

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE.



UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA
BEJAIA



FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



**Recherche de l'équivalence de performance électrique
entre deux configurations Plan – Plan et Pointe – Pointe
avec deux barrières polluées sous tension continue**

Option : Techniques de Haute Tension



Réalisé par :

Mr. AGHELOUM Fahem

Melle RAGHDI Nora

Soutenu publiquement le 28/06/2017 devant le jury composé de :
Mr. ZEBBOUDJ YUCEF Professeur Univ.de Béjaïa Président
Mr. REHMANI ALLAOUA MCB Univ.de Béjaïa Examineur
Mr. BOUDISSA RABAH Professeur Univ.de Béjaïa Rapporteur
Mr. BOUATIA Nawel Doctorante Univ.de Béjaïa Co-Rapporteur

Année université : 2016 /2017



Remerciement

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

Arrivé au terme de notre travail, nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre promoteur M^r R. BOUDISSA et notre Co-promotrice M^{me} N. Bouatia, pour son aide, et ses connaissances en haute tension et ses conseils utiles, le suivi et l'intérêt qu'ils n'ont cessé de nous apporter jusqu'à l'achèvement de notre travail

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

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





Dédicaces

Je dédié ce modeste travail à :

Mes chers parents qui ont toujours été derrière mes exploits, avec leur aide matérielle et morale durant tout mon cursus que Dieux les protège et les garde en bonne santé.

A mes grands parents.

A mes chers frères.

À Yacine et tous mes amis (es) sans exception et tous ceux qui me sont chers.

R. NORA





Dédicace

*A ma très chère mère, qui représente pour moi l'exemple du
Sacrifice du dévouement, et de l'honnêteté
A mon père, symbole de patience et du courage
Mes très chères sœurs Ryma, Ghania, Nawal
Mes très chers frères KARIM, MEHDI, Malek
A toute la Famille AGHELOUM et boukrout
A Tous mes Ami (e)s, baby, lkhaïta lesquels j'ai trouvé
A Tous mes Ami (e)s, chez lesquels j'ai trouvé
Réconfort et soutien dans les moments les
Plus pénibles
Que je dédie ce travail*

A. FAHEM



Fig. I. 1 : Caractéristiques du système pointe - pointe avec une barrière

Fig. I. 2 : Schéma de mesure et de visualisation (SG: Appareil de Commande manuelle ou automatique du transformateur; Tr: Transformateur BT/HT; Cam: Caméra rapide; PC: Ecran de PC; Oe: Objet d'essai)

Fig. I. 3 : Tension continue positive disruptive du système pointe- un écran -pointe en fonction de la position de la barrière dans l'intervalle d'air interélectrode

Fig. I. 4 : Système d'électrodes pointe - pointe et support de fixation de la barrière de protection

Fig. I. 5 : Efficacité électrique d'un système à barrière propre et sèche en fonction de la position relative et la largeur d'une seule barrière de protection

Fig. I. 6 : système pointe – pointe protégé par un tube isolant

Fig. I. 7 : Tension disruptive en alternative d'un système pointe - pointe protégé par une barrière sous forme de tube en atmosphère propre et sèche

Fig. I. 8 : Système d'électrodes pointe - pointe et support de fixation des barrières de protection (a : Pointe - 2 barrières – pointe, b : support des barrières)

Fig. I. 9 : Efficacité électrique en alternative du système à deux barrières propres et sèches dont l'une est en contact avec la pointe sous tension en fonction de leur largeur et de la distance entre elles ($d = 5$ cm)

Fig. I. 10 : Système d'électrodes pointe – pointe protégé par deux tubes

Fig. I. 11 : tension alternative disruptive d'un système pointe – pointe protégé par des barrières propres en fonction de la distance interélectrode

Fig. I. 12 : Comparaison de la performance électrique en alternative des deux systèmes plan – plan métalliques et pointe – 2 barrières – pointe sous atmosphère propre et sèche

Fig. I. 13 : Tension alternative disruptive d'un système pointe - pointe protégé par une barrière polluée en fonction de la distance interélectrode

Fig. I. 14 : Décharge électrique dans l'intervalle d'air pointe - pointe avec barrière uniformément polluée sous tension alternative

Fig. I. 15 : système pointe – pointe et support de la barrière

Fig. I. 16 : Performance électrique en alternative des systèmes pointe – 1 barrière fortement polluée – pointe et pointe - plan en fonction de la distance interélectrode

Fig. I. 17 : Chemin de la décharge de rupture de l'intervalle d'air des deux systèmes pointe – plan et pointe – barrière polluée – pointe ($d = 8 \text{ cm}$, $D_p = l_b = 40 \text{ cm}$, $\sigma_v = 30 \text{ mS/cm}$)

Fig. I. 18 : Tension continue positive disruptive du système pointe-écran-pointe en fonction de la conductivité électrique de la solution recouvrant uniformément l'écran

Fig. I. 19 : Performance électrique en alternative du système pointe - pointe avec barrière totalement et uniformément polluée en fonction de sa conductivité électrique superficielle et sa largeur ($d = 5 \text{ cm}$, $D_p = 40 \text{ cm}$)

Fig. I. 20 : $\hat{U}_{ACmax} = f(l_b)$ d'un système pointe - pointe avec barrières sous atmosphère polluée ($d = 5 \text{ cm}$)

Fig. I. 21 : Tension continue positive disruptive du système pointe-écrans-pointe en fonction de la conductivité électrique de la solution recouvrant uniformément les écrans

Fig. I. 22 : Performance électrique en alternative du système à deux barrières totalement et uniformément polluées en fonction de leur conductivité superficielle ($e_b = 6 \text{ mm}$, $d = 5 \text{ cm}$)

Fig. I. 23 : Chemin de la décharge de rupture de l'intervalle d'air pointe – pointe avec deux barrières

Fig. I. 24 : Model expérimental pointe – pointe avec deux barrières contaminées

Fig. I. 25 : Circuit de mesure de la tension disruptive du système pointe – pointe avec barrières polluées et de visualisation de la décharge électrique

Fig. I. 26 : Tension alternative disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – 2 barrières polluées –pointe en fonction du mode de distribution de pollution et de la conductivité de celle-ci

Fig. I. 27 : Chemin de la décharge électrique reliant les bords des deux barrières uniformément et fortement polluées en contact avec les pointes sous tension alternative et à la terre du système ($\sigma_v = 25 \text{ mS/cm}$)

Fig. I. 28 : Tension alternative disruptive d'un système pointe – pointe protégé par deux tubes pollués en fonction de la distance interélectrode

Fig. I. 29 : Equivalence de performance électrique en alternative entre les systèmes, pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan – plan avec gouttes d'eau ($\sigma_v = 30 \text{ mS/cm}$)

Fig. I. 30 : Allure de la courbe de modélisation de la disruption alternative de l'intervalle d'air

des configurations d'électrodes avec , pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan – plan métalliques recouverts de gouttes d'eau ($\sigma_v = 30\text{ms/cm}$)

Fig. I. 31 : système d'électrodes et supports des barrières utilisés

Fig. I. 32 : Allure de la courbe de modélisation de la disruption sous tension alternative de l'intervalle d'air des configurations d'électrodes pointe – 1 barrière polluée – plan avec gouttes d'eau, pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan - plan métalliques recouverts de gouttes d'eau ($\sigma_v=25\text{ms/cm}$)

Fig. II. 1: Cellules de mesure de rigidité diélectrique des isolants

Fig. II.2: Champ électrique propre à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension

Fig.II. 3: Circuit électrique équivalent série

Fig.II. 4: Circuit électrique équivalent parallèle

Fig. II. 5: Schéma de mesure des résistivités transversale ρ_{tcc} et superficielle ρ_{scc}

Fig. II. 6: Représentation schématique de la structure du verre de silice

Fig. II. 7 : Décharge par Streamers ($d \leq 1m$)

Fig. II. 8: Décharge par leader

Fig II.9. Décharge à barrière diélectrique

Fig II.10 : Système à décharges glissantes

Fig.II.11. Figure de Lichtenberg observée sur une interface verre/SF₆ pour une impulsion de Tension de 30 kVx1 μ s sous une pression de 0,3 MPa

Fig . II.12: Photographie de décharges glissantes obtenues sur une interface huile/bakélite sous tension impulsionnelle d'amplitude 40 KV (valeur crête) pour les deux polarités : (a) polarité négative, (b) polarité positive.

Figure II.13 : Photographies des décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en bakélite de différentes épaisseurs : (A) 2 mm, $U_{\text{crête}} = 44$ kV, (B) 10 mm $U_{\text{crête}} = 53$ kV et (C) 20 mm, $U_{\text{crête}} = 58$ Kv

Fig. III. 1 : Variantes d'uniformité et de non uniformité de distribution de pollution sur une barrière isolante [15] (σ_f : conductivité faible, σ_F : conductivité forte)

Fig. III. 2 : Dispositif allemand de surveillance de la sévérité de pollution

Fig. III. 3 : Sonde à électrodes planes avec papier absorbant

Listes des figures

Fig. IV. 1 : Modèle expérimental pointe – pointe avec une et deux barrières contaminées, plan – plan avec gouttes d’eau (D_p : diamètre du plan métallique circulaire; l_b : largeur de la barrière en verre; e_b : son épaisseur)

Fig. IV. 2 : Circuit de mesure de la tension disruptive du système pointe – pointe avec barrières polluées et de visualisation de la décharge électrique

Fig. IV. 3: Appareil de mesure de la conductivité volumique des solutions polluantes (Conductimètre)

Fig. IV. 4: $H = f(H_r, T)$

Fig. IV. 5: $K_h = f(H)$

Fig. IV. 6 : Tension disruptive de l’intervalle d’air du système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Fig. IV. 7 : Chemin de la décharge évoluant dans l’espace d’air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue positive

Fig. IV. 8 : Décharge évoluant dans l’espace d’air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue positive ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Fig. IV. 9 : Tension disruptive de l’intervalle d’air du système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Fig. IV. 10 : Chemin de la décharge évoluant dans l’espace d’air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue positive ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Fig. IV. 12 : Tension disruptive de l’intervalle d’air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d’eau)

Fig. IV. 13 : Tension disruptive de l’intervalle d’air des systèmes plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d’eau)

Fig. IV. 9 : Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières uniformément et fortement polluées, et un système plan – plan métalliques avec gouttes d’eau

Fig. IV. 11 : Chemin de la décharge électrique court-circuitant l’intervalle d’air compris entre deux configurations plan – plan métalliques avec gouttes d’eau et pointe -2 barrières uniformément et fortement polluées – pointe ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Listes des figures

Fig. IV. 12 : Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Fig. IV. 13 : Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue négative

Fig. IV. 14 : Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe

Fig. IV. 15 : Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de la position de la barrière

Fig. IV. 16 : Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe

Fig. IV. 17 : Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe

Fig. IV. 18 : Tension disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

Fig. IV. 19 : Disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

Fig. IV. 20 : Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières uniformément et fortement polluées, et un système plan – plan métalliques avec gouttes d'eau

Fig. IV. 21 : Chemin de la décharge électrique court-circuitant l'intervalle d'air compris entre deux configurations plan – plan métalliques avec gouttes d'eau et pointe -2 barrières uniformément et fortement polluées – pointe

Listes des figures

Introduction générale

L'avantage fourni par l'utilisation des barrières est l'augmentation de la rigidité de l'air. Pour les intervalles relativement petits (<30cm), l'influence des barrières sur la rupture diélectrique de l'air fût déjà remarquée vers les années 1920 par C. P. Steinmetz.

Des travaux de recherches entreprises dans différents laboratoires de recherche ont étudié l'influence de différents types de barrières dans différents intervalles d'air à champ non uniforme aux tensions de choc à front raide, à tension continue et à fréquence industrielle.

L'étude du champ électrique est importante dans l'engineering haute tension. En effet, plus la tension est élevée, plus le champ électrique augmente. Les distances d'isolation nécessaires sont alors importantes et le matériel est encombrant, donc cher. Il faut utiliser au mieux les systèmes d'isolation afin de réduire la taille des appareils, mais sans pour autant en diminuer la qualité. Ainsi, un champ trop élevé signifie une durée de vie courte et un manque de fiabilité.

Suivant des conditions atmosphériques données, la disruption de l'air dépend largement de la forme des électrodes et du genre de la tension appliquée.

Dans la pratique, la majorité des configurations rencontrées peut être caractérisée, à partir d'une certaine distance interélectrodes, par des géométries à champs non uniforme pointe - pointe ou pointe - plan.

Sous une atmosphère propre et sèche, il a été prouvé par plusieurs chercheurs que l'introduction d'une barrière dans l'intervalle d'air à champ électrique non uniforme peut élever sa performance électrique de trois fois celle obtenue sans celle-ci. Cette amélioration est expliquée tout simplement par l'empêchement de tout passage de courant ou amorçage par décharge électrique de l'intervalle d'air compris entre ses parties sous tension et à la terre par un allongement de la distance d'isolement du système au moyen du chemin de glissement de celles-ci sur les grandes faces opposées de la barrière et/ou par uniformisation du champ électrique régnant entre la barrière et l'électrode plane à la terre

Les matériaux isolants solides sont fréquemment utilisés dans les intervalles d'air à cause du renforcement de la rigidité diélectrique. En l'occurrence, l'un des moyens utilisés pour réduire les distances d'isolement et l'encombrement d'une part, et augmenter la tension d'autre part, est l'insertion de barrières isolantes dans l'intervalle interélectrode.

L'introduction d'une barrière isolante modifie considérablement la tension disruptive aussi bien en milieu gazeux que liquide. En particulier, la barrière améliore la rigidité diélectrique, le champ électrique subit une déformation engendrant une nette augmentation de la tension disruptive du système.

L'idée de la protection des intervalles d'air à champ électrique non uniforme par des barrières isolantes, de dimensions bien définies, contre l'amorçage de leur espace a été lancée pour la première fois par Marx et Roser. L'insertion d'une barrière dans ce type d'intervalle a été imaginé dans le but de résoudre le problème de disruption de l'espace d'air délimité par des configurations d'électrodes composant certains équipements électriques lors de la réduction de leur volume.

Sous une atmosphère propre et sèche, il a été prouvé par plusieurs chercheurs que l'introduction d'une barrière dans l'intervalle d'air à champ électrique non uniforme peut élever sa performance électrique de trois fois celle obtenue sans celle-ci. Cette amélioration est expliquée tout simplement par l'empêchement de tout passage de courant ou amorçage par décharge électrique de l'intervalle d'air compris entre ses parties sous tension et à la terre par un allongement de la distance d'isolement du système au moyen du chemin de glissement de celles-ci sur les grandes faces opposées de la barrière et/ou par uniformisation du champ électrique régnant entre la barrière et l'électrode plane à la terre. Cependant lorsque de telles barrières sont installées dans les sites où règne une importante pollution atmosphérique, leurs surfaces contaminées deviennent alors le siège de dépôts composés d'un mélange de poussière diverses et de sels minéraux. L'humidification de ces dépôts polluants provoque la dissolution des sels et la formation de couches électrolytiques conductrice de courant électrique sur les surfaces des barrières contaminées. Par conséquent des décharges électriques partielles peuvent prendre naissance se développer et même réussir à court-circuiter l'intervalle d'air protégé.

Il a été démontré qu'une barrière insérée dans un intervalle d'air pointe – pointe, n'assure aucun rôle protecteur de celui-ci et que le système se comporte tout simplement comme une configuration pointe – plan qu'il faut impérativement protéger avec une deuxième barrière contre la disruption de son espace d'air.

Le but visé à travers ce présent travail consiste en la recherche de l'équivalence électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières en verre mise en contact avec les

deux pointes sous tension et à la terre d'un système plan – plan métalliques de même surface sous conditions de pollution très sévères et sous une tension continue positive et négative.

Pour ces raisons, notre présent mémoire se voit structuré en quatre chapitres.

Le premier chapitre traite un bref historique sur la synthèse des travaux de recherches sur la performance électrique des barrières isolantes de protection de l'intervalle d'air pointe – pointe sous tension et alternative et atmosphère quelconque.

Nous évoquons au deuxième chapitre les différentes propriétés électriques et les divers types d'isolations des barrières utilisées jusqu'à présent dans l'industrie électrique.

Le phénomène de pollution, sa caractérisation, sa simulation au laboratoire, ses effets néfastes sur l'équipement électrique ainsi que les diverses méthodes de lutte contre celle-ci sont décrits respectivement dans le troisième chapitre.

Au quatrième chapitre, nous exposons le protocole expérimental où sont présentés les divers dispositifs et méthodes de mesures adoptés dans notre étude. Les divers résultats obtenus et leurs interprétations sont présentés. Enfin, notre travail sera clôturé par une conclusion générale.

I. INTRODUCTION

L'influence des barrières isolantes a été remarquée par C.P Steinmetz vers 1920. Il a constaté l'augmentation de la tension disruptive de l'air entre deux électrodes sphériques, séparées par une barrière isolante.

Plusieurs chercheurs ont succédé par la suite pour mener des investigations plus poussées sur l'effet des paramètres électriques et géométriques des barrières insérées dans différentes configurations d'électrodes (pointe – pointe, pointe - plan, plan – plan) sur leur performance électrique, lorsque celles-ci sont soumises à des contraintes de tension continue, impulsionnelle et alternative.

Il résulte des récentes investigations menées par certains chercheurs une équivalence électrique entre les deux systèmes d'électrodes plan – plan et pointe – pointe protégés par deux barrières fortement polluées et mises sous tension alternative pour des distances interélectrodes variant entre 2 et 14 cm. Cependant il existe peu de recherche sous tension continue positive car l'étude n'a été réalisée que pour une distance de 5cm, et pas du tout de travaux sous tension continue négative. Dans ce qui suit nous allons passer en revue les résultats essentiels se rapportant à l'équivalence de performance électrique sous une tension continue entre l'intervalle d'air pointe – pointe sous la protection de deux barrières polluées et celui de la configuration plan – plan conventionnelle.

