

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA -BEJAÏA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

Mémoire de Fin de Cycle

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

Préparé par :

MESSAD Salima

Filière : Energie Renouvelable

Spécialité : Energie Renouvelable

**«Performance électrique d'un intervalle d'air à
champ électrique non uniforme avec barrière
enveloppant l'électrode sous tension continue »**

Soutenu publiquement le 17 juin 2018 devant le jury composé de :

M A. KASDI	MCA	U.A.M Bejaia	Président
M ^{me} A. BENDEHMANE	MAA	U.A.M Bejaia	Examinatrice
M R. BOUDISSA	Professeur	U.A.M Bejaia	Rapporteur
M ^{elle} N. BOUATIA	Doctorante	U.A.M Bejaia	Co- Rapporteur

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

Je remercie Allah, pour m'avoir octroyé la force, et les moyens nécessaires pour mener à bien mon parcours académique. A l'issue de plusieurs années de travail, le moment est venu pour remercier également toutes les personnes ayant contribué de prêt ou de loin pour venir à bout de ma formation :

- Merci à mon promoteur M. BOUDISSA et à ma Co-promotrice M^{elle}. N. BOUATIA, pour leurs conseils, et leur enthousiasme à suivre ma recherche du début jusqu'à la fin. leurs conseils m'ont énormément éclairés. Merci de m'avoir fait part de votre patience, et expertise.
- Merci aux enseignants qui m'ont suivis durant mes 5 ans d'étude et particulièrement à M. ZEBOUDJ pour ses cours qui m'ont été d'une grande utilité pour mener à bien ce travail.
- Merci à mes parents et mes frères pour leurs soutient et encouragement ainsi qu'à mes ami(e)s: M^{elle}. S.DAHMANI, M^{elle}. C .SAHI; M. Y.YOUSFI et M. L.TEOUAHRIA.
- Merci à toute l'équipe du laboratoire THT: M. K. HAMOUR, M^{me} T.BOUGHANI et M^{me} S. ATMANI, M^{elle} S. HAMAM pour leurs aides et conseils.
- J'adresse également un grand merci aux membres du jury M KASDI et M^{me} BENDEHMANE qui ont acceptés d'examiner et d'évaluer mon travail.

Chacun à sa manière a contribué à la réalisation de ce modeste travail, encore merci à vous tous.

Dédicace

À l'heure de clôturer cette étape importante de mon cheminement, je pense à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidée à mener à bien ce mémoire de recherche.

Je tiens à dédier cet humble travail à ma très chère mère Karima, aucun mot du monde ne saurait exprimer mon amour pour toi, et ma gratitude pour tes sacrifices, ton soutien, et ta gentillesse sans égal, Mama je ne te remercierais jamais assez, que Dieu te garde pour moi, tu as foie en moi, je ferais tout mon possible pour ne pas te décevoir.

A toi mon très cher père Nacer, toi qui a donné corps et âme pour subvenir à nos besoins avec seul espoir de nous voir réussir, je ne remercierais jamais assez. Je te dois tout l'honneur, que Dieu te garde pour moi. J'espère que tu vas être fier de moi.

A toi ma très chère sœur, Assia merci d'être là, merci de me supporter dans tous les moments difficiles. Sans toi je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.

A toi mon très cher frère Mirou, je suis très heureuse de t'avoir près de moi petit frère, toi qui illumine ma vie avec ta présence.

A toutes mes amies et amis, spécialement pour vous : Fatima, Badea , Mabroka...
Merci d'être là pour moi.



Listes des figures

Fig. I. 1: Modèle expérimental.....	5
Fig. I.2: Tension disruptive des deux systèmes à champ non uniforme en fonction du nombre d'écrans insérés dans leur espace d'air.....	5
Fig. I.3: Caractéristiques et photo du modèle expérimental.....	6
Fig. I.4: Schéma de mesure et de visualisation.....	6
Fig. I.5: $\hat{U}_c=f(l_b, a/d)$ pour une barrière propre et sèche ($D_p=15\text{cm}$, $d=5\text{cm}$).....	7
Fig. I.6: $\hat{U}_c = f(a/d, \sigma_s)$ pour une barrière uniformément polluée ($l_b = 10\text{cm}$ $D_p = 15\text{cm}$, $d = 5\text{cm}$).....	8
Fig. I .7 : Système d'électrodes pointe-plan et support de fixation des barrières de protection.....	8
Fig. I. 8: Schéma de mesure et de visualisation.....	9
Fig. I. 9 : Tension alternative disruptive du système pointe-plan en fonction de la nature et la position relative de la barrière par rapport à l'électrode sous tension ($d = 5\text{ cm}$, $l_b = 30\text{ cm}$, $e_b = 6\text{ mm}$, $D_p = 15\text{ cm}$, $e_p = 6\text{ mm}$, atmosphère propre et sèche).....	9
Fig. I.10: Comparaison de la performance électrique d'un système pointe-barrière fortement polluée-plan métallique avec gouttes d'eau à celle de la configuration plan-plan métallique sans et avec gouttes d'eau ($\sigma=30\text{ mS/cm}$).....	10
Fig. I.11: Systèmes pointe – barrière polluée – plan avec gouttes d'eau (D_p : diamètre du plan métallique circulaire; l_b : longueur de la barrière en verre ; e_b : épaisseur).....	11
Fig. I. 12: Tension disruptive d'un système pointe – barrière polluée – plan métallique avec gouttes d'eau en fonction de la position de la barrière sous tension continue positive (pointe sous tension, plan à la terre).....	12
Fig. I. 13 : Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système plan avec gouttes d'eau – barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière sous tension continue positive (pointe à la terre, plan sous tension).....	12
Fig. I. 14: Tension disruptive de l'intervalle d'air du système plan – plan métalliques avec ou sans gouttes d'eau sous tension continue positive.....	13

Fig. I. 15: Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système pointe – barrière polluée – plan en fonction de la position relative de la barrière (a/d), sous tension continue négative (pointe sous tension, plan à la terre).....	13
Fig. I. 16: Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système plan avec gouttes d'eau – barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière a/d , sous tension continue négative (pointe à la terre, plan sous tension).....	14
Fig. I. 17: Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – barrière Polluée – plan avec gouttes d'eau et plan – plan métalliques avec gouttes, sous tension continue négative.....	15
Fig. I. 18: $\hat{U}_c=f(\sigma_s)$, $D_p=15$ cm, $a/d=20$ %, $l_b=40$ cm et variantes de distribution a,bet c.	15
Fig. I .19: Tension disruptive du système pointe – 1 barrière polluée – plan en fonction de la conductivité électrique de la couche de pollution et du mode de sa répartition sur la barrière ($d = 5$ cm, $a = 0$ cm, $l_b = 30$ cm, $e_b = 6$ mm, $D_p = 15$ cm).....	16
Fig. I .20 : Schéma explicatif de la tige mise sous tension avec les dimensions choisis.	17
Fig. I. 21 : Evolution des tensions de ruptures en fonction de la distance interélectrodes pour les deux type de tension appliquée	17
Fig. I. 22: Schéma et photo du dispositif pointe – plan avec barrière isolante sous forme d'un tube.....	18
Fig. I. 23 : Tension disruptive du système pointe – plan sans et avec barrière en verre enveloppant la pointe en fonction de la distance interélectrode.....	18
Fig. I. 24 : Influence de la barrière en tube sur la décharge électrique.....	19
Fig. I. 25 : Tension disruptive du système pointe – plan sans barrière et avec barrière polluée enveloppant la pointe en fonction de la distance interélectrode.....	19
Fig. I. 26 : Chemin de la décharge disruptive avec barrière en tube polluée.....	20
Fig. II.1 : Champ électrique propre à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension....	25
Fig. II. 2: Circuit électrique équivalent série.....	26
Fig. II. 3: Circuit électrique équivalent parallèle.....	26
Fig. III.1 : Mécanisme de décharge par streamer, système de configuration pointe-plan.....	32
Fig. III.2: Décharge par Streamers ($d \leq 1m$)	34

Fig. III.3: Décharge par leader.....	34
Fig III.4 : Système à décharges glissantes.....	35
Fig.III.5 : Différents cas représentant un contournement d'une barrière isolante.....	36
Fig. III.6 : Décharge à barrière diélectrique.....	36
Fig. IV.1 : Model expérimental du système pointe-plan.....	39
Fig. IV.2 : Tube en plastique.....	39
Fig. IV.3 : Fixation des tubes sur la pointe.....	40
Fig. IV.4 : Schéma de mesure et de visualisation.....	40
Fig. IV.5 : Appareil de mesure de la conductivité volumique des solutions polluantes (Conductimètre).....	41
Fig. IV. 6 : Abaques de correction des valeurs de tension mesurées.....	43
Fig. IV.7 : Schéma explicatif montrant les paramètres géométriques inclus dans l'étude	43
Fig. IV.8 : Tension disruptive en fonction de la position du tube par rapport à la pointe et de la distance interélectrode.....	44
Fig. IV. 9 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=04$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode.....	45
Fig. IV.10 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique.....	46
Fig. IV. 11 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement du tube et du claquage de l'air.....	47
Fig. IV. 12 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=06$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode.....	47
Fig. IV.13 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique.....	48

Fig. IV.14 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=08$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode.....	49
Fig. IV.15 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique.....	49
Fig. IV.16 : Schéma explicatif de la position du tube par rapport à la pointe.....	50
Fig. IV. 17 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=10$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode.....	50
Fig. IV.18 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé p barrière cylindrique.....	51
Fig. IV. 19 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement du tube et du claquage de l'air.....	52
Fig. IV. 20 : Tension disruptive en fonction de la longueur des tubes et de la distance interélectrode.....	52
Fig. IV. 21 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement des tubes et du claquage de l'air.....	53
Fig. IV. 22 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique pour une distance interélectrode de 10 cm.....	53
Fig. IV.23 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière polluée en fonction de la distance interélectrode ($\sigma=25\text{mS/cm}$).....	54
Fig. IV. 24 : Schéma explicatif montrant le chemin du claquage de l'air sous une atmosphère pollués et humidifiée.....	55
Fig. IV. 25 : Pente de la caractéristique de la tension disruptive dans le cas d'un tube de 10 cm de longueur.....	55
Fig. IV. 26 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique pour une distance interélectrode de 10 cm.....	56
Fig. IV.27 : Efficacité électrique du système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique propre de 08 cm de longueur.....	57



- Fig. IV.28** : Efficacité électrique du système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique polluée de 08 cm de longueur..... 58
- Fig. IV. 29** : Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – barrière cylindrique– plan et un système pointe-barrière plan-plan sous tension continue positive..... 59
- Fig. IV.30** : Images montrant le phénomène d’arborescence apparu sur nos tubes durant les essais..... 60



Sommaire

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

Chapitre I

« Synthèse des travaux de recherches sur la performance électrique des barrières »

I.1 Introduction.....	4
I.2 Investigation antérieures sur la performance des barrières planes	4
I.2.1 Paramètres géométriques.....	4
I.2.2 Paramètres électrique.....	15
I.3 Investigation antérieures sur la performance des barrières cylindrique....	16
I.3.1 Paramètres géométriques.....	16
I.3.2 Paramètres électrique.....	19
I.4 Conclusion.....	20

Chapitre II

« Propriétés des isolations mixtes et paramètres de leur influence »

II.1 Introduction.....	21
II.2 Caractérisation des matériaux.....	21
II.2.1 Matériaux isolants.....	22
II.2.1.1 Définition.....	22
II.2.1.2 Matériaux isolants sous les trois états.....	22
II.2.1.2.1 Isolant liquide.....	22
II.2.1.2.2 Isolant gazeux.....	22
II.2.1.2.3 Isolant solide.....	23
II.2.2 Matière plastique (polymère).....	23



II.3 Propriétés des matériaux isolants	24
II.3.1 Propriétés physique.....	24
II.3.1.1 Propriétés électriques.....	24
II.1.1.1 Constante diélectrique (permittivité relative ϵ_r).....	24
II.3.1.1.2 Conduction.....	25
II.3.1.1.3 Polarisation.....	25
II.3.1.1.4 Pertes diélectriques.....	25
II.3.1.1.5 Résistance d'isolement.....	26
II.3.1.1.6 Rigidité diélectrique.....	26
II.4 Paramètres d'influence	27
II.4. 1 Pollution.....	27
II.4.1.1 Degré de pollution.....	27
II.4.1.2 Classification des niveaux de pollutions atmosphériques.....	27
II.4.2 Facteurs climatique.....	28
II.4.2.1 Température.....	28
II.4.2.2 Pression.....	28
II.4.2.3 Humidité.....	28
II.5 Conclusion	29

Chapitre III

« Décharge électrique dans les gaz et interface gaz/solide »

III.1 Introduction	30
---------------------------------	----



III.2 Décharge électrique.....	30
III. 2. 1 Décharge de type streamers.....	31
III. 2. 2 Décharges de type leader.....	32
III.3 Décharge électrique dans les gaz ou claquage.....	33
III.4 Décharge électrique glissante et contournement des solides.....	35
III.4.1 Décharge électrique glissante.....	35
III.4.2 Contournement des solides.....	35
III.5 Décharges électrique sur l'interfaces gaz/solide.....	36
III.6 Dégradation de la surface du solide.....	37
III.7 Conclusion.....	37

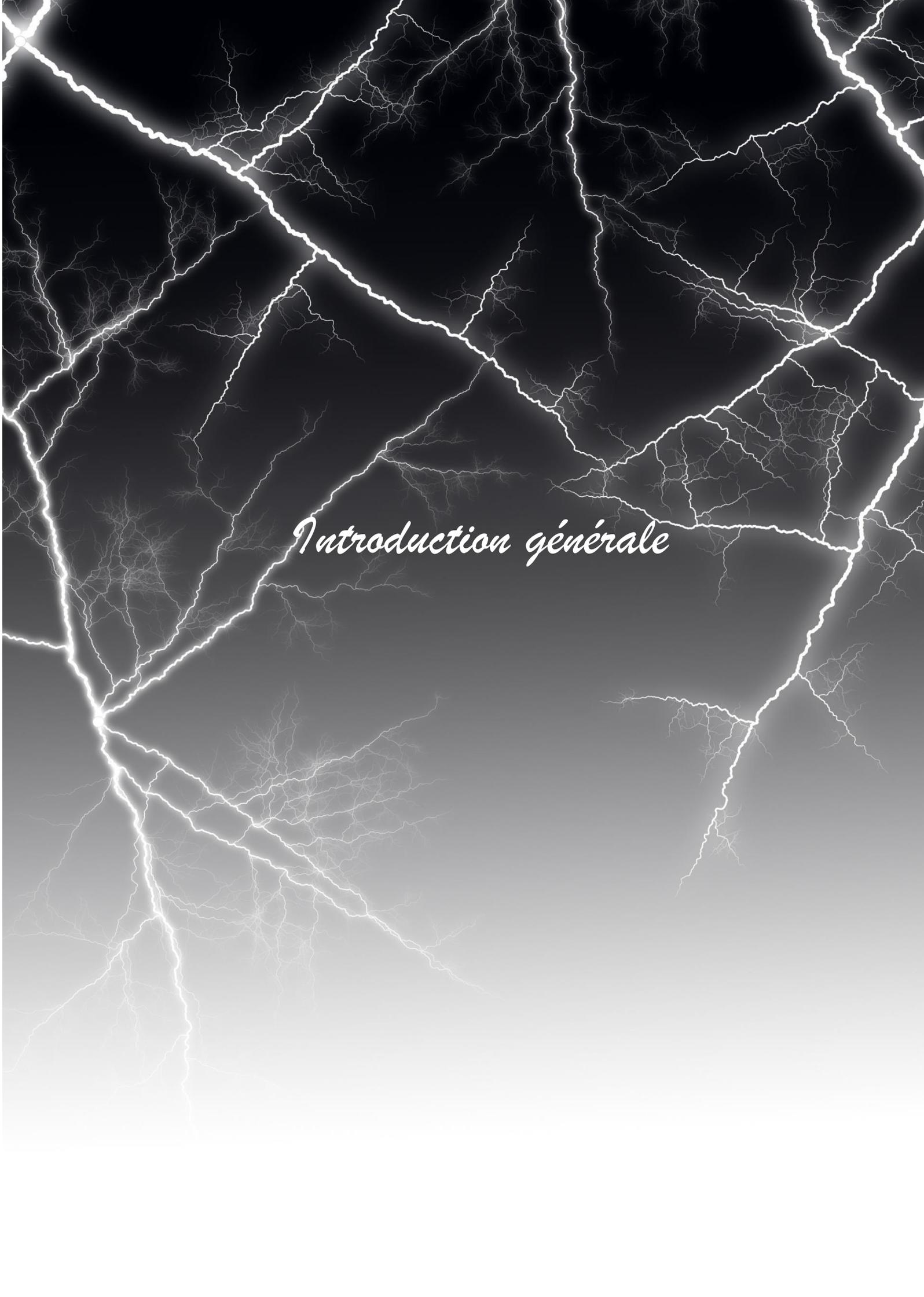
Chapitre IV

« Partie expérimentale »

IV.1 Introduction.....	38
IV.2 Présentation du modèle expérimentale et du mode pratique.....	38
IV.2.1 Modèle expérimental.....	38
IV.2.2 Mode pratique.....	39
IV.3 Circuit de mesure électrique et de visualisation.....	40
IV.4 Préparation et application de la solution polluante.....	41
IV.4.1 Préparation de la pollution.....	41
IV.4.2 Mode d'application de la solution polluante.....	41
IV.5 Correction des résultats suivant les conditions atmosphériques.....	42
IV.6 Performance électrique de la barrière cylindrique.....	43



IV.6. 1 Atmosphère propre.....	43
IV.6. 1. 1 Paramètres d'influences.....	43
IV.6. 1.1.1 Position du tube par rapport à la pointe.....	44
IV.6.1.1.2 Distance interélectrode.....	45
IV.6.1.1.3 Longueur des tubes.....	52
IV.6.2 Atmosphère polluée.....	54
IV.7 Etude de l'efficacité du système pointe-plan avec barrière enveloppante	56
IV.7.1 Atmosphère propre.....	57
IV.7.2 Atmosphère polluée.....	58
IV.8 Comparaison de performance électrique.....	58
IV.9 Vieillesse électrique.....	59
IV.10 Conclusion	60
Conclusion et perspective	62



Introduction générale



L'électricité est indissociable des activités quotidiennes de l'homme, car elle rend ses pratiques plus faciles et spontanées. Mais, si bénéfique que soit-elle, l'électricité nécessite des précautions d'usage, pour éviter les dangers liés à l'apparition d'arcs électriques capables de provoquer des pertes humaines et matérielles, surtout au cas de présence de fortes ou de moyennes tensions sur des conducteurs de faibles rayons de courbure où l'un des moyens de prévention contre ses dangers, est l'installation des systèmes d'isolation.

Les systèmes d'isolation sont présents dans de nombreux appareillages à haute et moyenne tensions comme les transformateurs, condensateurs de puissance, les disjoncteurs, les câbles ainsi que dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie électrique (isolateurs de support et de traversée) [1]. Dans les anciens appareillages, l'isolation gazeuse était la plus manifeste, vu les propriétés isolantes et son pouvoir à souffler les arcs électriques, que le gaz offre. Pour le cas de l'air atmosphérique, la distance minimale nécessaire entre le conducteur mis sous tension et celui relié à la terre est d'environ 3 m, pour éviter l'apparition de toute décharge électrique, alors que pour une structure renfermée (système blindé) cette distance peut être diminuée à 20 cm, seulement en utilisant des gaz ayant de meilleures propriétés électriques [2]. Pourtant même en utilisant l'air atmosphérique dans ces systèmes blindés, l'ajout d'une barrière isolante dans l'intervalle d'air peut augmenter de manière significative la performance électrique du système considéré, chose qui offre une isolation dite mixte gaz/barrière.

L'introduction de l'isolation mixte gaz/solide dans les systèmes d'isolation contribue à l'amélioration des performances des appareillages à haute tension où la révolution de leur architecture a donné des constructions économiques, permettant des géométries et des dimensions très réduites. Le dimensionnement d'un système d'isolation nécessite une connaissance exacte du type, de l'ampleur et de la durée de la contrainte électrique, tout en tenant compte des conditions ambiantes à savoir : pression, température, humidité et poussière. Cette opération se fait principalement au niveau des laboratoires afin d'estimer les niveaux de tension auxquels il faut soumettre les barrières isolantes.



Plusieurs investigations ont été faites avec pour objectif ; prouver l'apport technique des barrières isolantes sur les systèmes d'isolation qui ont commencé en 1920. Ces recherches ont été dirigées par plusieurs chercheurs, qui les ont diversifiées par les géométries des barrières utilisées, les matériaux choisis, ainsi que la configuration des électrodes formant les systèmes étudiés étant donné que c'est cette configuration des électrodes qui particularise la nature de champ qui règne dans l'espace interélectrode. Certains d'entre eux ont simulé des cas d'une atmosphère polluée et humidifiée afin d'étudier l'influence de la pollution sur la barrière isolante ainsi que les mesures à entreprendre dans de telles conditions pour éviter les problèmes de contournement électriques.

Dans le cadre de notre étude nous allons étudier un système de configuration pointe-plan mis à la terre ce qui nous donne un champ électrique non uniforme. La nouveauté dans ce travail par rapport à ceux qui le précèdent, est que notre barrière est de forme de tube en plastique enveloppant la pointe mise sous tension continue positive.

Notre travail se basera sur les mesures de tensions de disruption qui seront interprétées en s'appuyant sur des concepts solides, de telles manières à ce qu'ils nous permettent de répondre à la problématique suivante :

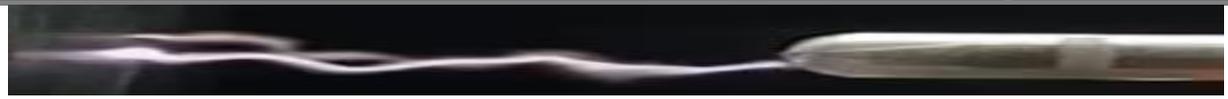
Quelle est la performance électrique d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme avec barrière enveloppant l'électrode sous tension continue positive ?

Le présent travail suivra l'enchaînement suivant :

Le premier chapitre, constituera la synthèse de quelques travaux, récemment réalisés sur les systèmes de configuration pointe-plan avec des barrières de différentes géométries.

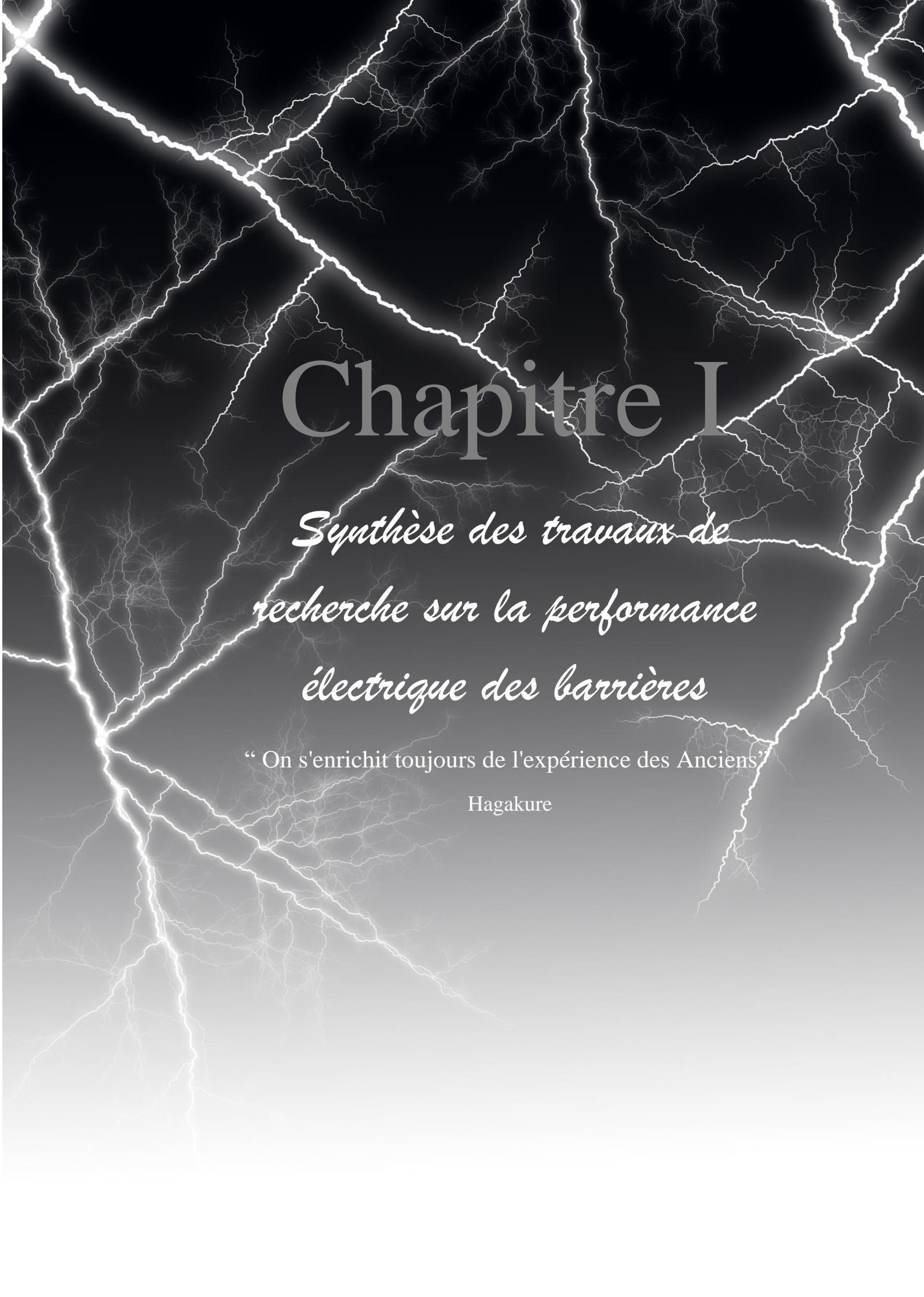
Le deuxième chapitre, portera en lui les caractéristiques des barrières utilisées, et définira les différentes propriétés associées à ces dernières ainsi que les paramètres relatifs à la pollution et aux facteurs climatiques qui ont une influence directe sur la rigidité diélectrique des barrières.

Le troisième chapitre, définira les décharges électriques, pour une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans la génération et la propagation de ces décharges vu que leur caractérisation est fondamentale pour la conception et le dimensionnement des systèmes d'isolation.



Ces trois chapitres théoriques sont à l'évidence indispensables pour une meilleure compréhension des différents phénomènes que nous pouvons rencontrer lors de notre partie expérimentale.

Le quatrième et dernier chapitre, expliquera dans un premier temps les méthodes adoptées pour la réalisation des mesures, puis exposera les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations avec pour finalité ; répondre à notre problématique.



Chapitre I

*Synthèse des travaux de
recherche sur la performance
électrique des barrières*

“ On s'enrichit toujours de l'expérience des Anciens ”

Hagakure

I.1 Introduction

Les systèmes d'isolation, utilisés dans le domaine de haute tension ; sont constitués principalement d'un assemblage de matériaux isolants, en liaison avec des parties conductrices associées [3]. Les performances électriques des systèmes d'isolation peuvent être déterminées en fonction de la valeur de la tension de rupture également appelée tension de claquage, tension disruptive ou tension d'amorçage et de la rigidité qui devrait être plus élevée.

