieure à 12cm pour des tensions de choc de manœuvre 23/3000 $\mu$ s [43]. Il a constaté que la tension de claquage diminue lorsque la conductivité superficielle augmente, puis tend vers une valeur constante pour une conductivité superficielle supérieure ou égale à 3 $\mu$ S dans le cas où la surface polluée est en face de la pointe HT.

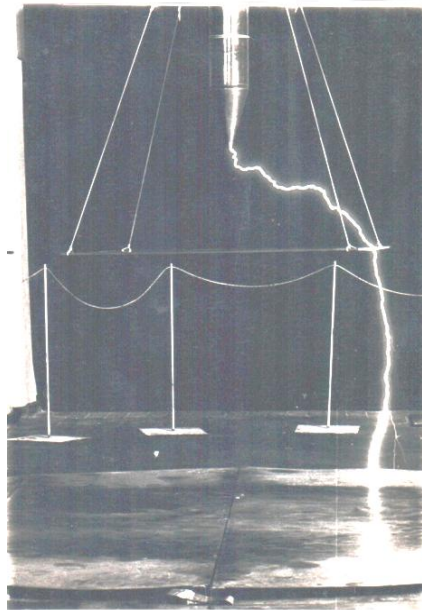
### III.4.5 Influence selon A.Boubakeur

A.Boubakeur a travaillé sur les intervalles d'air pointe-plan de 40 à 200 cm, en tensions de choc de foudre et de manœuvre positives et en tension alternative à fréquence industrielle. Il a montré que la barrière isolante joue un rôle d'obstacle géométrique provoquant

## Chapitre III : Paramètres influents la DBD

---

l'augmentation de la tension disruptive, quand la barrière est proche de la pointe aux environ de 20% de la distance pointe-plan. Cette augmentation est due à l'allongement du canal de la décharge disruptive [37]. L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes. La décharge directe est obtenue lorsque aucune décharge superficielle à la surface de la barrière n'est observée. Ce cas est généralement obtenu dans le cas où la barrière est suffisamment éloignée de l'une des électrodes [44]. Dans ce cas, la décharge contourne la barrière en la touchant dans un seul point, elle suit dans l'air le trajet pointe-bord de la barrière-plan ( **Figure.III.6**).



**Figure.III.6.** Décharge directe du système pointe-barrière-plan  
( $d = 150 \text{ cm}$ ,  $a = 40 \text{ cm}$ ,  $170/2500\mu\text{s}$ ) [36].

Pour ce cas, la tension disruptive du système « pointe-barrière-plan » peut être déterminée approximativement de la caractéristique tension disruptive en fonction de la distance inter électrodes 'd' du système pointe-plan en considérant la distance géométrique  $d_{\text{géom}}$  (**Figure.III.7**). telle que :

$$d_{\text{géom}} = a' + \sqrt{a^2 + L^2} \quad (\text{III.1})$$

Où  $a' = d - a$

$a$ : est la distance pointe-barrière

$a'$ : est la distance barrière-plan.

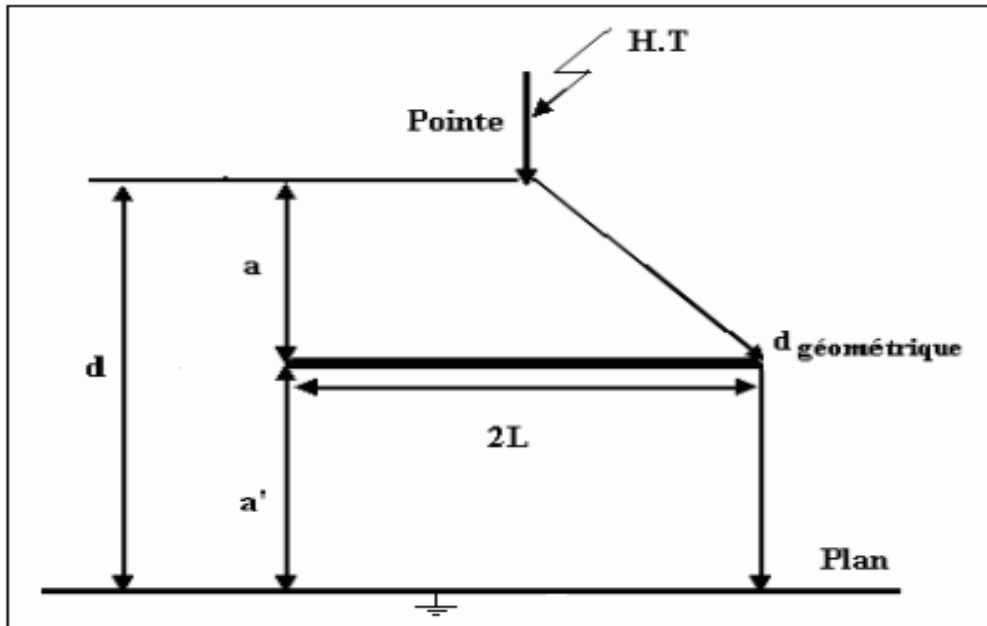


Figure.III.7 .Système pointe-barrière-plan.