II. Atmosphère propre et sèche

II.1 Système avec une seule barrière

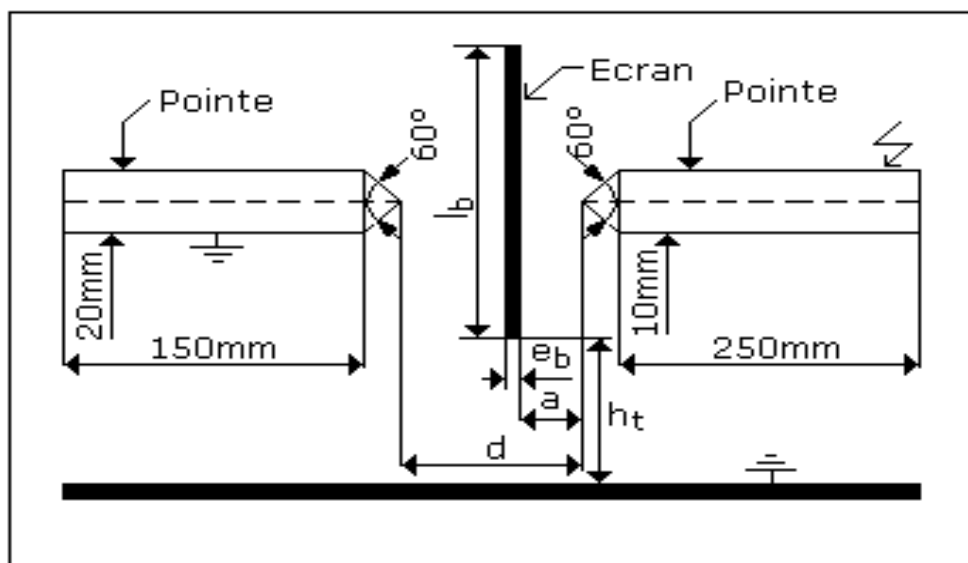


Fig. I. 1 : Caractéristiques du système pointe - pointe avec une barrière

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Les chercheurs ont étudié l'influence de la barrière en fonction de plusieurs paramètres :

Des paramètres géométriques de la barrière, telles que sa position, sa largeur ainsi que son épaisseur.

Parmi ces chercheurs Slimani [1] s'est intéressée à l'étude de l'influence de la position de la barrière sur la tension continue positive disruptive d'un système pointe-pointe représenté sur la **figure I. 1**.

La visualisation du phénomène électrique évoluant dans leur espace d'air est illustrée sur la **figure I. 2**.

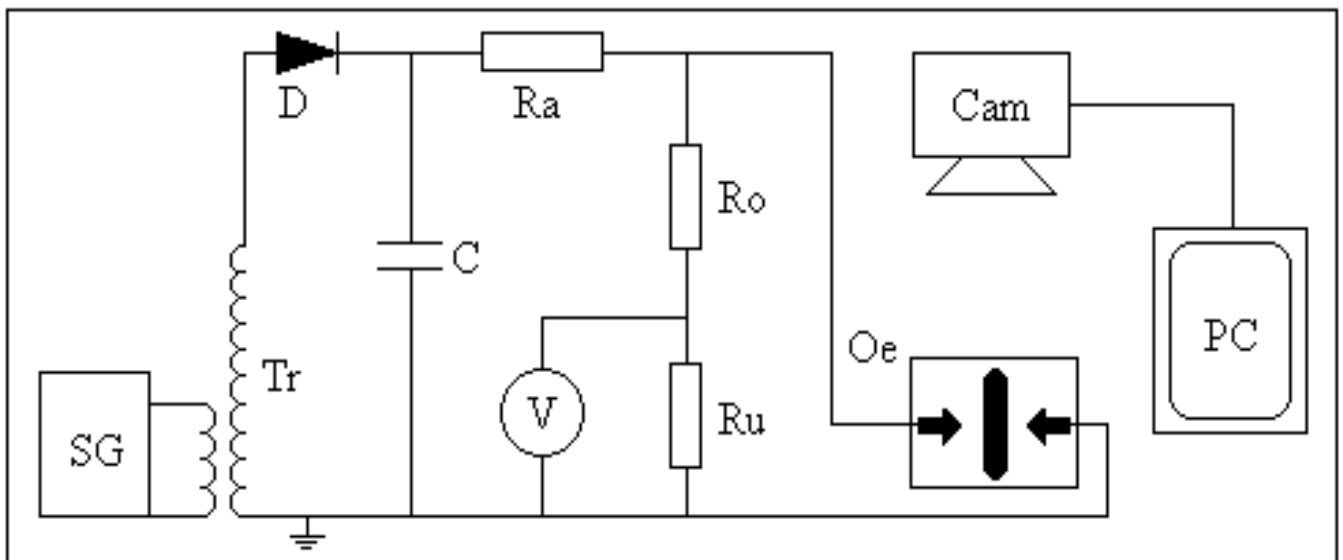


Fig. I. 2 : Schéma de mesure et de visualisation (SG: Appareil de Commande manuelle ou automatique du transformateur; Tr: Transformateur BT/HT; Cam: Caméra rapide; PC: Ecran de PC; Oe: Objet d'essai)

Les résultats sont illustrés sur la **figure I. 3**.

Il en résulte que la valeur maximale de la tension disruptive est atteinte lorsque la barrière isolante est en contact avec l'une des deux pointes.

Belhoul [2] a aussi étudié la performance électrique du système pointe – pointe avec barrière propre et sèche en fonction de sa largeur et sa position relative par rapport à l'électrode sous tension alternative pour une distance interélectrode qui variant entre 4 et 14 cm en utilisant le système d'électrodes et le support de fixation des barrières de protection donnés sur la **figure I.3**.

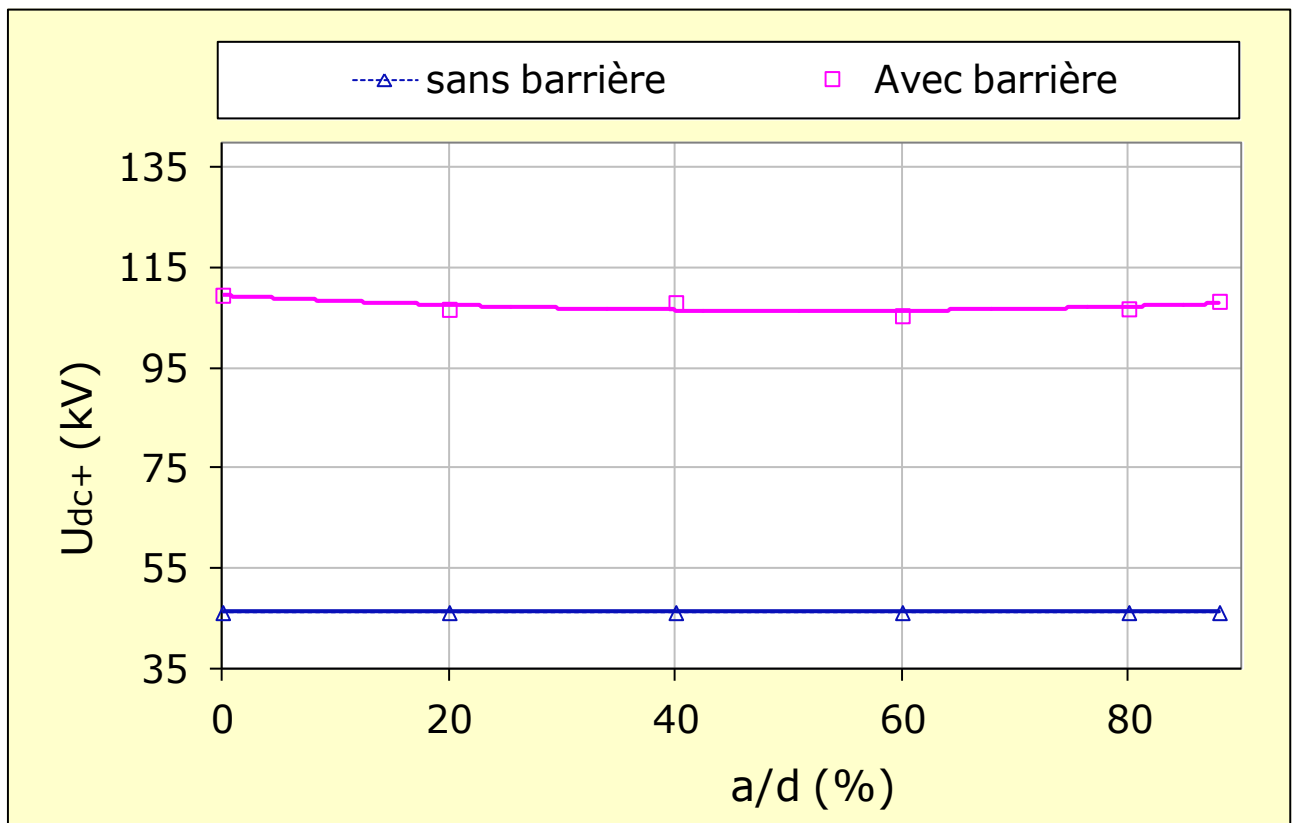


Fig. I. 3 : Tension continu positive disruptive du système pointe- un écran -pointe en fonction de la position de la barrière dans l'intervalle d'air interélectrode

Les résultats sont illustrés sur la figure I. 5.

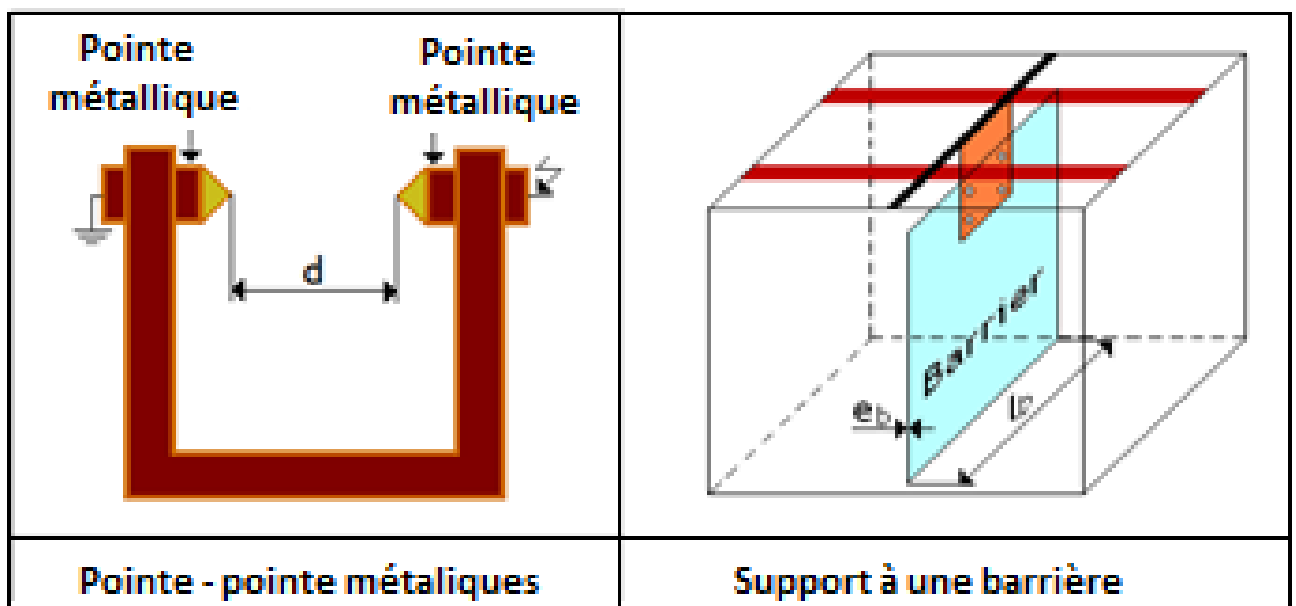


Fig. I. 4 : Système d'électrodes pointe - pointe et support de fixation de la barrière de protection

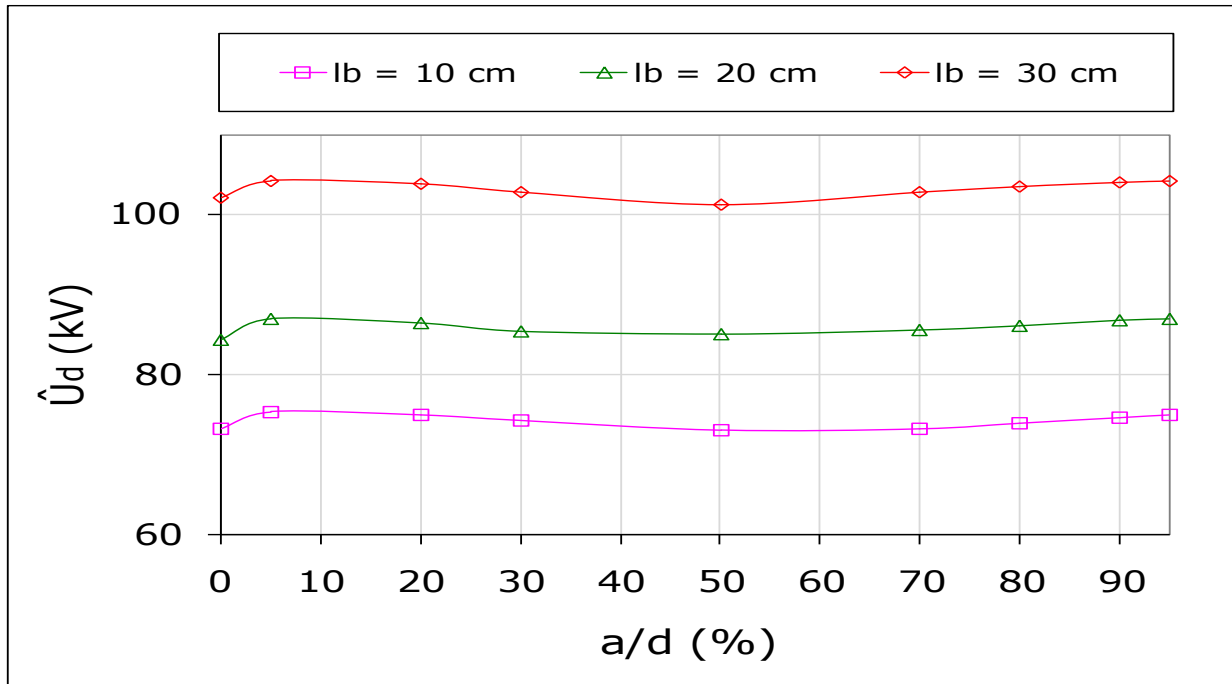


Fig. I. 5 : Efficacité électrique d'un système à barrière propre et sèche en fonction de la position relative et la largeur d'une seule barrière de protection

Belhoual [2] a constaté que la performance électrique en alternative de l'espace d'air du dit système, sous la protection d'une seule barrière, est maximale soit à l'approche de la barrière de l'électrode sous tension ($a/d = 5\%$) ou de l'électrode terre ($a/d = 95\%$). et la rigidité diélectrique du système croît avec l'élévation de la largeur de la barrière isolante essayée.

Pour ce qui est la forme de la barrière Belhoual [3] a étudié l'influence de l'introduction d'une barrière isolante sous forme d'un tube dans un système pointe – pointe sur la performance en alternative de ce dernier en fonction de la distance interélectrode. Le model expérimental utilisé est illustré sur la **figure I. 6).**

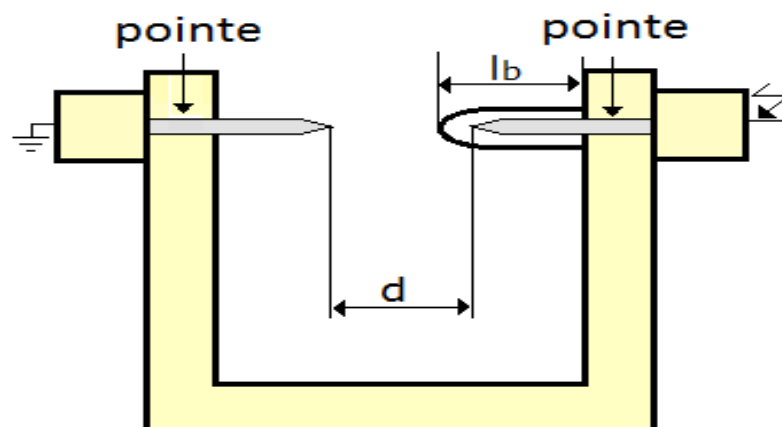


Fig. I. 6 : système pointe – pointe protégé par un tube isolant

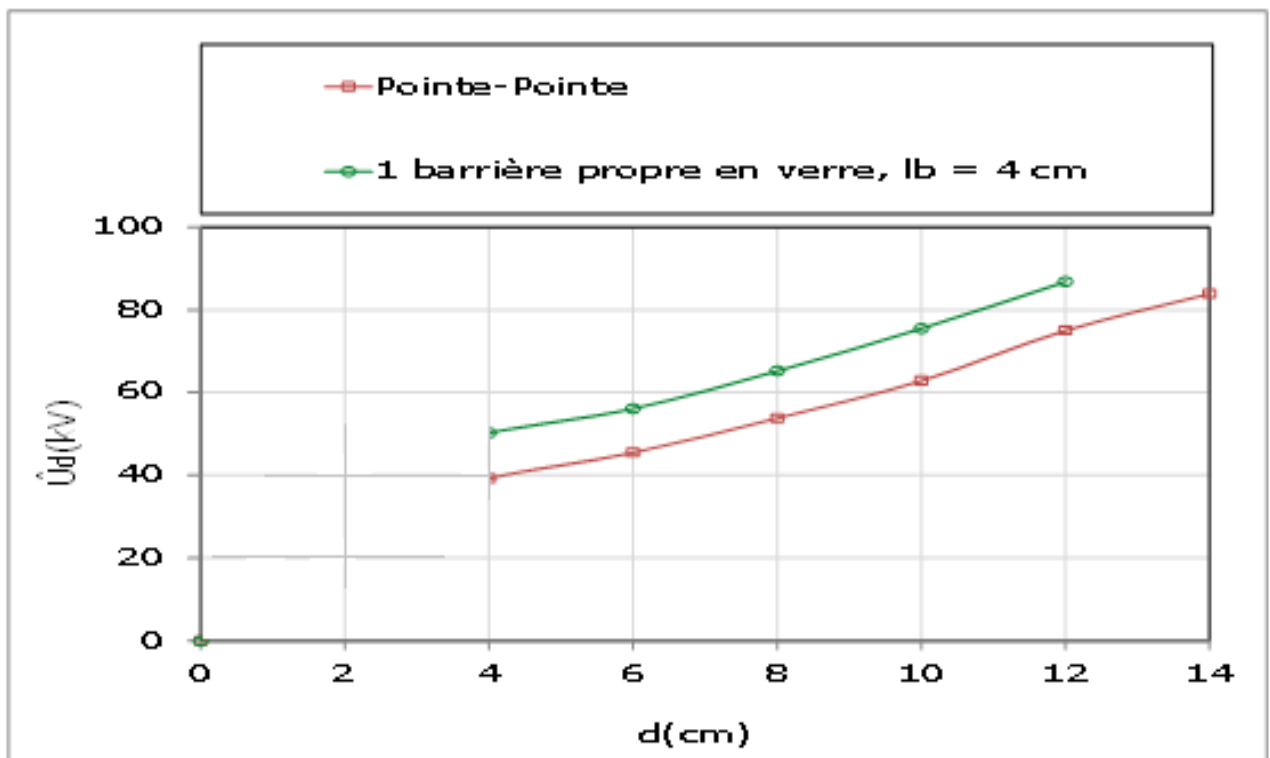
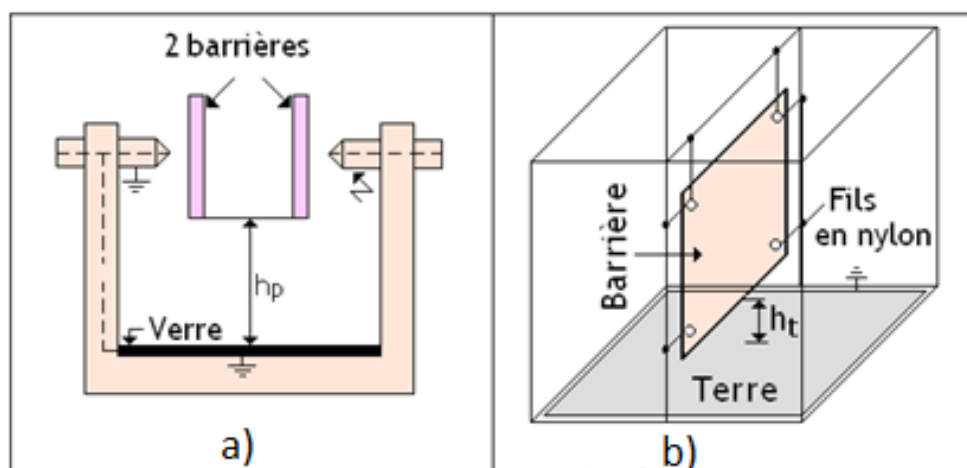