La connaissance des performances électriques des systèmes d'isolation est d'une importance primordiale dans le domaine de haute tension, car elle permet de mieux gérer les niveaux de tension auxquelles il faut les soumettre sans qu'il y ait de dégradation, de perforation ou de rupture; suite à l'apparition d'arcs électriques.

La concurrence a poussé les constructeurs à réaliser des appareils de plus en plus économiques et à optimiser les dimensions et la géométrie des systèmes haute tension vers des systèmes blindés. Ces derniers remplacent les anciens systèmes à isolation gazeuses, en utilisant une isolation mixte gaz/solide ;cette idée innovante et créative a vu le jour et a été concrétisée grâce aux nombreux travaux de recherches qui se perpétuent optant pour l'utilisation des barrières isolantes solides pour améliorer la tenue diélectrique en augmentant le chemin emprunté par la décharge électrique.

Les premiers travaux ont été réalisés par C.P Steinmetz [4], Marx [5-6] et Roser [7-8] sur des systèmes de différentes configurations ; chose qui a sollicité l'intérêt des chercheurs à œuvrer dans ce domaine, en testant plusieurs isolants de diverses géométries et compositions chimiques. Ce présent chapitre est une synthèse des travaux récents réalisés sur l'influence de l'introduction de barrières isolantes dans un système d'électrodes à champ électrique non uniforme.

I.2 Investigations antérieures sur la performance des barrières planes

I.2.1 Paramètres géométriques

S. Slimani [9] a mené une étude sur l'évolution de la tenue électrique d'un système pointe-plan en fonction du nombre de barrières y insérées sous tension continue positive. Le modèle expérimental est illustré par la figure I.1.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

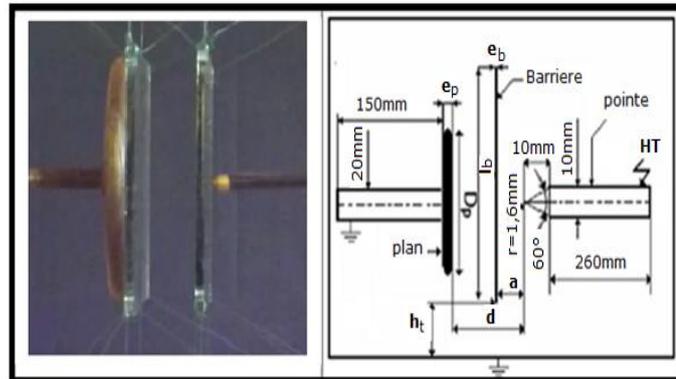


Fig. I.1 : Modèle expérimental

Les résultats émanant de cette étude révèlent que la tenue électrique de l'intervalle d'air d'une configuration pointe - plan est maximale lors de l'utilisation d'une barrière et que l'ajout d'autres barrières n'a quasiment aucune importance car la performance reste constante comme le montre la figure I.2

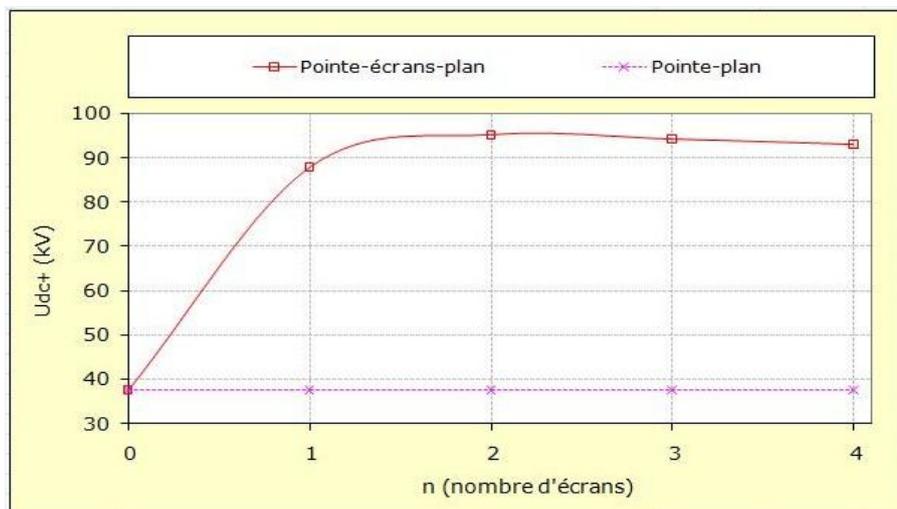


Fig. I.2 : Tension disruptive des deux systèmes à champ non uniforme en fonction du nombre d'écrans insérés dans leur espace d'air

L'objectif recherché par **H. Madi et al** [10] est l'étude de l'effet d'ajout d'une barrière isolante propre ainsi que le mode de distribution de la pollution appliqué sur la barrière et son degré de sévérité, sur la tension disruptive d'un intervalle d'air du système pointe-plan mis sous tension alternative. Le schéma expérimental utilisé ainsi que le circuit de mesure adopté sont représentés respectivement sur les deux figures I.3 et I.4.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

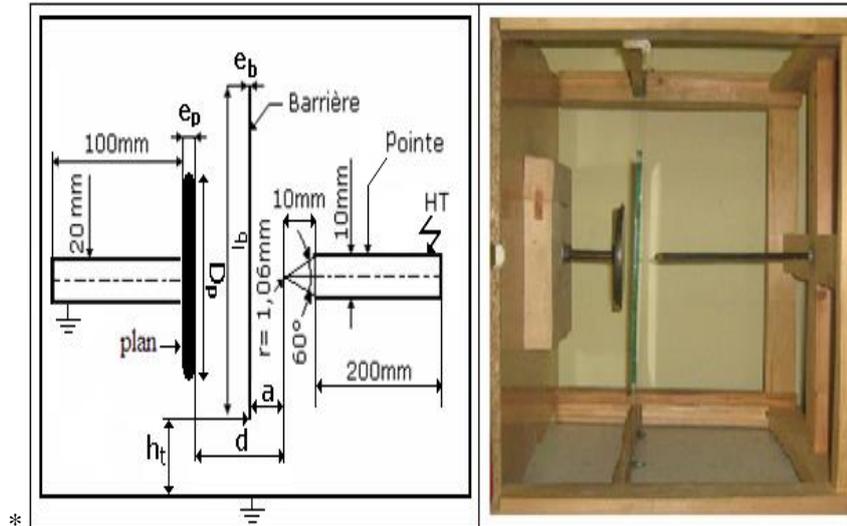


Fig. I.3 : Caractéristiques et photo du modèle expérimental

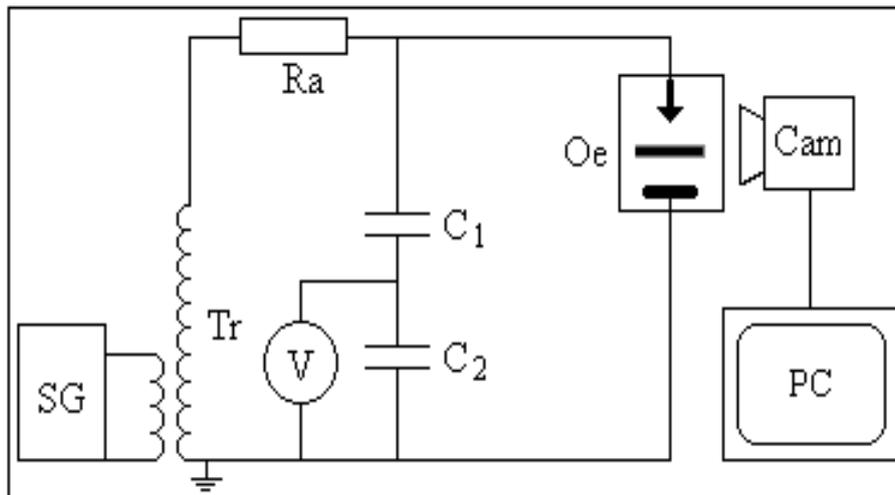


Fig. I.4 : Schéma de mesure et de visualisation

➤ Barrière isolante propre et sèche

L'auteur a pris dans ce cas deux paramètres d'influence sur la tension disruptive du système à savoir la largeur l_b et la position relative a/d de l'écran par rapport à l'électrode sous tension du système.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

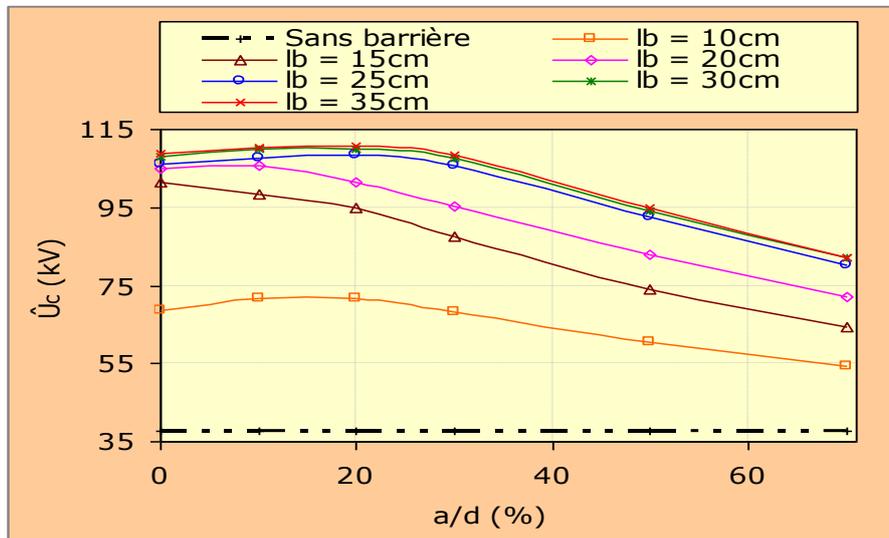


Fig. I .5 : $\hat{U}_c=f(l_b, a/d)$ pour une barrière propre et sèche ($D_p=15\text{cm}$, $d=5\text{cm}$)

Il en résulte de la figure I.5 que le système avec barrière isolante propre et sèche est de loin le plus rigide, il est aussi à remarquer que la rigidité du système en fonction de la position de la barrière par rapport aux électrodes passe par un maximum indépendamment des facteurs considérés et diminue avec celle-ci pour enfin se rapprocher de la valeur de la rigidité du système sans écran.

➤ Barrière isolante polluée

Les résultats de mesure de la tension de claquage de l'espace d'air du système étudié ont été donnés pour différentes conductivités superficielles de l'écran uniformément pollué, qui a 10 cm de largeur, en fonction de la position relative (a/d). Ces résultats sont illustrés par la figure I.6.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

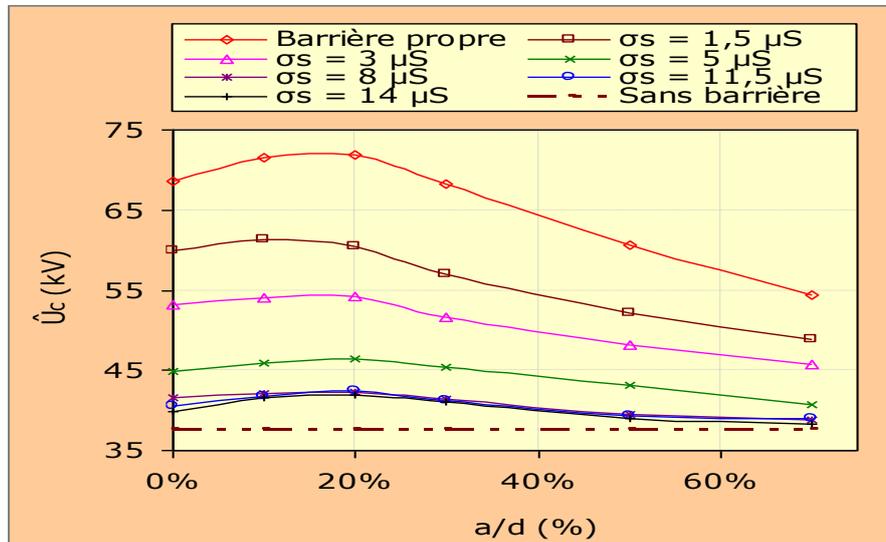


Fig. I.6 : $\hat{U}_c = f(a/d, \sigma_s)$ pour une barrière uniformément polluée ($l_b = 10$ cm $D_p = 15$ cm, $d = 5$ cm)

Il en résulte que l'allure des courbes est similaire à celle avec barrière propre et sèche mais c'est la tension disruptive associée à chacune qui diffère, cela est due à la variation du degré de pollution appliquée sur la surface de la barrière. Cette tension disruptive diminue à chaque fois que la conductivité superficielle de la barrière augmente. Cette diminution s'explique par le fait que le chemin offert à la décharge par la barrière contaminé devient dans ce cas moins résistant ou fortement conducteur.

L'objectif recherché par **T. Belhoul** [11] consiste en l'étude de l'influence de certains paramètres géométriques sur la performance du système pointe – plan sous tension alternative à 50 Hz, le modèle expérimental est représenté en figure I.7.

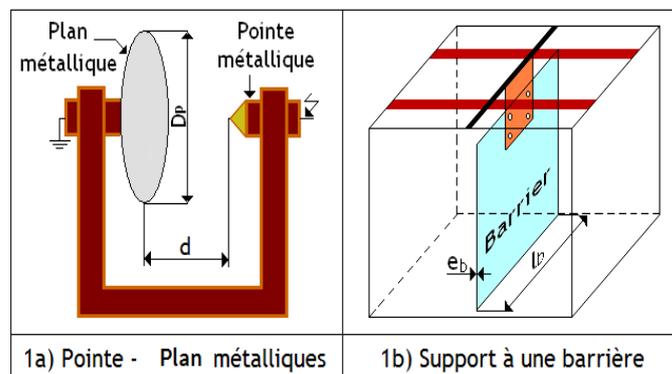


Fig. I.7 : Système d'électrodes pointe-plan et support de fixation des barrières de protection

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Le circuit électrique utilisé est représenté en figure I.8.

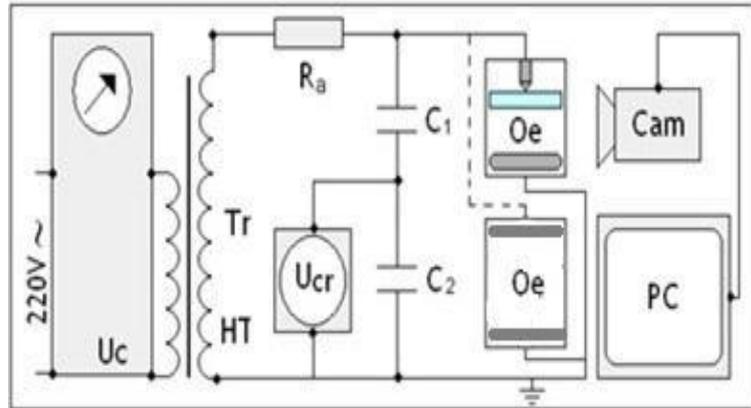


Fig. I. 8: Schéma de mesure et de visualisation

Les paramètres géométriques étudiés sont classés comme suit :

- Position relative de la barrière (a/d) dans l'intervalle d'air

Il résulte de l'investigation que la performance électrique du système est à son maximum quand la barrière isolante est en contact avec la pointe sous tension, et que celle – ci diminue progressivement à chaque fois que la barrière en s'éloigne (**Fig. I.9**). La position relative de la barrière est variée entre 0 et 90 %.

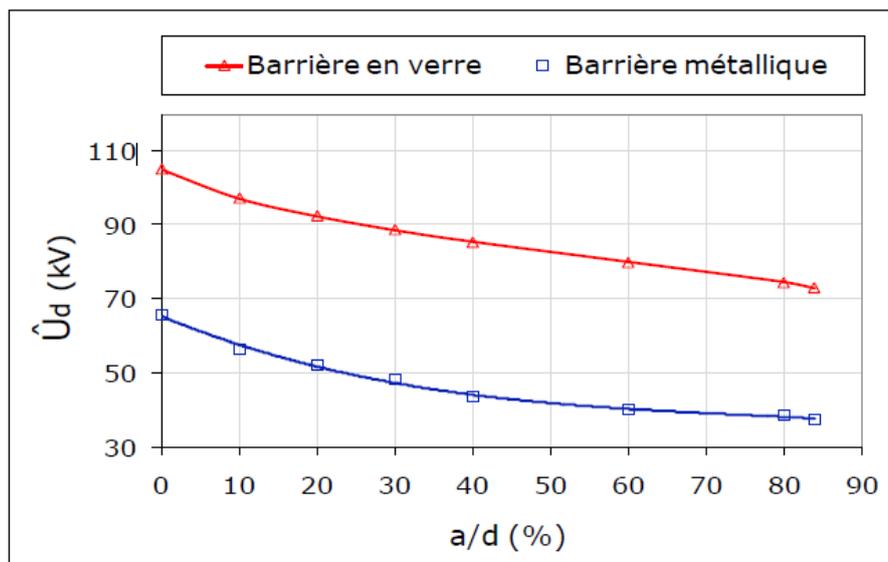


Fig. I. 9 : Tension alternative disruptive du système pointe-plan en fonction de la nature et la position relative de la barrière par rapport à l'électrode sous tension (d = 5 cm, lb = 30 cm, eb = 6 mm, Dp = 15 cm, ep = 6 mm, atmosphère propre et sèche)

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

➤ Distance interélectrodes

L'auteur a étudié dans un premier temps la performance du système pointe – plan avec une barrière isolante polluée, en fonction de la distance interélectrodes ; dans un deuxième temps la comparative entre ce dernier et le système plan-plan sans et avec gouttes d'eau (**Fig. I.10**).

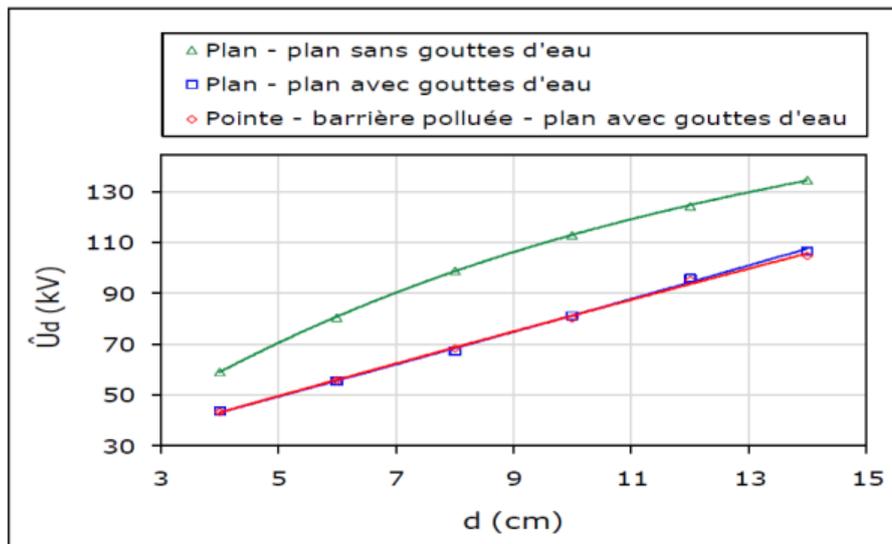


Fig I.10 : Comparaison de la performance électrique d'un système pointe-barrière fortement polluée-plan métallique avec gouttes d'eau à celle de la configuration plan-plan métallique sans et avec gouttes d'eau ($\sigma=30$ mS/cm).

L'auteur a démontré que la performance électrique de la configuration pointe-plan protégée par une barrière isolante fortement polluée est égale à celle du système plan-plan métallique sur la surface desquels sont déposées des gouttes d'eau de taille et de conductivité électrique arbitraire.

K. Haroun et **D. Boudraa** [12] ont fait une étude comparative de la performance électrique de deux configurations plan- plan et pointe-barrière isolante-plan sous tension continue et conditions de pollution très sévères ($\sigma_v = 25$ mS/cm). Dans le cadre de ce travail, ils ont tracé l'évolution de la tension disruptive du système en fonction de quelques paramètres géométriques sous tension continue positive et négative. Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

➤ Tension continue positive

En premier lieu l'étude s'est portée sur le système pointe- barrière polluée – plan en changeant à chaque fois la position de la barrière. Le schéma expérimental utilisé est représenté en figure I.11.

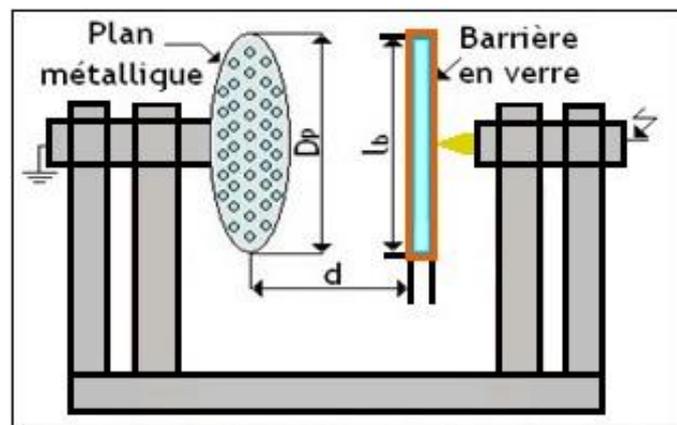


Fig. I.11 : Systèmes pointe – barrière polluée – plan avec gouttes d'eau (D_p : diamètre du plan métallique circulaire; l_b : longueur de la barrière en verre ; e_b : épaisseur)

La performance électrique du système, dans le cas où c'est la pointe qui est sous tension, est illustrée par la figure I.12. Celle – ci est donnée en fonction de la position relative de la barrière par rapport à la pointe sous tension. Sa valeur est maximale pour $0 \% \leq a/d \leq 70 \%$ et $d=10$ cm où bien $0 \% \leq a/d \leq 60 \%$ et $d=5$ cm, et minimale pour $80 \% \leq a/d \leq 90 \%$ et $d=10$ cm où bien $70 \% \leq a/d \leq 90 \%$ et $d=5$ cm.

Le cas où c'est le plan qui est mis sous tension est représenté en figure I.13. Il à été remarqué que l'efficacité de la barrière dans l'intervalle d'air du système plan -barrière polluée - pointe est maximale lorsque la barrière est en contact avec le plan mis sous haute tension ($a/d = 0 \%$), et minimale lorsque la barrière est à $a/d = 90 \%$.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

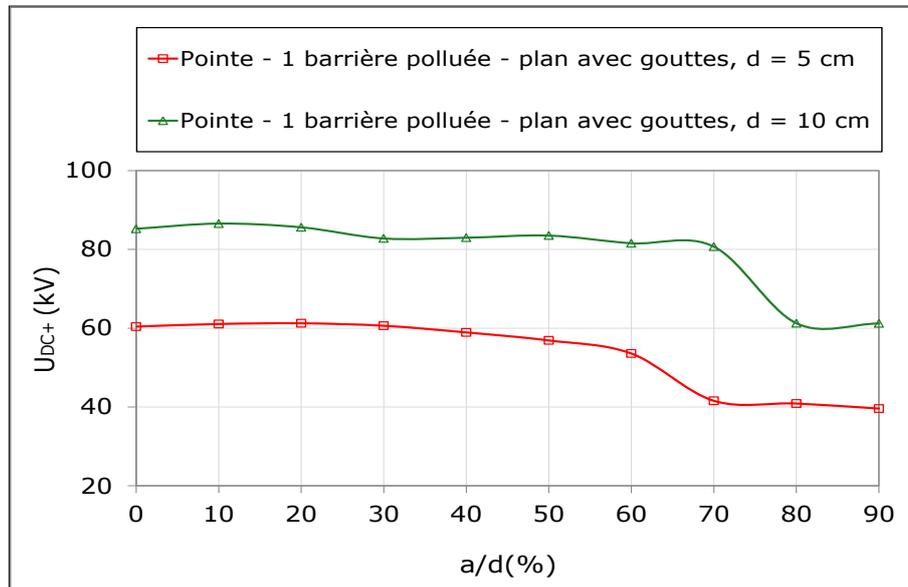


Fig. I. 12 : Tension disruptive d'un système pointe – barrière pollué – plan métallique avec gouttes d'eau en fonction de la position de la barrière sous tension continue positive (pointe sous tension, plan à la terre)

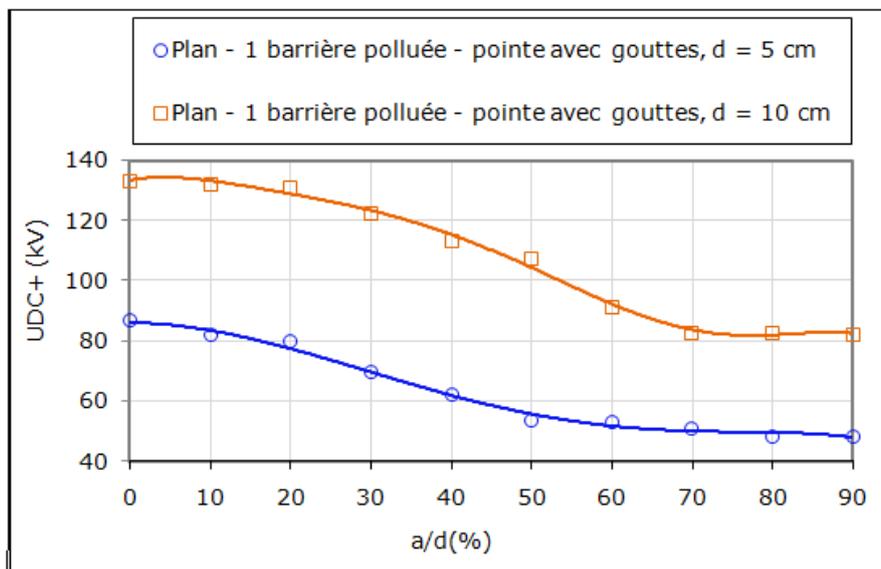


Fig. I. 13 : Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système plan avec gouttes d'eau – barrière pollué – pointe en fonction de la position de la barrière sous tension continue positive (pointe à la terre, plan sous tension)

En deuxième lieu et à titre de comparaison, la figure I.14 donne la performance électrique de deux systèmes, pointe- barrière pollué –plan avec gouttes d'eau et plan –plan avec gouttes

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

d'eau en fonction de la taille de l'intervalle d'air. Moyennant ces résultats, l'auteur a montré l'équivalence de performance électrique des deux systèmes suscités.

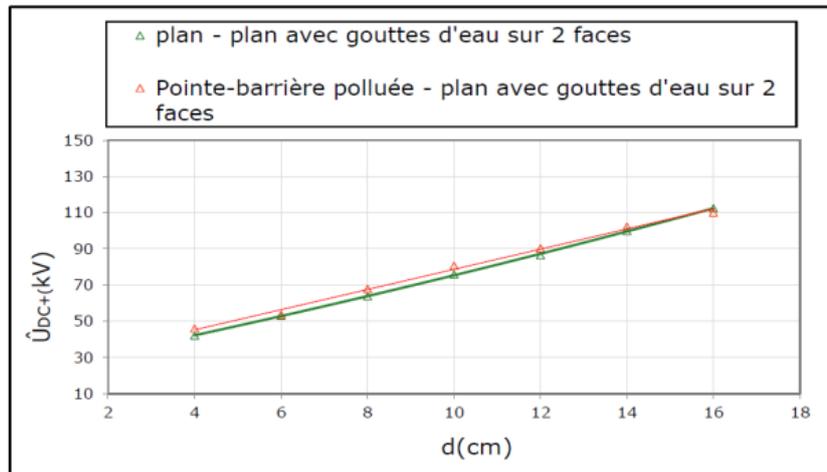


Fig. I. 14: Tension disruptive de l'intervalle d'air du système plan – plan métalliques avec ou sans gouttes d'eau sous tension continue positive

➤ Tension continue négative

Les mêmes procédures employées sous tension continue positive et les mêmes dispositifs ont été utilisés pour cette étude.