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

Dans le cas d'une pointe de polarité négative, la décharge par étapes apparaît pour pratiquement toutes les positions de la barrière. Notamment, A.Boubakeur a mis en évidence l'apparition de décharges ascendantes positives, dans le cas d'une pointe négative pour un intervalle d'air pointe-plan de 1.5 m (Figure.III.8).



Figure III.8.Décharge disruptive dans un intervalle d'air pointe-barrière-plan de 1,5m  
(U près de 1100kV) [45].

---

## Chapitre III : Paramètres influents la DBD

---

A. Boubakeur a également travaillé sur l'influence des couches semi-conductrices appliquées sur la barrière isolante, où il a remarqué leur effet négatif sur la tension disruptive ; ceci à partir des conductivités superficielles supérieures à  $0.4 \mu\text{S}$  et pour des distances pointe-barrière comprises entre 20 et 100 % de l'intervalle complet.

Dans le cas d'une barrière conductrice, il a constaté que lorsque la barrière est en contact avec la pointe, la tension disruptive augmente. Par contre, lorsqu'elle est située au voisinage de la zone médiane de l'intervalle pointe-plan elle décroît. Dans le cas où la barrière est suffisamment proche du plan, la tension disruptive de l'arrangement "pointe-barrière-plan" reste voisine de celle de l'arrangement "pointe-plan" sans barrière[50].

Une étude a été réalisée sur le champ électrique dont le but est de vérifier l'uniformisation de celui-ci dans la partie barrière-plan lors d'une décharge en géométrie pointe-barrière métallique-plan [45]. Il a été conclu que lorsque la pointe est sous tension, la barrière conductrice se charge par influence électrostatique et la distribution du champ se fait de deux manières. L'une non uniforme dans l'intervalle pointe-barrière et l'autre pratiquement uniforme dans l'intervalle barrière-plan. A cet effet le système "pointe-barrière-plan" aurait une rigidité équivalente à la somme de la rigidité d'un intervalle pointe-plan correspondant à la distance pointe-barrière et de celle d'un système plan-plan correspondant à l'intervalle barrière-plan. L'approximation du calcul de la tension disruptive est acceptable en tension positive pour des positions de la barrière proches du plan, à l'inverse de la tension continue de polarité négative. A. Boubakeur a aussi constaté l'influence de la charge spatiale déposée sur la barrière en réalisant des trous de différents diamètres au centre de la barrière [37]. La décharge disruptive passe généralement par le bord de la barrière pour des trous de faible diamètre et elle passe par le trou à partir d'un certain diamètre limite de 10mm.

### III.4.6 Influence selon Z.You Bin

You Bin a travaillé sur les intervalles pointe-barrière-plan sous tension continue. La distribution des porteurs de charges positifs sur la surface de la barrière et la chute de tension entre les faces opposées de la barrière sont influencées par l'épaisseur et la permittivité de la barrière utilisée. Lorsque ces dernières auront des valeurs importantes, le champ électrique entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme, mais leur influence est beaucoup moins importante par comparaison à l'effet de la largeur et de la position de la barrière [46].

### III.4.7 Influence selon M.V.Sokolova

Sokolova a effectué des mesures des courants de décharges pour des intervalles d'air avec différents matériaux de la barrière. L'analyse des oscillogrammes a montré que chaque impulsion de courant. Il a obtenu les résultats regroupés dans le **Tableau III.1**, pour une distance pointe-plan  $d=1.5\text{mm}$  et  $U_{eff}=4.5\text{kV}$  [47].

Matériau	Courant max et charge moyenne
Verre	$I_{max} = 100 - 200\text{mA}$ $Q_{moy} = 5\text{nC}$
Céramique	$I_{max} = 120 - 160\text{mA}$ $Q_{moy} = 1.5 - 2\text{nC}$

**Tableau. III.1.** Paramètres de la décharge dans l'air pour différents matériaux [47]

Les deux matériaux utilisés produisent des effets différents sur la rigidité de l'intervalle malgré leur même épaisseur et même permittivité; ( $Q_{moy}$ ) désigne la quantité de charge accumulée sur la barrière.