Fig. I. 7 : Tension disruptive en alternative d'un système pointe - pointe protégé par une barrière sous forme de tube en atmosphère propre et sèche

L'allure de la tension disruptive maximale en fonction de la distance interélectrode du système protégé par un seul tube de 4 cm est illustrée sur la **figure I. 7**. Il en ressort que l'insertion d'un tube dans un système pointe – pointe en atmosphère propre et sèche conduit à une augmentation de la tension disruptive de ce système.

II.2 Système avec plusieurs barrières



Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Fig. I. 8 : Système d'électrodes pointe - pointe et support de fixation des barrières de protection (a : Pointe - 2 barrières – pointe, b : support des barrières)

Yahiaoui [4] a étudié l'efficacité électrique en alternative du système à deux barrières propres et sèches dont l'une est en contact avec la pointe sous tension en fonction de la position entre elles et leur largeur ($d = 5$ cm). Le modèle expérimental est représenté sur sur la **figure I. 8**.

L'allure de l'efficacité du système avec deux barrières propres de même largeur, dont l'une est mise en contact avec la pointe sous tension et l'autre est éloignée de la première d'une distance a_{bb} est illustrée sur la **figure I. 9**

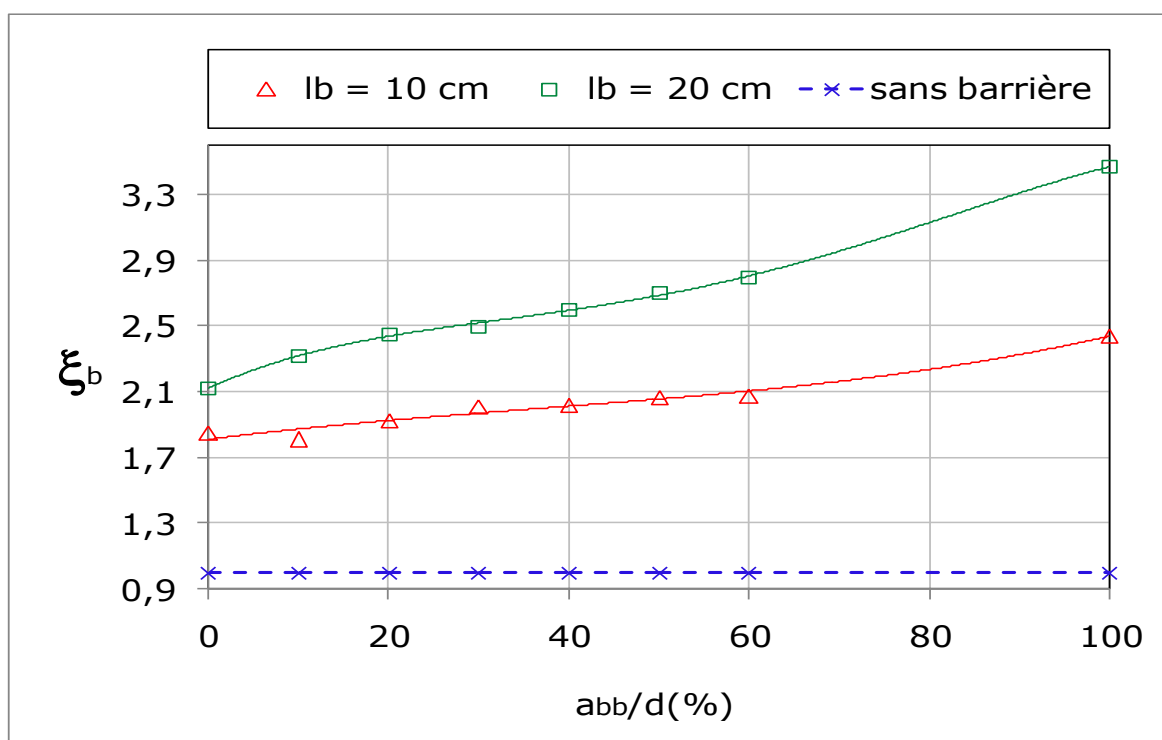


Fig. I. 9 : Efficacité électrique en alternative du système à deux barrières propres et sèches dont l'une est en contact avec la pointe sous tension en fonction de leur largeur et de la distance entre elles ($d = 5$ cm)

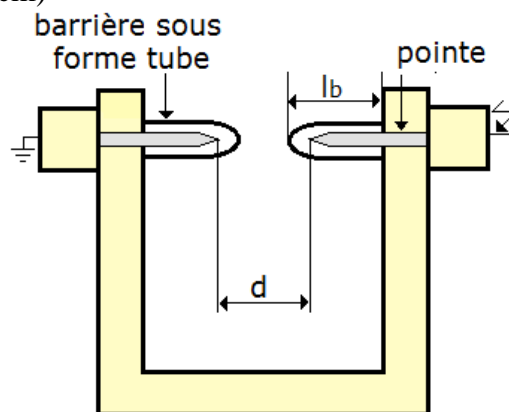


Fig. I. 10 : Système d'électrodes pointe – pointe protégé par deux tubes

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Il en résulte d'après yahiaoui [4] que l'efficacité électrique d'un tel système croît avec la largeur de la barrière. Sa valeur maximale est atteinte lorsque la deuxième barrière est en contact avec l'électrode mise à la terre.

Concernant la forme des barrières Belhoul [3] a étudié la performance électrique en alternative d'un système pointe-pointe protégé par deux barrières en forme de tubes en fonction de la distance interélectrode. Elle a utilisé le model expérimental sur la **figure I. 10**.

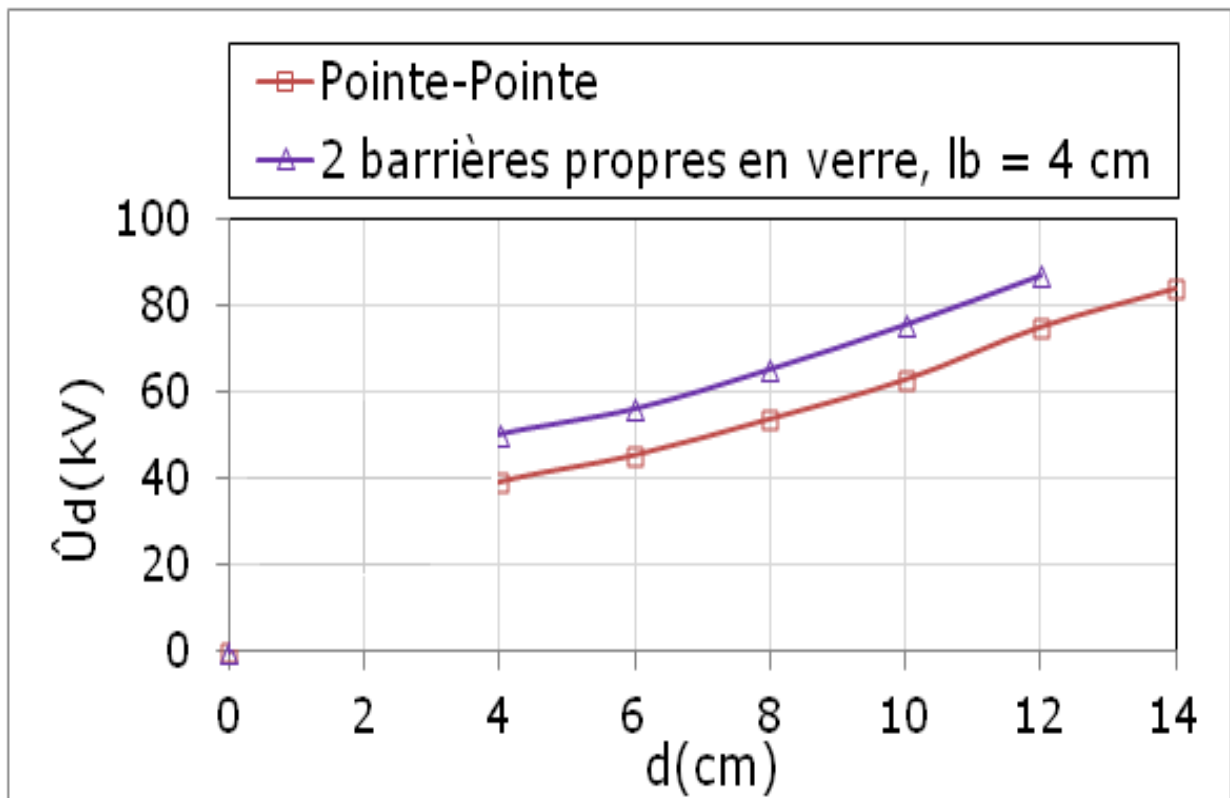


Fig. I. 11 : tension alternative disruptive d'un système pointe – pointe protégé par des barrières propres en fonction de la distance interélectrode

Il en résulte qu'après l'introduction de deux tubes isolants propres et secs la tension disruptive augmente par rapport à celle obtenue pour un système pointe - pointe sans ces tubes et elle croît avec la distance interélectrode.

II.3 Equivalence des deux systèmes plan - plan et pointe - pointe protégé par deux barrières sous atmosphère propre et sèche

la **figure I. 12** représente résultats obtenus par Bouatia [5] et Yahiaoui [4] concernant l'étude de la tension alternative disruptive en fonction de la distance interélectrode des deux systèmes plan – plan métalliques et pointe – deux barrières propres – pointe.

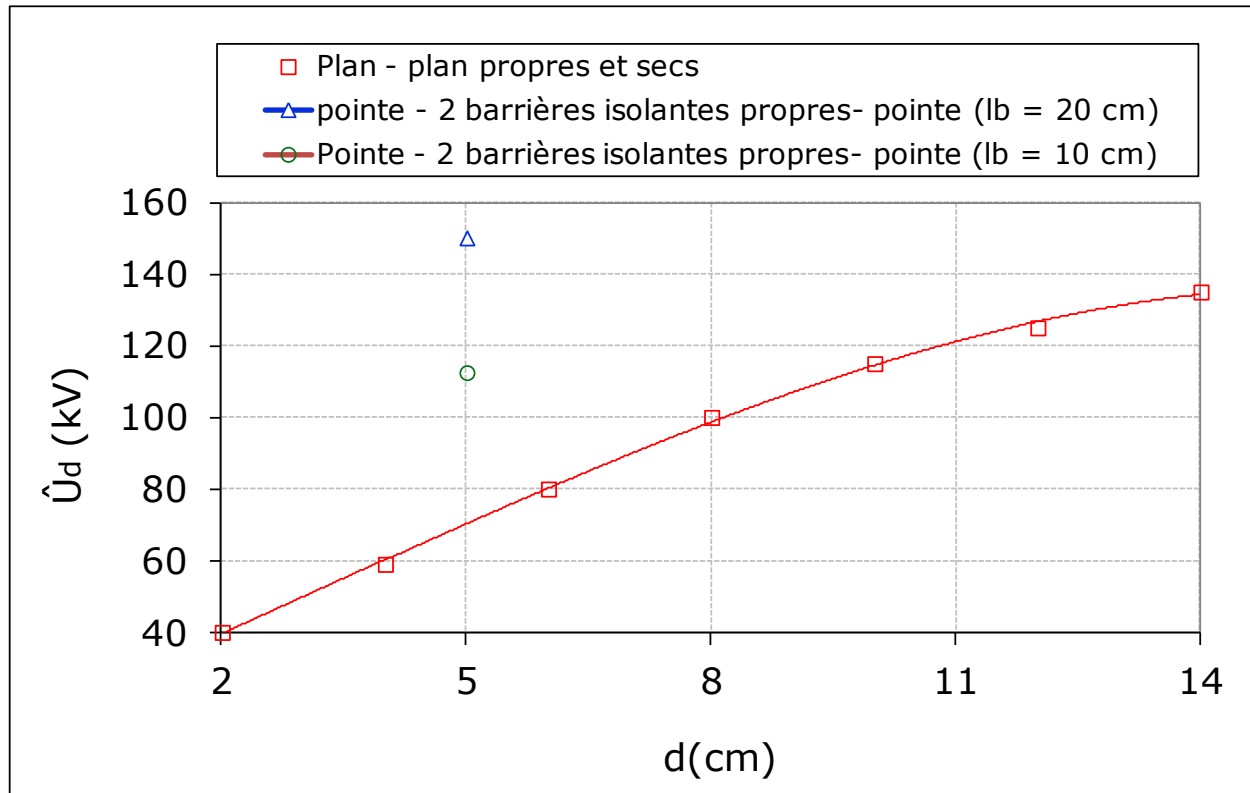


Fig. I. 12 : Comparaison de la performance électrique en alternative des deux systèmes plan – plan métalliques et pointe – 2 barrières – pointe sous atmosphère propre et sèche

Il en résulte qu'il n'y a pas d'équivalence de performance électrique en alternative des deux systèmes plan - plan métalliques et pointe - deux barrières propres - pointe quelle que soit la largeur des barrières.

III. Atmosphère polluée

III.1 Système avec une seule barrière

Yahiaoui [4] a mesuré la tension alternative maximale disruptive d'un système pointe - pointe protégé par une barrière polluée en fonction de la largeur de celle-ci pour des distances d'un intervalle d'air allant de 4 jusqu'à 16 cm. Les résultats obtenus sont représentés sur la **figure I. 13**.

Il ressort sur la **figure I. 13** que la tension alternative disruptive de la configuration pointe – pointe protégée par une barrière est pratiquement indépendante de sa largeur dans l'intervalle d'air compris entre 4 et 16 cm. Dans l'intervalle d'air compris entre 4 et 16 cm, la performance en alternative du système pointe - pointe avec une barrière polluée est

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

pratiquement la même que celle d'une configuration pointe - plan sans celle-ci. Cela veut dire en d'autres termes que la protection du système suscitée est très défavorable.

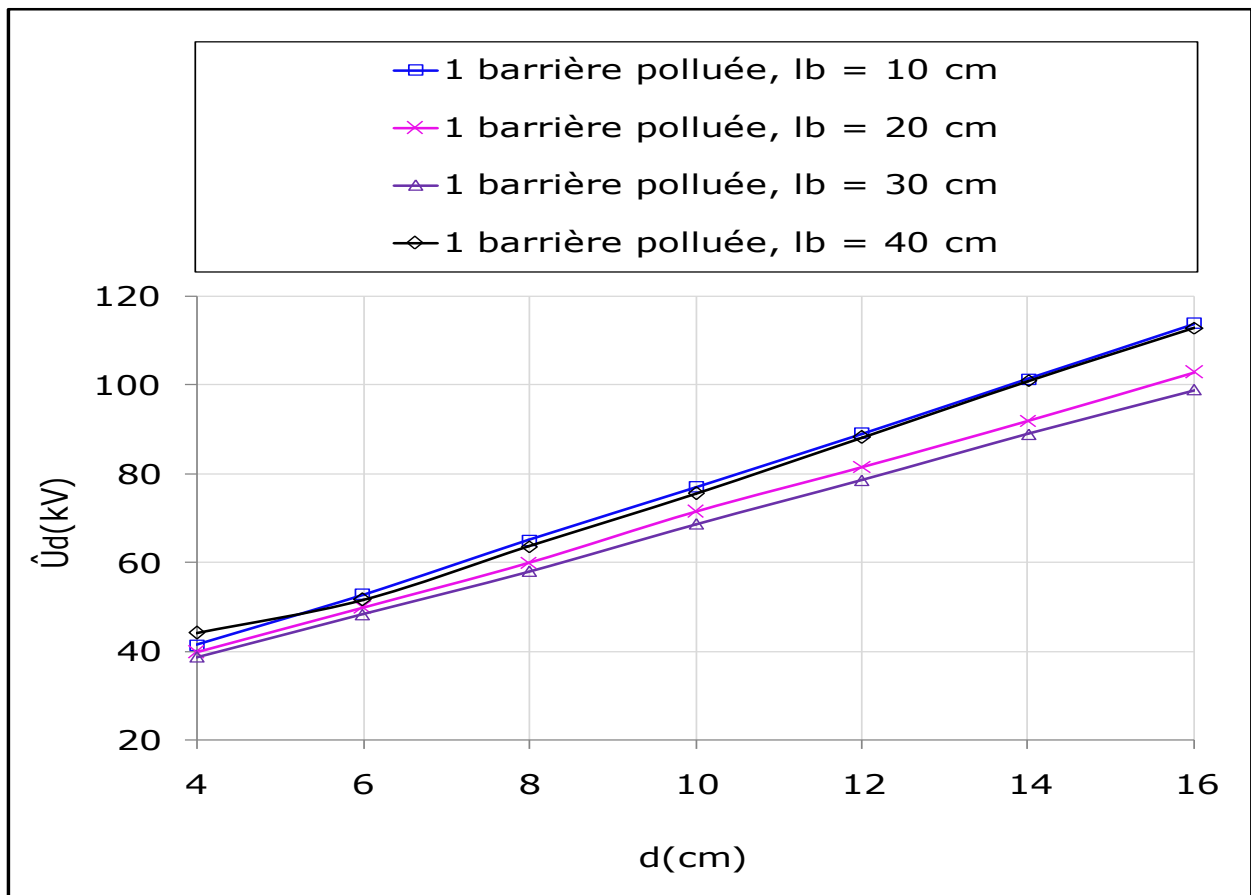


Fig. I. 13 : Tension alternative disruptive d'un système pointe - pointe protégé par une barrière polluée en fonction de la distance interélectrode

La visualisation de la décharge électrique dans l'intervalle d'air pointe - pointe avec barrière uniformément polluée est représentée sur la **figure I. 14**.