Il résulte de la figure I.15 que la performance électrique du système, dans le cas où c'est la pointe qui est sous tension, est à son minimum pour $a/d=0\%$ pour les deux distances interélectrodes. Et qu'elle prend des valeurs plus élevées au fur et à mesure que la barrière polluée se rapproche du plan mis à la terre ($a/d=90\%$).

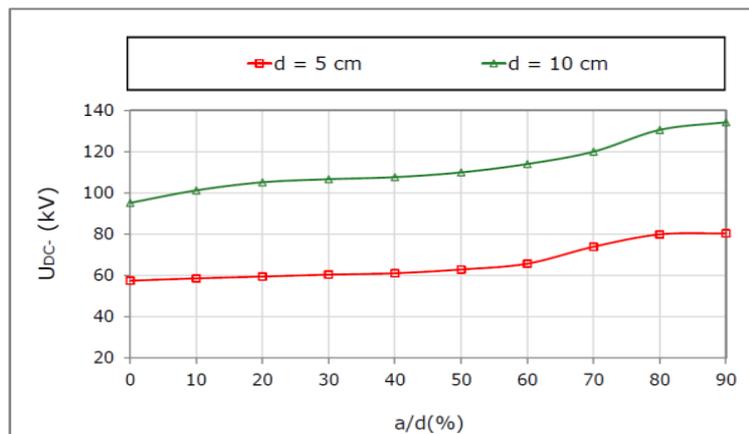


Fig. I. 15: Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système pointe – barrière polluée – plan en fonction de la position relative de la barrière (a/d), sous tension continue négative (pointe sous tension, plan à la terre)

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Dans le cas où c'est le plan qui est mis sous tension, la performance du système plan - barrière polluée - pointe est minimale pour $0\% \leq a/d \leq 20\%$ avec $d=10$ cm et $0\% \leq a/d \leq 20\%$ avec $d=5$ cm, et maximale pour $40\% \leq a/d \leq 90\%$ avec $d=10$ cm où bien $60\% \leq a/d \leq 90\%$ avec $d=5$ cm (Fig. I.16).

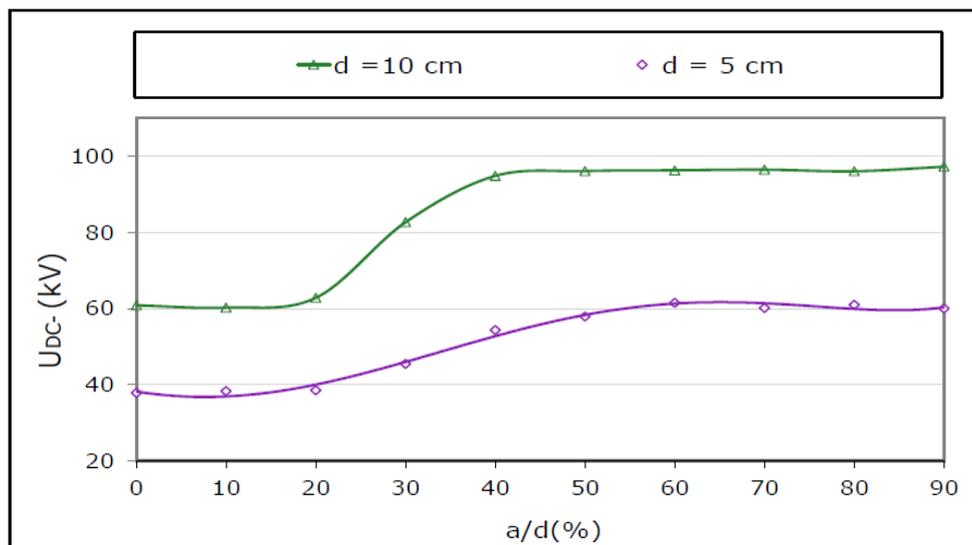


Fig. I. 16: Tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système plan avec gouttes d'eau – barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière a/d , sous tension continue négative (pointe à la terre, plan sous tension)

La figure I.17 donne la performance électrique des deux systèmes pointe- barrière polluée –plan avec gouttes d'eau et plan –plan avec gouttes d'eau en fonction de la taille de l'intervalle d'air. Moyennant ces résultats, l'auteur a montré l'équivalence de performance électrique des deux systèmes suscités.

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

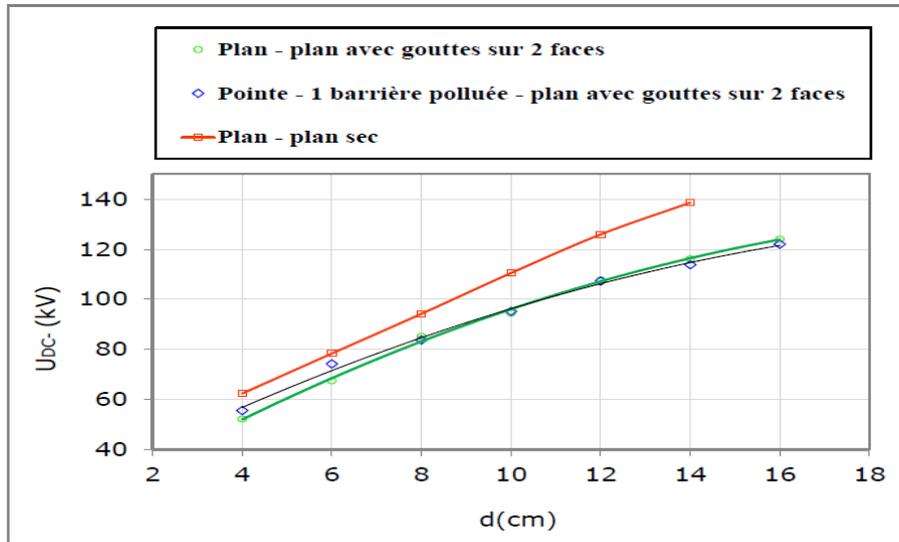


Fig. I. 17 : Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – barrière polluée – plan avec gouttes d’eau et plan – plan métalliques avec gouttes, sous tension continue négative

I.2.2 Paramètres électriques

H. Madi et al [10] a étudié la tension disruptive du même système déjà présenté en figure I.3 en fonction du niveau de pollution de la barrière utilisé de 40 cm de largeur, ainsi que pour différents modes de distribution de la pollution. Les résultats sont représenté en figure I.18.

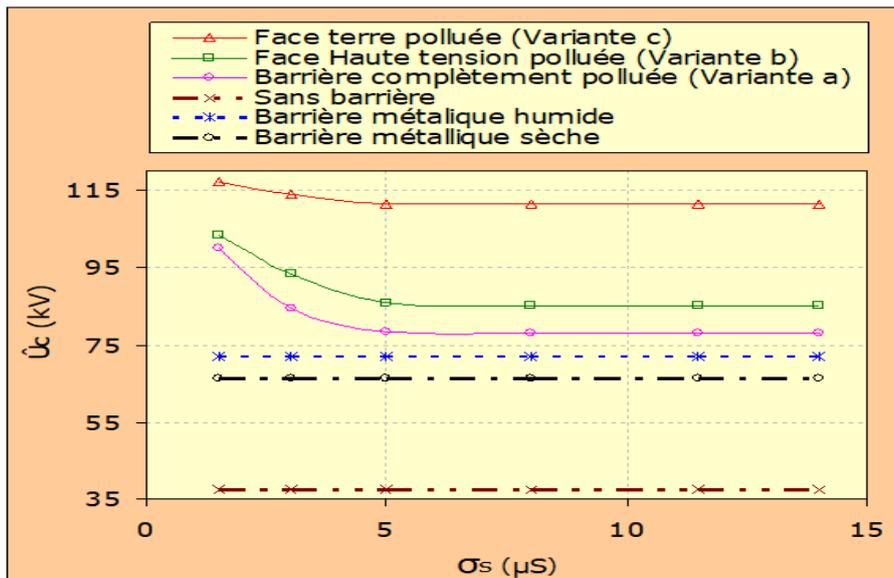


Fig. I. 18. : $\hat{U}_c=f(\sigma_s)$, $D_p=15$ cm, $a/d=20$ %, $l_b=40$ cm et variantes de distribution a, b et c

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Il résulte de la figure I.18 que la rigidité d'une telle configuration décroît, dans un premier temps, avec l'élévation de la conductivité superficielle de la barrière pour devenir constante à partir d'une certaine valeur limite de celle-ci. Cette valeur limite est située aux environs de $5\mu S$.

T. Belhoul [11] a étudié l'évolution de la tension d'amorçage de l'intervalle d'air du système pointe-barrière polluée-plan en fonction de la conductivité électrique de la couche de pollution et du mode de sa distribution sur la barrière (**Fig. I.19**).

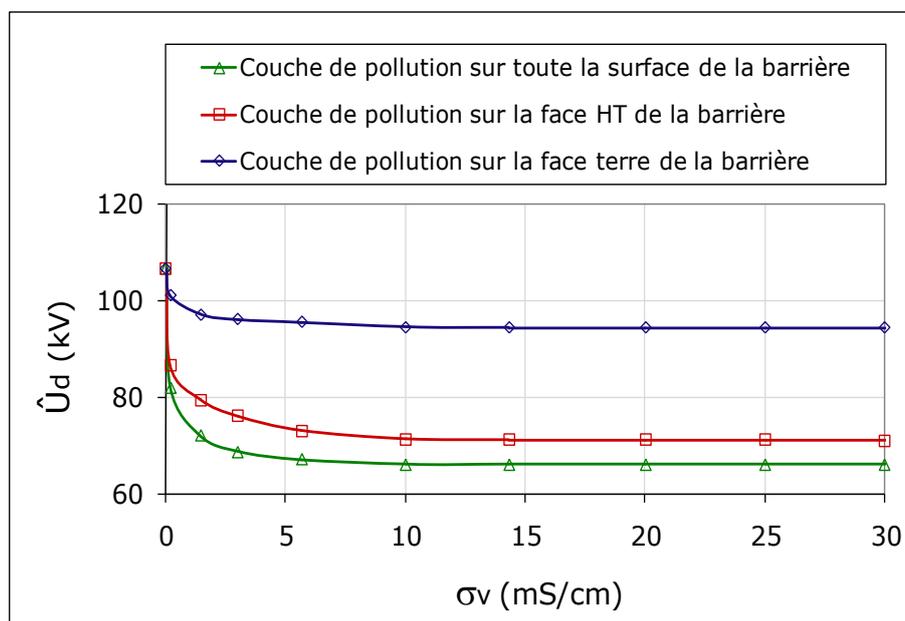


Fig. I.19: Tension disruptive du système pointe – 1 barrière polluée – plan en fonction de la conductivité électrique de la couche de pollution et du mode de sa répartition sur la barrière ($d = 5 \text{ cm}$, $a = 0 \text{ cm}$, $l_b = 30 \text{ cm}$, $e_b = 6 \text{ mm}$, $D_p = 15 \text{ cm}$)

Il en résulte que la rigidité diélectrique minimale du système est obtenue lorsque la barrière est polluée sur ces deux grandes faces. Par contre le système est électriquement performant, quant celle-ci est polluée uniquement sur la face de la barrière en regard de l'électrode plane mise à la terre.

I.3 Investigations antérieures sur la performance des barrières cylindrique

I.3.1 Paramètres géométriques

P.N. Mavroidi and all [13] a fait une étude, lui permettant la présentation des tensions de rupture de petits intervalles d'air sous les impulsions de foudres et de manœuvres positive. L'intervalle d'air utilisé est composé d'une tige carrée suspendue sur un plan en aluminium

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

mis à la terre. La tige est enveloppée par une barrière diélectrique comme le montre la figure I.20.

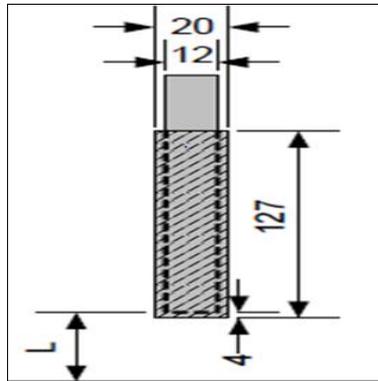
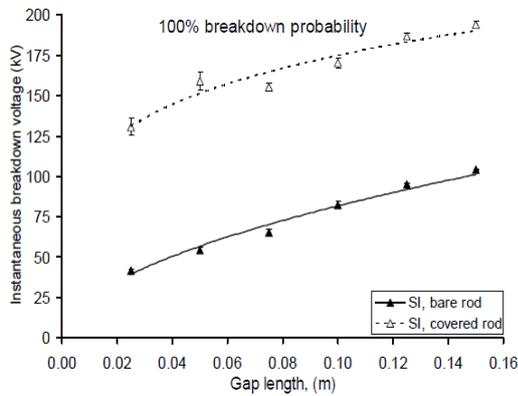
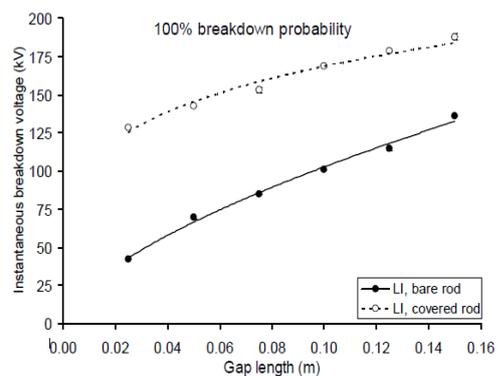


Fig. I.20 : Schéma explicatif de la tige mise sous tension avec les dimensions choisies

L'évolution des tensions de rupture en fonction de la distance interélectrodes est illustrée par la figure I.21, représentant les tensions de claquage instantanées, en fonction de la longueur de l'intervalle d'air pour une probabilité de rupture de 100% ; respectivement sous tensions de foudre et de manœuvre positive.



a) Impulsions de manœuvres



b) Impulsion de foudre

Fig. I.21 : Evolution des tensions de ruptures en fonction de la distance interélectrodes pour les deux types de tension appliquée

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Il en résulte que les tensions de claquage sont plus élevées en présence du couvercle diélectrique, en particulier sous les impulsions de manœuvres que l'impulsion de foudre.

T.Belhoul [14] a étudié la performance électrique d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme d'un système pointe – plan, avec barrière isolante sous forme de tube recouvrant l'électrode mise sous tension alternative à fréquence industrielle de 50 Hz.

Le modèle expérimental utilisé est illustré par la figure I.22

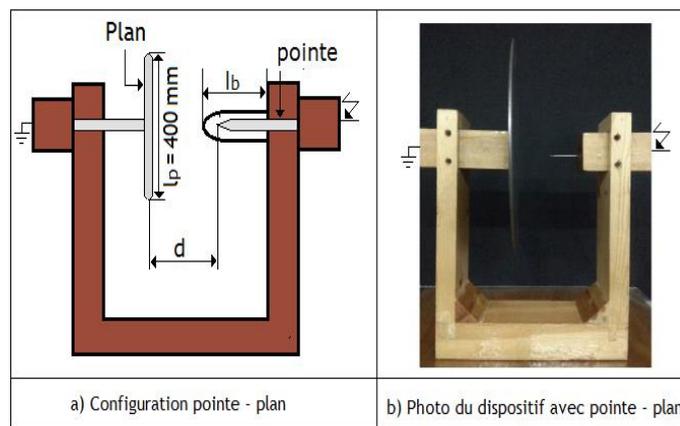


Fig. I. 22 : Schéma et photo du dispositif pointe – plan avec barrière isolante sous forme d'un tube

La caractéristique $U_d=f(d)$ avec et sans barrière cylindrique enveloppant la pointe sous tension est illustré par la figure I.23.

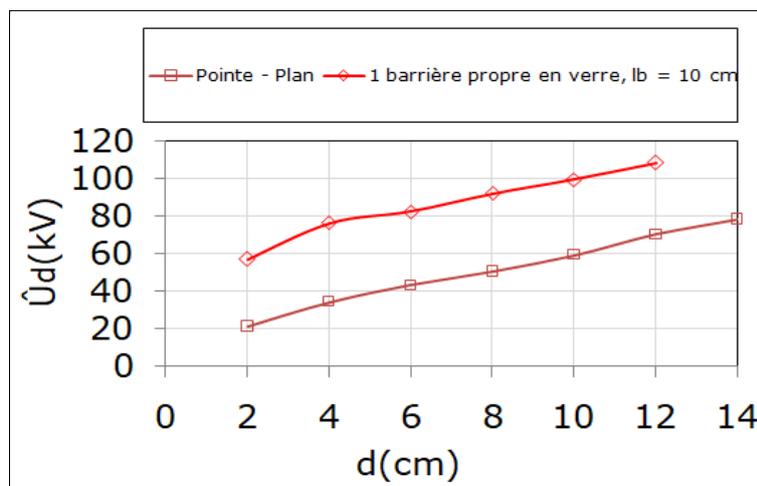


Fig. I. 23 : Tension disruptive du système pointe – plan sans et avec barrière en verre enveloppant la pointe en fonction de la distance interélectrode

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Il en résulte de la figure I.23 que le système est plus performant avec barrière tubulaire. La décharge électrique prend naissance au niveau de la tige haute tension entre le bois et la barrière cylindrique et glisse le long de celui-ci et continue dans l'air jusqu'au contact du plan mis à la terre comme le montre la figure I.24.

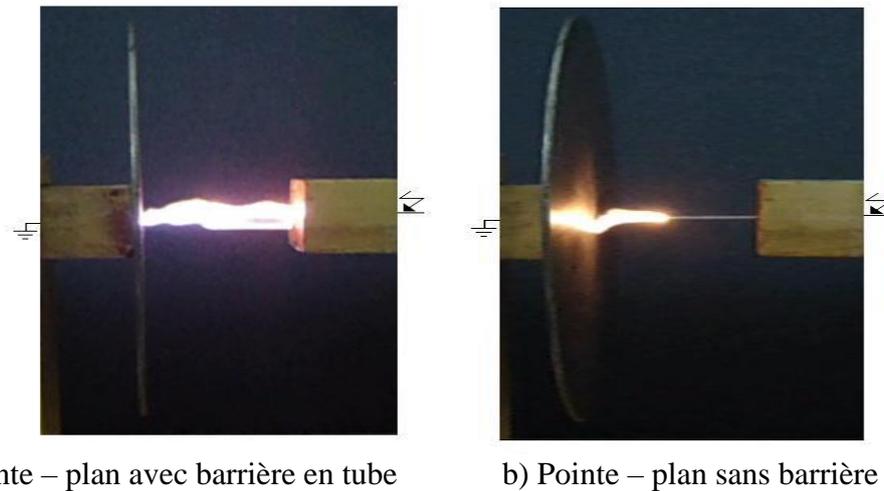


Fig. I. 24 : Influence de la barrière en tube sur la décharge électrique

I.3.2 Paramètres électriques

Jusqu'à présent aucune investigation publiée n'a été faite sur l'étude de la performance électrique d'un intervalle d'air en fonction de la conductivité volumique ou superficielle d'une barrière cylindrique.

T. Belhoul [14] a étudié la performance électrique d'une barrière sous forme de tube en verre fortement polluée ($\sigma=25 \text{ mS /cm}$) en fonction de la distance interélectrodes, (**Fig. I. 25**).

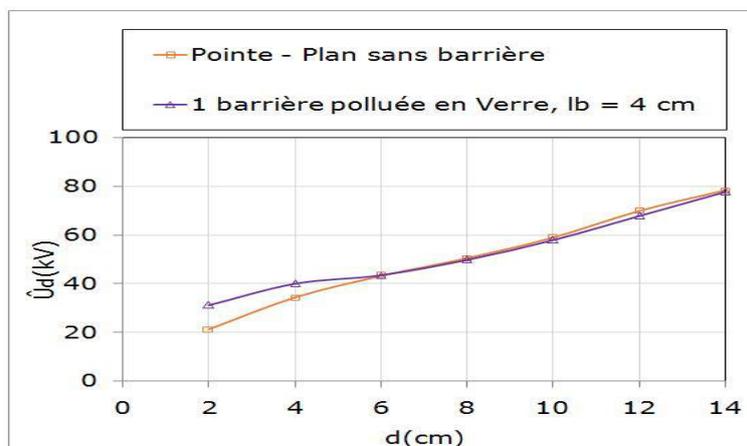


Fig. I. 25 : Tension disruptive du système pointe – plan sans barrière et avec barrière polluée enveloppant la pointe en fonction de la distance interélectrode

Synthèse des travaux de recherche sur la performance électrique des barrières

Il résulte de la figure I.25, que les deux courbes de tension de disruption de l'intervalle d'air sans et avec barrière fortement polluée ($\sigma=25 \text{ mS/cm}$), sont confondues à partir de $d=6 \text{ cm}$. La décharge électrique prend un chemin plus court, allant de l'extrémité arrondie du tube vers le milieu du plan, et c'est pratiquement le même cas pour un système non protégé, comme le montre la figure I.26.

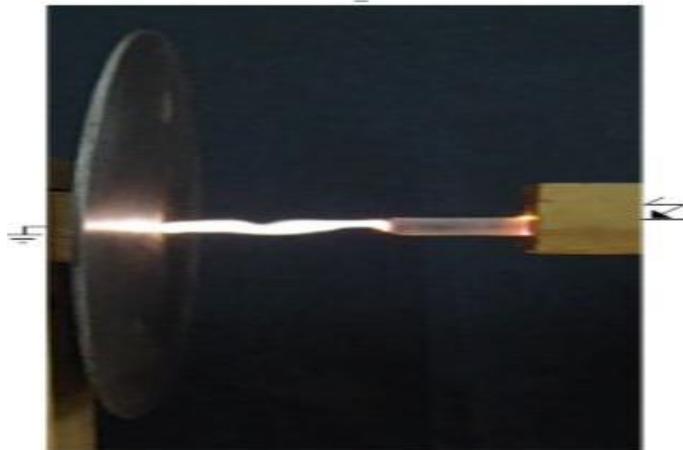
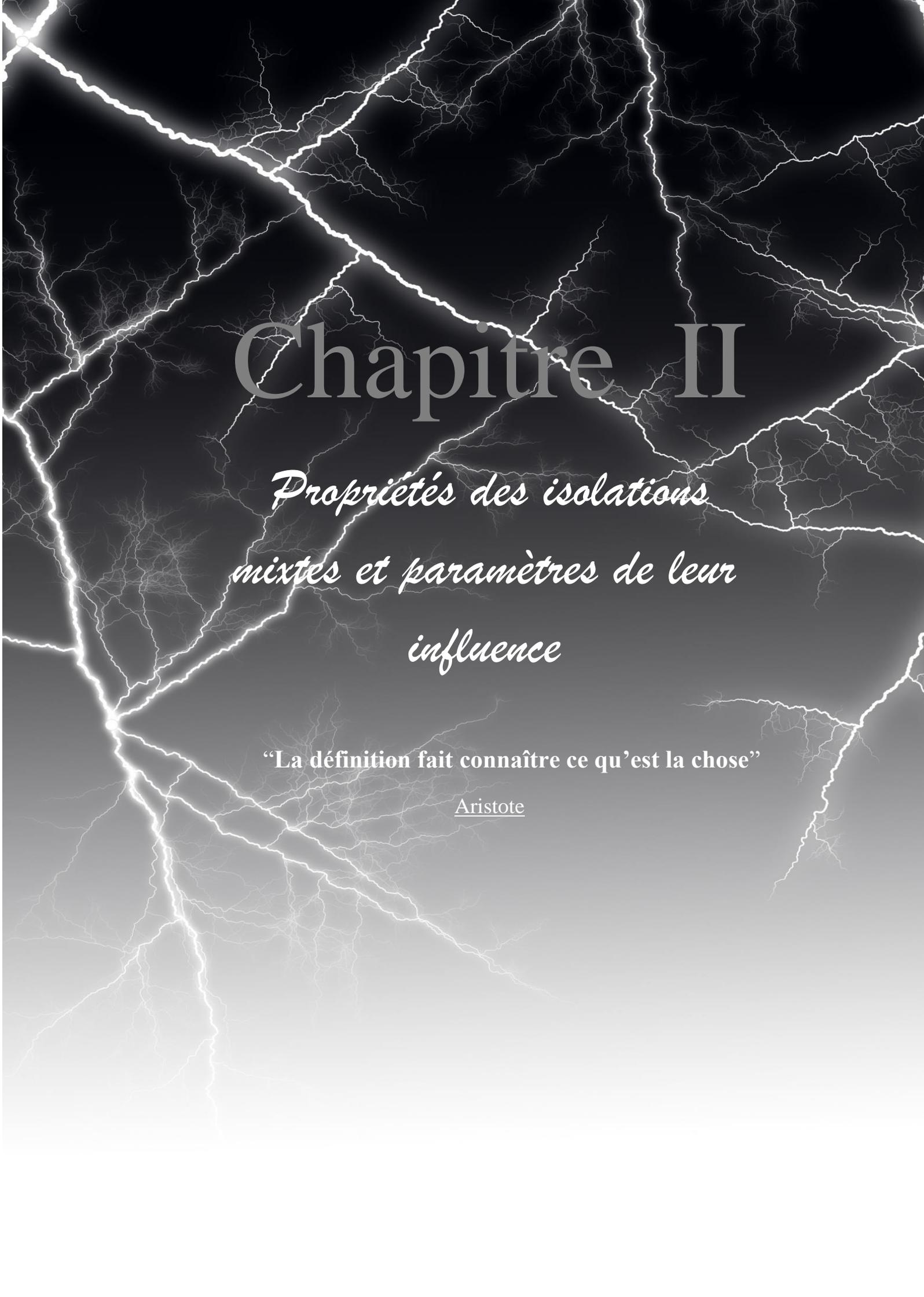


Fig. I. 26 : Chemin de la décharge disruptive avec barrière en tube polluée

I.4 Conclusion

Ce chapitre était une synthèse de travaux de plusieurs chercheurs qui ont orienté leurs recherches dans le domaine de l'isolation haute tension, à commencer avec P.N.Mavroidi, le plus ancien; qui a apporté la première idée, celle d'utiliser comme barrière isolante un tube enveloppant la tige sous tension de foudre et de manœuvre, en différence avec les autres qui ont utilisé des barrières planes, qui diffèrent entre elles par leurs largeurs, épaisseurs, matériaux...etc.

A partir de ces travaux notre idée est née pour étudier la performance d'une configuration pointe-plan munie d'une isolation mixte gaz/barrière cylindrique. En différence des travaux déjà réalisés, notre étude est distinguée par la nature du matériau de la barrière cylindrique utilisée et la contrainte de tension appliquée au système considéré.