Sokolova a aussi effectué des mesures pour deux situations différentes (**Tableau III.2**) :

- L'une pour une barrière propre lavée avec de l'alcool puis avec de l'eau distillée.
- L'autre pour la même barrière après trente heures sous une décharge électrique. La surface de la barrière devient polluée après la décharge.

	Surface propre	Surface chargée
$I_{max}^+ (mA)$	1750	730
$I_{max}^- (mA)$	1700	430

**Tableau. III.2:** Courant maximum de décharges dans le cas d'un état de surface différent de la barrière [47].

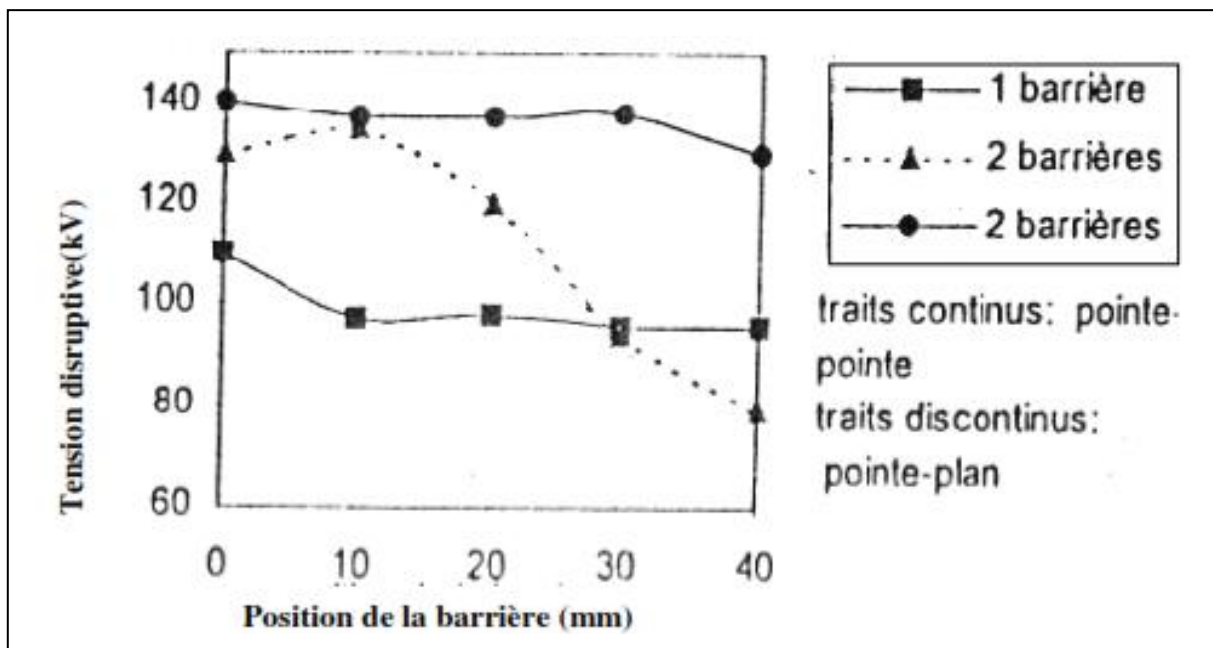
$I_{Max}^+$  et  $I_{Max}^-$  sont les valeurs maximales des courants du micro décharges correspondant aux deux polarités positive et négative des demi-périodes de la tension appliquée.

### III.4.8 Influence selon F.V. Topalis et I.A.Stathopulos

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

En tension impulsionnelle et en géométrie d'électrodes pointe-pointe, l'insertion de deux barrières de manière à ce que l'une soit fixe et l'autre mobile ne change presque pas la tension de claquage en fonction de la position de la barrière, mais reste toutefois supérieure à celle de l'intervalle d'air ayant une seule barrière (**Figure.III.9**). Dans le cas d'un système pointe-plan, la tension disruptive augmente de 35% pour une barrière située à 20% de la distance inter électrodes [48].

L'insertion de trois barrières a été réalisée par Y Julliard, où il a constaté une amélioration de la rigidité diélectrique du système par rapport à l'introduction de deux barrières.