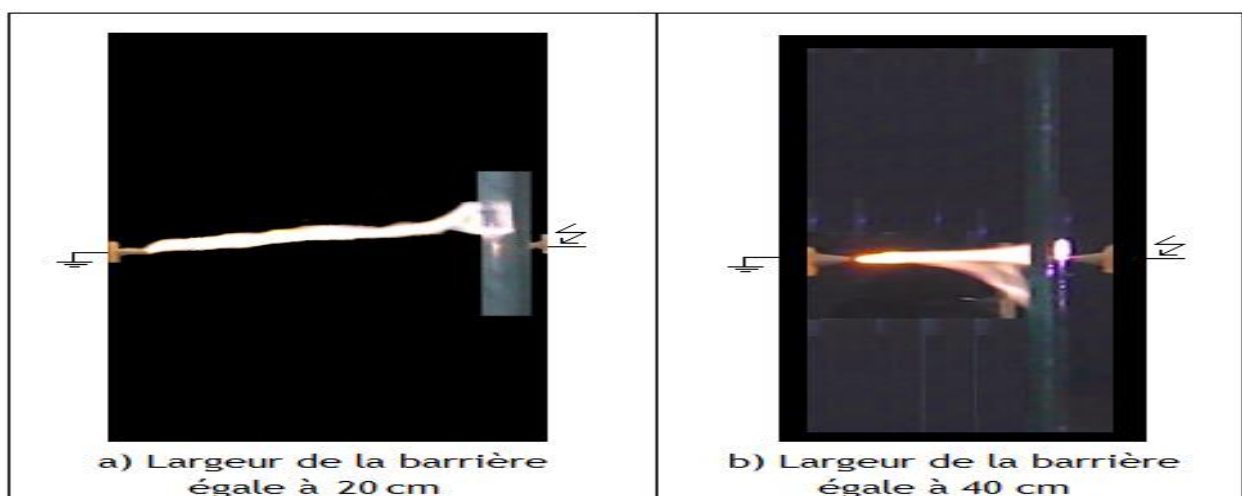


Fig. I. 14 : Décharge électrique dans l'intervalle d'air pointe - pointe avec barrière uniformément polluée sous tension alternative

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Belhoul [2] a étudié l'influence d'une barrière polluée sur la tension alternative disruptive dans un système pointe-pointe en fonction de la distance interélectrode et du degré de contamination.

Le modèle expérimental utilisé est représenté sur sur la **figure I. 15**.

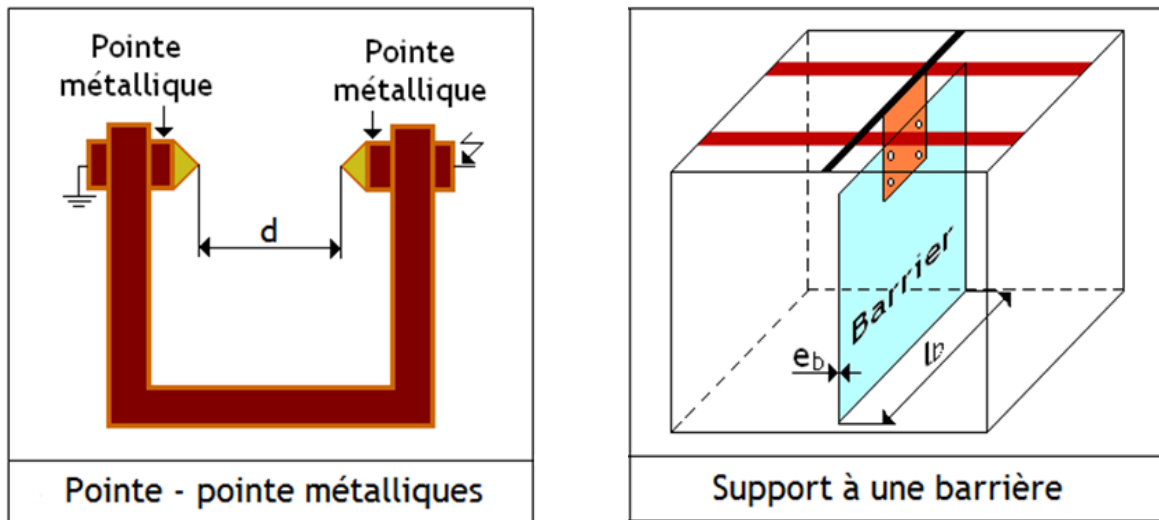


Fig. I. 15 : système pointe – pointe et support de la barrière

Les résultats sont illustrés sur la **figure I. 16**.

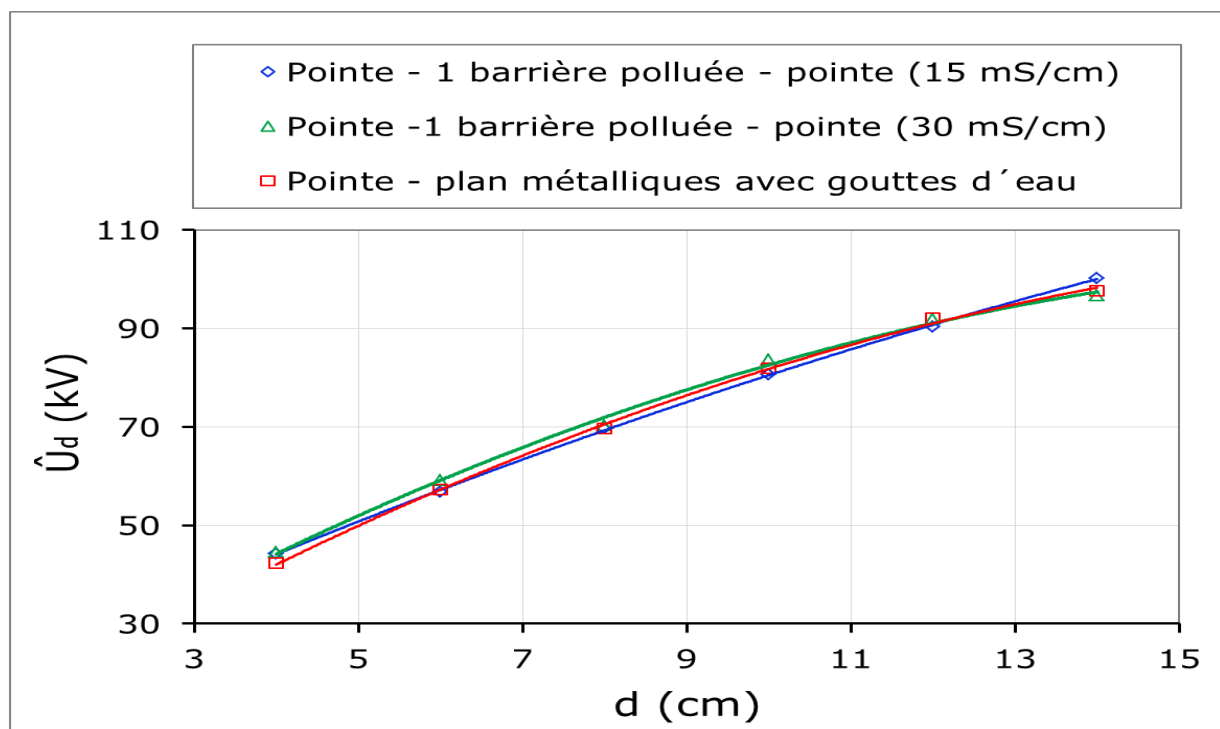


Fig. I. 16 : Performance électrique en alternative des systèmes pointe – 1 barrière fortement polluée – pointe et pointe - plan en fonction de la distance interélectrode

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Il en résulte une superposition des courbes de tension alternative disruptive du système pointe – barrière polluée – pointe à deux conductivités électriques différentes avec celle de la tension disruptive du système pointe – plan avec gouttes. Par conséquent il y a équivalence de performance électrique en alternative entre ces deux systèmes.

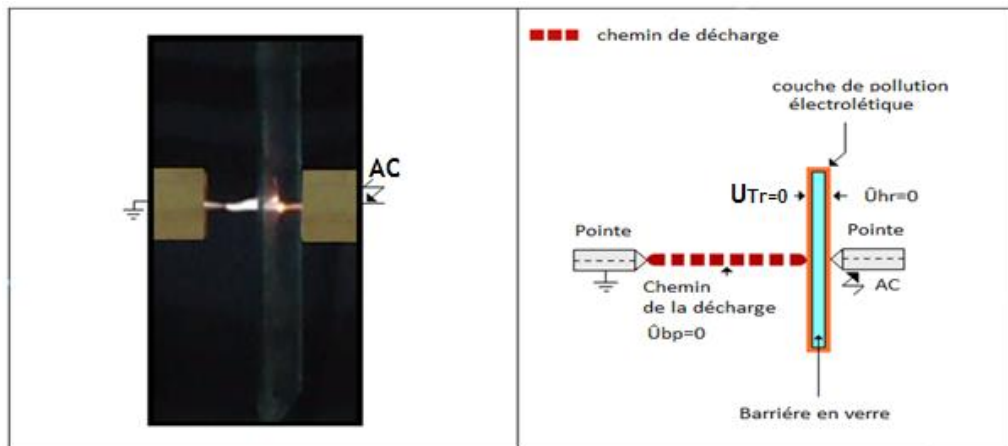


Fig. I. 17 : Chemin de la décharge de rupture de l'intervalle d'air des deux systèmes pointe – plan et pointe – barrière polluée – pointe ($d = 8$ cm, $D_p = l_b = 40$ cm, $\sigma_v = 30$ mS/cm)

Le degré de contamination a aussi une influence sur la performance électrique en continu du système, Slimani [1] a analysé l'effet du degré de contamination de la barrière sur la tension continue positive d'amorçage du système pointe-pointe à un écran en faisant varier la conductivité électrique de la couche de pollution recouvrant uniformément la surface des barrières utilisées. Ses résultats sont résumés sur la **figure I. 18**.

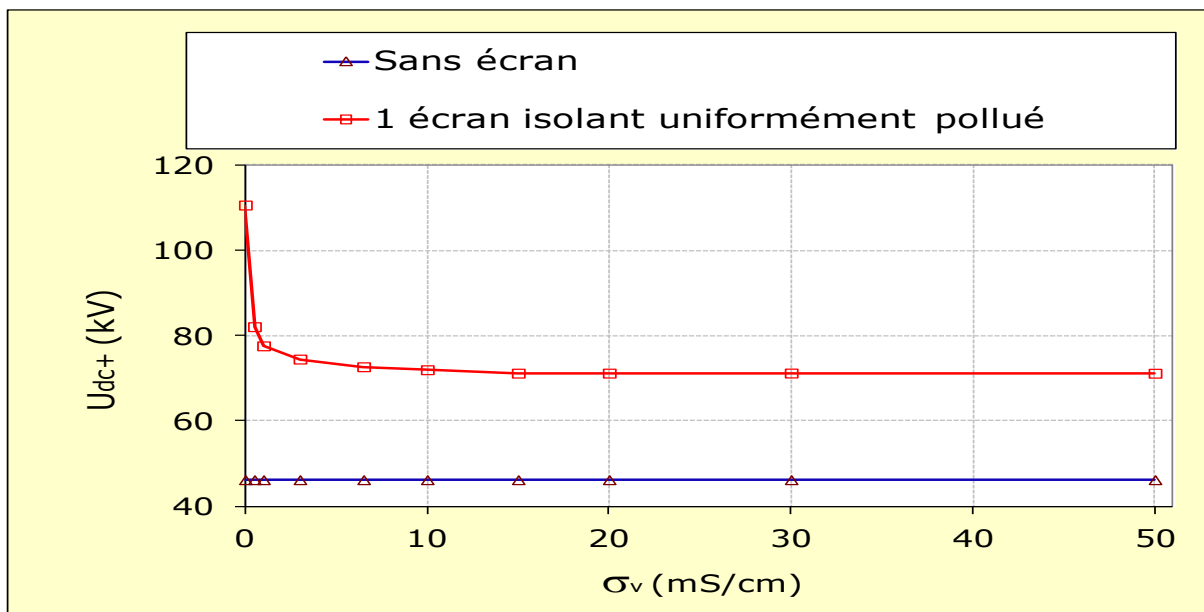


Fig. I. 18 : Tension continue positive disruptive du système pointe-écran-pointe en fonction de la conductivité électrique de la solution recouvrant uniformément l'écran

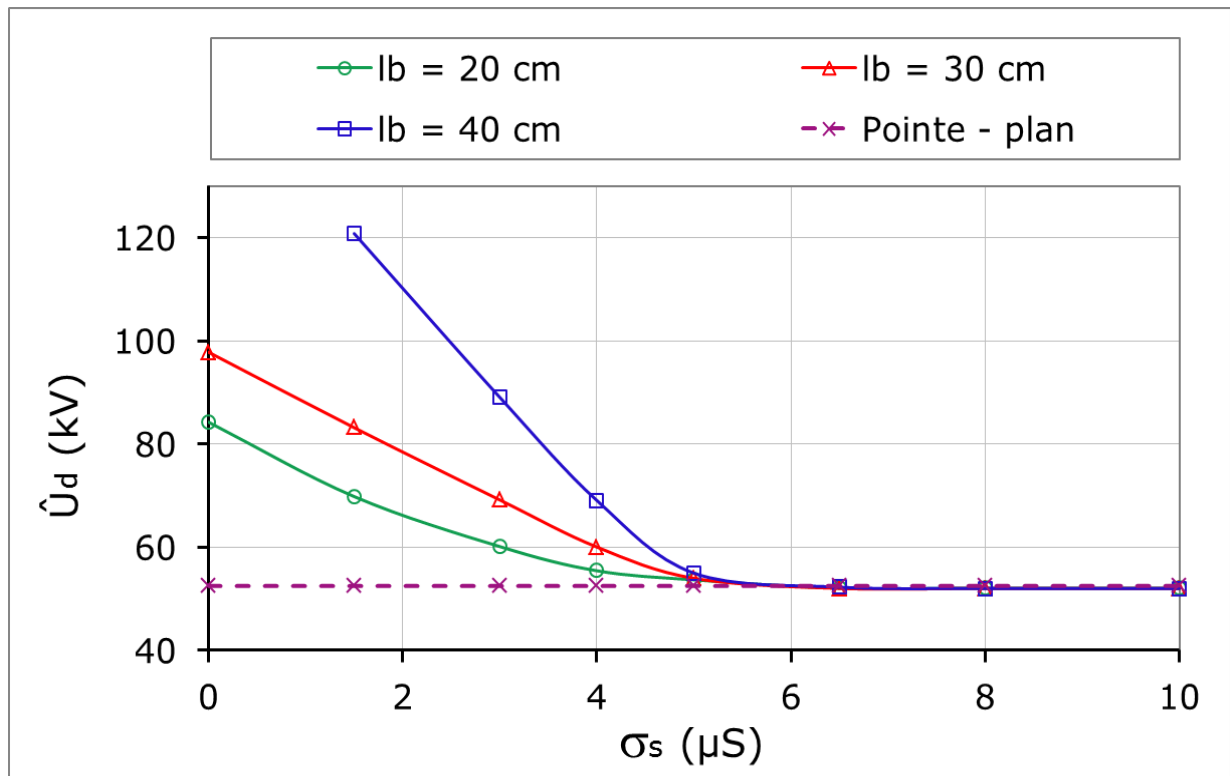


Fig. I. 19 : Performance électrique en alternative du système pointe - pointe avec barrière totalement et uniformément polluée en fonction de sa conductivité électrique superficielle et sa largeur ($d = 5$ cm, $D_p = 40$ cm)

L'auteur a prouvé que la tension disruptive du système avec une seule barrière uniformément polluée, diminue très rapidement en fonction de la conductivité électrique de la solution polluante, pour enfin atteindre une valeur minimale de l'ordre de 71kV pour une conductivité électrique comprise entre 15 et 20mS/cm. A partir de cette limite, la valeur de la tension demeure constante indépendamment du degré de pollution plus élevé de la barrière.

Belhoul [2] a aussi étudié la tension disruptive alternative du système pointe – barrière polluée -pointe en fonction du degré de pollution recouvrant totalement la barrière et les résultats sont illustrés sur la **figure I. 18**. Il en ressort que la performance en alternative du système à barrière uniformément polluée, diminue très rapidement en fonction de la conductivité électrique superficielle de celle-ci jusqu'à atteindre une valeur limite, à partir de laquelle sa valeur demeure constante et devient indépendante de la largeur de la barrière quel que soit le degré de sévérité de pollution supérieur ou égal à 5 μS .

III.2. Nombre de barrières

Yahiaoui [4] a étudié la tension maximale de disruption de l'espace d'un système pointe - pointe en fonction du nombre de barrières de protection fortement polluées.