Chapitre II

*Propriétés des isolations
mixtes et paramètres de leur
influence*

“La définition fait connaître ce qu’est la chose”

Aristote



Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

II.1 Introduction

Les matériaux possèdent différents aspects et propriétés, selon leurs états ; gazeux, liquide ou solide ; ils sont de plus en plus utilisés dans l'industrie. En haute tension particulièrement, on a tendance à les utiliser autant qu'isolants électriques, lors de l'installation des systèmes d'isolation pour mieux répondre aux normes de sécurité et d'environnement. Les gaz sont considérés comme de bons isolants ; d'ailleurs, la technique de l'isolation gazeuse fait l'objet de développements importants, liés à l'élévation des tensions et courants utilisés dans les grands réseaux de distribution par exemple. Pour accroître et rendre meilleur le niveau de performance du système, pourquoi ne pas utiliser une isolation mixte gaz/solide ?

Les bons isolants électriques se distinguent principalement par leur comportement envers les contraintes électriques et les propriétés qui en découlent, et pour être en mesure d'utiliser un matériau isolant de façon rationnelle il faut connaître préalablement ses caractéristiques fonctionnelles, sa structure, ainsi que son comportement dans différentes conditions atmosphériques, ce qui permet de comprendre, voir de prédire, son comportement en service. Dans le présent chapitre, nous allons définir les différents éléments constitutifs d'une isolation mixte ainsi que le comportement de ses principales propriétés vis-à-vis les variantes sollicitations extérieures.

II.2 Caractérisation des matériaux

Un matériau est la forme marchande d'une matière première choisie en raison de propriétés d'usage spécifiques et mise en œuvre par des techniques appropriées pour l'obtention d'un objet de géométrie donnée à fonction préméditée.

Les propriétés d'usage des matériaux ont essentiellement deux origines :

- leurs compositions chimiques (nature des espèces atomiques qui les constituent);
- leurs microstructures (organisation des atomes constitutifs).

Selon ces propriétés de matériaux, nous distinguons ceux qui sont isolants, conducteurs, semi-conducteurs...etc.

La caractéristique la plus évidente de la matière non-vivante qui nous entoure est son état physique : solide, liquide ou gazeux, qui provient essentiellement des effets de la température sur la microstructure [15].



Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

Un autre état de la matière, défini comme quatrième et dernier est le plasma, contrairement à ceux précédemment cités, il n'y a pas de transitions brusques pour passer du plasma aux autres états et vice versa. [16]

II.2.1 Matériaux isolants

Un matériau isolant, s'utilise en pratique dans tous les domaines ; il peut assurer une isolation mécanique, thermique et électrique. Pour notre cas nous ne considérons que ceux utilisés dans le secteur du génie électrique, assurant une isolation électrique. Une isolation est définie comme ensemble des matériaux isolants utilisés pour isoler un dispositif. [17].

II.2.1.1 Définition

Un isolant est une substance ou un corps dont la conductivité est nulle ou, en pratique, très faible. On peut considérer comme isolant, tous les matériaux dont la résistivité est supérieure à $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$. [17].

II.2.1.2 Matériaux isolants sous les trois états

II.2.1.2.1 Isolants liquides

Les liquides diélectriques sont habituellement utilisés en association avec des solides. Ils ont pour rôle de se substituer aux vacuoles qui sont sources de décharges partielles. Les liquides sont utilisés pour :

- Améliorer le pouvoir de coupure de certains appareils électriques ;
- Assurer une bonne isolation électrique et permettre un bon refroidissement [18].

II. 2.1.2.2 Isolants gazeux

L'état gazeux de la matière est distingué par rapport à ses molécules qui sont relativement éloignées entre elles et forment un ensemble dispersé. Dans les systèmes d'isolations les plus performants, les gaz les mieux utilisés, sont ceux définis comme électronégatifs ; ces derniers n'ont pas beaucoup d'électrons suite au phénomène d'attachement qui provoque la combinaison de la petite portion d'électrons aux molécules, ce qui rend difficile le claquage. Exemple de ce type de gaz : l'air, SF₆... etc.

Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

L'air est le plus utilisé, vue sa disponibilité. Dans notre cas, nous avons utilisé un air principalement composé de N_2 , O_2 , Ar et H_2O . En outre, il comprend une multitude d'autres gaz avec différentes concentrations [19], il est connu pour ses caractéristiques thermiques qui sont supérieures à celles des porcelaines, il peut aussi être utilisé comme agent de refroidissement et ne coûte absolument rien. Par contre, à des températures élevées, l'air devient bon conducteur par suite du phénomène d'ionisation [20, 21].

Ces isolants gazeux ont des propriétés particulières:

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

II.2.1.2.3 Isolants solides

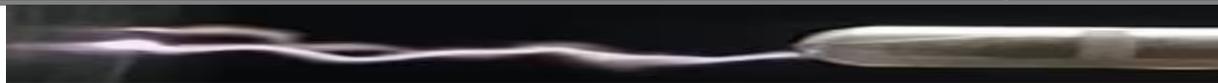
Les matériaux isolants organiques, synthétiques classés sous le mot-clé plastiques ont acquis une position d'une grande importance dans la technologie d'isolation électrique. Leur état physique différencie ce type d'isolant dans sa structure compacte et homogène, ainsi que la résistance qu'il oppose à une force mécanique exercée sur sa surface.

II.2.2 Les matières plastiques (polymères)

Les plastiques sont des substances organiques constituées de macromolécules avec pour principal atout ; la capacité de l'atome de carbone quadrivalent à former des chaînes arbitrairement longues qui peuvent contenir quelque dix mille groupes atomiques et des poids moléculaires allant jusqu'à quelques millions.

La formation de macromolécules se fait au moyen d'une réaction de polymérisation, au cours de laquelle des molécules de faible poids moléculaire (monomères) se combinent pour produire de grosses molécules de poids moléculaire élevé (polymères). Pendant cette réaction, des groupes similaires de faible poids moléculaire se combinent sans séparer les produits secondaires et, par conséquent, des molécules à longue chaîne se forment. Les monomères sont des composants insaturés dont les doubles liaisons sont rompues pendant la polymérisation, laissant des liaisons libres disponibles pour la formation de chaînes.

Parmi les polymères formés par polymérisation on peut citer ; le polyéthylène (PE) par exemple C_2H_4 , le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyéthylène téréphtalate (PET) [22].



Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

II.3 Propriétés des matériaux isolants

Une propriété d'un matériau est définie comme étant la mesure d'un comportement par un essai [23] ; et c'est une grandeur intensive généralement avec une unité de mesure qui peut être utilisée comme métrique de la valeur pour comparer les avantages d'un matériau par rapport à d'autre afin de choisir le mieux adéquat.

On distingue trois catégories de propriétés de matériau selon le type de sollicitations extérieures appliquées à ce dernier ; propriétés physiques, chimiques et mécaniques, dans notre cas, nous allons nous restreindre aux propriétés physiques.

II.3.1 Propriétés physiques

D'après le dictionnaire Le Parisien, une propriété physique est toute propriété utilisée pour caractériser matière et énergie ainsi que leurs interactions.

Cette propriété mesure principalement le comportement des matériaux à l'action des champs électriques ou magnétiques, de la température, humidité, pression ou de la lumière [23].

Pour pouvoir présélectionner un bon isolant solide ou gazeux, il faut définir correctement leurs propriétés et les caractéristiques électriques qui en découlent.

II.3.1.1 Propriétés électriques

Les propriétés électriques les plus utilisées :

- Constante diélectrique (permittivité relative ϵ_r) ;
- Conduction ;
- Polarisation ;
- Pertes diélectriques;
- Résistance d'isolement;
- Rigidité diélectrique.

II.3.1.1.1 Constante diélectrique (permittivité relative ϵ_r)

La permittivité relative ϵ_r , est une caractéristique propre aux isolants solides et liquides qui traduit l'action d'un champ électrique propre E_p à l'isolant, s'opposant au champ extérieur (E_e) qui lui est appliqué figure II.1. [23].

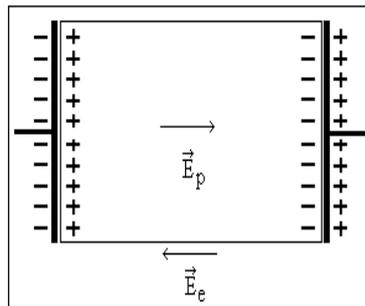


Fig. II.1 : Champ électrique propre à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension

II.3.1.1.2 Conduction

La conduction électrique d'un matériau dépend de la mobilité des électrons (ou des ions) qu'il contient dans le champ électrique extérieur imposé. Cette mobilité dépend de la structure électronique et de la nature des atomes constituant le matériau [15].

II.3.1.1.3 Polarisation

Un diélectrique placé entre les armatures d'un condensateur plan est soumis à une tension continue constante et traversé par un courant électrique. Lorsque l'isolant est retiré du condensateur, ce dernier sera traversé par un courant électrique de sens inverse. Sous l'action d'un champ électrique, il y a apparition d'une mince couche de charges négative sur une face du matériau et une mince couche de charge positive sur l'autre face ; ces charges compensent partiellement l'action des charges portées par les armatures du condensateur. Pour que la tension aux bornes de ce dernier reste constante, la source doit fournir des charges complémentaires égales à celles produites sur le diélectrique, ce qui explique le passage d'un courant électrique traduisant l'apparition de charge de polarisation [23].

II.3.1.1.4 Pertes diélectriques

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

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

$$\operatorname{tg} \delta = I_a / I_r = U_a / U_r \quad (\text{II.1})$$

$$\text{D'après la formule: } \varepsilon_r^* = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' \quad (\text{II.2})$$

Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

On peut écrire: $\text{tg}\delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$ (II.3)

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

Les pertes diélectriques augmentent avec l'intensité du champ électrique appliquée [23].

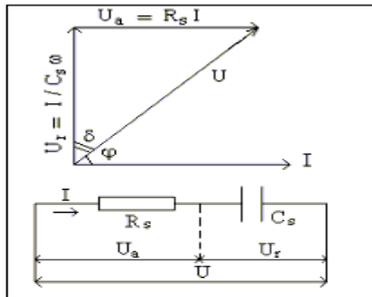


Fig. II. 2: Circuit électrique équivalent série

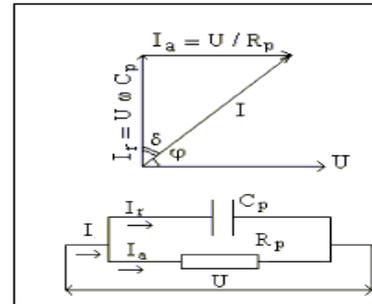


Fig. II. 3: Circuit électrique équivalent parallèle

II.3.1.1.5 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement consiste en la combinaison parallèle de la résistance de surface et de la résistance volumique, cette dernière ne dépend pas du milieu environnant, tandis que la résistance de surface est sensiblement influencée par les conditions ambiantes telles que la pression, la température, l'humidité, la poussière, etc. [22].

II.3.1.1.6 Rigidité diélectrique

Cette notion est développée comme étant la valeur du champ appliqué qui donne naissance à un courant incontrôlable à travers le matériau [21]. De façon pratique, la rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produit une perforation dans des conditions d'essai spécifiées et la distance entre les deux électrodes auxquels est appliquée la tension

$$E_d = \hat{U}_d / d. \tag{II.4}$$

La rigidité se présente sous deux aspects ; transversal et longitudinal [23]

- La rigidité diélectrique transversale : Le champ électrique appliqué est perpendiculaire aux surfaces principales du matériau ;
- La rigidité diélectrique longitudinale : Est obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant, elle dépend peu de la nature de l'isolant, mais beaucoup plus de son état de sécheresse et de propreté ;


Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

Pour apprécier le niveau de performance du système d'isolation à installer, en plus des propriétés propres aux matériaux isolants utilisés, il faut définir le comportement de ces derniers suite à la variation de facteurs climatiques (température, humidité et pression) et l'influence d'un certain degré de pollution sur ses caractéristiques.

II.4 Paramètres d'influence

II.4.1 Pollution

Au niveau des surfaces limites entre les matériaux solides et gazeux, il existe plusieurs mécanismes physiques tels que la condensation et l'adsorption. En outre, pour les isolants dans l'air atmosphérique, il faut s'attendre à ce que des couches de contamination se forment suite à l'accumulation de particules de poussière, aussi par la pluie, le brouillard ou la rosée. Cet ensemble de substances externes forme un certain degré de pollution, recouvrant partiellement ou totalement les matériaux isolants [22].

II.4.1.1 Degré de pollution

La pollution représente les couches conductrices électrolytiques qui apparaissent sur les barrières solides isolantes, représentant l'un des problèmes les plus fréquents dans les systèmes d'isolation, et qui provoque la plus grande part de leur dégradation.

La pollution est aussi caractérisée par le degré de salinité qu'elle représente, ce dernier est défini comme la concentration du sel dans l'eau.

Pour en déduire le degré de pollution, un dispositif de surveillance Allemand SLM 10 (sonde mobile) peut être utilisé, il permet de mesurer la conductivité superficielle sur la surface d'une barrière isolante quelque soit le mode de distribution de la pollution, uniforme ou non uniforme [12].

Il faut veiller à ce qu'aucune couche de pollution n'apparait sur la surface d'un isolant, surtout dans les systèmes d'isolations, car en présence d'une couche de contamination se développant à sa surface, sa résistance électrique peut être énormément réduite. Ce qui ne lui permettra plus d'assurer sa fonction d'isolant [24].

II.4.1.2 Classification des niveaux de pollutions atmosphériques

Les différents degrés de sévérité de pollution se répartissent en quatre classes comme présentées sur le tableau suivant [24] :

Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

classes	Degrés de pollution	Conductivités
1	Pollution légère	$\sigma_s = 5 \text{ a } 10 \mu\text{S}$
2	Pollution moyenne	$\sigma_s = 10 \text{ a } 15 \mu\text{S}$
3	Pollution forte	$\sigma_s = 15 \text{ a } 30 \mu\text{S}$
4	Pollution très forte	$\sigma_s = 30 \text{ a } 50 \mu\text{S}$

Tab. II.1 : Différentes classes de pollution atmosphérique

II.4.2 Facteurs climatique

II.4.2.1 Température

Une première définition de la température est donnée comme suit : la température, est la grandeur physique caractérisant l'état d'équilibre thermodynamique d'un système [25].

La température absolue est la mesure d'une énergie cinétique moyenne de molécules d'un gaz idéales en mouvement [26].

La température a une influence directe sur les paramètres caractérisant l'isolation électrique, pour le cas de l'isolant gazeux, avec l'augmentation de la température, à la pression normale, la rigidité diélectrique de l'air diminue [27], et pour l'isolant solide ; la température mesure essentiellement le degré d'agitation et de désordre des atomes qui constituent l'isolant.

Lorsque la température s'élève, les atomes vibrent autour de leur position moyenne [15] ce qui modifie la rigidité diélectrique de l'isolant, qui peut atteindre les seuils les plus bas quand celle-ci va au-delà de la température de transition qui est propre à chaque matériau. L'impact de la température sur les isolants ne se limite pas qu'à la rigidité mais influence aussi leurs résistances superficielles, sachant que la formule de la résistivité est fonction de la température [23].

II.4.2.2 Pression

La pression est une notion physique fondamentale relative aux transferts de quantité de mouvement. L'influence de la pression sur les gaz a été mise en évidence dans la loi de Paschen [23].

II.4.2.3 Humidité

L'humidité absolue a un sens plus significatif que l'humidité relative. L'humidité absolue d'une masse d'air représente la quantité en grammes de vapeur d'eau présente dans un volume d'air sec donné et sa valeur reste constante même si la température de l'air varie en restant


Propriétés des Isolations mixtes et paramètres de leur influence

supérieure à la température du point de rosée, mais si d'humidité de l'air sec est saturé au-delà d'une certaine limite on voit apparaître du brouillard et de la condensation, l'eau forme des gouttelettes en suspension dans l'air, on dit alors que l'air est saturé. L'humidité relative quant à elle s'exprime en pourcentage(%), et correspond au rapport entre la quantité d'eau que contient l'air (humidité absolue) et la quantité maximale qu'il peut contenir pour une température donnée et ceci avant de se condenser.

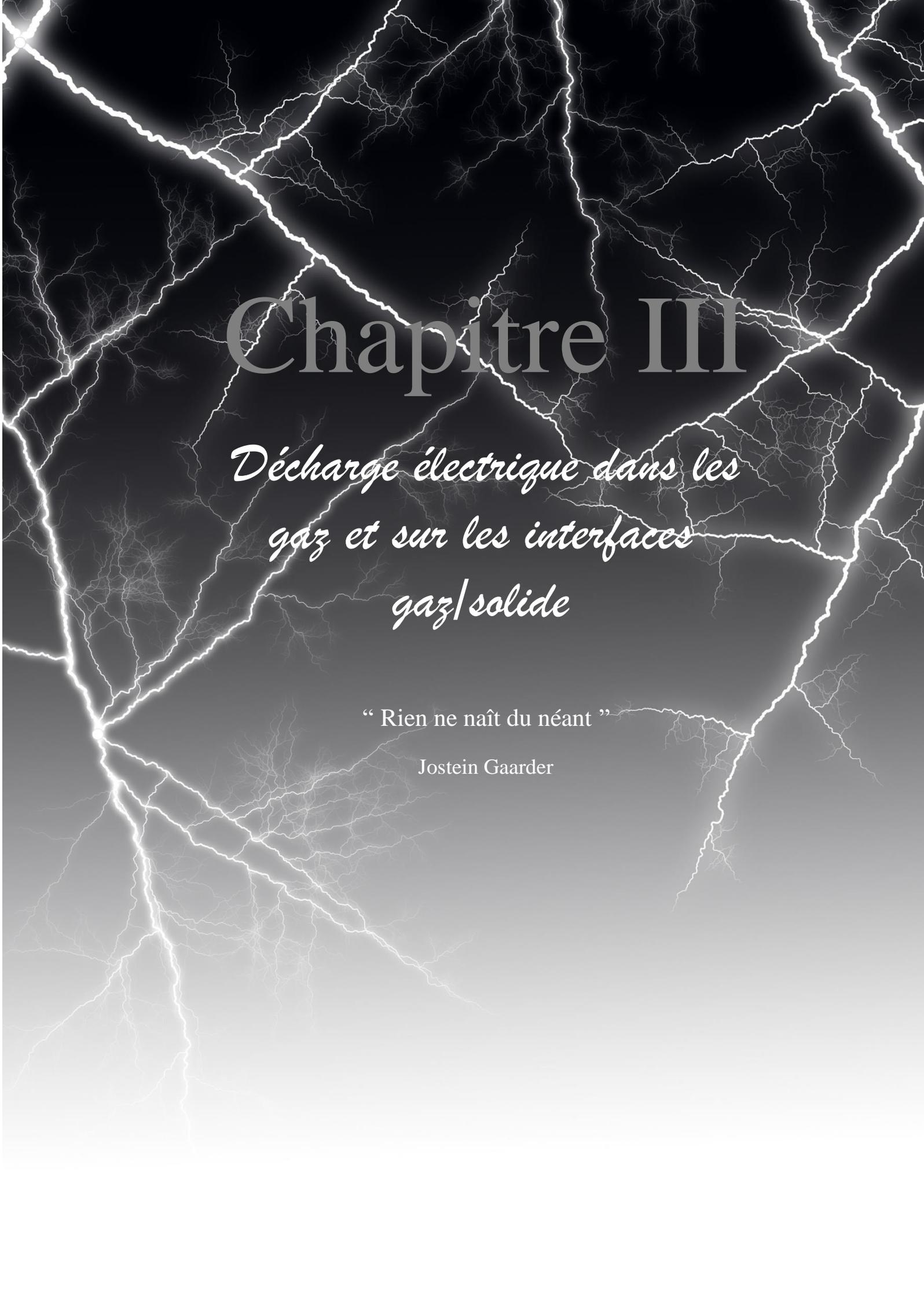
L'humidité accroît dans de grandes proportions la permittivité et le facteur de dissipation des matériaux isolants, et influe sur la résistivité transversale ainsi que sur la rigidité diélectrique, particulièrement lorsqu'il s'agit de produits hygroscopiques, et pour le cas de l'air, l'influence de l'humidité sur sa rigidité diélectrique est très importante [23].

II.5 Conclusion

Plusieurs types de matériaux non-vivants existent dans la nature, après traitement et amélioration, la tendance est de développer leurs applications entant que matières plastiques techniques pour les industries mécaniques et électriques, vue leurs bonne propriété.

A partir des différentes définitions exposées dans ce chapitre, ainsi que les différentes notions abordées nous pouvons conclure, qu'avant l'utilisation de n'importe quel isolant ; solide, liquide ou gazeux que soit-il, une détermination préalable de ses caractéristiques est primordiale.

Dans les applications hautes tension, la rigidité diélectrique et les paramètres qui l'influencent est l'une des caractéristiques qui importe le plus, car elle mesure l'aptitude de l'isolant à supporter des champs électriques élevés. Elle est donc un paramètre fondamental du dimensionnement des appareillages à haute tension.



Chapitre III

*Décharge électrique dans les
gaz et sur les interfaces
gaz/solide*

“ Rien ne naît du néant ”

Jostein Gaarder


*Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide***III.1 Introduction**

Les systèmes d'isolations mixtes composés d'un diélectrique solide et d'un gaz, sont beaucoup utilisés dans les équipements, moyenne et haute tension, car ils offrent de meilleures performances électriques.

Ces isolations mixtes, font face à de nombreuses contraintes d'ordre électrique, mécanique, thermique... durant leur période de fonctionnement. En présence de champs électriques, divers phénomènes peuvent naître aussi bien dans le volume qu'à la surface des matériaux constituant cette isolation et peuvent causer la rupture diélectrique de l'isolant (en volume) ou le contournement de l'isolateur provoquant la destruction de la structure isolante utilisée. Pour cette raison, et pour une meilleure isolation électrique ; un intérêt particulier doit être accordé aux choix des matériaux isolants.

Dans ce présent chapitre nous allons nous intéresser à la compréhension des mécanismes impliqués dans la génération et la propagation des décharges électriques, avec un penchant particulier sur celle développées dans le système de configuration pointe-plan ; bien que les phénomènes de décharge électrique, font toujours l'objet de recherches actives des scientifiques depuis près de deux siècles; chose qui ne fait que prouver la complexité des mécanismes le constituant.

III.2 Décharge électrique

Les décharges électriques ont toutes une même origine ; parce qu'elles ne peuvent se développer que si elles sont initiées par un électron germe qui peut être naturellement produits par des rayons cosmiques ou des substances radioactives éparses dans le sol, ou disséminées dans l'atmosphère. Les décharges ont aussi une même finalité car le développement de ces décharges conduit toujours à la formation d'un canal lumineux nommé arc électrique, et se différencient par les mécanismes de leurs formations.

Dans les laboratoires, les électrons nécessaires à l'initiation et au développement des décharges peuvent être produits à la surface d'une électrode en l'irradiant avec un agent ionisant (rayonnement U.V), en l'échauffant ou encore en appliquant un champ électrique très intense entre deux électrodes [1].

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide

L'émission de l'électron germe à partir de la cathode a fait objet de nombreuses recherches ; il a été expliqué par l'abaissement de barrière de potentiel par Schottky, et par l'effet tunnel en 1928 par Fowler et Nordheim grâce au développement de la physique quantique [28].

L'arc électrique correspond à une décharge lumineuse qui accompagne le passage de l'électricité entre deux conducteurs présentant une différence de potentiel convenable, ce phénomène a été découvert en 1813 par le physicien et chimiste anglais Davy qui a étudié ses effets à travers différents gaz [29].

Les décharges qui se manifestent le plus sont de type streamers quand la distance inter-électrodes est comprise entre 10 cm et 1m, tel qu'il est cas pour nos essais, mais parfois et dans des cas d'application de pollution sur les barrières placées dans l'espace inter-électrode, des décharges de type leaders peuvent également apparaître ; comme ça a été remarqué lors des investigations menées par K. HAROUN et D. BOUDRAA [12].

III. 2. 1 Décharge de type streamers

Meek, Loeb [30] et Raether [31] ont proposé un modèle de claquage direct aux décharges par streamers, qui définit une seule avalanche de taille critique qui peut conduire au claquage rapide de l'intervalle d'air. Cette transition avalanche-streamer était considérée comme étant aléatoire et non spontanée, mais grâce au modèle proposé, ce mode de claquage est expliqué par le processus de photo-ionisation du gaz en tête de l'avalanche et tient compte de l'émission photo-électrique. Les conditions nécessaires à la propagation du streamer ont été énoncées par Pedersen [32]:

1. Un nombre suffisant de photons d'énergie élevée doit être produit à la tête de l'avalanche initiale.
2. Ces photons doivent ioniser les molécules de gaz à proximité immédiate de la tête de l'avalanche.
3. Le champ électrique créé par les charges d'espace à la tête de l'avalanche doit être suffisant pour initier des avalanches secondaires.

Le mécanisme associé à l'apparition de ce phénomène est décrit comme suit : la présence d'un champ électrique élevé permet la multiplication d'une avalanche de Townsend à partir d'un électron germe.

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide

Les électrons et la charge d'espace positive, respectivement en tête et à la queue de l'avalanche, perturbent localement la distribution de champ et modifient la croissance exponentielle de l'avalanche.

Les électrons créés par photo-ionisation du gaz en tête de l'avalanche initient d'autres avalanches secondaires, grâce au renforcement du champ par la charge d'espace. Lorsque le champ de charge d'espace devient de l'ordre du champ appliqué, on assistera à la transition avalanche-streamer. Le streamer se propage comme une onde ionisante dans un canal conducteur : les électrons qui progressent en tête des avalanches secondaires neutralisent les ions positifs à la queue de l'avalanche principale, simulant un déplacement élémentaire de la charge d'espace positive, un peu plus loin de l'électrode active.

La figure III.1 illustre le développement d'un claquage dans un système de configuration pointe-plan qui caractérise une distribution fortement non-uniforme [33].

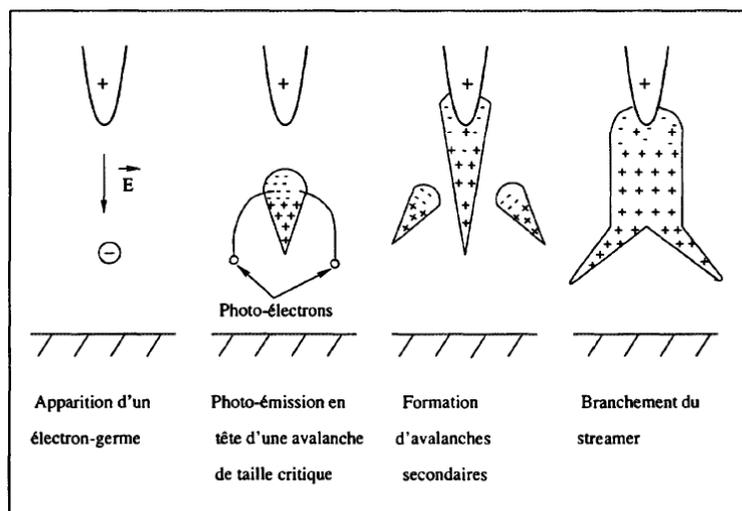


Fig. III.1 : Mécanisme de décharge par streamer, système de configuration pointe-plan

III. 2. 2 Décharges de type leader

La tenue diélectrique des grands intervalles d'air diminue avec la distance interélectrode, si le champ électrique moyen à l'amorçage est de 4,5 kV/cm pour 30 cm, il tombe 1KV/cm pour 30 cm. Ceci est dû à l'influence d'un nouveau phénomène physique dénommé leader.