**Figure. III.9** : Influence du nombre de barrières sur la tension disruptive en système pointe-pointe et pointe-plan (tension impulsionnelle) [48].

### III.5 Conclusion

L'introduction d'une barrière isolante à surface propre entraîne une variation de la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan.

L'amélioration de la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan avec barrière isolante a été constatée par plusieurs auteurs, aussi bien sous tension continue et impulsionnelle qu'en alternatif. Des paramètres concernant la barrière (la forme, le nombre de barrières utilisées, ses dimensions,...) affectent cette amélioration.

L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes selon la position de la barrière dans l'intervalle d'air pointe-plan.

Les conditions atmosphériques, ayant une grande influence sur la DBD.

# **Conclusion générale**



---

## Conclusion générale

---

L'objectif de cette mémoire est l'étude paramétrique de la décharge électrique avec barrière diélectrique et la recherche bibliographique répartie sur les deux premiers chapitres qui nous a permis d'acquérir des connaissances sur la décharge électrique en générale, et d'approfondir la compréhension des décharges électriques avec barrière diélectrique. Dans le troisième chapitre nous intéressent sur les paramètres influents la DBD.

Les principales conclusions de cette thèse peuvent être résumées comme suit :

-Les barrières isolantes ont des propriétés différentes l'une par rapport à l'autre. La Connaissance des paramètres définissant leur nature est nécessaire. On trouve parmi ces paramètres : la rigidité diélectrique, la permittivité.

-L'amélioration de la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan avec barrière isolante a été constatée par plusieurs auteurs, aussi bien sous tension continue et impulsionnelle qu'en alternatif. Des paramètres concernant la barrière (matériau, permittivité, nombre de barrières et dimensions) affectent cette amélioration. La position optimale de la barrière correspond en général à 20% de l'intervalle inter électrodes.

-L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes selon la position de la barrière dans l'intervalle d'air pointe-plan.

-Le courant de décharge et le nombre de décharges par unité de temps augmentent avec l'augmentation de la fréquence d'alimentation.

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

-L'efficacité de la barrière dépend aussi de ses dimensions (épaisseurs). Les résultats des travaux présentés dans le chapitre III montrent que plus l'épaisseur de la barrière n'est grande, plus le système d'isolation n'est rigide.

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

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- [1] P.Choquet "Les traitements plasmas pour les aciers laminés à froid : état de la technique, objectifs pour le futur». Échange and Coordination Recherche-Industrie-Octobre 2003 Numéro 10.
- [2] S. Y. Li, K. D. Srivastava and G. D. Theophilus, "Nanosecond Streak Photography of Discharges on Spacer Surface in Gases", IEEE Transactions on Electrical Insulations Magazine, Vol. 2, N°1, pp. 114- 120, 1995.
- [3] M. Laroussi, Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma, IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 24, 1996, pp. 1188 1191.
- [4] U. Kogelschatz, « Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications », *Plasma Chem. Plasma Process.*, vol. 23, n°1, p. 1–46, 2003.
- [5] Eddy. AUBERT «Diagnostic optique du vieillissement électrique des résines époxydes sous faible champ électrique». Thèse de doctorat de l'université TOULOUSE III – Paul Sabatier, novembre 2008.
- [6] Discharge Handbook (I): Gas Plasma, Electrical Society of Japan, 1998.
- [7] L. Christophorou and L. Pinnaduwege, Basic physics of gaseous dielectrics, Electrical Insulation, IEEE Transactions on [see also Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on], vol. 25, no. 1, pp. 55 74, Feb. 1990.
- [8] R.S. Sigmond M. Goldman , Corona discharge physics and app locations, Electrical breakdown and discharges in gases – Part B, NATO ASI series B89-B, 1989
- [9] J.R. Hollahan et A.T.Bell : Technique and application of plasma chemistry . Wiley inter science, (1974).
- [10] Les plasmas dans l'industrie, sous la direction de M. Or feuil, collection ELECTRA (EDF), Dopee Diffusion, 1991
- [11] D. SAAD, « Effet de la décharge couronne sur les surfaces isolantes et les surfaces métalliques », Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2011.
- [12] Yoshinori Yada, Gaseous Discharge, 4<sup>th</sup> Edition, Kindai kagakusha, 2001
- [13] Transmission Line Reference Book: 345 kV and Above / 2<sup>end</sup> Edition, Electric Power Research Institute, 1982, pp.169-170
- [14] Y. P. Raizer, Gas Discharge Physics. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [15] Katia. Allégraud «Décharge à Barrière Diélectrique de surface : physique et procédé». Thèse de doctorat, école polytechnique, 2009.
- [16] F. Rachidi « La foudre et ses effets électromagnétiques ». Eté 2004