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

La conductivité volumique utilisée dans cette étude est égale à 15 mS/cm, qui correspond à la valeur de conductivité superficielle de 11,5 μ S. Le modèle expérimental utilisé est représenté sur la **figure I. 1**. Les résultats sont illustrés sur la **figure I. 20**.

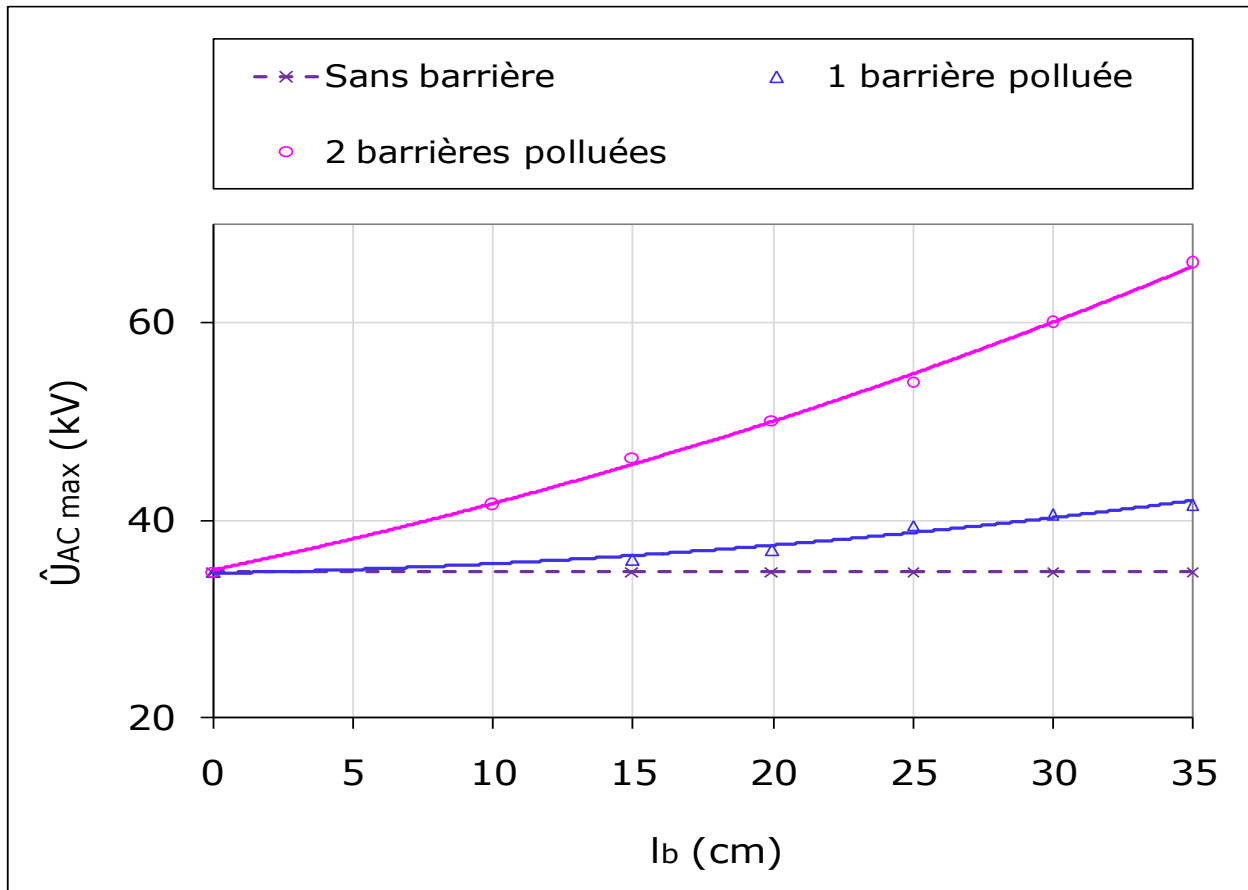


Fig. I. 20 : $\hat{U}_{ACmax} = f(l_b)$ d'un système pointe - pointe avec barrières sous atmosphère polluée ($d = 5$ cm)

Il en résulte un écart de performance électrique en alternative du système croissant avec l'augmentation de la largeur de la barrière polluée. Pour $l_b = 35$ cm, celui-ci est évalué à 65 %. Il est à constater que ces résultats ont été obtenus pour une taille de l'intervalle d'air fixe et égale à 5 cm.

En ce qui concerne l'état de la surface et la nature des écrans Slimani [1] a étudié le chemin de disruption de l'intervalle d'air de la configuration pointe- deux - barrières-pointe en fonction de ces facteurs.

L'allure de la caractéristique $U_{dc+} = f(\sigma_v)$ pour deux écrans est représentée sur la **figure I. 21**. Il en résulte que l'évolution de la caractéristique $U_{dc+} = f(\sigma_v)$ pour deux écrans est

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

similaire à celle obtenue pour une seule barrière sur la **figure I. 13**, mais le premier système est moins rigide que le deuxième pour des valeurs de conductivité électrique supérieure ou égale à 3 mS/cm.

Belhoul [2] a aussi étudié l'influence de la sévérité de pollution recouvrant totalement la surface des deux barrières sur la disruption en alternative de l'intervalle d'air du système pointe – pointe protégé par celles-ci. Elle a réalisé ce travail pour des barrières de 10 et 20 cm de largeur et pour un niveau de pollution allant de 0 à 10 μ S. Les résultats sont illustrés sur la **figure I. 22**.

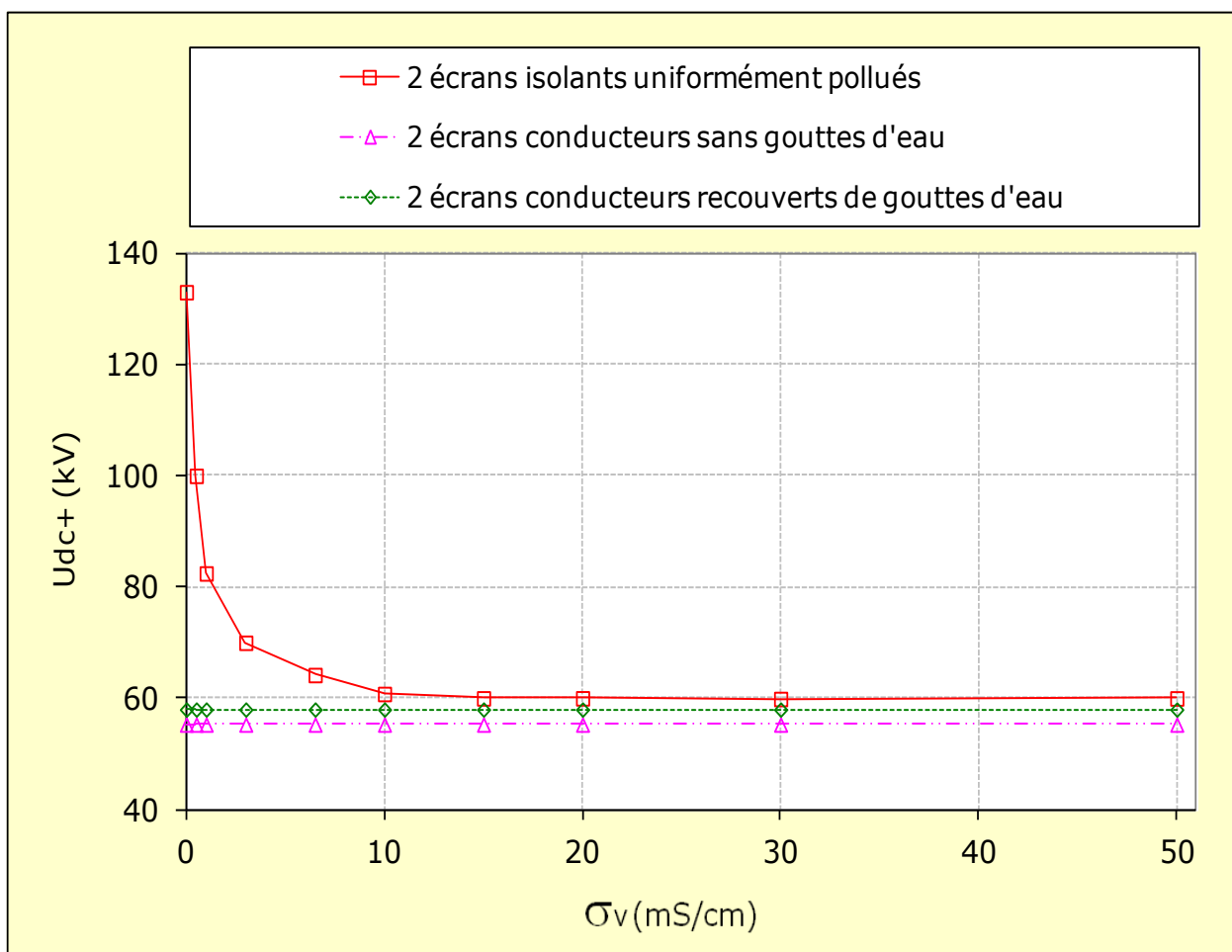


Fig. I. 21 : Tension continue positive disruptive du système pointe-écrans-pointe en fonction de la conductivité électrique de la solution recouvrant uniformément les écrans

Il en découle que la performance électrique en alternative de ce système, diminue très rapidement en fonction de la conductivité électrique superficielle de leur surface jusqu'à atteindre une valeur limite au-delà de laquelle sa valeur demeure constante quel que soit le degré de sévérité de pollution choisi.

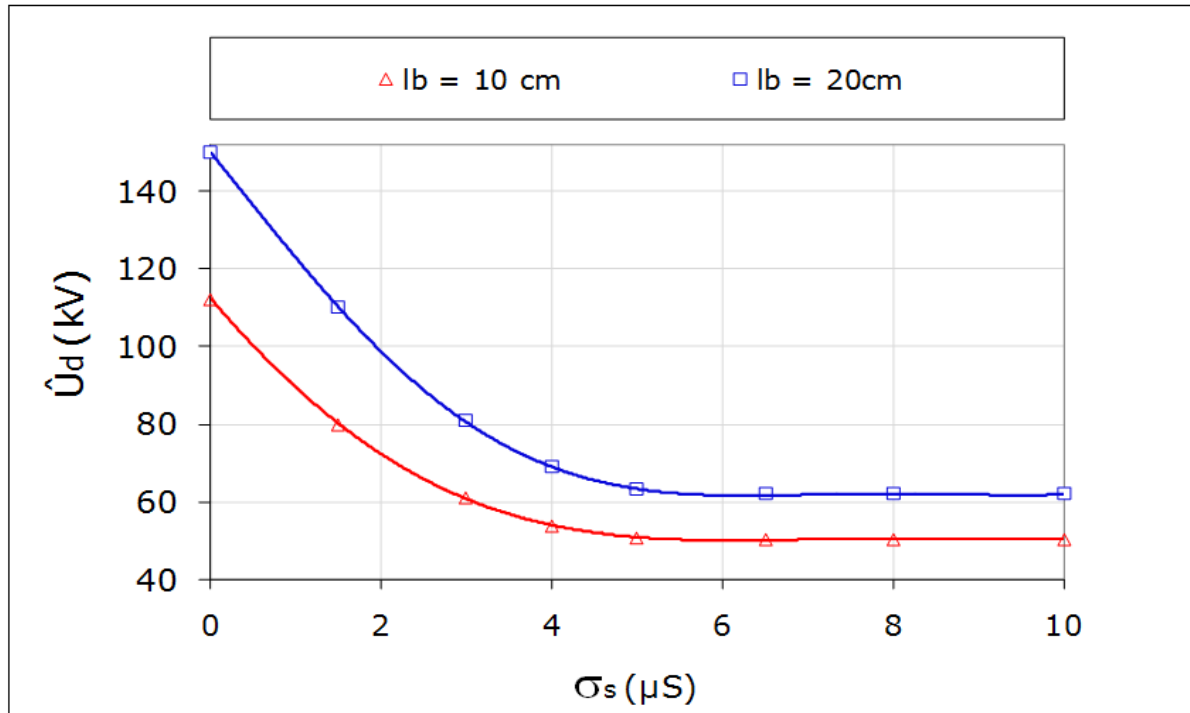


Fig. I. 22 : Performance électrique en alternative du système à deux barrières totalement et uniformément polluées en fonction de leur conductivité superficielle ($e_b = 6$ mm, $d = 5$ cm)

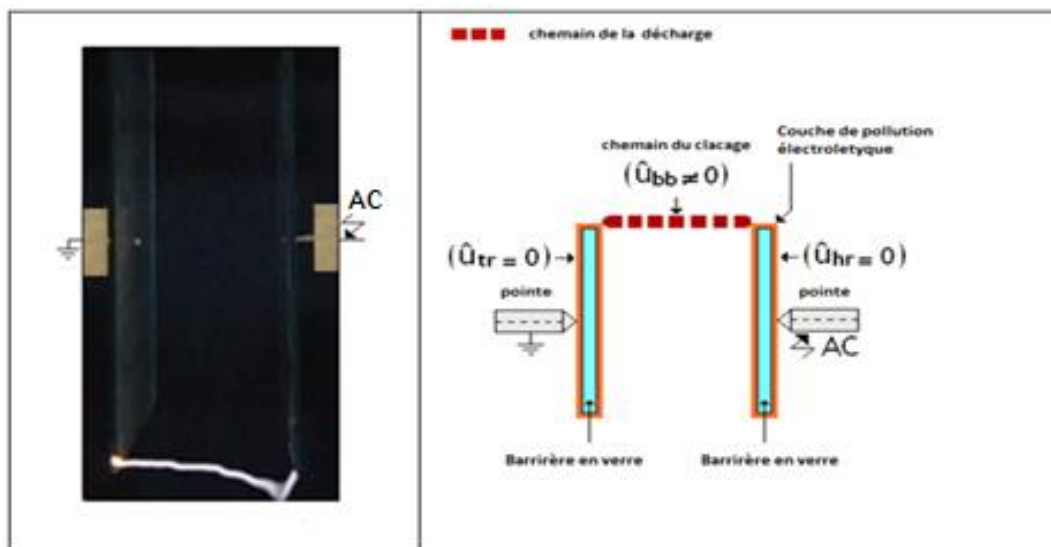


Fig. I. 23 : Chemin de la décharge de rupture de l'intervalle d'air pointe – pointe avec deux barrières

D'après Belhouli [2] cette limite correspond au cas où les décharges court - circuitant l'intervalle d'air entre barrières émanent des bords des barrières en contact avec les électrodes pointues sous tension et à la terre sans glissement de celles - ci sur les deux faces des barrières en regard des dites électrodes comme si ces barrières étaient devenues tout simplement des

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

électrodes métalliques. Le Chemin de la décharge de rupture de l'intervalle d'air est représenté sur la **figure I. 23**.

Même le mode de distribution de la pollution et la conductivité ont un effet sur la performance électrique. Bouatia [5] a étudié la tension alternative disruptive de l'intervalle d'air d'un système pointe - pointe en fonction ces facteurs .Elle a utilisé le model expérimental suivant sur la **figure I. 24**.

La visualisation de la décharge électrique évoluant dans l'espace d'air interélectrode de ce système est réalisée à l'aide du schéma électrique illustré sur la **figure I. 25**. Les résultats sont illustrés sur la **figure I. 26**.

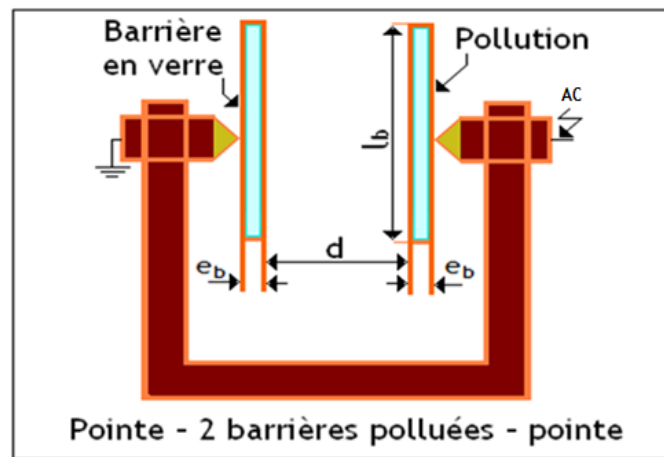


Fig. I. 24 : Model expérimental pointe – pointe avec deux barrières contaminées

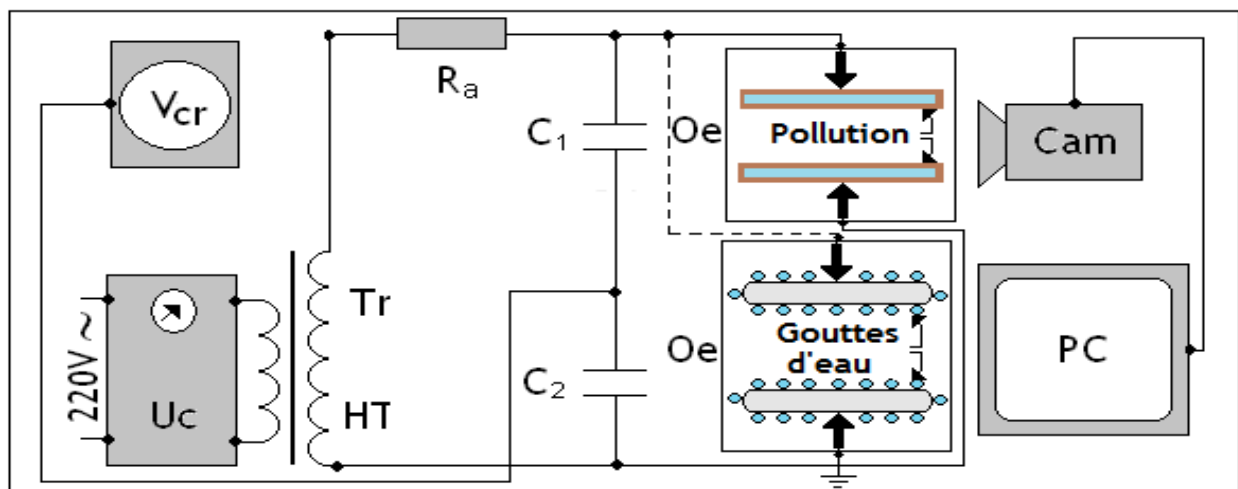


Fig. I. 25 : Circuit de mesure de la tension disruptive du système pointe – pointe avec barrières polluées et de visualisation de la décharge électrique