Il est matérialisé par un canal de quelques millimètres de diamètre qui est observé dès que l'espace interélectrode dépasse une valeur comprise entre 40 et 80 cm selon les conditions expérimentales.

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide

Lorsque les streamers qui participent à l'apparition de l'effet couronne sont suffisamment développés, le gaz contenu dans le tronc commun de la décharge s'échauffe sous l'action du courant électronique, sa conductivité, se met à croître, si bien que tout se passe comme si l'électrode s'était allongée. L'effet couronne se trouve donc déplacé plus en avant dans l'intervalle et de proche en proche, ce canal s'allonge jusqu'à traverser complètement l'intervalle interélectrode [23].

III.3 Décharge électrique dans les gaz ou claquage

C'est dans les gaz que le mécanisme de claquage a été le mieux élucidé et diverses théories ont été élaborées, le gaz dans ce cas devient plus au moins conducteur après qu'il ait perdu ses propriétés diélectriques. Le claquage est initié par une phase d'ionisation, définie comme destructrice de l'isolation, mais ce qui est avantageux dans ce type d'isolation est qu'ils sont auto-régénérateurs, comme l'air ou l'hexafluorure de soufre.

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

- Avalanche électronique primaire;
- Streamers;
- Leader.

Le claquage de l'air par avalanche primaire est un phénomène rare, car il n'existe que dans le cas de champs extrêmement inhomogènes (aiguilles, fil fin...etc.) et des tensions de choc relativement peu variables (tension continue, à fréquence industrielle) parce que d'une part l'avalanche électronique n'atteint pas sa taille critique avant le claquage et que d'autre part sa durée de vie est suffisamment grande pour que la formation d'un champ homogène par les charges d'espace s'établisse [23].

Par contre si l'avalanche primaire se développe, des avalanches électroniques peuvent être créées dans l'intervalle d'air interélectrode ; et si elles atteignent leurs tailles critiques, les streamers prennent naissance dans l'espace d'air et progressent vers les électrodes. Si le champ résultant dépasse celui des streamers ($E_{S+} = 4 \text{ à } 5 \text{ kV/cm}$), les streamers se multiplient et peuvent se propager jusqu'au contact du plan mis à la terre (**Fig. III.2**) [23].

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide

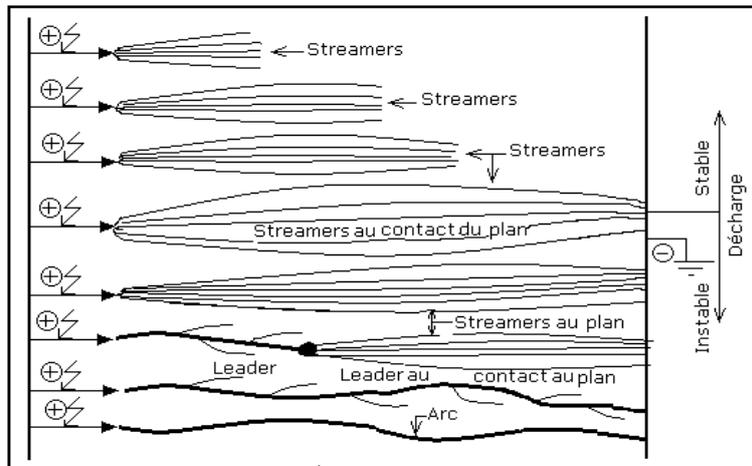


Fig. III.2: Décharge par Streamers ($d \leq 1m$)

Au moment du contact du streamers au plan, et avec la contribution de l'électrode terre à l'émission d'électrons secondaire sous le choc des ions positifs (deuxième coefficient de Townsend) une forte densité de courant engendrée au niveau de l'électrode sous tension provoque la thermoionisation. Ce phénomène donne naissance à un leader instable se développant dans l'intervalle d'air considéré. Dès que le leader relie les deux électrodes, un arc se forme, permettant la circulation du courant de court-circuit. Le Leader peut aussi avoir lieu sans la contribution de l'électrode opposée (**Fig. III.3**). Dans ce cas, on parle d'un leader stable [23].

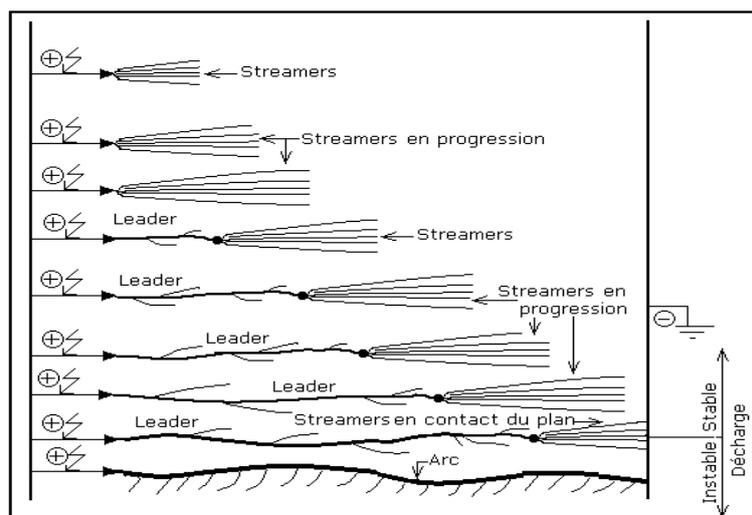


Fig. III.3: Décharge par leader

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide

III.4 Décharge électrique glissante et contournement des solides

Le claquage est l'aboutissement d'une série de processus complexes et interactifs. A la différence des gaz et des liquides, le claquage des isolants solides entraîne la destruction du matériau qui est malheureusement dans la majorité des cas irrémédiable, et provoque par conséquent, l'arrêt de fonctionnement du système dont il fait partie.

Le claquage d'un matériau à pour origine les complexes phénomènes qui apparaissent lors de la phase de préclaquage qui rendent difficile l'énoncé d'une théorie unifiée pour expliquer le mécanisme de claquage [1]. Le phénomène de rupture des isolants solides se produit rarement et dans des conditions bien précises, c'est le phénomène de glissement de décharge et de contournement qui se manifeste le plus souvent.

III.4.1 Décharge électrique glissante

Les décharges glissantes où les deux électrodes sont en contact avec la surface du diélectrique solide, se développe dans le gaz tout en étant en contact avec la surface du solide isolant sur laquelle elle se propage (**Fig. III.4**) [23].

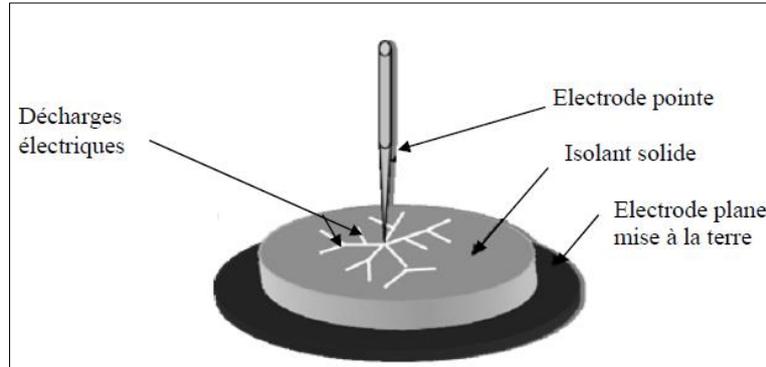
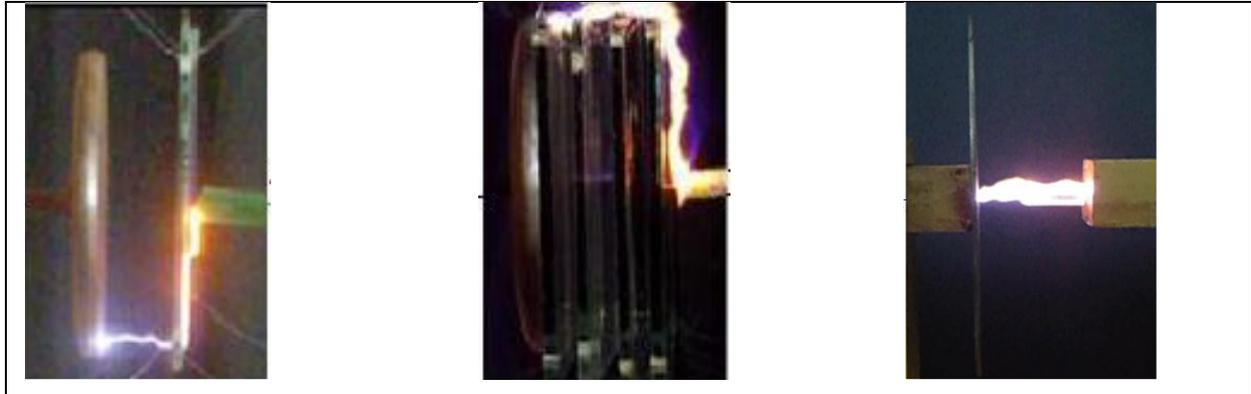


Fig III.4 : Système à décharges glissantes

III.4.2 Contournement des solides

Un solide d'une grande rigidité transversale et d'une assez grande épaisseur ne peut subir aucune perforation en volume, dans le cas contraire et dans un milieu moins rigide, il ne risquera de subir que le contournement, car les décharges électriques se propagent le long de sa surface en le contournant (**Fig. III.5**). Ce phénomène a été observé dans plusieurs travaux [9,14].

Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide



a) : Barrière plane

b) : Plusieurs barrières planes

c) : Barrière cylindrique

Fig.III.5 : Différents cas représentant un contournement d’une barrière isolante

III.5 Décharges électrique sur l’interfaces gaz/solide

Dans les cas où les isolants gazeux et solides sont en série entre les deux electrodes, une décharge se développe d’abord dans le volume du gaz puis soit countourne la surface du solide ou bien glisse sur cette derniere pour atteindre l’electrode mise à la terre (**Fig.III.6**) [23].

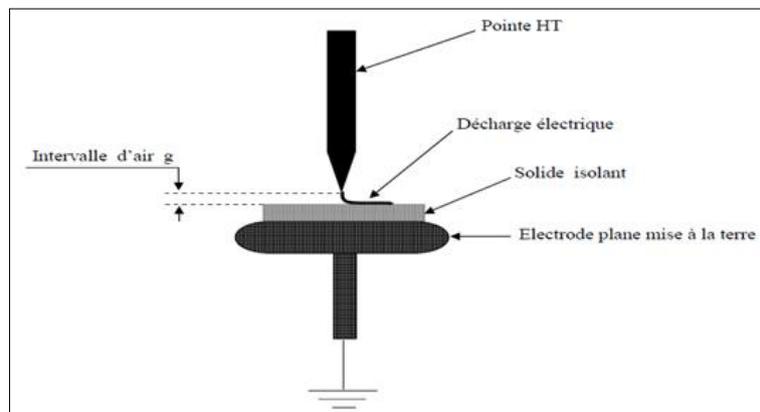


Fig. III.6 : Décharge à barrière diélectrique

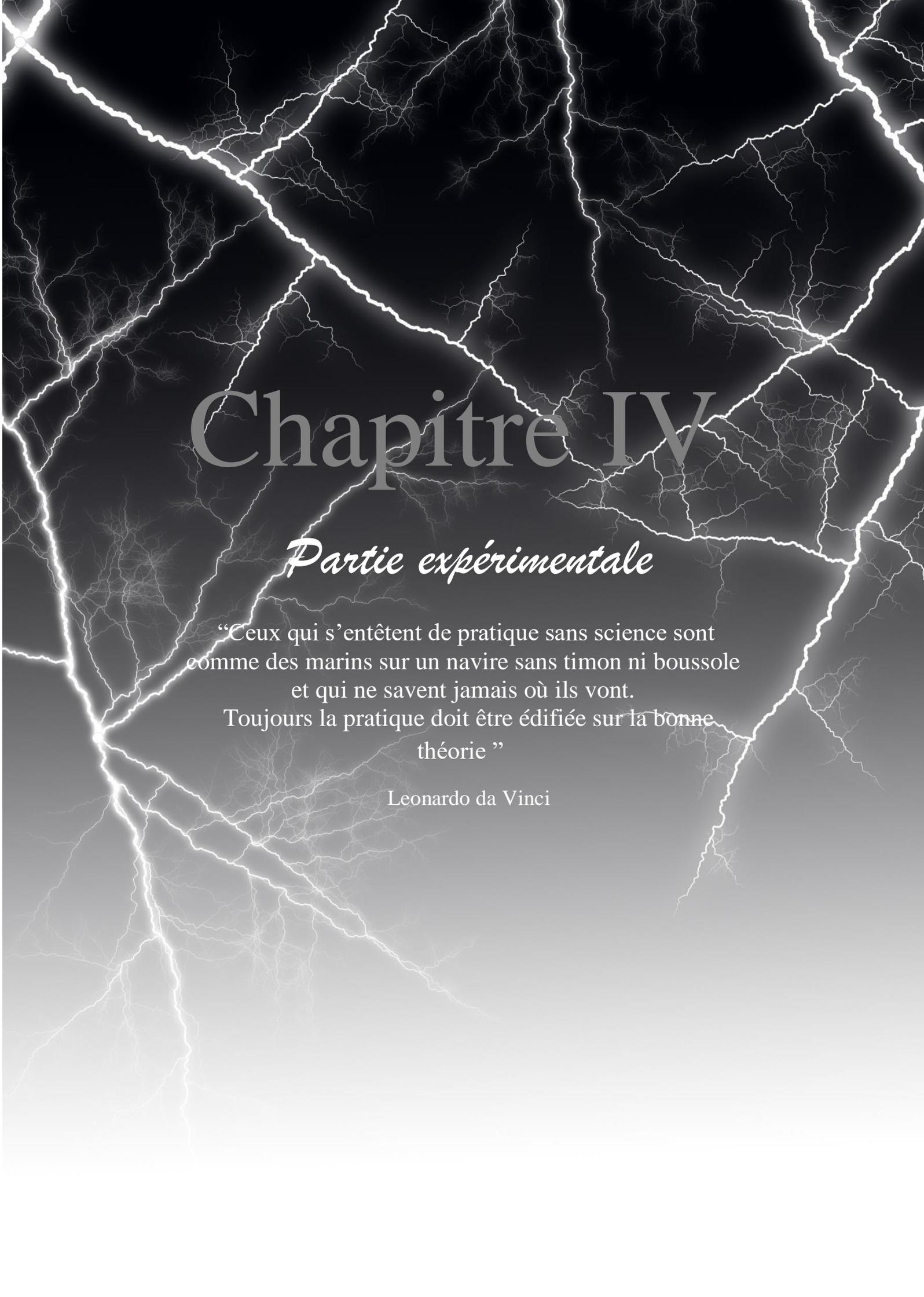
*Décharge électrique dans les gaz et sur les interfaces gaz/solide***III.6 Dégradation de la surface du solide**

La mise en œuvre des matières plastiques (polymère) comme isolant électrique au début des années 1960 a marqué une percée importante permettant de passer de la basse tension (quelques kilovolts) aux applications haute tension (> 15 kV), malheureusement ces améliorations significatives obtenues sont temporaires. Les isolants perdent leur performance par un phénomène d'usure aussi appelé le vieillissement, le mécanisme responsable de la dégradation ou du vieillissement des diélectriques polymères n'est pas encore clair car le matériau est soumis à plusieurs types de contraintes, Il est soutenu soit par les défauts liés à la fabrication, où le matériau peut comporter des particules étrangères, des vacuoles gazeuses, ou au défaut qui apparaît lors de son utilisation car en lui imposant un fort champ électrique, ces vacuoles seront le siège d'apparition de décharges partielles superficielles ou internes. Ce type de décharges est le plus courante du fait de la présence de microcavités dans le moule du polymère ou dans l'interface entre le polymère et un autre matériau [34].

III.7 Conclusion

Pour parachever ; l'arc électrique qui est capable de transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse ou thermique a attiré l'attention de plusieurs chercheurs, qui ont tiré profit de ce phénomène pour divers usages. Cependant ce phénomène électrique ne demeure pas sans impacts négatifs ; il peut être à l'origine de nombreux dégâts et ce suite à son apparition brusque et inattendue, chose qui a poussé plusieurs chercheurs à œuvrer dans ce sens en vue de lutter contre les effets néfastes des arcs électriques. Pour mener à bien cette démarche, la compréhension des mécanismes responsables de l'initiation et du développement de ces phénomènes électriques est indispensable.

Avec les théories impliquées, nous pouvons estimer le type de décharges qui peuvent se propagé dans de différents intervalle d'air.



Chapitre IV

Partie expérimentale

“Ceux qui s’entêtent de pratique sans science sont
comme des marins sur un navire sans timon ni boussole
et qui ne savent jamais où ils vont.
Toujours la pratique doit être édiflée sur la bonne
théorie ”

Leonardo da Vinci



Partie expérimentale

IV.1 Introduction

Les systèmes haute-tension ont tendance à être miniaturisé pour des raisons économiques et pratiques (systèmes encombrés), grâce à l'installation des systèmes d'isolation, sans diminuer leurs qualités.

Le dimensionnement des systèmes d'isolation nécessite une bonne étude théorique et une démarche expérimentale conforme, qui répond aux différentes normes exigées par les organisations internationales comme par exemple NFC 26.225 (CEI 243), pour aboutir à des conclusions et à des résultats fiables et utilisables. Cette étude consiste en l'identification de la décharge, et du chemin qu'elle parcourt, en s'appuyant sur l'étude de la rigidité électrique des isolations.

L'objectif essentiel de ce chapitre est l'étude de la performance et l'efficacité électrique d'un système de configuration pointe-plan protégé par une barrière cylindrique en plastique enveloppant la pointe sous tension continue positive. Nous avons étudié deux cas de figures, une fois avec une barrière propre et sèche et la deuxième fois avec une barrière polluée afin de comprendre l'impact de la pollution sur le comportement de la barrière.

Cette étude se basera principalement sur la détermination expérimentale des valeurs de la rigidité électrique du système et l'identification du type de décharge qui pourrait se développer dans une telle configuration. Vingt-cinq tests de disruption de l'intervalle d'air du système ont été effectués, le contournement de la barrière et le claquage de l'espace d'air du système sont obtenus par la soumission de la barrière à une tension croissante où une seule valeur est retenue et qui correspond à la moyenne arithmétique de l'ensemble de ces valeurs.

IV.2 Présentation du modèle expérimentale et du mode pratique

IV.2.1 Modèle expérimental

Le modèle expérimental du système pointe-plan utilisé lors de cette investigation est illustré par la figure **IV.1**. Il a été réalisé au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaia par N.BOUATIA [35]. Celui-ci est composé d'un support en bois en forme de U, ayant 45 cm de hauteur, 54 cm de longueur et 12 cm de largeur. Sur celui-ci sont encastrés deux bras en bois. Des électrodes pointues ou planes peuvent être vissées sur ces derniers. L'électrode haute tension est constituée d'une tige cylindrique en acier de 14 mm de diamètre et 180 mm de longueur ; cette tige s'achève par une pointe conique en bronze ayant un angle de 60° et de 0.2 mm de rayon de courbure. L'électrode terre est constituée d'un disque en



Partie expérimentale

acier de 40 cm de diamètre et de 4 mm d'épaisseur. La distance dans l'air entre ces deux électrodes de base varie de 0 à 16 cm.

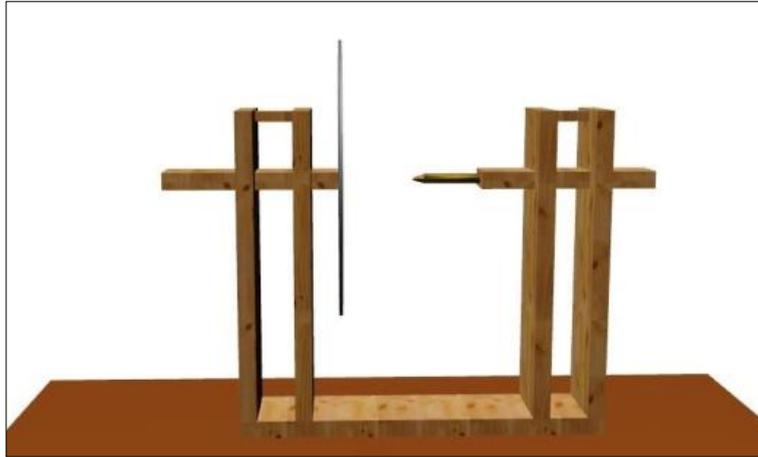


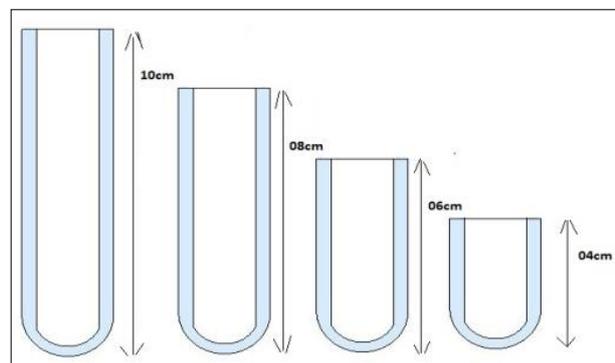
Fig. IV.1 : Model expérimental du système pointe-plan

IV.2.2 Mode pratique

Nous avons procédé aux essais, en utilisant des tubes en plastique que nous avons reçu de la société générale emballage sous forme de préforme bouteille d'eau. Les tubes ont 2.5 cm de diamètre extérieur et 1.7 cm de diamètre intérieur et une épaisseur à la pointe de 0.3 cm. Pour les longueurs nous avons pu avoir 4 différentes longueurs 10 cm, 08 cm, 06 cm et 04 cm que nous avons obtenus en les coupant au moyen d'une scie. Voir figure IV.2.



a) Préforme bouteille



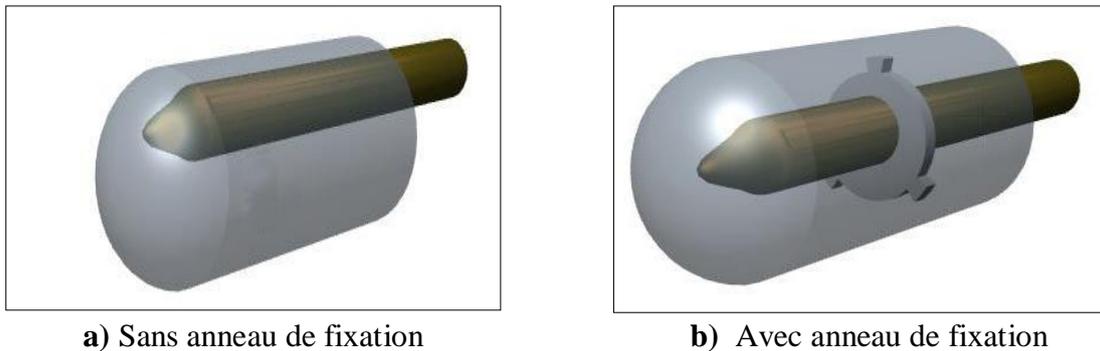
b) Différentes longueurs choisies

Fig. IV.2 : Tube en plastique



Partie expérimentale

Lors des premiers essais, nous avons rencontré un problème de fixation des tubes sur la pointe, qui est en partie nue de 9.7 cm. Les tubes sont dans la plupart des cas repoussés par le vent-électrostatique, qui se manifeste également dans la réalité. Chose qui nous a poussé à utiliser un anneau, qui nous à accompagné lors de tous nos autres essais, (**Fig. IV.3**) ; après avoir confirmé que ce dernier n'intervient ni de prêt ni de loin à la modification de nos résultats.



a) Sans anneau de fixation

b) Avec anneau de fixation

Fig. IV.3 : Fixation des tubes sur la pointe

IV.3 Circuit de mesure électrique et de visualisation

La mesure de la performance du système avec barrière enveloppante sèche et polluée ainsi que la visualisation de la décharge électrique évoluant dans l'espace d'air de ce même système peuvent être réalisées à l'aide du schéma électrique illustré par la figure **IV.4**.

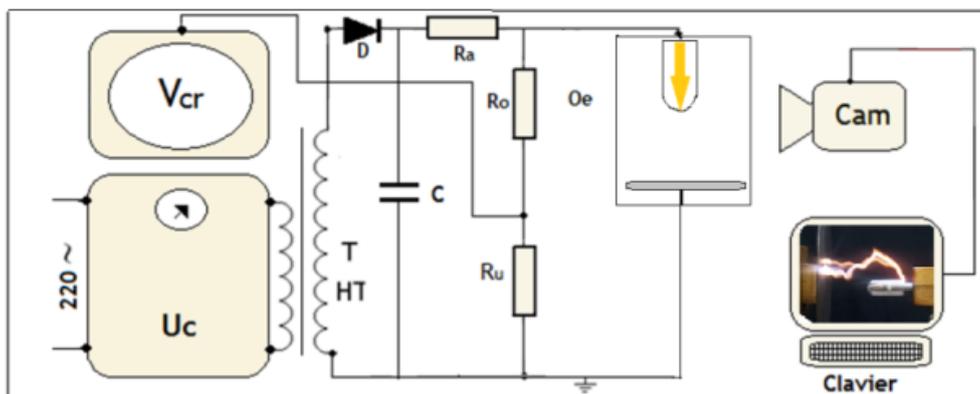


Fig. IV.4 : Schéma de mesure et de visualisation

Le circuit de mesure de la tension disruptive du système considéré est composé principalement d'un transformateur T qui délivre à son secondaire une tension de 135 kV, dont la variation temporelle de sa rampe peut être obtenue automatiquement ou manuellement

Partie expérimentale

à l'aide d'un appareil de commande. Il est aussi constitué d'un voltmètre de crête V_{cr} à affichage numérique pour le prélèvement des différentes tensions d'amorçages, d'une diode (D) de redressement vu que nous travaillons sous tension continue, ainsi que d'un condensateur de lissage (C).

L'objet O_e représente le système d'électrodes pointe – barrière cylindrique – plan, qui est connecté aux limites de la résistance de protection R, et au diviseur de tension résistif R_0/R_u .

Le circuit de visualisation comprend une caméra pour l'enregistrement des différentes phases du développement de la décharge électrique dans l'intervalle interélectrode du système ainsi qu'un PC pour une meilleure visualisation et étude de celle-ci.

IV.4 Préparation et application de la solution polluante

IV.4.1 Préparation de la pollution

La solution polluante contient essentiellement l'eau de robinet, 40 g de kaolin par litre d'eau pour l'épaississement de la couche polluante [35], et du chlorure de sodium dont la proportion est déterminée selon la conductivité volumique désirée de la solution, mesuré en utilisant un conductimètre à sonde mobile (**Fig. IV.5**). La conductivité volumique utilisée dans le cadre de cette étude est égale à 25 mS/cm.