## Références bibliographiques

---

- [17] Lassoued Issa et slimani soufiane « Etude de la foudre ». Mémoire de fin d'étude, juin 2006.
- [18] T. D. LE, « Etude d'une décharge à barrière diélectrique établie dans un mélange gaz rare halogène », L'Université Toulouse III-Paul Sabatier 2011.
- [19] U. Kogelschatz, B. Eliasson, et W. Egli, « Dielectric-barrier discharges. Principle and applications », J. Phys. IV, vol. 7, n° C4, p. C4-47, 1997.
- [20] 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 de l'université de Poitier, décembre 2008.
- [21] Philippe Decomps, « Etude d'une décharge luminescente à la pression atmosphérique, application au traitement de surfaces isolantes ». Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, 1996.
- [22] H.-E. Wagner, R. Brandenburga, K. V. Kozlovb « The barrier discharge: basic properties and applications to surface treatment » Vacuum 71(2003)417-436
- [23] Juan. Martinez-Vega « Matériaux diélectriques pour le génie électrique » Lavoisier 2007.
- [24] M. Aguet et M. Lanoz « Traité d'électricité : Haute Tension », vol XXII 2<sup>ème</sup> édition 2004.
- [25] Robert. Fournié « Diélectriques : bases théoriques ». Technique de l'ingénieur D2 300.
- [26] M.D « Influence du vieillissement thermique sur les propriétés de l'EPDM (éthylène propylène diène monomère ». Thèse de magister, UMM T-O 2002.
- [27] M. Rezzouga, A. Tilmatine, R. Gouri, K. Medles, et L. Dascalescu, « Experimental modeling of high-voltage corona discharge using design of experiments », Front. Electr. Electron. Eng. China, vol. 2, n° 2, p. 139-143, 2007.
- [28] Rafael Diez Medina « Alimentation de puissance d'une lampe exciplexe à décharge à barrière diélectrique, en vue du contrôle du rayonnement ». Thèse de doctorat de l'université Toulouse, octobre 2008.
- [29] N.N.GUIVAN, J. JANCA, A. BRABLEC, P. STAHEL, P. SLAVICEK, L.L. SHIMON. « Planar UV excilamp excited by a surface barrier discharge ». J. Phys. D: Appl. Phys. 38 (2005) 3188-3193
- [30] T.IKEMATSU, N. HAYASHI, S. IHARA, S. SATOH, C. YAMABE. « Advanced oxidation processes (AOPs) assisted by excimer lamp ». Vacuum 73 (2004) 579-582.
- [31] A. Beroual, A. Boubakeur, « Influence of barriers on the lightning and switching impulse strength of mean air gaps in pointe-plane arrangements », IEEE Trans. Electr. Insul, Vol .20. N°6, pp.1131, 1991.

## Références bibliographiques

---

- [32] E. Kuffel ; « Electric surface strength of high-voltage insulators in vacuum»; IEEE. Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 5 sept/Oct 1980.
- [33] E. Odic, A. Godman, M. Goldman, M. Dhainaut and R. Dussart ; “Current distribution of AC surface discharges and associated chemistry » ; Journal of Electrostatics 64, 7-9 (2006) 477-484.
- [34] J. Lewis, T.S. Sudarshan, J.E. Tompson, D. Lee and R.A. Dougal ; “ Pre-breakdown and breakdown phenomena of electric surface in vacuum and nitrogen gas stressed by 60 Hz voltage” ; IEEE. Conference record-international phenomena in practical systems. Gaithersburg, MD, USA, 19-20, sept 1988.
- [35] J.H. Mason ; « discharges » ; IEEE trans. Electr. Insulation, Vol. 1, EI 13, N° 4, August 1978.
- [36] A. Boubakeur, “Influence d'une barrière isolante sur la rigidité des intervalles d'air Pointe Plan à 50Hz”. Laboratoire de haute tension ENP.
- [37] A. Boubakeur, "Influence des barrières sur la tension de décharge disruptive des moyens intervalles d'air pointe-plan" , thèse de doctorat, E.P. Varsovie, Pologne, 1979.
- [38] M.V. Socolova, A.N. Zhukov, " influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap " , session 2899 , 9th ISH, Graz 1995, pp.1-4.
- [39] S. Chakravorti, M.C. Siddagangapa, " effect of charge accumulation on the electric field distribution along spacer surfaces " , session 8352, 9th ISH, Graz 1995 , pp.1-4.
- [40] 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 de l'université de Pierre et Marie Curie, septembre 2008.
- [41] H. Roser, « Dielectric strength screen in air », E.T.Z . H17, Bd 53, pp.411, 1932.
- [42] N.N. Tikhodeev, « Effect of an incomplete barrier in electrical discharge; new experiments and advances in theory », Soviet Physics Tech. Phys, Vol.2, pp.385, 1957.
- [43] M. Awad, « Disruption d'un intervalle d'air pointe-plan avec barrière polluée », Elektrie 29, H10, pp.559, 1975.
- [44] J.L. Jakubowski, A. Boubakeur, « Rigidité des moyens intervalles d'air dans les systèmes isolants pointe-plan avec barrières », Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences (Polish Academy of Sciences Bulletin), Vol.28, N 9-10, pp.141-147, 1980.