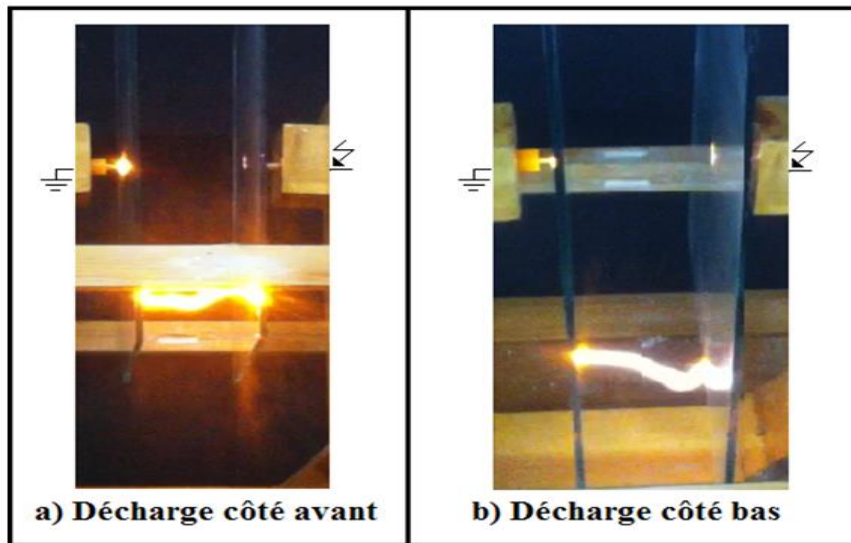


Fig. I. 27 : Chemin de la décharge électrique reliant les bords des deux barrières uniformément et fortement polluées en contact avec les pointes sous tension alternative et à la terre du système ($\sigma_v = 25 \text{ mS/cm}$)

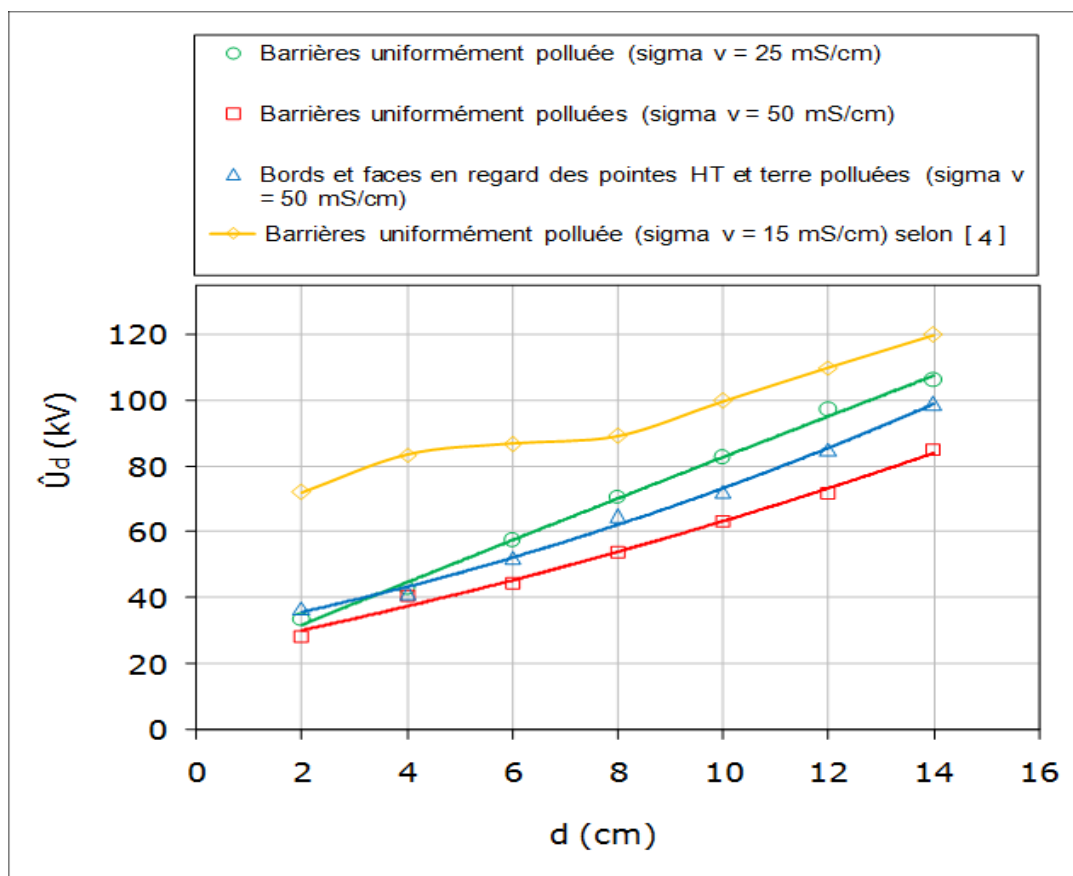


Fig. I. 26 : Tension alternative disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – 2 barrières polluées –pointe en fonction du mode de distribution de pollution et de la conductivité de celle-ci

Il en résulte d'après Bouatia [5] que la performance électrique en alternative d'un tel système croît avec la taille de l'intervalle d'air inter-barrières. Son minimum est atteint pour une

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

valeur égale à 50 mS/cm de la conductivité volumique de la solution polluante, recouvrant uniformément toute la surface des deux barrières.

De plus Bouatia a constaté que la tension de rupture diélectrique de l'espace d'air avec barrières contaminées sous pollution uniforme est nettement inférieure à celle obtenue sous pollution non uniforme du fait du comportement des deux barrières uniformément polluées comme des barrières conductrices et de la meilleure uniformisation du champ électrique régnant entre celles-ci. La visualisation de chemin de la décharge est représentée sur la **figure I. 27**.

Bouatia a constaté selon cette visualisation une seule décharge électrique évolue dans l'air compris entre les bords des deux barrières fortement contaminées.

Belhoul [3] a aussi étudié la performance électrique en alternative d'un système pointe – pointe protégé par deux barrières polluées mais ces dernières sont sous forme de tubes comme le montre sur la figure **I. 27**. Les résultats de cette étude sont illustrés sur la figure **I. 28**.

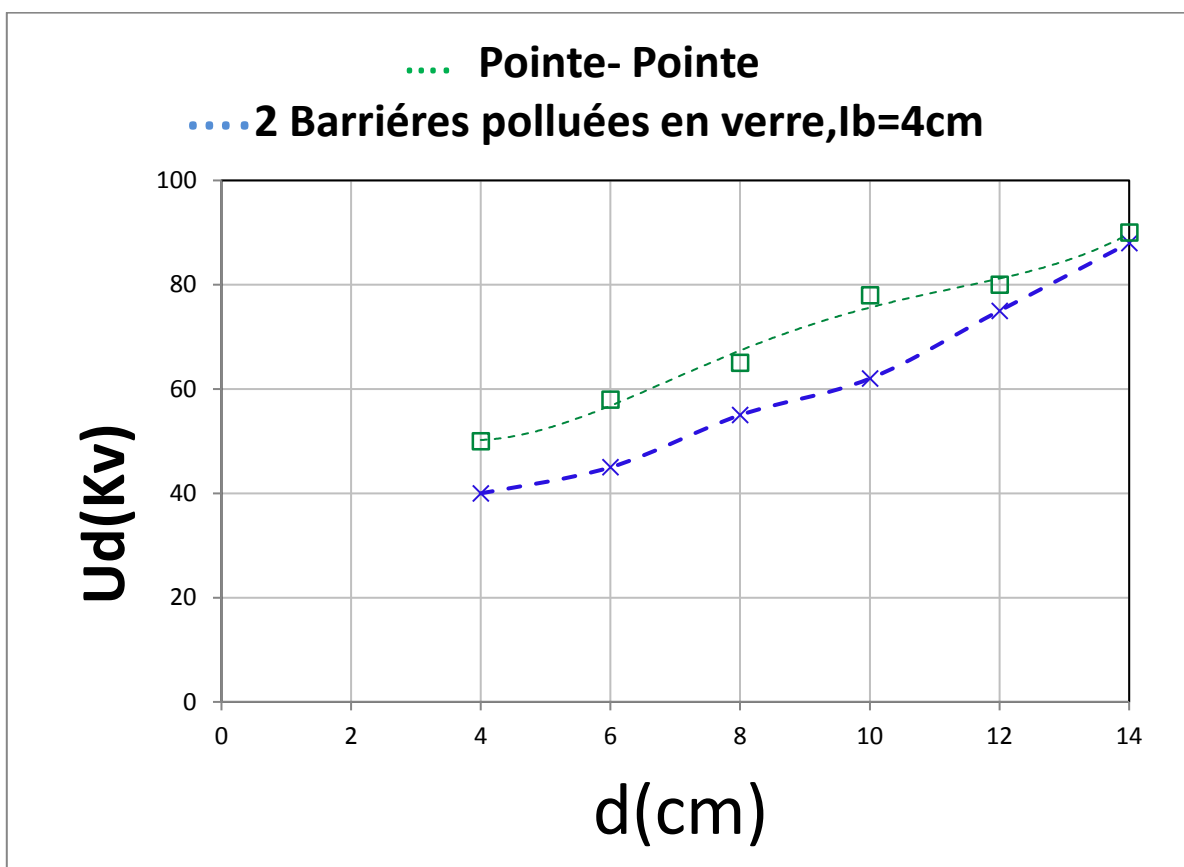


Fig. I. 28 : Tension alternative disruptive d'un système pointe – pointe protégé par deux tubes pollués en fonction de la distance interélectrode

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Il en résulte que l'introduction d'une deuxième barrière polluée augmente la tension disruptive mais pas autant que les barrières propres.

III.3. Equivalence entre les deux systèmes plan-plan et pointe-pointe muni de deux barrières polluées.

Après les études que Belhouli [2] a effectuées sur un système pointe - pointe protégé par une puis deux barrières polluées, elle a abouti à une équivalence entre les deux systèmes : pointe – pointe protégé par deux barrières polluées et plan - plan comme le montre sur la figure I. 29.

La figure I. 30 représente l'allure de la courbe de modélisation de la disruption sous tension alternative de l'intervalle d'air des configurations d'électrodes avec , pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan – plan métalliques recouverts de gouttes d'eau.

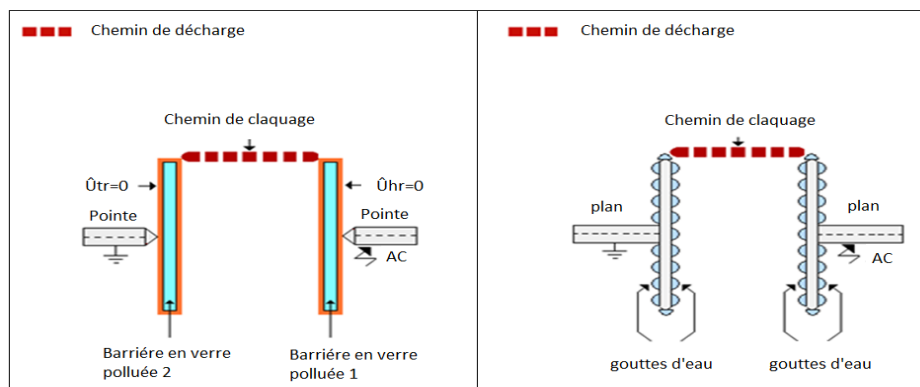


Fig. I. 29 : Equivalence de performance électrique en alternative entre les systèmes, pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan – plan avec gouttes d'eau ($\sigma_v=30\text{ms/cm}$)

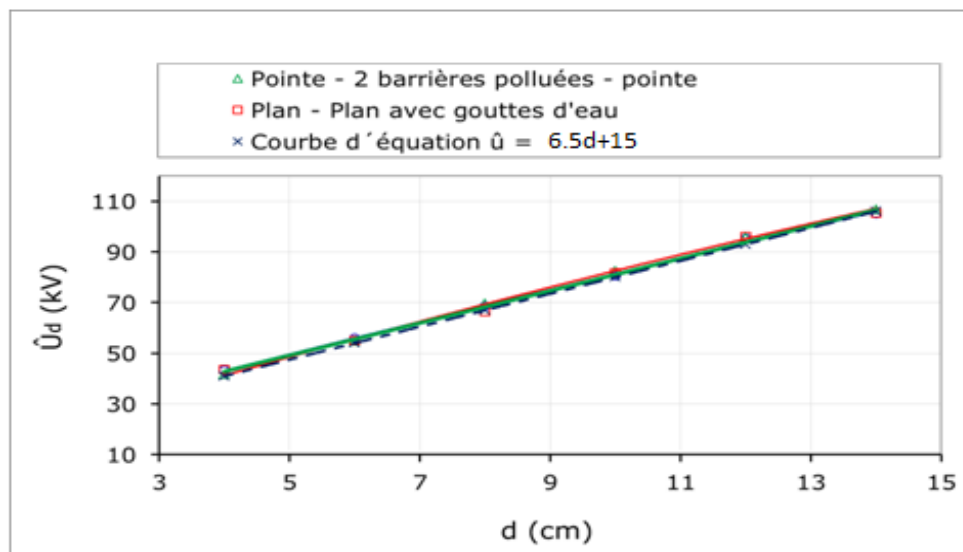


Fig. I. 30 : Allure de la courbe de modélisation de la disruption alternative de l'intervalle d'air des configurations d'électrodes avec , pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan – plan métalliques recouverts de gouttes d'eau ($\sigma_v = 30\text{ms/cm}$)

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

Bouatia [5] a trouvé aussi une équivalence entre les deux systèmes plan - plan et pointe – pointe protégés par deux barrières fortement polluées sous tension alternative ($\sigma v=25\text{ms/cm}$). Le dispositif utilisé est représenté sur la figure I. 31.

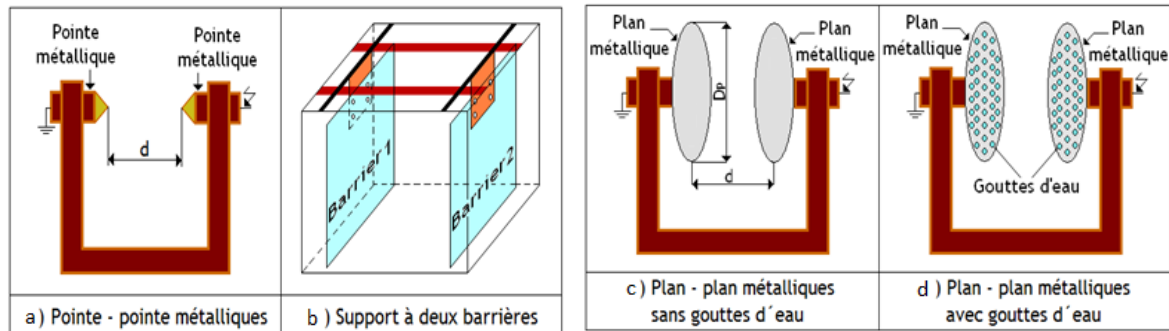


Fig. I. 31 : système d'électrodes et supports des barrières utilisés

Les résultats sont illustrés sur la figure I. 31.

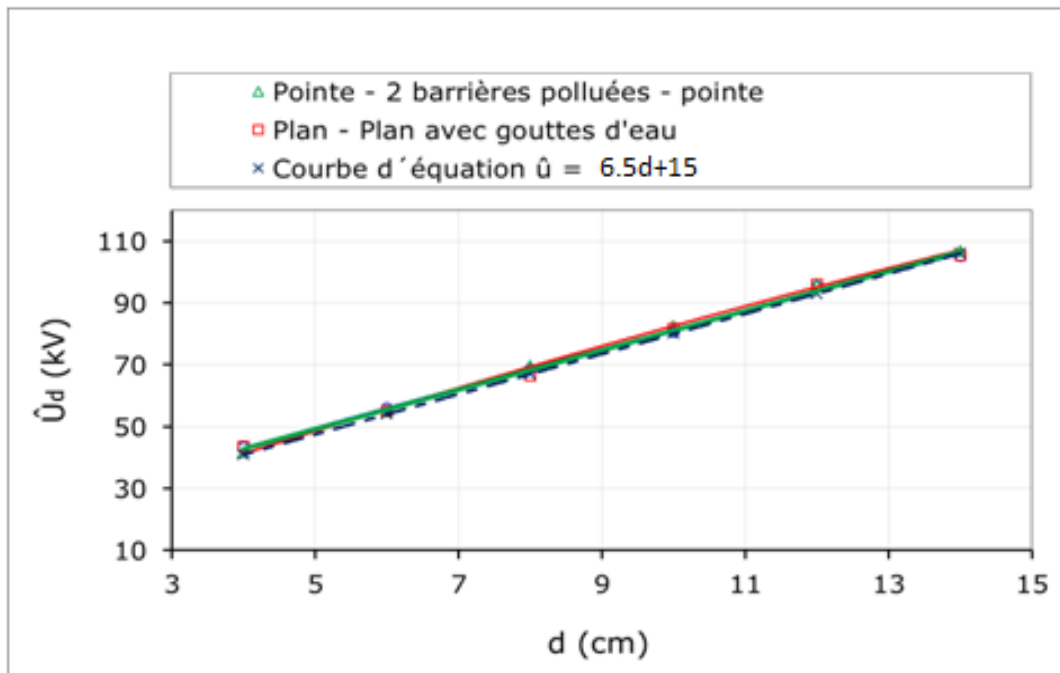


Fig. I. 32 : Allure de la courbe de modélisation de la disruption sous tension alternative de l'intervalle d'air des configurations d'électrodes pointe – 1 barrière polluée – plan avec gouttes d'eau, pointe – 2 barrières polluées – pointe et plan - plan métalliques recouverts de gouttes d'eau ($\sigma v=25\text{ms/cm}$)

IV. Conclusion

A partir des travaux qui ont été effectués dans le but de trouver une équivalence de performance électrique des deux systèmes plan – plan et pointe – pointe avec deux barrières polluées les chercheurs ont abouti à ce qui suit :

Chapitre I : Etat d'art sur l'équivalence de performance électrique entre deux configurations plan – plan et pointe – pointe

La protection de l'intervalle d'air d'un système pointe – pointe avec une seule barrière sous conditions de pollution très sévères et sous tension alternative est très défavorable et par conséquent l'ajout d'une deuxième barrière de protection à ce système est impératif.