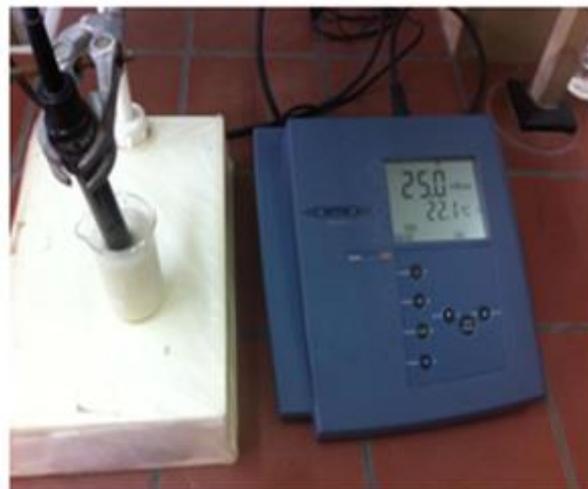


Fig. IV.5 : Appareil de mesure de la conductivité volumique des solutions polluantes (Conductimètre)

IV.4.2 Mode d'application de la solution polluante

Une répartition uniforme de la pollution sur toute la surface extérieure du tube ainsi qu'intérieure, a été obtenue en émergeant le tube dans la solution de pollution préparée.



Partie expérimentale

La mesure de la tension disruptive se fait immédiatement après l'application de la pollution afin d'éviter son assèchement naturel.

IV.5 Correction des résultats suivant les conditions atmosphériques

La valeur retenue de la tension d'amorçage est la moyenne arithmétique de l'ensemble de vingt-cinq essais pour chaque série de mesure, qui est strictement liée aux conditions atmosphériques nominales, dont on trouve la température ambiante, la pression et l'humidité de l'air environnant. Ces résultats doivent être ramenés aux conditions normales de température θ_0 , de pression P_0 et d'humidité H_0 ($\theta_0 = 20$ °C, $P_0 = 100$ kPa et $H_0 = 11$ g/m³), selon la relation suivante [36].

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

Avec :

U_m : tension disruptive mesurée à la température θ , à la pression P et à l'humidité H ;

K_d : facteur de correction relatif à la température θ et à la pression P ;

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

Avec : P en kPa, et θ en C°

K_h : facteur de correction relatif à l'humidité;

Pour déterminer le facteur de correction K_h , relatif à l'humidité, une transformation de l'humidité relative $H_r(\%)$ vers l'humidité absolue H (g/m³), est nécessaire, car K_h est donné en fonction de cette dernière. L'abaque de la figure **IV. 6. a**, donne la transformation de l'humidité relative en humidité absolue, en fonction de la température. Pour déduire K_h , la valeur de l'humidité absolue (**Fig. IV. 6.a**) est reportée sur l'abaque de la figure **IV. 6. b**.



Partie expérimentale

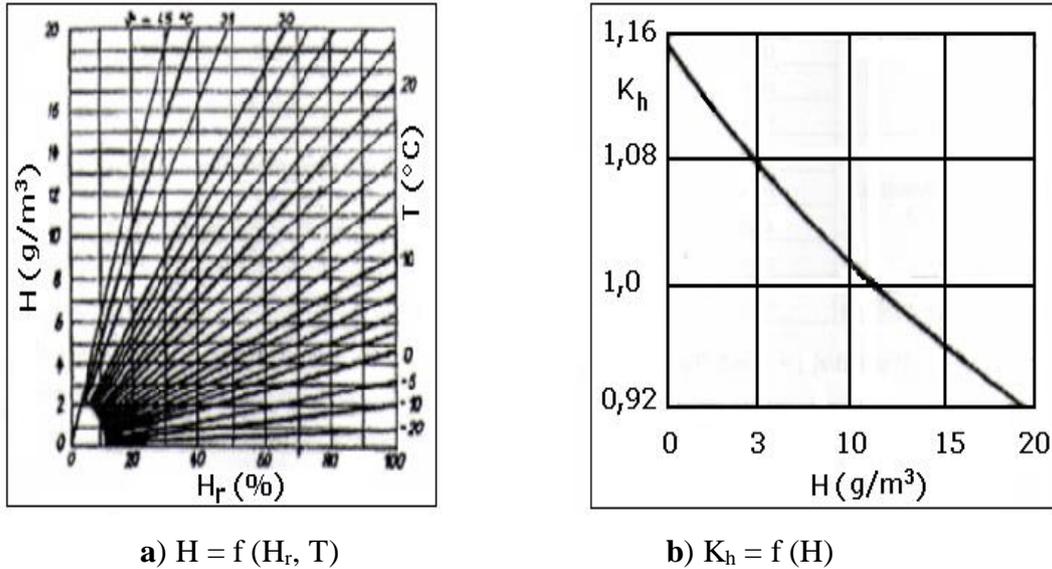


Fig. IV. 6 : Abaques de correction des valeurs de tension mesurées

IV.6 Performance électrique de la barrière cylindrique

IV.6. 1 Atmosphère propre

IV.6. 1. 1 Paramètres d'influences

Les paramètres qui influent sur la tension disruptive du système point-plan étudié dans cette partie sont principalement des paramètres géométriques à savoir la distance interélectrode (d) et la longueur des tubes (L), ce qui est expliqué sur le schéma suivant :

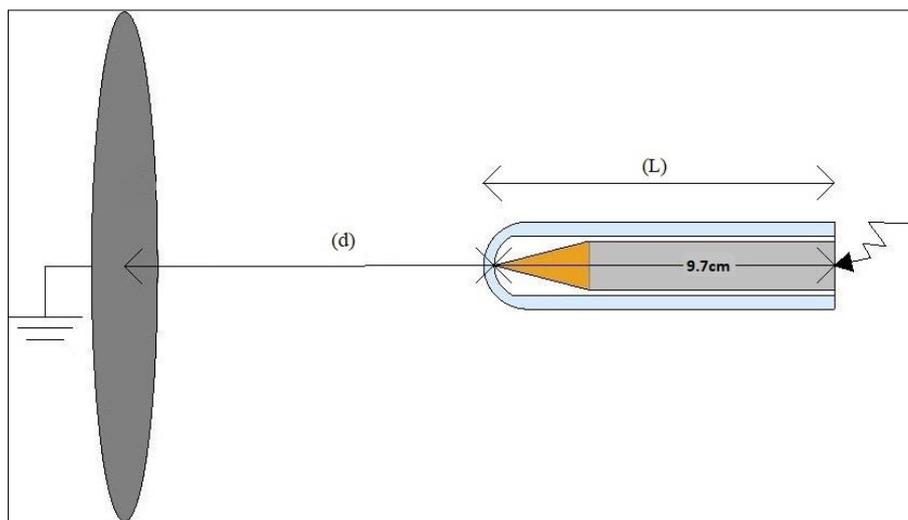


Fig. IV.7 : Schéma explicatif montrant les paramètres géométriques inclus dans l'étude



Partie expérimentale

IV.6. 1.1.1 Position du tube par rapport à la pointe

Pour éviter que nos tubes soient rejetés durant chaque essai, nous avons utilisé un anneau pour leur assurer une bonne fixation. Afin de vérifier si l'anneau a une influence sur la performance électrique du système, nous avons procédé à l'établissement d'un autre essai supplémentaire où nous avons soumis une barrière avec et sans anneau à une même tension électrique. La tension disruptive des deux cas est représentée sur la figure IV.8.

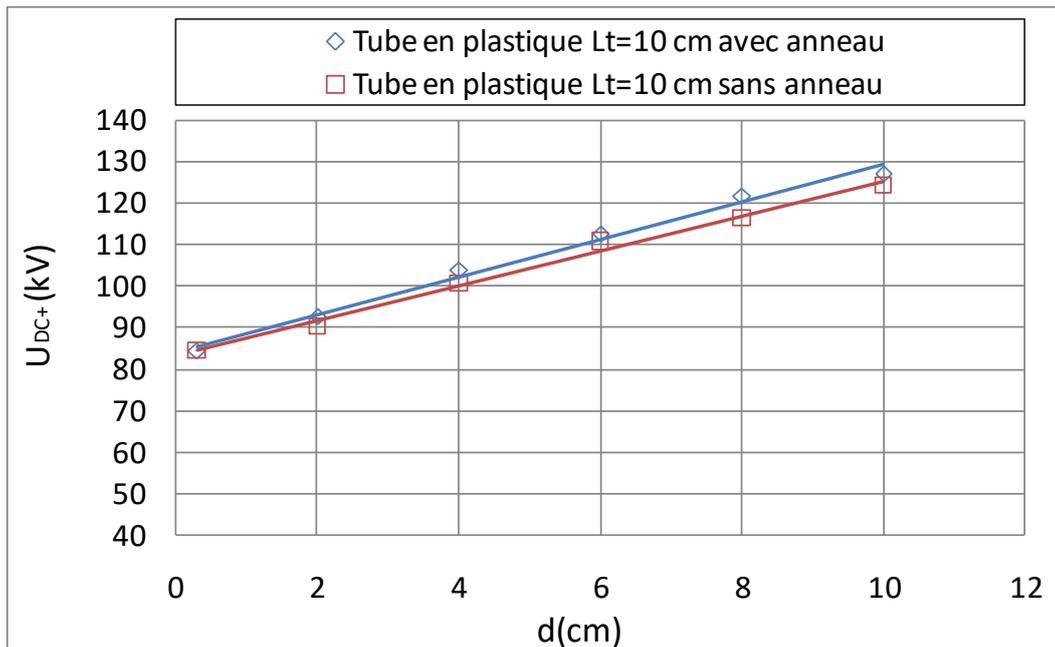


Fig. IV.8 : Tension disruptive en fonction de la position du tube par rapport à la pointe et de la distance interélectrode

Lors de nos vingt-cinq essais, nous avons obtenu différentes valeurs mais qui s'inscrivent dans un intervalle qui ne dépasse pas les 10 kV, soit 5%. Pour pouvoir calculer l'erreur inscrite dans nos essais nous utiliserons cette lois :

$$Er = 100 * ((Ué - Um) / Um) ;$$

Avec

Ué : La valeur la plus écarté de toutes les autres valeurs inscrites.

Um : La moyenne de toutes les valeurs.

Concernant cet essai en particulier, nous avons procédé au calcul de l'erreur commise et ce en prenant les deux distances suivantes : 0,3 cm et 10 cm. La figure IV.8 nous traduit que les deux courbes sont légèrement écartées l'une de l'autre, mais cet écart est négligeable, chose que nous avons confirmé en optant pour le calcul suivant :



Partie expérimentale

En calculant l'erreur commise durant nos essais pour les deux distances extrêmes nous déduisons que celle-ci est de 2.19 % pour $d=0.3$ cm et 3.01 % pour $d=10$ cm. Le pourcentage d'écart entre les deux courbes qui correspondent aux deux distances précédemment citées est respectivement de 1.18 % et 2.23 %. A partir de là et du moment où de le pourcentage d'écart entre les courbes n'a pas dépassé celui de l'erreur totale, nous pouvons déduire que cette différence est négligeable et que les courbes sont identiques.

IV.6.1.1.2 Distance interélectrode

Nous avons étudié séparément pour chaque longueur des tubes, la tension disruptive du système pointe-plan en fonction de la distance interélectrode, qui varie de 0.3 cm (épaisseur du tube) à 16 cm.

➤ Tube en plastique de 04 cm de longueur

Lorsque nous imposons une tension croissante à la pointe, nous aboutissons sûrement à une décharge électrique disruptive qui prend naissance de l'extrémité de la pointe [12]. Nous ne pouvons jamais prédire quel sera le point qu'elle touchera une fois sur le plan, ni encore le chemin qu'elle parcourra. En recouvrant la pointe par un tube, la décharge se crée de l'extrémité du tube (**Fig. IV.10**) vers le milieu du plan mis à la terre, à l'instant du claquage la tension d'amorçage est enregistrée formant ainsi la caractéristique $U_{DC+}=f(d)$ (**Fig. IV.9**)

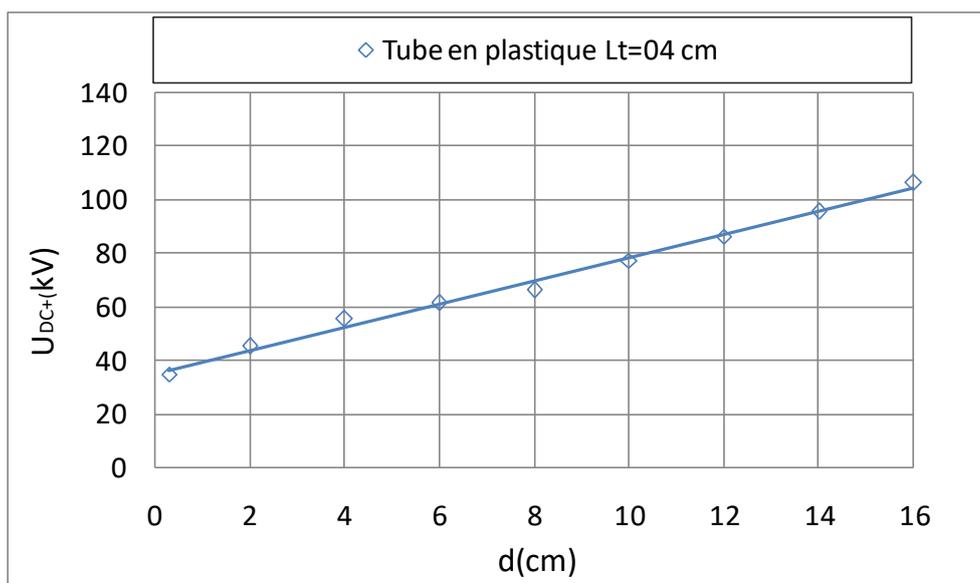


Fig. IV. 9 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=04$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode

Partie expérimentale

La figure IV.9 montre une certaine proportionnalité entre la tension disruptive et la distance interélectrode. A chaque fois que nous éloignons la pointe du plan, le chemin de la décharge augmente, en conséquence la tension nécessaire à sa formation doit être plus élevée.

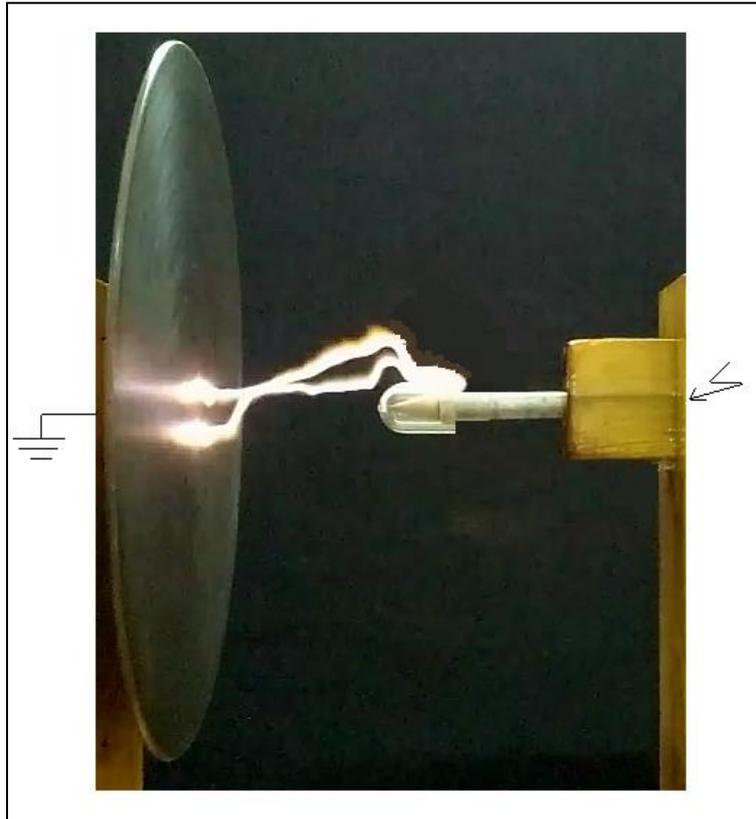


Fig. IV.10 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique

Dans notre cas, la détermination du caractère de la décharge disruptive de l'intervalle d'air pointe - plan avec barrière isolante est basé sur la méthode des pentes de la caractéristique de la tension disruptive en fonction de la distance interélectrode.

Cette méthode consiste à comparer les pentes de la caractéristique $U_{DC+}=f(d)$ aux gradients des potentiels dans les streamers et les leaders, les valeurs du gradient de potentiel dans les streamers s'étendent respectivement pour les positifs entre 7,5 kV/cm et 4,5 kV/cm et pour les négatifs entre 15 kV/cm et 10 kV/cm, et celles du leader positif ou négatif varient entre 1,5 kV/cm et 0, 1 kV/cm [23]. La droite que représente la figure IV.9 est de pente 4.32kV/cm ce qui nous permet de dire que le type de décharge évoluant dans ce cas est de type streamer positive ; selon la figure IV.9 nous pouvons déduire aussi que la décharge est mixte barrière/gaz, glissante sur la surface du tube et qui rejoint le plan en amorçant l'air



Partie expérimentale

environnant, comme le montre le schéma représentatif suivant (**figure IV.11**).

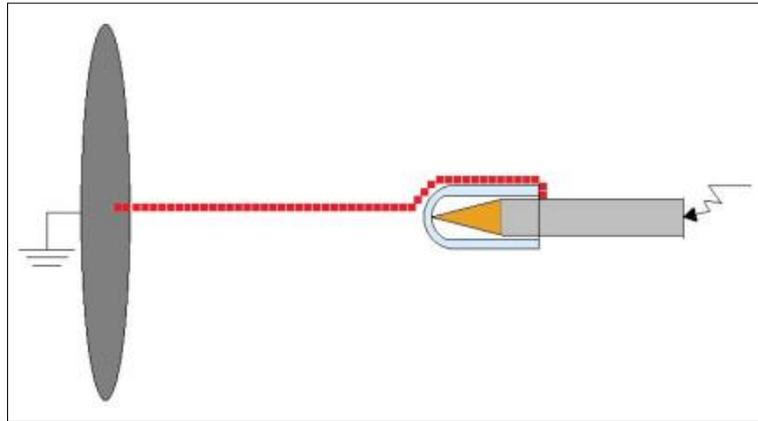


Fig. IV. 11 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement du tube et du claquage de l'air

➤ Tube en plastique de 06 cm de longueur

Nous avons dans ce cas utilisé un tube de 06 cm de longueur donc qui recouvre un peu plus la pointe sous tension ce qui explique l'augmentation des valeurs de tension pour chaque distance interélectrode, remarquée sur la figure IV.12, alors que l'allure de cette caractéristique est la même que celle avec le tube de 04 cm.

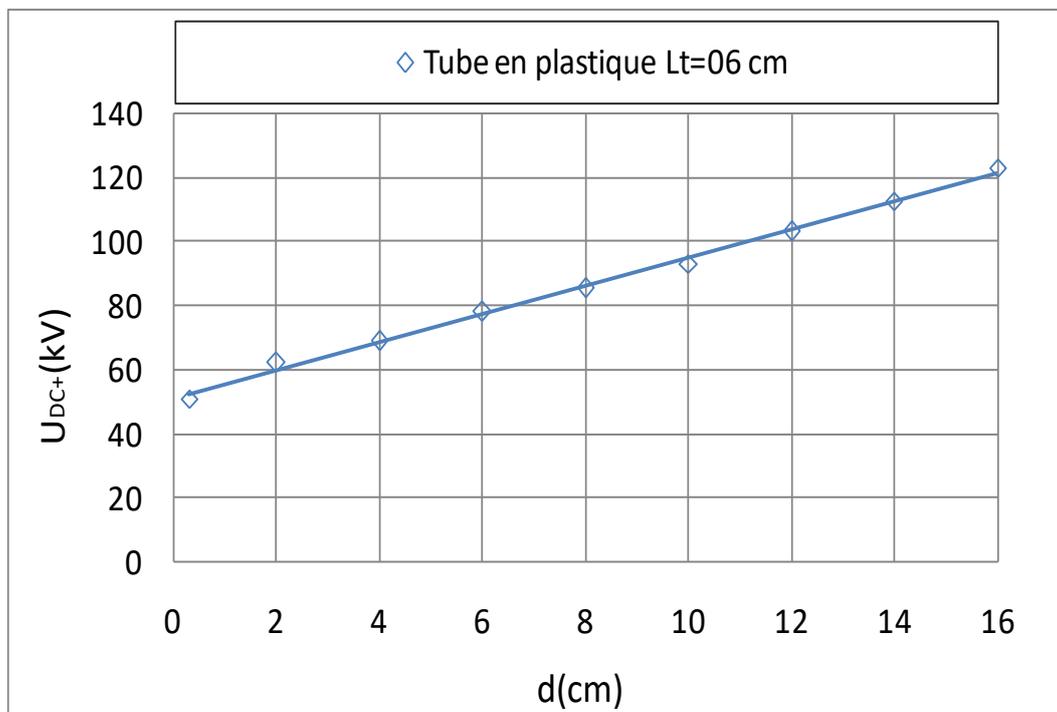


Fig. IV. 12 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur Lt=06 cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode

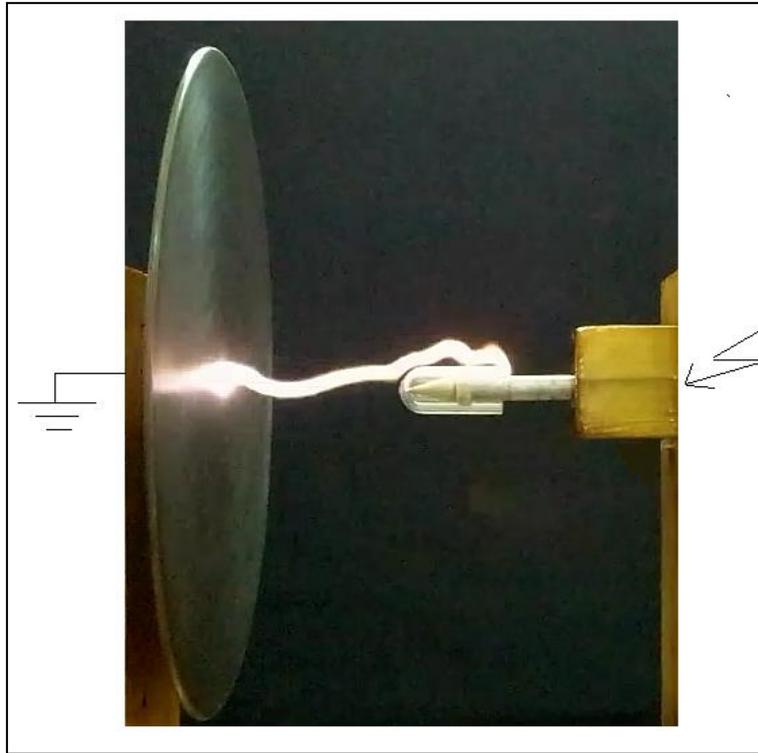
Partie expérimentale

Fig. IV.13 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique

La figure IV.13 montre le chemin emprunté par la décharge pour un espace d'air égale à 10cm, qui s'est développé de l'extrémité du tube ; la décharge est de type streamer positive.

➤ Tube en plastique de 08 cm de longueur

Avec ce tube de 08 cm, nous avons recouvert notre pointe de 2cm de plus par rapport au cas précédent, automatiquement une élévation du niveau des tensions est remarquée mais la linéarité de la caractéristique est toujours gardée (**Fig. IV.14**).



Partie expérimentale

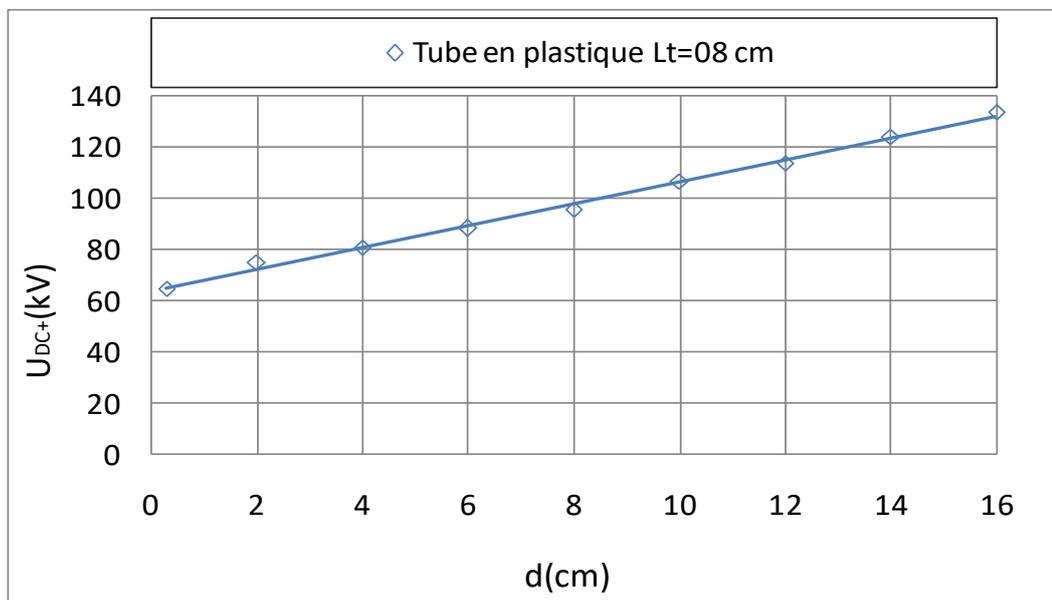


Fig. IV.14 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur Lt=08 cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode

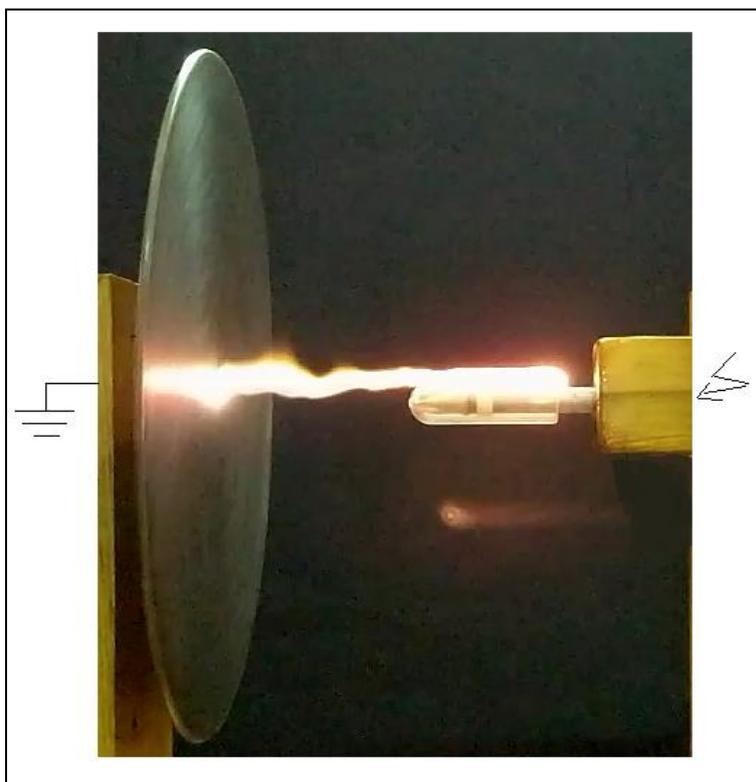


Fig. IV.15 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique



Partie expérimentale

Dans ce cas de figure (**Fig. IV.15**) le type de décharge est une décharge mixte barrière/gaz, plus exactement streamers positifs vu qu'elle se développe toujours du côté de la pointe mise sous tension continue positive.

- Tube en plastique de 10 cm de longueur

L'introduction de ce tube correspond à l'enveloppement complet de la pointe comme le montre le schéma explicatif suivant (**Fig. IV.16**).