## Références bibliographiques

---

- [45] L. Mokhnache, « Contribution à l'étude de l'influence des barrières dans les intervalles d'air pointe-plan par le calcul numérique du champ à l'aide de la méthode des éléments finis avec et sans charge d'espace », Thèse de magister, ENP d'Alger 1997.
- [46] Z.You Bin, « The influence of the electrode material of rod-rod gap with tip on its DC breakdown voltage », International Symposium on High Voltage Engineering (9<sup>th</sup> ISH), session 2135, pp.1-2, Graz 1995.
- [47] M.V. Socolova, A.N. Zhukov, « Influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap », International Symposium on High Voltage Engineering (9<sup>th</sup> ISH), session 2899, pp. 1-4, Graz 1995.
- [48] F.V. Topalis, I.A.Stathopoulos, « Barrier effect on electrical breakdown air gaps: a theoretical approach », International Symposium on High Voltage Engineering (9<sup>th</sup> ISH), session 2147, pp.1-4, Graz 1995.

## ملخص:

التفريغ الكهربائي بوجود حاجز عازل لديه ميزات أكثر مقارنة مع التفريغ الكهربائي التقليدي. هذه التفريغ له خصائص مهمة جدا ويستعمل في العديد من المجالات مثل توليد الأوزون، معالجة الغاز من النفايات، المعالجة السطحية، شاشات البلازما. العمل المنجز يبرز التفريغ الكهربائي بوجود حاجز وكذلك مختلف العوامل المؤثرة على هذا التفريغ. إدخال الحاجز يؤثر عبر الكثير من العوامل التغير في جهد الانهيار بين القطبين. وكذلك خصائص الفراغ (طول الفراغ، عدد الحواجز المستخدمة، الموضع بين القطبين) والعوامل المتعلقة بالحاجز نفسه (المادة المستعملة في تركيبه الحاجز، وكذلك أبعاده ...)

**كلمات المفتاحية:** التفريغ الكهربائي، التفريغ الكهربائي بوجود حاجز عازل، عازل الحاجز

## Résumé :

Les décharges à barrières diélectriques présentent certains avantages vis-à-vis des décharges d'arc plus classiques. Cette décharge présente des caractéristiques tout à fait intéressantes touchent de nombreux domaines comme la génération d'ozone, traitement d'effluents gazeux, activation et traitement de surface, écrans plasmas. Ce travail consacré à la présentation de l'état des connaissances sur DBD ainsi les différents paramètres influents sur cette décharge. L'introduction d'une barrière influence par plusieurs paramètres la variation de la tension disruptive d'un intervalle d'air. On trouve les paramètres de configuration de l'intervalle (longueur de l'intervalle, nombre de barrières utilisées, position de la barrière) et les paramètres concernant la barrière elle-même (son matériau, ses dimensions...etc)

**Mots clés :** décharge d'arc, DBD, barrière diélectrique.

## Abstract:

The dielectric barrier discharges have certain vis-a-vis benefits of more conventional arc discharge. This discharge has characteristics quite interesting cover many areas such as ozone generation, waste gas treatment, activation and surface treatment, plasma screens. This work devoted to the presentation of the state of knowledge on the various DBD and influential parameters on this discharge. The introductions of a barrier effect by several parameters the change in the breakdown voltage of an air gap. They are found in the interval configuration parameters (length of the interval, number of barriers used, position of the barrier) and parameters for the barrier itself (its material, dimensions ...).

**Keywords:** arc discharge, DBD, dielectric barrier.