Une équivalence de performance électrique entre les deux systèmes plan - plan et pointe - pointe protégé par deux barrières uniformément polluées a été établie en alternatif pour $4 \leq d \leq 14$ cm et en continu pour une distance (d) égale à 5 cm seulement.

Nous avons remarqué aussi qu'une même équivalence n'a pas été obtenue dans le cas d'une atmosphère propre.

L'objectif de notre travail est de chercher une même équivalence similaire en tension continue dans le même intervalle d'air investigué ($4\text{cm} \leq d \leq 14\text{cm}$).

II. 1 Introduction

De nombreux matériaux sont considérés comme isolants. C'est le cas par exemple de nombreux plastiques, du caoutchouc, du bois sec ou encore du verre. Certains milieux peuvent également être isolants, comme le vide. Partout où il y a des conducteurs électriques, on trouve des isolants. Ils sont utilisés pour protéger les personnes des électrisations et pour protéger les installations électriques du court-circuit. Les isolants servent aussi à stocker un champ électrique, lorsqu'ils sont installés entre deux plaques conductrices, dans les condensateurs. Les utilisations sont infinies, aussi bien pour les installations domestiques que les applications industrielles. Aucun isolant n'étant parfait, c'est pour cela que l'étude des mécanismes de conduction dans les isolants solides et la connaissance de leurs propriétés est très importante avant de réaliser un système électrique quelconque.

Dans notre travail Le rôle essentiel des isolants étant de servir de barrière, en effet on s'intéressera en premier lieu à leurs propriétés électriques puis on s'intéressera aux décharges électriques dans les gaz car dans notre travail l'unique isolation entre électrodes c'est l'air

II. 2 Définitions [6]

II. 2. 1 Isolement

On appelle isolement d'un ouvrage appareil électrique son aptitude à supporter les contraintes électriques qui lui sont appliquées (tension...).

II. 2. 2 Isolation

On appelle isolation l'élément matériel ou l'ensemble des dispositifs constructifs qui assurent cet isolement.

II.2.3 Isolant

On appelle isolant électrique toute matière dans la conductivité électrique est nulle ou dans la pratique est très faible. A l'échelle atomique une matière est dite isolante si elle ne contient pas d'électrons libres qui permettent le passage du courant électrique.

II.2.4 Diélectrique

Un diélectrique est défini comme un milieu matériel dans lequel les bandes de conduction et de valence sont séparés par une énergie supérieure à 5 eV. On le définit aussi comme un milieu

dans lequel tout volume de la substance possède un moment dipolaire (polarisation permanente) ou susceptible d'en acquérir sous l'action d'un champ électrique.

II.2.5 Système d'isolation

Un système d'isolation est constitué pas des matériaux isolants ou un assemblage de matériaux isolants (isolation) à considérer, en liaison avec les partie conductrices associées

II. 3 Propriétés diélectriques des isolants [7 - 9]

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

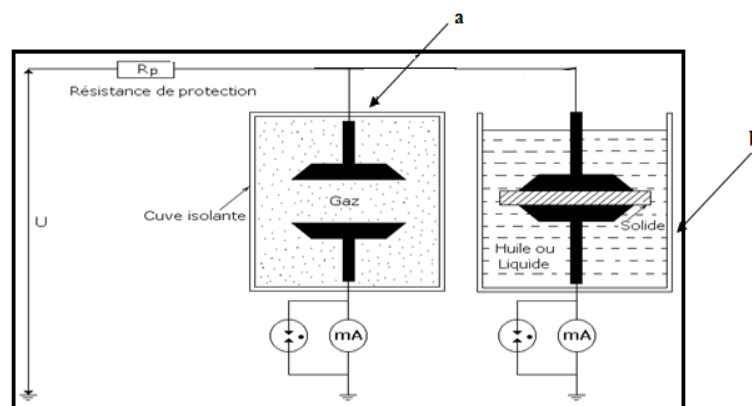
- la première comprend les propriétés essentielles qui sont:

- Rigidité diélectrique E ;
- Permittivité relative ϵ_r ;
- Facteur de pertes diélectriques $\text{tg}\delta$;

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

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

II. 3. 1 Rigidité diélectrique



a) Cellule de mesure de E_d

des isolants gazeux

b) Cellule de mesure de E_d

des isolants solides et liquides

Fig. II. 1: Cellules de mesure de rigidité diélectrique des isolants

La rigidité diélectrique d'un matériau isolant est la valeur du champ électrique auquel il faut le soumettre pour qu'il en résulte une perforation qui le rende inapte à remplir ultérieurement sa fonction. De façon pratique, la rigidité diélectrique est définie comme étant le rapport entre la tension à laquelle se produit une perforation dans les conditions d'essai spécifiées et la distance entre les deux électrodes auxquelles est appliquée la tension.

Suivant les positions relatives des conducteurs et de la surface des matériaux on distingue:

- la rigidité diélectrique longitudinale, obtenue entre deux conducteurs situés sur une même surface de l'isolant ;
- La rigidité diélectrique transversale est calculée d'après la mesure de la tension électrique minimale produisant, pour une vitesse de la montée en tension donnée, la rupture de rigidité diélectrique de l'isolant se trouvant entre les électrodes, selon sa plus faible épaisseur égale à d (**Fig. II. 1**) $E_d = \hat{U}_d/d$, (V/m), avec \hat{U}_d : tension de crête et d : la distance interélectrode.

II.3.2 Permittivité

Lorsqu'un diélectrique est soumis à l'action d'un champ électrique, il se produit à l'échelle moléculaire diverses modifications qui ont pour effet de créer un champ électrique propre E_p à l'intérieur de la substance, s'opposant au champ électrique (E_e) extérieur appliqué (**Fig.II.2**).

Cette caractéristique des isolants solides et liquides porte le nom de la permittivité relative ϵ_r .

La permittivité relative d'un diélectrique parfait est le quotient de la capacité C_x entre deux électrodes supposées noyées dans ce diélectrique, par la capacité C_0 de la configuration d'électrodes dans le vide:

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

La permittivité absolue ϵ_a est le produit de la permittivité relative par la constante électrique du

vide:

$$\epsilon_a = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad (\text{II.2})$$

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

Dans le cas des diélectriques non parfaits, on définit de façon analogue une permittivité complexe

relative qui tient compte de la dissipation d'énergie dans le diélectrique. Elle s'écrit :

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \tag{II.3}$$

Où ϵ_r' est la partie réelle de la permittivité complexe, jouant le même rôle que ϵ_r dans le cas des diélectriques parfaits : $\epsilon_a^* = \epsilon_r^* \cdot \epsilon_0$ (II.4)

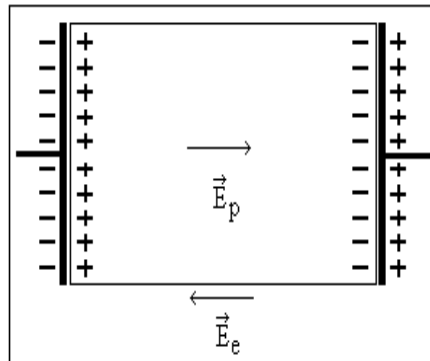


Fig. II.2 : Champ électrique propre à l'intérieur d'un matériau isolant sous tension

II.3.3 Angle de pertes et facteur de dissipation

Tout isolant soumis à un champ électrique alternatif est traversé par des courants de conduction et d'absorption qui donnent lieu à des pertes diélectriques. Le diélectrique réel peut être représenté par les schémas équivalents suivants (Fig. II.3. 4).

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 :

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

D'après la formule (II.3) on peut écrire : $\text{tg}\delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$

$$\tag{II.6}$$

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

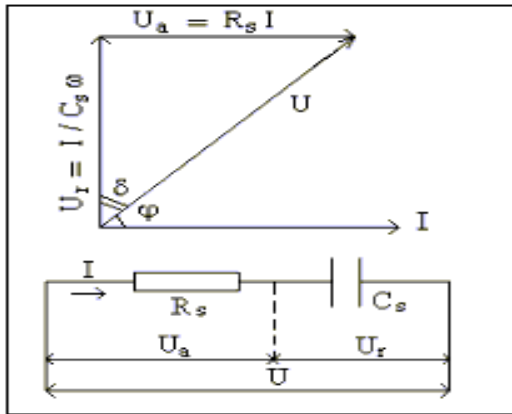


Fig.II. 3: Circuit électrique équivalent série

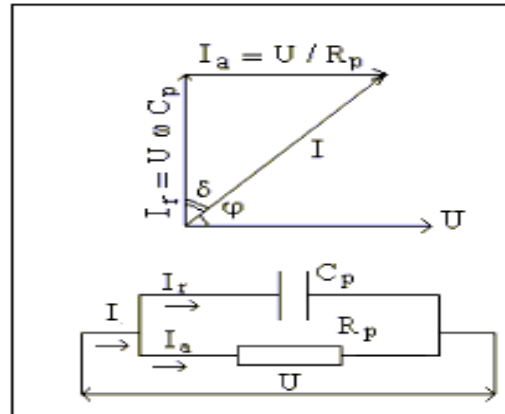
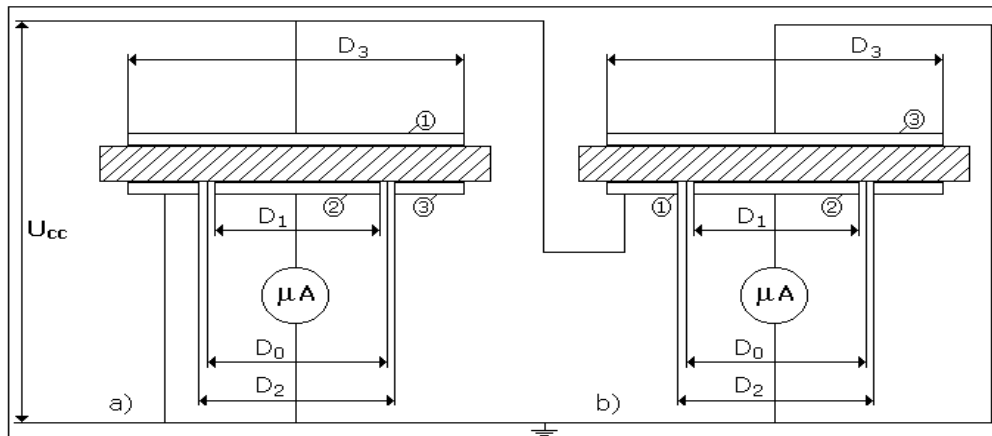


Fig.II. 4: Circuit électrique équivalent parallèle

II.3.4 Résistivité et résistance d'isolement

II. 3.4.1 Résistance en tension continue



a) Mesure de la résistivité transversale, b) Mesure de la résistivité superficielle

Fig. II. 5: Schéma de mesure des résistivités transversale ρ_{tcc} et superficielle ρ_{scc}

1: Electrode sous tension, 2: Electrode à la terre, 3: Anneau de garde

$$\rho_{tcc} = S_t R_v / d$$

$$\rho_{scc} = P R_s / f$$

Avec $S_t : \pi D_0^2 / 4;$

$P : \pi D_0$ (Périmètre moyen)

$$D_0 = (D_1 + D_2) / 2$$

$$f = (D_2 - D_1) / 2$$

R_v : Résistance de volume

R_s : Résistance superficielle

ρ_{tcc} : la résistivité transversale mesurée en courant continue ;

ρ_{scc} : la résistivité superficielle mesurée en courant continue.

II. 3. 4. 2 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement entre deux électrodes qui sont en contact avec un isolant est le rapport de la tension continue appliquée aux électrodes au courant global qui les traverse à un moment après l'application de cette tension. Ce rapport dépend à la fois des résistances transversale et superficielle de l'isolant.

II. 4 Différents matériaux isolants

D'après leur état physique, les isolants électriques sont classés en trois grandes catégories: les isolants solides, liquides et gazeux. Selon leur origine on en distingue deux types, les isolants naturels et les isolants synthétiques. Le premier type concerne les isolants minéraux et certains isolants organiques naturels, le second type concerne les matières plastiques et les composites.

II. 4. 1 Isolants gazeux [10, 11]

Dans les conditions normales, un des meilleurs isolants connus est l'air qui nous entoure. Ses caractéristiques thermiques sont supérieures à celles des porcelaines; il peut aussi agir comme agent de refroidissement et ne coûte absolument rien. Cependant, à des températures élevées, l'air devient bon conducteur par suite du phénomène d'ionisation.

Ces isolants gazeux ayant des propriétés particulières:

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

Les principaux isolants gazeux sont: l'air atmosphérique, l'azote, gaz rares de l'air, l'hydrogène.

II.4. 2 Isolants liquides [12]

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

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

II. 4. 3 Isolants solides [11]

Lors d'une réaction chimique, dite de polymérisation, certaines molécules simples peuvent s'unir de façon à former une grosse molécule contenant plusieurs fois la molécule initiale. On dit alors que la nouvelle substance ainsi formée est un polymère de la première molécule. Tous les isolants synthétiques sont des polymères. Le caoutchouc naturel, les résines, les vernis et la bakélite sont des polymères. Selon leur composition et leurs parties constituantes, les polymères peuvent être subdivisés en grandes classes comme les polyvinyles, les polyuréthanes, les polyesters, les polyamides, les polyimides etc. Ainsi, le nylon est un polyamide, le Dacron et le Mylar sont des polyesters et le Kapton est un polyimide.

Dans ce qui suit, nous présentons plus particulièrement le verre, ce type d'isolants étant utilisé dans notre travail comme barrières isolantes.

II. 5. Verre [11]

Il est fabriqué en fondant dans des creusets chauffés au rouge vif à une température 900 °C; un mélange de sable, de chaux et de carbonate de Sodium. Le liquide, peu fluide est coulé dans des moules en acier ayant en creux la forme des isolateurs chimiquement, le verre est constitué d'oxyde de silicium (silice SiO_2) et de fondants (**Fig II. 6**).

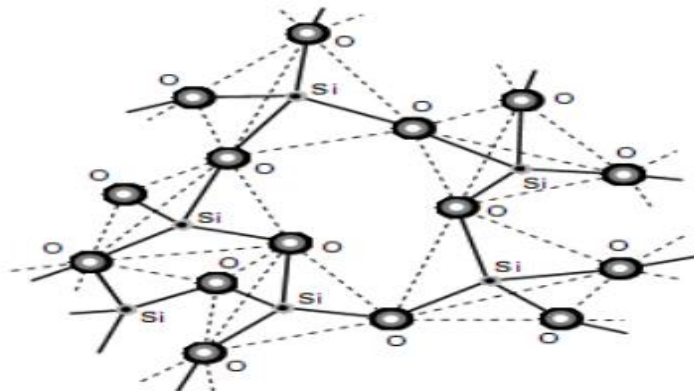


Fig. II. 6: Représentation schématique de la structure du verre de silice [23]

Les isolateurs en verre sont, un peu moins chers, mais plus fragiles que ceux en porcelaine.

- Sa rigidité est excellente à froid, de l'ordre de 50 à 100 kV/mm, tandis qu'elle se trouve divisée par 100 à 400 °C ;
- Sa permittivité relative environ 5 à 8 ;

- Sa résistivité à 20 °C: $10^{10} \dots 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$.

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

II. 5. 1. Verres trempés [14]

Ils consistent à porter la pièce à une température voisine de son point de ramollissement 700 °C et à la refroidir brusquement au moyen de jets d'air froid sous pression, ce traitement améliore les qualités mécaniques du verre ainsi que sa tenue aux chocs thermiques en traction environ 5 à 6 fois plus grande que celle du verre recuit et peut supporter une variation brusque de température pouvant atteindre 100 °C.

L'avantage du verre trempé est de rendre visible tout isolateur perforé, ce qui n'est pas le cas des isolateurs à capot et tige en céramique, sous les efforts d'une contrainte électrique trop forte ou même lors d'une défectuosité de l'isolateur.

II. 5. 2 Verres recuits [14]

Ont surtout été utilisés pour faire des isolateurs rigides, mais on s'est aperçu que les isolateurs un peu épais ne résistaient pas aux variations brusques de température. De plus, le verre recuit ne supporte que des tensions mécaniques relativement faibles, ce qui interdit son emploi pour les isolateurs de suspension. On cite aussi les verres sodiques, borosilicates et les polyamides

II. 5. 3 Fibres de verre [13]

Elles sont destinées au renforcement mécanique de pièces en résine directement au contact d'éléments conducteurs comme par exemple dans les isolateurs en matériaux composites de lignes ou de postes de transformation.

L'épaisseur du verre utilisé dans notre étude est de 6 mm, Pour une tension d'alimentation du pont de Schering $U = 100 \text{ V}$, ses caractéristiques sont comme suit:

- Sa capacité est de l'ordre de 26,52 pF ;
- Sa permittivité relative est: $\epsilon_r = 8,16$;
- Son facteur de dissipation (ou de pertes) est: $\text{tg } \delta = 4,354 \cdot 10^{-2}$.

II. 6 Décharge électrique dans l'intervalle d'air protégé par une barrière isolante

L'étude des décharges électriques présente de l'intérêt d'un point de vue industriel pour les problèmes liés à l'isolement et à la protection des réseaux de transport et de distribution d'énergie (ligne à haute tension, transformateurs, générateurs...) ainsi plusieurs études et ouvrages se sont intéressés à leur compréhension.

Une décharge électrique (ou étincelle) est instantanée pour l'œil humain et s'accompagne d'un claquement sec et violent. Mais en réalité, cette étincelle, qui correspond au passage de l'état isolant à l'état conducteur de l'air, ne se produit pas de façon instantanée mais avec un retard qui dépend essentiellement de la valeur de la distribution et de l'évolution temporelle du champ électrique ainsi que d'autres facteurs qui sont liés à l'environnement où elle se produit.

Dans un intervalle d'air à champ non uniforme avec barrière isolante sous atmosphère propre et sèche, la décharge de disruption de l'espace d'air dans lequel la barrière est insérée et mise sous contrainte de tension alternative, est de type streamers positifs quels que soient l'isolement et la position de la barrière. Par contre lorsque la barrière est sous atmosphère contaminée, la décharge créée sous tension alternative est de type leader quelle que soit la conductivité volumique de la barrière supérieure à 5 mS/cm.