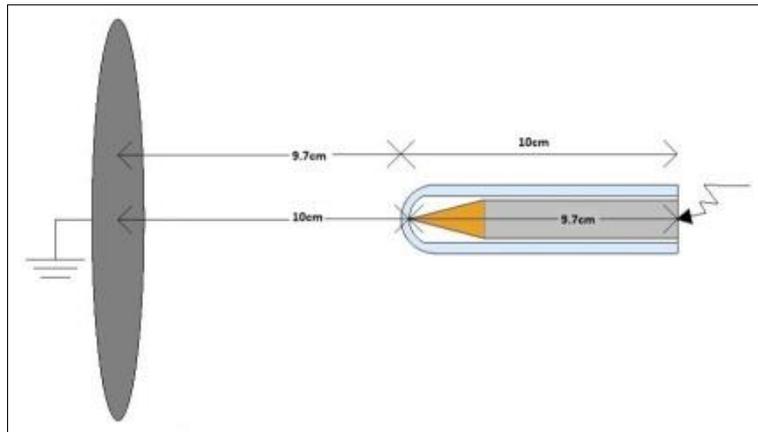


Fig. IV.16 : Schéma explicatif de la position du tube par rapport à la pointe

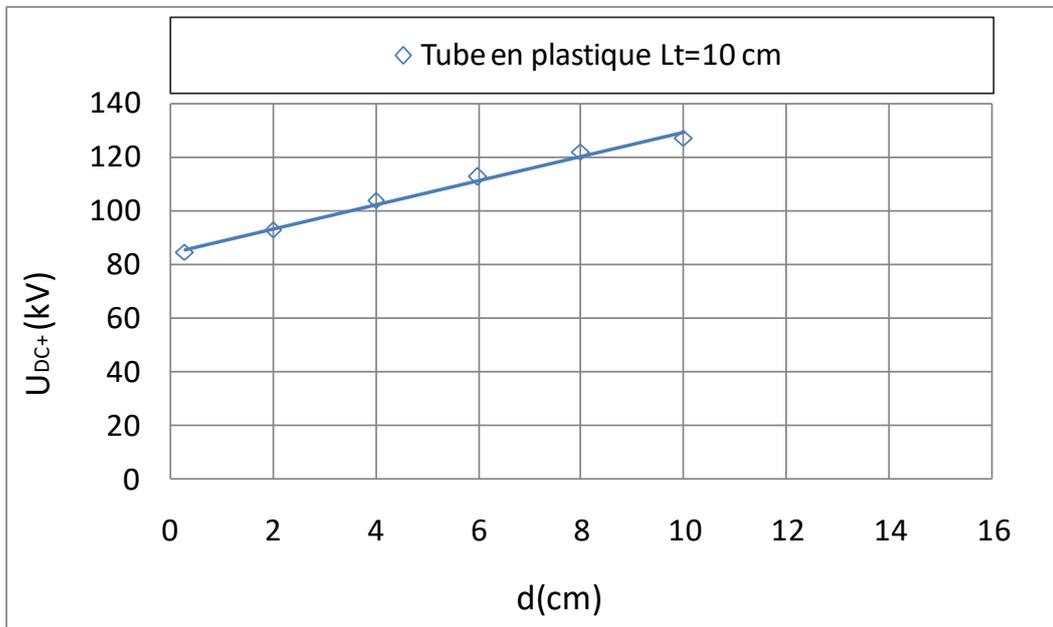


Fig. IV. 17 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière en plastique de longueur $L_t=10$ cm enveloppant la pointe sous tension en fonction de la distance interélectrode

*Partie expérimentale*

Nous remarquons à travers la figure IV.17 que la caractéristique $U_{DC+}=f(d)$ garde la même allure que les précédentes mais les valeurs de tension sont significativement plus grandes au point où nous nous pouvons plus augmenter la distance interélectrode parce-que nous avons atteint la limite de notre transformateur.

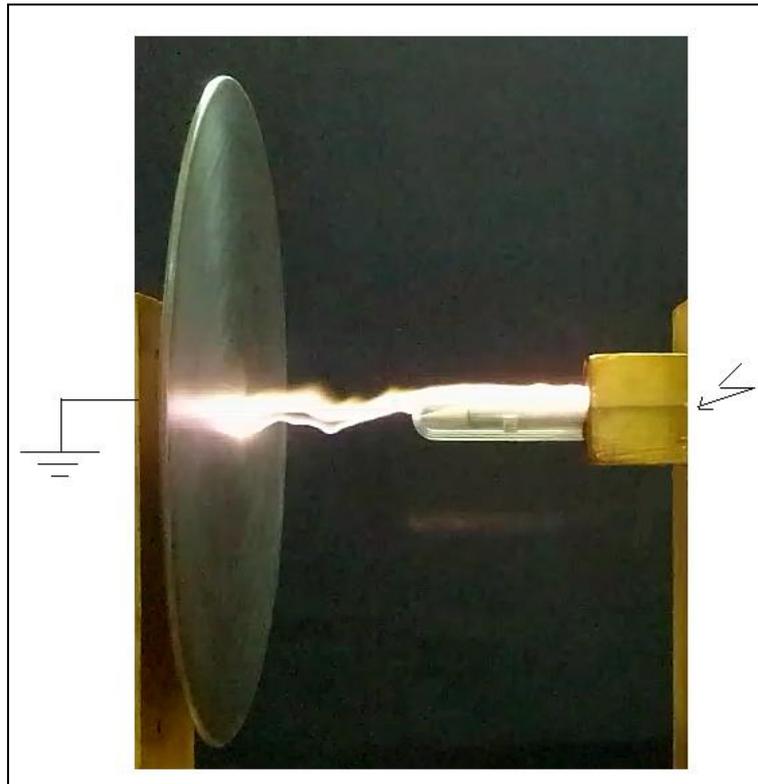


Fig. IV.18 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique

Nous déduisons de la figure IV.18 que l'espace d'air est régi pratiquement par une seule décharge de type streamers positive émanant de la pointe mise sous tension et évoluant dans l'air jusqu'au centre du plan. Un schéma explicatif du parcours de la décharge est présenté sur la figure ci-dessous (**Fig. IV. 19**).



Partie expérimentale

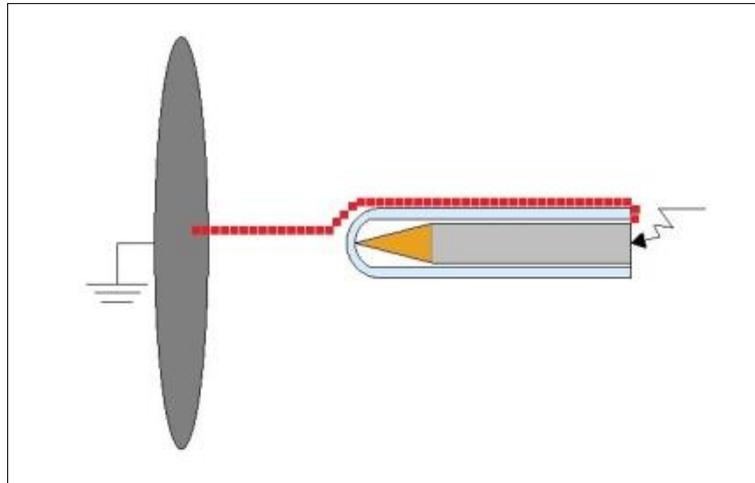


Fig. IV. 19 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement du tube et du claquage de l'air

La figure IV.19 donne une meilleure visualisation du phénomène électrique qui se déplace en glissant sur la surface du tube après en amorçant l'air pour rejoindre le plan mis à la terre.

IV.6.1.1.3 Longueur des tubes

Pour cette partie nous avons exposé les tensions disruptives associées à chaque longueur des tubes (**Fig. IV. 20**) pour montrer l'effet de l'allongement de la distance parcourue par la décharge électrique sur la performance électrique du système étudié.

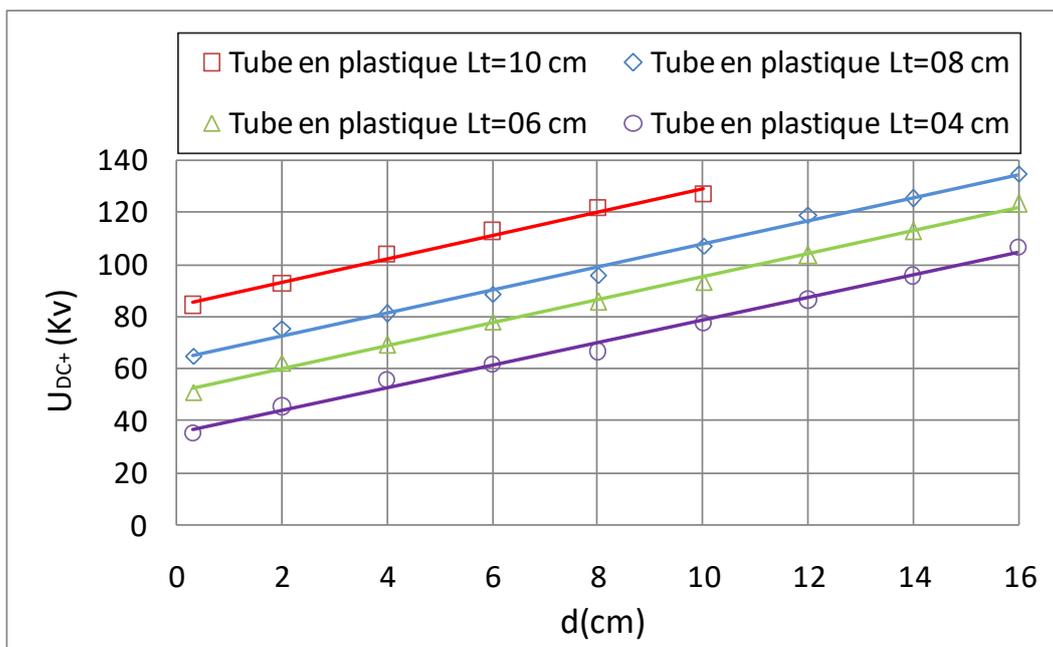


Fig. IV. 20 : Tension disruptive en fonction de la longueur des tubes et de la distance interélectrode



Partie expérimentale

Nous déduisons de la caractéristique $U=f(d)$ (**Fig. IV. 20**) que pour une longueur du tube égale à 10cm, la tension disruptive est plus élevée, parce que la distance parcourue par la décharge électrique est plus grande pour chaque distance (d) comme le montre le schéma représentatif de la figure IV.21.

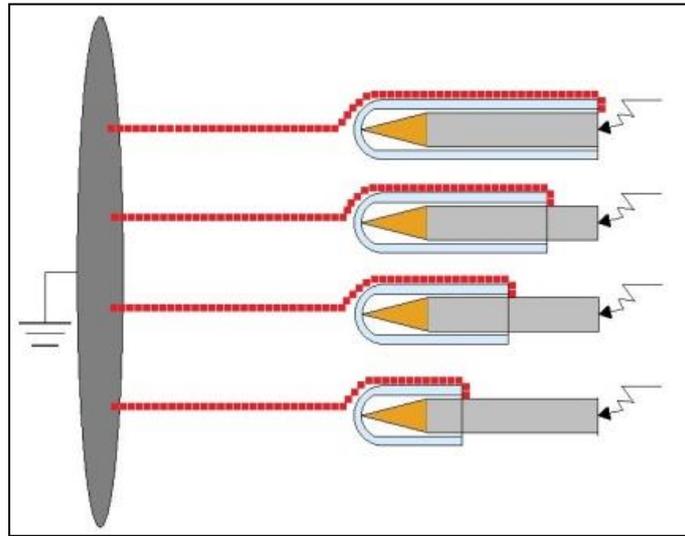


Fig. IV. 21 : Schéma explicatif montrant le chemin du contournement des tubes et du claquage de l'air

Pour conclure nous dirons que pour une taille donnée de l'intervalle d'air, la tension disruptive croît avec la longueur du tube. La tension augmente du recouvrement partiel de la pointe jusqu'à ce qu'elle devienne plus significative pour un recouvrement total de celle-ci.

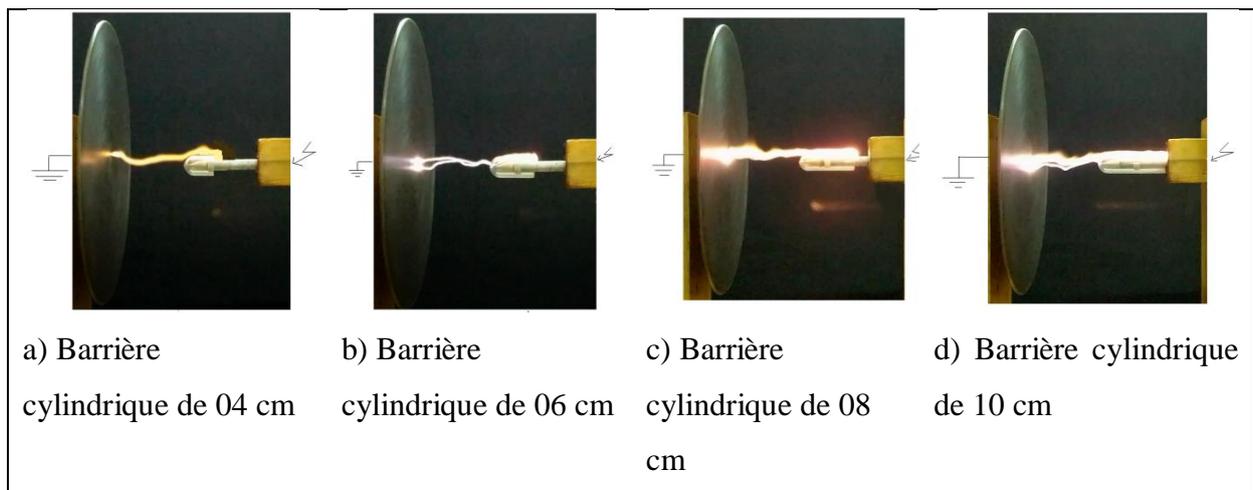


Fig. IV. 22 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique pour une distance interélectrode de 10 cm



Partie expérimentale

IV.6.2 Atmosphère polluée

Nous avons pollué nos tubes séparément de façon à avoir des couches uniformes, bien que dans le cas réel nous n'aurons jamais une pollution uniforme des systèmes d'isolation. Pour notre cas d'étude nous avons fait le choix de polluer uniformément et de prendre une conductivité électrique égale à 25mS/cm qui correspond à une pollution très sévère, afin de simuler des cas défavorables, qui correspondent lors d'une situation réelle à une atmosphère polluée et humidifiée.

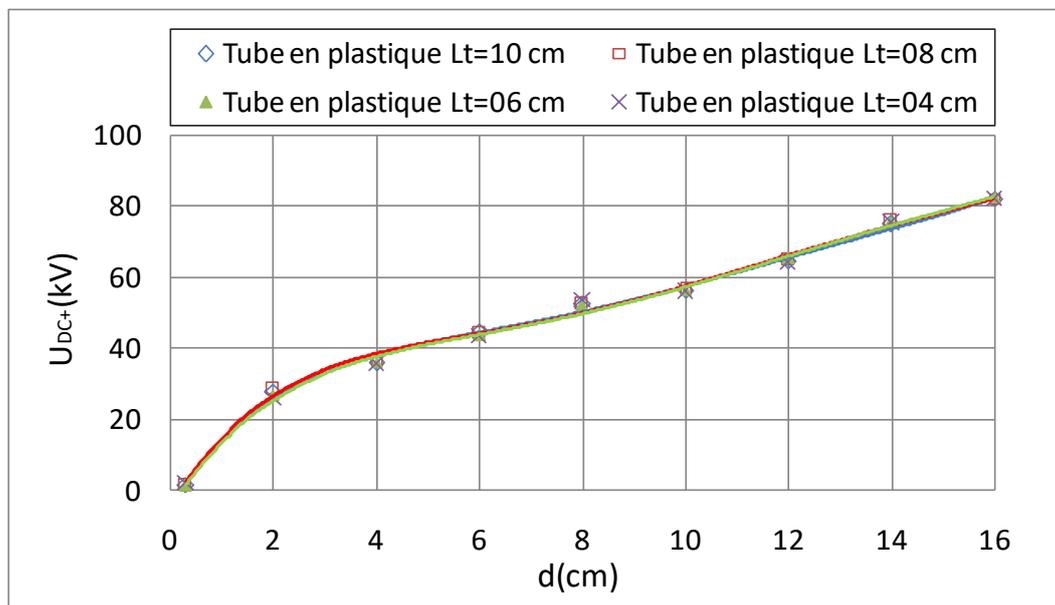


Fig. IV.23 : Tension disruptive du système pointe-plan avec barrière polluée en fonction de la distance interélectrode ($\sigma=25\text{mS/cm}$)

Nous déduisons des résultats rassemblés sur la figure IV.23, que la superposition des quatre courbes n'est dû qu'au fait que nos tubes ont changé de caractéristique externe, plus exactement la résistance de surface ; comme nous l'avons déjà cité, cette résistance est sensiblement influencée par les conditions ambiantes.

La stratification uniforme des dépôts de pollution rend la résistance de surface plus faible, ce qui nous permet de dire que nos tubes sont devenus conducteurs.

Ce phénomène est mieux expliqué, sur le schéma de la figure IV.24, qui montre le trajet de la décharge qui commence de l'extrémité arrondi du tube vers le plan, alors que son déplacement sur la surface des tubes se fait principalement par courant.



Partie expérimentale

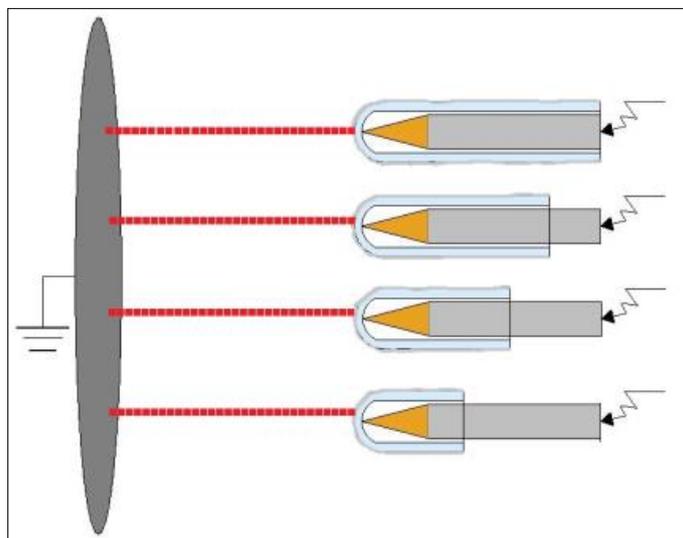


Fig. IV. 24 : Schéma explicatif montrant le chemin du claquage de l'air sous une atmosphère pollués et humidifiée

Pour identifier le type de décharge qui règne dans l'intervalle d'air à atmosphère polluée, nous avons procédé à la détermination de la pente pour la comparer au gradient de potentiel des leaders et streamers [23].

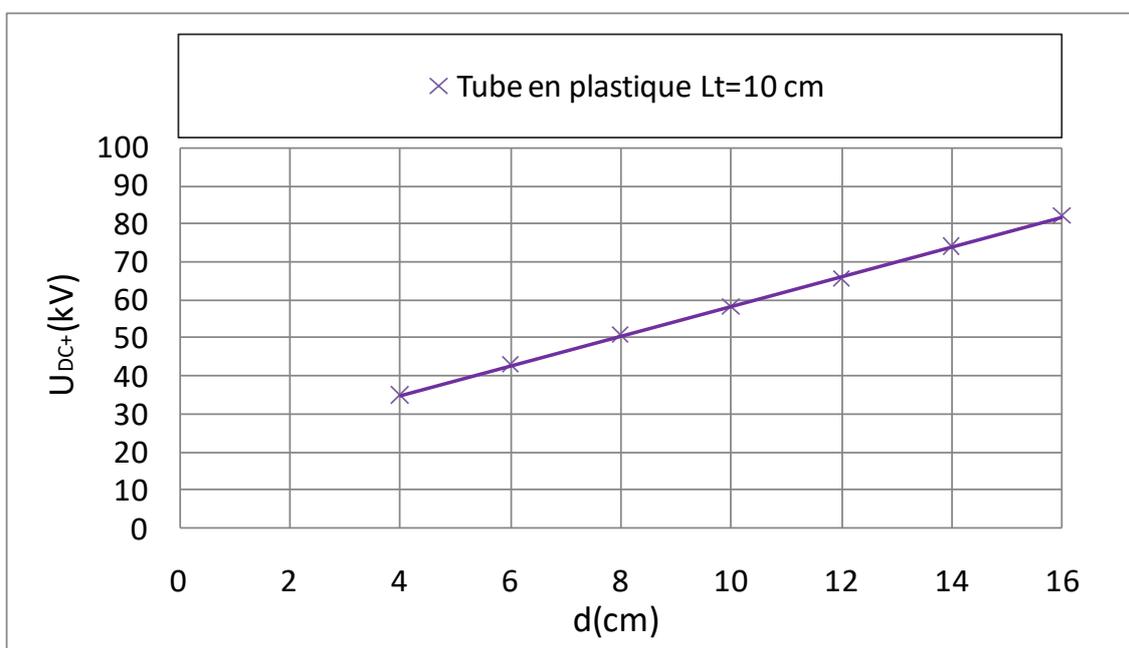


Fig. IV. 25 : Pente de la caractéristique de la tension disruptive dans le cas d'un tube de 10 cm de longueur



Partie expérimentale

La droite représenté sur la figure IV.25 est d'équation $U_{DC+}=3.907d+19.14$ et de pente 3.907kV/cm, à partir de la comparaison au gradient du potentiel du leader et streamer, nous pouvons dire que le type de décharge qui se développe dans l'intervalle d'air compris entre 4cm et 16cm est de type streamer positive. La figure IV.26 donne une meilleure visualisation du phénomène électrique qui s'est produit dans cet espace d'air.

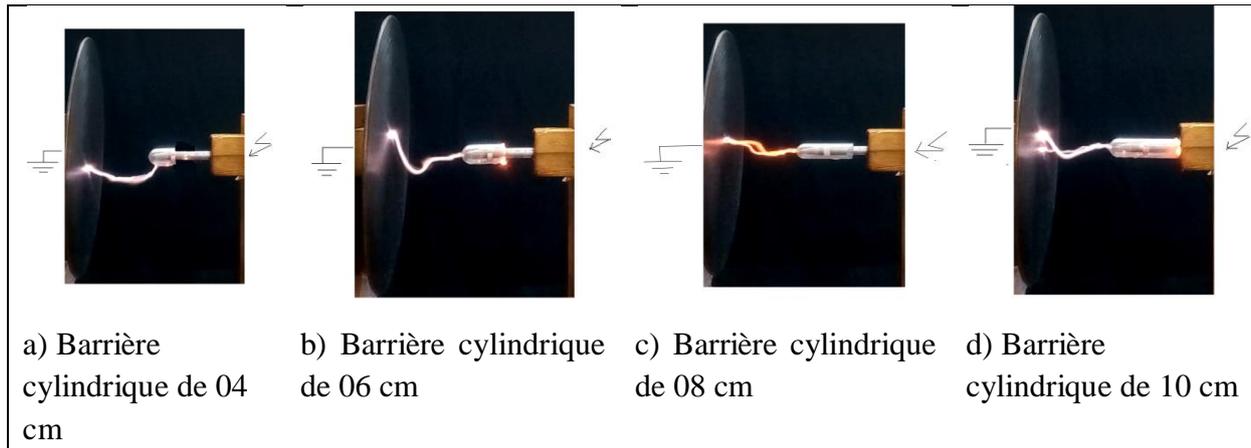


Fig. IV. 26 : Chemin de la décharge électrique pour un système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique pour une distance interélectrode de 10 cm

IV.7 Etude de l'efficacité du système pointe-plan avec barrière enveloppante

L'étude de l'efficacité (ξ_b) des intervalles d'air est déjà traitée par R. Boudissa et al [37] et N. Bouatia et al [38]. Celle-ci a été aussi définie dans la littérature [39] comme étant le rapport des tensions disruptives d'un espace d'air avec et sans barrière isolante.

Dans notre cas nous avons choisi de tracer la caractéristique de l'efficacité en fonction de la distance interélectrode pour le tube de 08 cm de longueur dans le cas d'atmosphère propre et polluée.



Partie expérimentale

IV.7.1 Atmosphère propre

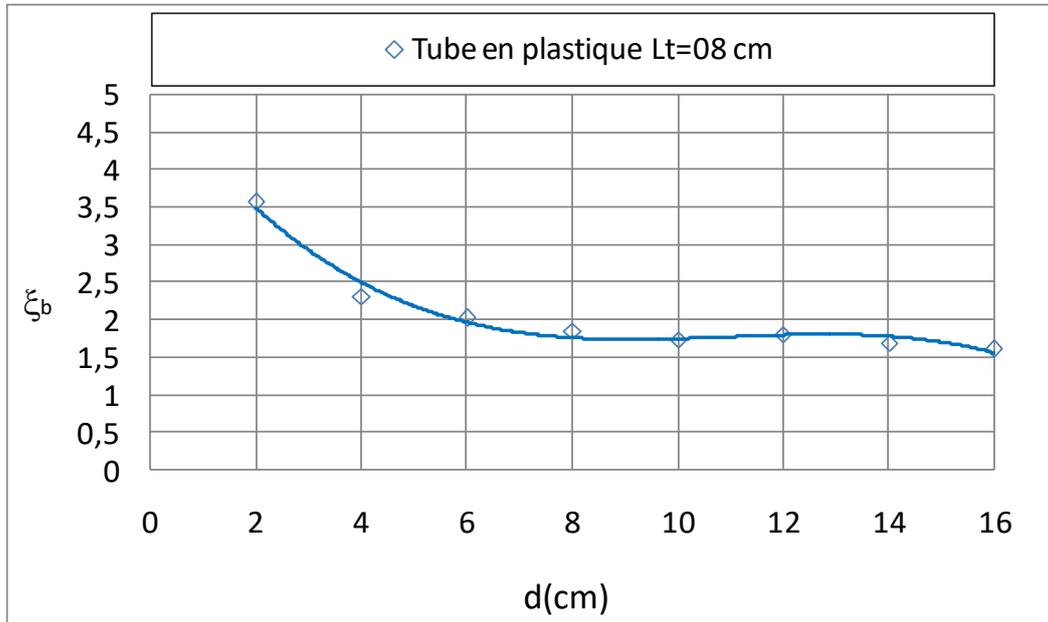


Fig. IV.27 : Efficacité électrique du système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique propre de 08 cm de longueur

Il en résulte de la figure IV.27, que l'efficacité du système étudiée est maximale quand celui-ci représente un petit intervalle d'air, et qui diminue à chaque fois que la pointe s'éloigne du plan mis à la terre parce que le champ électrique perd son uniformité, de plus en plus ; nous pouvons dire que ce n'est plus efficace de protéger notre système avec une barrière enveloppante pour des intervalles d'air qui dépasse 08 cm.



Partie expérimentale

IV.7.2 Atmosphère polluée

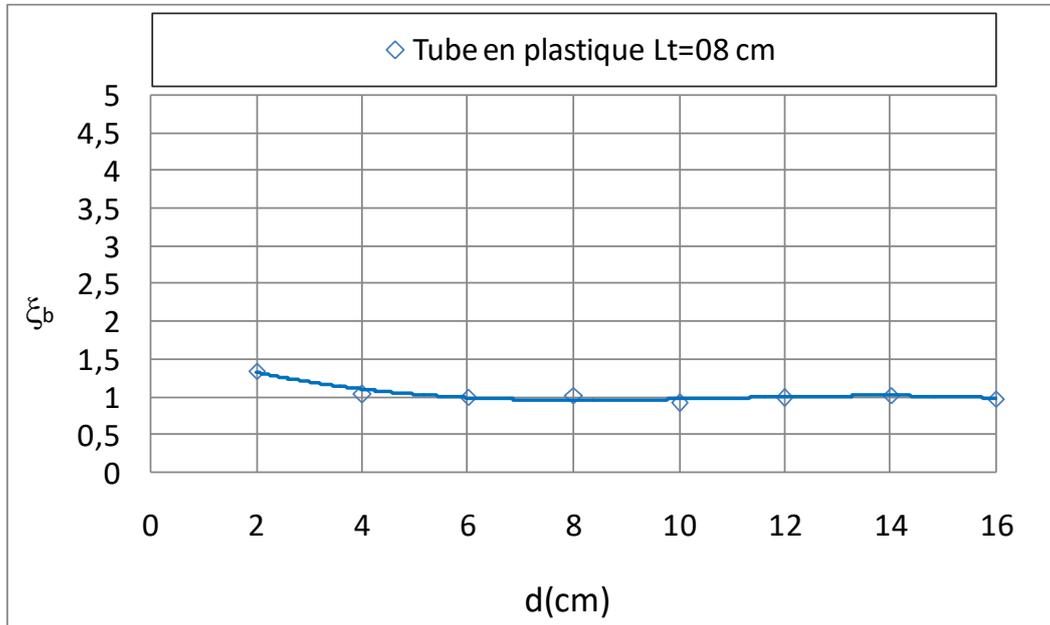


Fig. IV.28 : Efficacité électrique du système pointe-plan protégé par une barrière cylindrique polluée de 08 cm de longueur

Il en découle de la figure IV.28, que pour un tube pollué, l'efficacité est plus faible que celle obtenue avec un tube propre et qui varie peu avec la distance interélectrode. Le résultat de cette courbe montre l'influence de l'état de surface des isolants dans les systèmes d'isolation et la nécessité de maintenir les barrières d'isolation toujours propres et sèches.

IV.8 Comparaison de performance électrique

Nous avons procédé à une comparaison entre la performance électrique d'un système pointe-plan protégé par deux types de barrières et un système pointe-plan sans barrière, comme le montre la figure IV.29. Notre tube a 10 cm de longueur et une surface de 105.87 cm² et nous l'avons comparé à une barrière plane aussi de 10 cm de longueur et une surface de 100 cm², étudiée par S. Slimani [9].

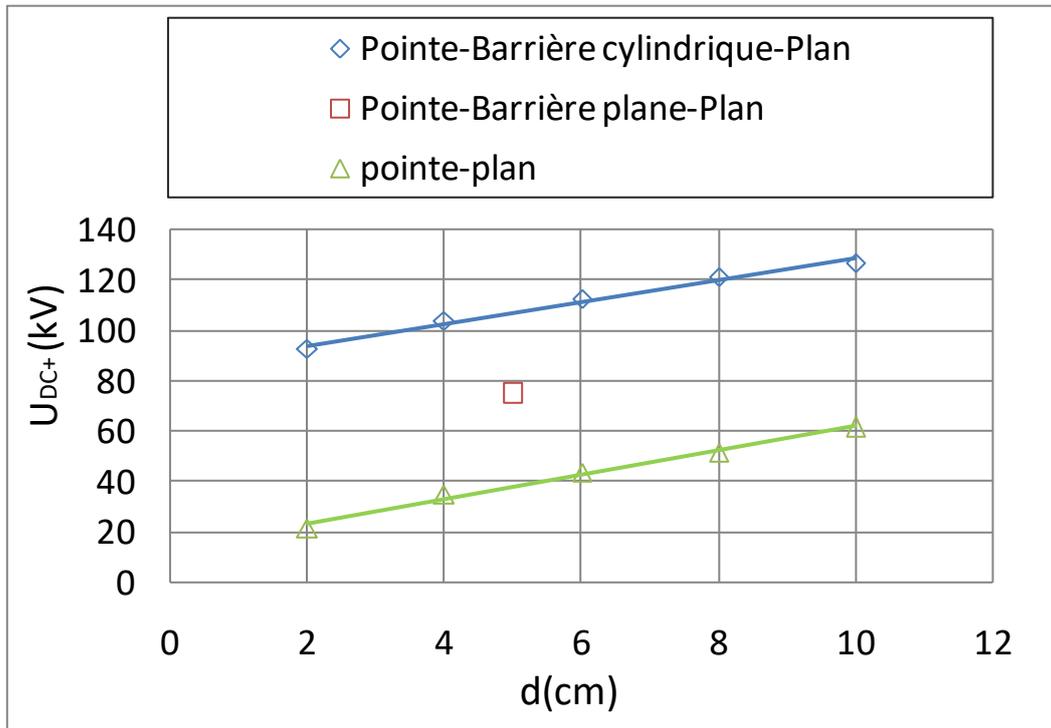
Partie expérimentale

Fig. IV. 29 : Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – barrière cylindrique– plan et un système pointe-barrière plan-plan sous tension continue positive

Nous remarquons de la figure IV.29 qu’avec la barrière cylindrique, la tension disruptive est plus élevée que pour une barrière plane, qui est due principalement au fait qu’avec barrière cylindrique le chemin parcourue par la décharge est plus grand.

IV.9 Vieillessement électrique

Durant notre étude, nous avons soumis nos tubes en plastique à plusieurs essais sous différentes intensités du champ électrique ce qui a causé leur dégradation (**Fig. IV.30**). Nous avons remarqué des chemins de dommage à la surface du diélectrique. Les chemins de dégradation peuvent prendre différentes formes allant des structures d'expansion qui ressemblent aux branches d'un arbre à des structures denses similaires à un buisson, ce phénomène est appelé arborescence en raison de sa forme particulière [34].

Partie expérimentale

Fig. IV.30 : Image montrant le phénomène d'arborescence apparu sur nos tubes durant les essais

IV.10 Conclusion

A partir des résultats obtenus de nos essais, nous pouvons reprendre enfin à notre problématique, nous avons conclu que :

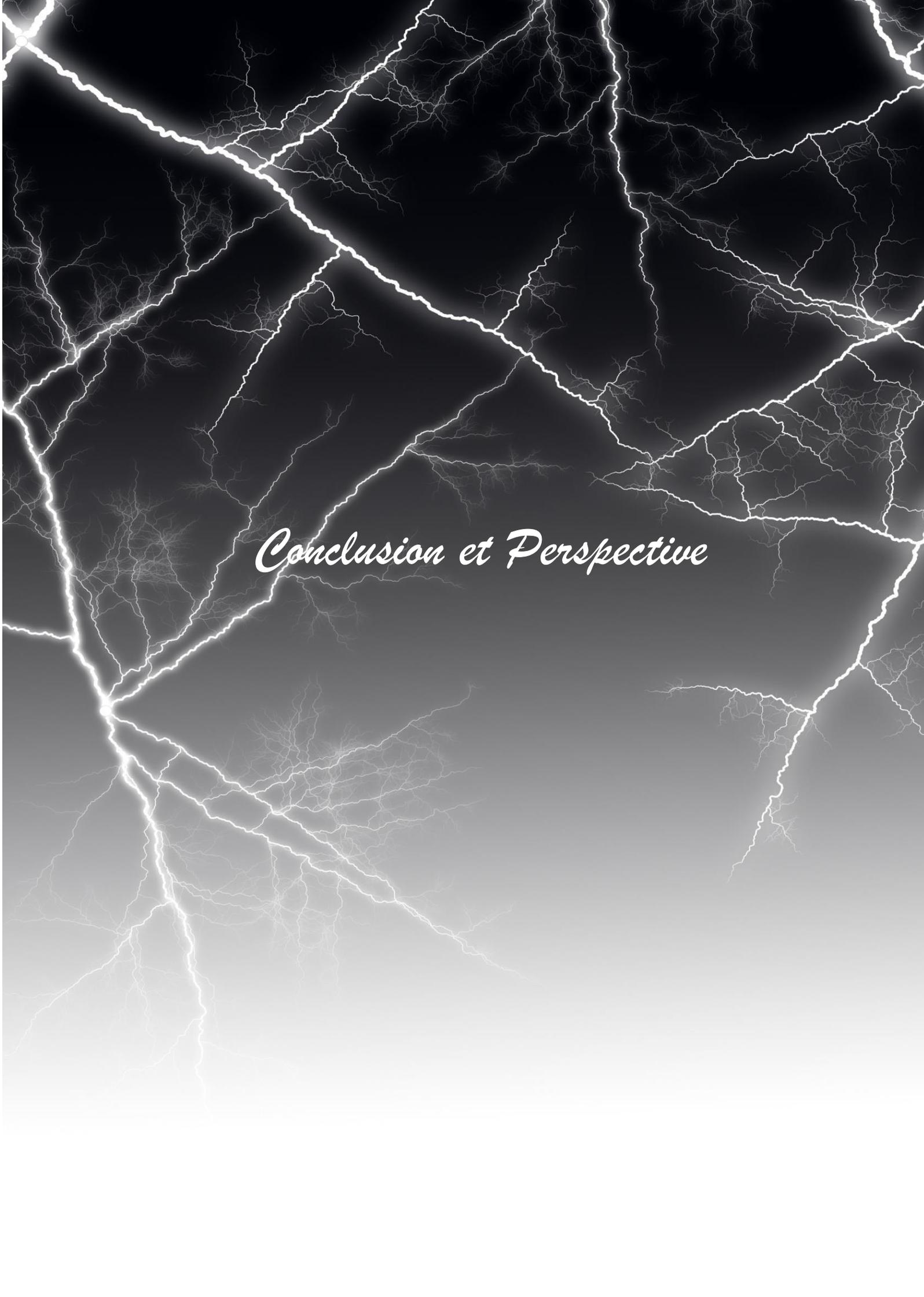
- Le système avec barrière cylindrique propre et sèche est plus rigide que celui sans barrière. Le taux d'augmentation de la tension disruptive entre un système avec et celui sans barrière cylindrique est au environ de 132.51 % pour des petits intervalles d'air de 2 cm à 6 cm dans le cas d'une configuration pointe-plan.
- Lorsque nous utilisons une barrière cylindrique polluée enveloppant la pointe sous tension continue positive, le système devient moins rigide de 38.3 % que lorsque le système était protégé par une barrière propre, et donc le système dans telle situation perd sa performance. La barrière isolante se comporte comme une barrière conductrice et le système complet présente une rigidité minimale.



Partie expérimentale

Des investigations antérieures ont montré que ce minimum est atteint même pour des faibles valeurs de la conductivité superficielle de l'écran [40].

- En étudiant l'efficacité du système, nous avons déduit que la barrière utilisée dans le système pointe-plan présente une efficacité de 357 % dans le cas propre et de 135 % dans le cas où la barrière est polluée.



Conclusion et Perspective

L'électricité est un phénomène physique qui a toujours existé, il se manifeste dans la nature sous forme d'éclair et de foudre. L'homme a pris beaucoup du temps pour la comprendre puis la maîtriser pour enfin l'intégrer dans la plupart de ses activités quotidiennes. Cependant cette forme d'énergie n'est pas sans impacts négatifs ; le courant électrique ainsi que la tension caractérisant l'électricité, présentent de sérieux dangers du point de vue matériel et humain. Dans cette optique, plusieurs recherches ont été menées ayant pour seul vecteur ; le développement des systèmes d'isolations en utilisant des matériaux qui ont des propriétés particulières leur permettant d'assurer la fonction d'isolement.

Les matériaux isolants sont utilisés sous diverses géométries et dimensions, dont on peut citer les barrières dans les systèmes d'isolation. L'insertion d'une barrière isolante, se traduit par un freinage du développement de la décharge électrique, ce qui conduit à l'amélioration de la performance électrique du système dont elle fait partie, et cela a été démontré expérimentalement dans de nombreux travaux de recherche, dont les plus récents ont fait le sujet de notre premier chapitre.

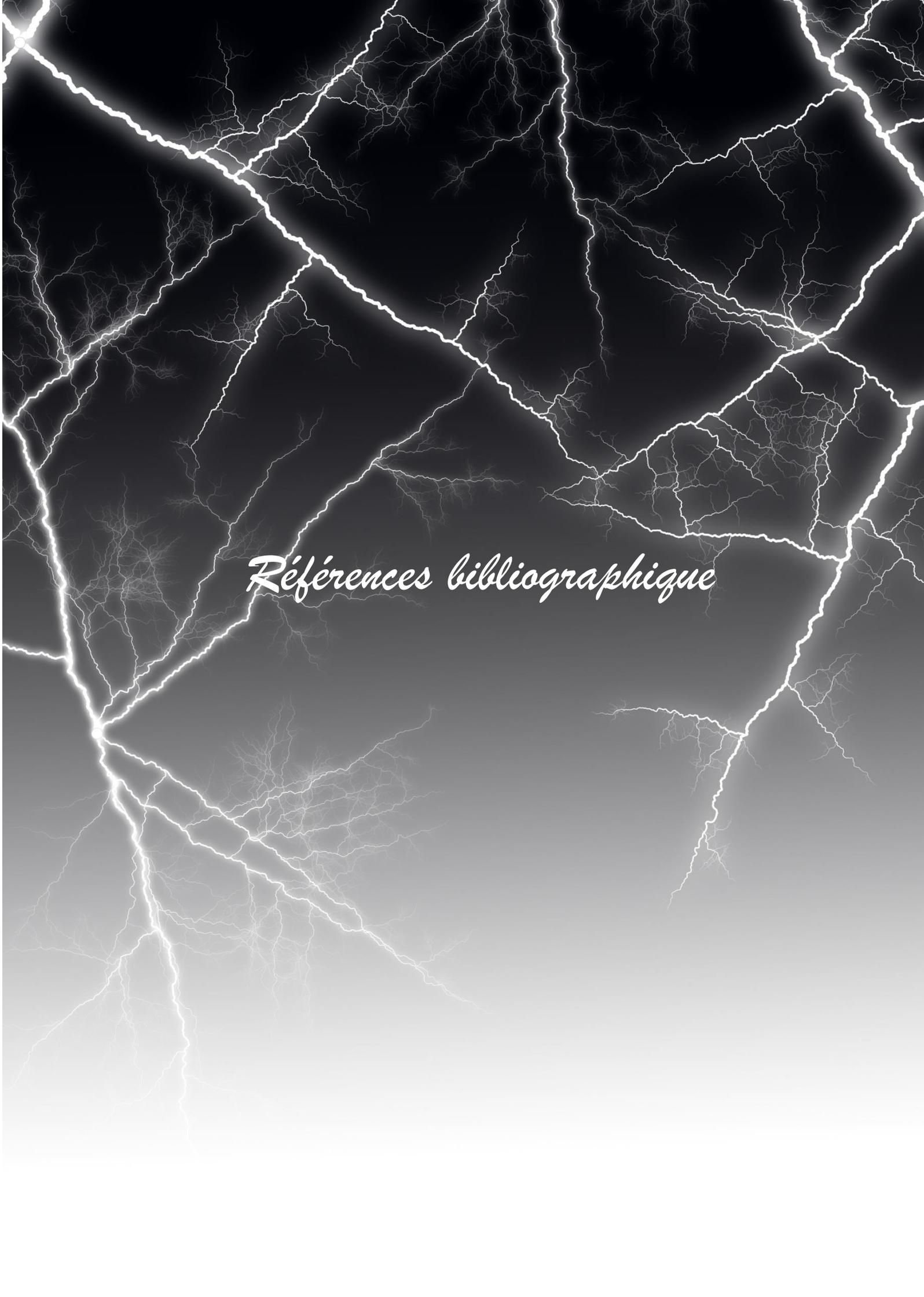
Nous avons également abordé dans le chapitre 2 la question des choix des barrières isolantes qui dépend principalement des caractéristiques ainsi que des aptitudes de ces dernières à supporter certaines contraintes électriques, mécaniques, thermiques et chimiques pour assurer une durabilité de service et une utilisation économique de ce dernier sans qu'il y ait apparition de dégradation ou de phénomènes de vieillissements. Les principales causes des phénomènes de vieillissement dans les systèmes d'isolations sont dues aux différentes décharges électriques qui se développent dans de tels systèmes. Pour au moins diminuer la probabilité d'apparition de décharges électriques dans les systèmes d'isolation, plusieurs études se sont basées sur la rigidité électrique des isolations.

Notre thématique de recherche porte sur l'étude de la performance électrique d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme avec barrière enveloppant l'électrode sous tension continue, où nous avons conclu les points suivants :

➤ L'insertion d'une barrière cylindrique isolante propre et sèche dans l'intervalle d'air pointe-plan, ajoute un niveau de performance remarquable au système étudié, car il devient plus rigide de 43 % par rapport au cas sans barrière isolante. Nous avons pu augmenter la tenue électrique du système de configuration pointe-plan.

➤ Lorsque nous utilisons une barrière cylindrique enveloppant la pointe sous tension continue positive dans le cas pollué, le système devient moins rigide de 38.3 % que lorsque le système était protégé par une barrière propre, et donc le système dans telle situation perd sa performance. Par conséquent des mesures de dépollution de la barrière deviennent obligatoires afin de garder le niveau d'isolement exigé pour ce système.

La recherche est par essence inachevée, c'est un champ très vaste, nous ne pouvons pas résumer une thématique de recherche au bout de quelques pages, or que les chercheurs essaient toujours d'améliorer leurs informations, nous pouvons conclure de l'étude de l'efficacité du système avec barrière cylindrique isolante, propre et sèche, que cette dernière ne garantit une isolation efficace que dans les cas de petits intervalles d'air ($d = 2\text{cm}$) et qui diminue à chaque fois que la pointe s'éloigne du plan mis à la terre parce que le champ régnant dans cet intervalle d'air perd son uniformité. En d'autres termes, ce type d'isolation perd son efficacité dans des distances interélectrodes supérieures à 8 cm, chose qui peut faire l'objet des prochaines études de recherches.



Références bibliographique

Références bibliographiques

[1] M. L. Coulibaly, «caractérisation des décharges électriques se propageant aux interfaces gaz/solide – relation entre propriétés des matériaux et dimension fractale », thèse de doctorat, école doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon, 7 juillet 2009.

[2] L. CALIAP, « Etude de l'optimisation des isolants d'un point de vue diélectrique pour les contraintes du gis », thèse de doctorat, université de Grenoble institut polytechnique de Grenoble, 16 septembre 2010.

[3] guide pour l'évaluation et l'identification des systèmes d'isolation du matériel électrique, publ, CEI, no 505, Genève, 1975.

[4] A. ROTH, «Hochspannungstechnik». Berlin, 1927, pp. 118.

[5] E. MARX, «der elektrische durchschlag von luft-inhomogenen feld». Arch. Elek. bd. 24. pp.61, 1930.

[6] E. Marx, «air dielectric strength in non uniform fields». E.T. Z. H 33, pp.1161, 1930.

[7] H. ROSER, «dielectric strength screen in air». E. T. Z. H 17, bd.53, pp.411, 1932.

[8] H. ROSER, «schirme zur Erhöhung der Durchschlagspannung in Luft». E. T. Z. H 17, bd53, 1932, pp.411.

[9] S. SLIMANI, R. BOUDISSA, S. MERABET, “effet du nombre d'écrans et l'état de leur surface sur la tenue électrique d'un système à champ non uniforme sous tension continue positive”, 2^{ème} conférence internationale sur la maintenance, la gestion, la logistique et l'électrotechnique (cimgle'12), ENSET Oran, Algérie, 2012.

[10] H. MADI, R. BOUDISSA, T. BELHOUL, «effet du mode de distribution de pollution sur la performance d'une barrière isolante contaminée sous tension alternative », 2 ème Journée internationale d'électrotechnique de maintenance et de compatibilité électromagnétique papier n° HT-12, Oran 2010, Algérie.

[11] T. BELHOUL, N. BOUATIA, S.SLIMANI, F. BOUCHELGA, R. BOUDISSA, K. D. HAIM, S. KORNHUBER, « Comparaison de la performance électrique d'un system Plan-

Plan et Pointe-Pointe avec barrière sous condition de pollution très sévères et tension alternative», 11^{ème} congrès de la société française d'électrostatique, GRENOBLE 2018, France.

[12] K. HAROUN et D. BOUDRAA, « étude comparative de la performance électrique de deux configurations plan - plan et pointe - barrière isolante – plan sous tension continue et conditions de pollution très sévères », mémoire de recherche Master, université Abderrahmane mira – Bejaia faculté de technologie département de génie électrique, 2016/2017.

[13] P. N. MAVROIDIS, P. N. MIKROPOULOS and C. A. STASSINOPOULOS, “impulse behavior of dielectric-covered rod-plane air gaps”, IEEE transactions on dielectrics and electrical insulation vol. 19, no. 2, 2012, pp. 632 – 640.

[14] T.BELHOUL « performance d'un intervalle d'air avec barrière isolante recouvrant l'électrode haute tension sous pollution très forte et tension alternative » thèse de doctorat, U.A.M BEJAIA ,2018.

[15] M. DUPEUX, AIDE-MEMOIRE « SCIENCE DES MATERIAUX, © Dunod, Paris, 2004, ISBN 2 10 005458 9.

[16] R. ARARIA « Modélisation d'une décharge luminescente à pression atmosphérique » thèse de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 06/03 /2013.

[17] Vocabulaire Electrotechnique International, Dispositifs électriques et magnétiques”, In Haute Tension. Pub. CEI, No. 50 (151), Genève, 1978.

[18] W. MOSCH, E. LEMKE, M. Eberhardt, “Einführung in die Hochspannungstechnik: Luftisolierung”. VEB Kongress- und Werbedruck, Oberlungwitz, mars 1984, Dresden, RFA.

[19] S. HANS; G. VOLKER; R. ANKE, Chemical Composition of the Atmosphere, 2012, page 17,(ISBN 978-3-642-30182-7. Springer-Verlag Berlin Heidelberg,).

[20] M. NEMAMCHA, “hautes tensions : Claquage des isolants” livre, OPU, 2001.

[21] M. AGUET et M. LANOZ, livre haute tension, publié sous la direction de JACQUES NEIRYNCK.

[22] D. KIND and H. KAMER, "HIGH-VOLTAGE INSULATION TECHNOLOGIE", Springer Fachmedien Wiesbaden 1985, ISBN 978-3-528-08599-5.

[23] A. KUECHLER, HOCHSPANNUNGS-TECHNIK, 3, neu bearbeitete auflage, Springer, VDI, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

[24] F. Amir et KH. Namaoui, "Etude du comportement d'un isolateur pollué soumis à une tension alternative". Mémoire d'ingénieur, UAM, Juin 2004.

[25] New Illustrated Encyclopedic Dictionary (Large Russian Encyclopedia, Moscow, 2000) in Russian.

[26] B.M. YAVORSKIJ and A.A. DETLAF, Hand-book on Physics (Nauka, Moscow, 1965) in Russian.

[27] K. HAMOUMECHE, Étude de l'interaction entre une barrière de papier et une décharge couronne en géométrie pointe-plan, Thèse de magister, UMMTO, décembre 2009.

[28] K.L ALMAKSOUR. « Etude de l'émission cathodique sous vide en présence d'un champ électrique intense et des paramètres physiques gouvernant son intensité », thèse de doctorat, Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Français, 27/01/2014

[29] Électrotechnique-Sitelec.org (10février, 2018), <https://sitelec.org/index.php>, 05/06/2018

[30] L. B. LOEB, J. M. MEEK, The Mechanism of Electric Spark, Stanford University Press, 1941.

[31] H. RAETHER, Electron Avalanches and Breakdown in Gases, Butterwords London, 1964.

[32] A. PEDERSEN, Criteria for Spark Breakdown in Sulfur Hexafluorid, IEEE Trans, on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-89, numéro 8, 1970

[33] E. NOLOT, « Etude de dispositifs de protection contre les effets des décharges électriques au sein d'un générateur de tres haute tension : l'accélérateur vivitron », L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE 1, 31 octobre 1996.

[34] L. GARZON, A.R., MANENTI F., DOTELLI G., Villa A., BARBIERI L., Gondola M., 2015, Lumped mechanism for polymeric dielectric degradation under high electrical fields, Chemical Engineering Transactions, 43, 1711-1716 DOI: 10.3303/CET1543286.

[35] N. BOUATIA et N. BENOURET, « recherche de l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe avec deux barrières polluées sous tension alternative », mémoire de recherche Master, université Abderrahmane mira –Bejaia, 26/06/2016.

[36] W. MOSCH, E. LEMKE, M. EBERHARDT, “Einführung in die Hochspannungstechnik: Luftisolierung”. VEB Kongress- und Werbedruck, Oberlungwitz, mars 1984, Dresden, RFA.

[37] R. BOUDISSA, N. HARID, R. BAERSCH, «Effet de l'état de surface et d'isolement sur l'efficacité d'un écran inséré dans un système à champ non uniforme sous tension alternative », Laboratoire de Génie Electrique, U. A. M. Bejaia, Algérie

[38] N. BOUATIA, R. BOUDISSA and T. BOUGHANI, “Imperfection du système pointe-pointe protégé par une barrière polluée sous tension alternative”, Laboratoire de Génie Electrique de Bejaia, Université A. Mira de Bejaia, Algérie, 10^{ème} CNHT 2016 - University of Science and technology - Houari Boumediene May 24-26 Algiers.

[39] T. BELHOUL, R. BOUDISSA «Influence du nombre d'écrans pollués sur l'amorçage d'un espace d'air à champ non uniforme sous tension alternative». 2^{ème} Journée internationale d'électrotechnique de maintenance et de compatibilité électromagnétique, papier n° HT-13, Oran 2010, Algérie.

[40] H. BOEHME; K. SCHWARZER, “Isolierung von Mittelspannungschaltanlagen”, Elektrie 28 (1974) Heft 11, Seite 592-593.

Titre : performance électrique d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme avec barrière enveloppant l'électrode sous tension continue.

Résumé : Pour se méfier des dangers qui peuvent se manifester lors du fonctionnement des appareillages hauts tension, il est strictement nécessaire d'installer des systèmes d'isolation. Le dimensionnement de ces systèmes est basé sur une étude théorique et une démarche expérimentale, comme c'est le cas pour ce travail. L'objectif principal de cette étude est de montrer, le niveau de performance électrique que pourrait ajouter une barrière cylindrique enveloppant l'électrode sous tension continue positive, dans un système pointe-plan ; à partir des mesures de la rigidité diélectrique de l'isolation mixte gaz/barrière.

Mots clés : Système d'isolation, Performance électrique, rigidité diélectrique, isolation mixte

Title: Electrical performance of a non-uniform electric field air gap with a barrier surrounding the DC voltage electrode.

Abstract: To be wary of the dangers that can occur during the operation of high voltage equipment, it is strictly necessary to install insulation systems. The sizing of these systems is based on a theoretical study and an experimental approach, as is the case for this work. The main objective of this study is to show, the level of electrical performance that could add a cylindrical barrier enveloping the positive DC voltage electrode, in a tip-plane system; from measurements of the dielectric strength of the mixed gas / barrier insulation.

Keyword: Insulation system, Electrical performance, dielectric strength, mixed insulation.