II. 6. 1 Décharge de type streamers [16]

Si l'on considère que la mobilité des ions positifs est 10⁴ fois plus faible de celle des électrons, la répartition des porteurs de charges ainsi que celle du champ électrique résultant peut-être estimée qualitativement.

Il en résulte que:

- Le champ résultant à la tête et à la queue de l'avalanche électronique est plus grand que le champ appliqué;
- Le champ résultant à l'intérieur de l'avalanche est plus petit que le champ extérieur ;

Le mécanisme de l'avalanche décrit par Townsend ne conserve sa validité que pour des produits (d.p) inférieur à 200 cm. Torr. Au-delà, l'expérimentation montre qu'il se produit des phénomènes peu compatibles avec le mécanisme d'avalanche de Townsend:

-La densité de courant de décharge croît avec la tension. La faible mobilité des ions positifs crée une concentration de charges d'espace qui modifie le champ appliqué initialement et donc la valeur du coefficient ;

-Le phénomène de streamers est caractérisé par un temps de retard de l'ordre de 10^{-8} s, alors que la décharge de Townsend nécessite des temps de 10^{-5} s pour entraîner un claquage. Il se produit dans des gaz soumis à des pressions élevées. Plus le produit (d.p) est grand, plus petite est la probabilité pour qu'une avalanche puisse parcourir la distance d.

Sachant que le nombre d'électrons en tête de l'avalanche ainsi que celui d'ions positifs en queue de l'avalanche augmente exponentiellement avec et x, Reuther a établi un critère simple basé sur le fait que l'avalanche doit atteindre une taille critique pour que le streamer puisse se développer.

La formation d'un streamer s'explique par des mécanismes de photo ionisation (Modèle de Meek) se produisant à l'intérieur de l'avalanche primaire. Les électrons accélérés par le champ électrique excitent par collision des molécules neutres qui reviennent à leur état fondamental avec émission de photons.

La tête et la queue sont aussi les sièges d'une importante émission de photons qui sont absorbés par les gaz environnant. Si l'électron produit se trouve au voisinage de l'avalanche primaire, il va créer une nouvelle avalanche, dite avalanche secondaire selon le mécanisme de multiplication électronique.

Les avalanches secondaires et subséquentes prennent naissance à la tête et à la queue de l'avalanche et se développent par pas dans la direction de l'anode et de la cathode. La vitesse de propagation du streamer peut atteindre 1000 cm/ μ s.

II. 6. 2 Décharges de type leader [16]

La tenue diélectrique des grands intervalles d'air diminue avec la distance interélectrode. Si le champ électrique moyen à l'amorçage est encore de 4,5 kV/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.

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.

II. 7 Différents types d'amorçage des isolations gazeuses [16]

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

- Première avalanche;
- Streamers;
- Leader.

On choisit comme configuration pointe positive - plan et pour isolation gazeuse l'air pour les raisons suivantes:

- Tension de claquage plus petite possible;
- Intérêt technique (dimensionnement des isolations externes).

II. 7. 1 Amorçage de l'air par avalanche primaire

Ce type de claquage n'existe que dans le cas de champ extrêmement inhomogènes (aiguilles, fil fin...etc.) et pour des tensions de choc relativement peu variable (tension continue, à fréquence industrielle) car 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. Le champ électrique dans l'avalanche est de l'ordre de 15 à 20 kV/cm. La naissance d'un leader instable peut s'expliquer par le fait qu'avec l'augmentation de la tension de choc le phénomène de décharge s'intensifie créant ainsi une forte densité de courant au niveau de l'électrode sous tension engendrant une thermo-ionisation. Le claquage s'achève par propagation du leader vers l'électrode opposée.

II. 7. 2 Claquage de l'air par streamers

En appliquant une tension impulsionnelle dont le temps de front t_f varie entre 100 à 1000 μ s, les avalanches électroniques créées dans l'intervalle d'air interélectrode atteignent leur taille

critique de telle sorte que 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'à contact du plan mis à la terre (**Fig. II .7**), à ce moment-là, du fait de la contribution de l'électrode à la terre phénomène.

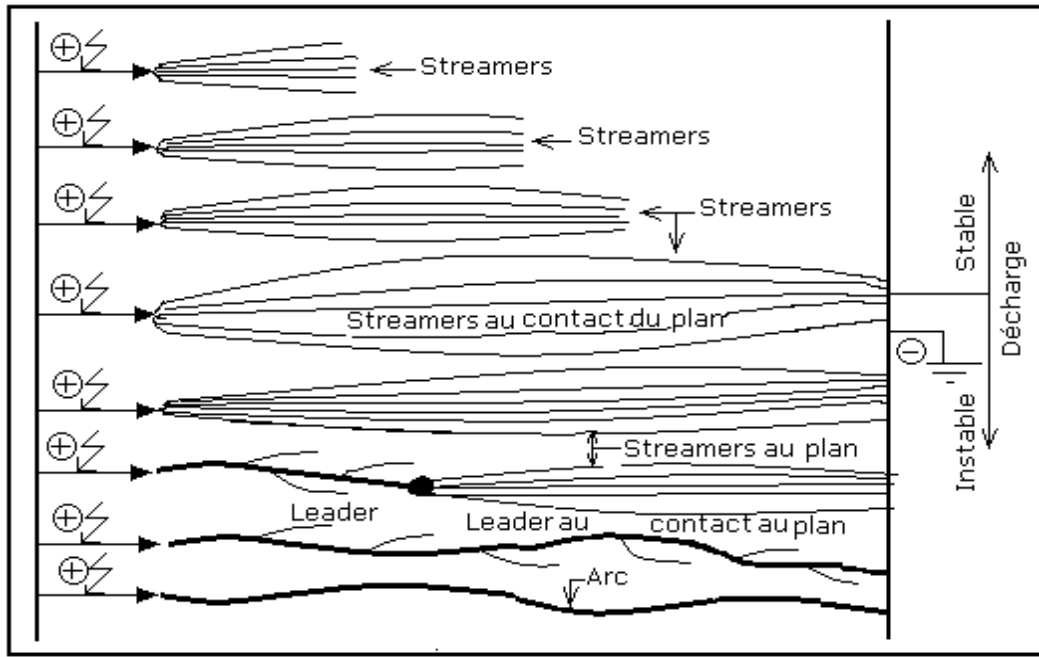


Fig. II. 7:Décharge par Streamers ($d \leq 1m$)

La forte densité de courant engendrée au niveau de l'électrode sous tension provoque la thermo-ionisation. 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 ainsi la circulation du courant de court-circuit.

II. 7. 3 Disruption de l'air par leader

Pour de longs intervalles d'air, la naissance d'un leader peut avoir lieu sans la contribution de l'électrode opposée (**Fig.II. 8**). Dans ce cas le leader est stable. Dès que les streamers issus de la tête du leader atteignent l'électrode opposée, le leader devient instable. A partir de cet instant le processus évolue de façon analogue au cas précédent.

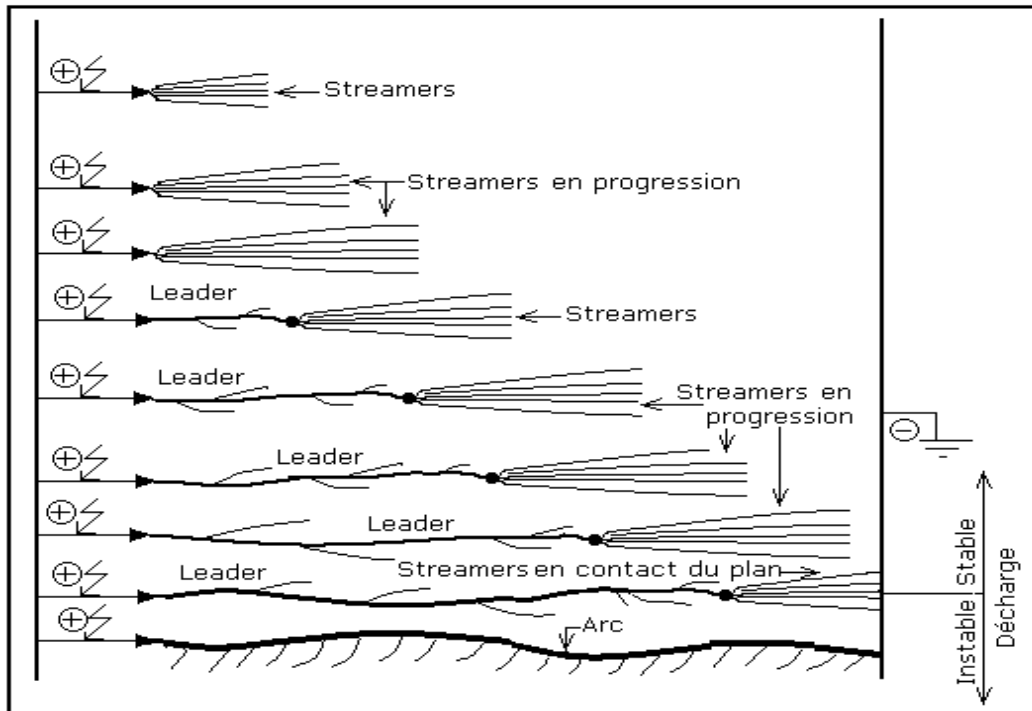


Fig. II. 8: Décharge par leader

II. 8. Décharge électrique de surface

La décharge électrique de surface désigne une décharge qui se produit en contact avec la surface d'un diélectrique solide placé dans un fluide isolant. On peut distinguer deux catégories de décharges se produisant à la surface d'un solide isolant :

Les décharges à barrière diélectrique (**Fig II.9**) ou les isolants gazeux et solide sont généralement en série entre les deux électrodes, la décharge se développe d'abord dans le volume du gaz avant qu'elle se propage sur la surface du solide .

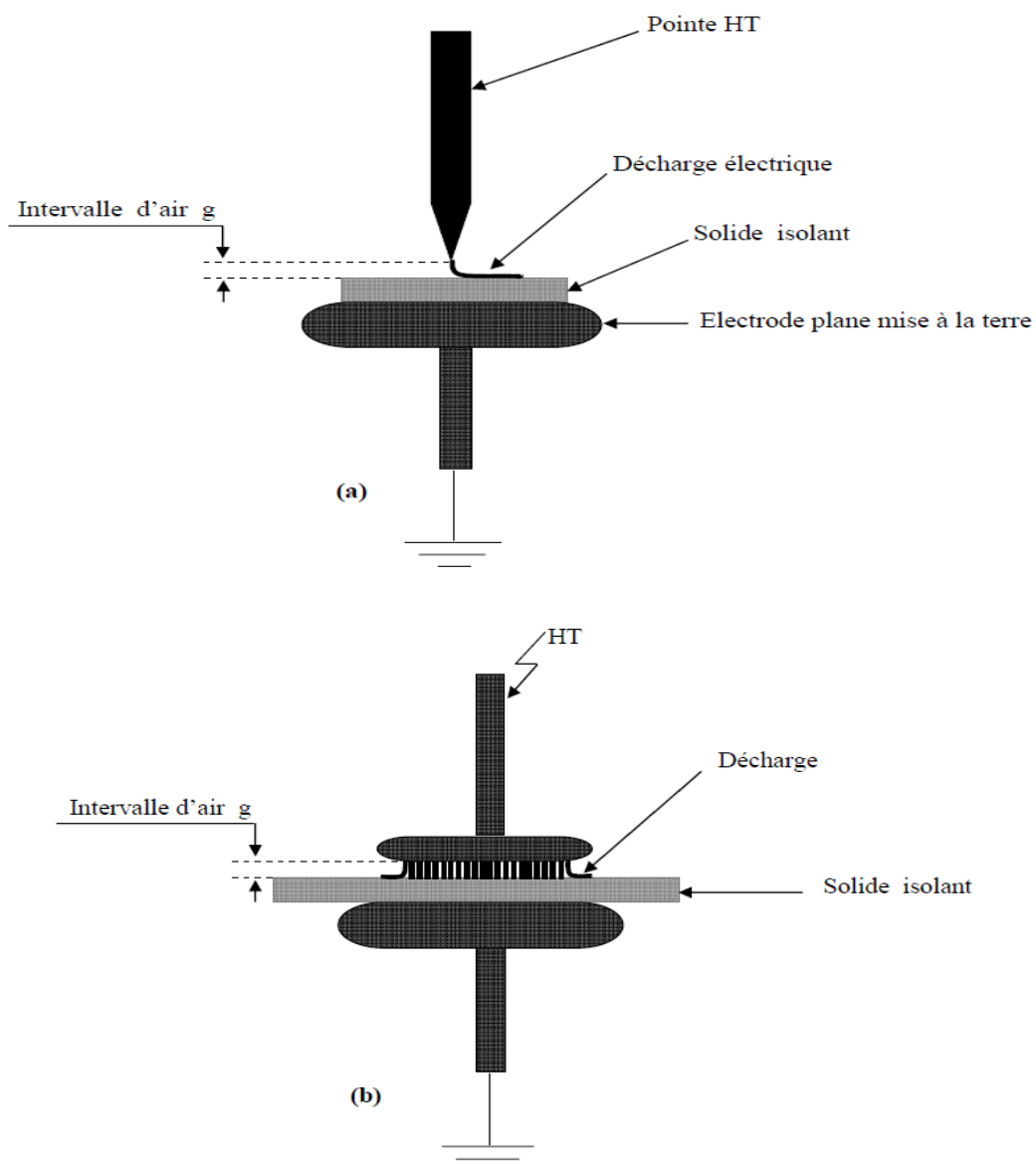


Fig II.9. Décharge à barrière diélectrique

a) Système pointe-plan

b) Système plan-plan

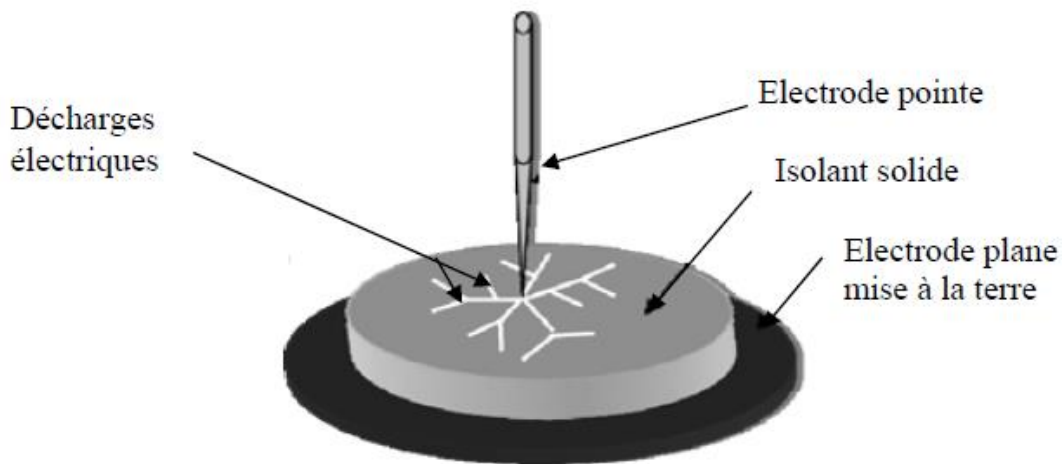


Fig II.10 : Système à décharges glissantes

Les décharges glissantes où les deux électrodes sont en contact avec la surface du diélectrique solide. La décharge électrique prend naissance et se développe dans le gaz en restant en contact avec la surface du solide isolant sur laquelle elle se propage (**Fig. II. 10**).

II.8.1. Décharges glissantes aux interfaces air/solide

Lorsque l'épaisseur du solide est assez grande pour empêcher une perforation en volume ou lorsque ce dernier est utilisé comme barrière dans un intervalle d'air, des décharges peuvent se propager sur la surface du diélectrique solide et le contourner. En se propageant, ces décharges peuvent creuser la surface du solide et laisser des traces telles des canaux ramifiés de faible diamètre appelées dans la forme globale " figures de Lichtenberg ".

Ces figures prennent toujours naissance du côté de l'électrode acérée [17].

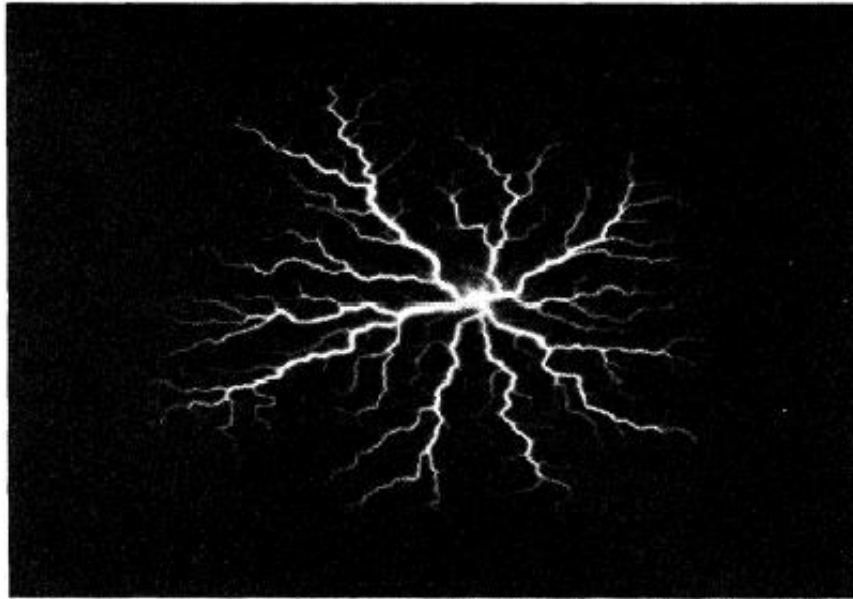


Fig.II.11. Figure de Lichtenberg observée sur une interface verre/SF₆ pour une impulsion de tension de 30 kVx1 μ s sous une pression de 0,3 MPa [18]

II.8.2. Paramètres influençant les décharges de surface

II.8.2.1. Polarité de la tension appliquée

D'une façon générale et indépendamment de la nature et de l'épaisseur du solide, deux types de décharges peuvent être observées selon la polarité de la pointe: [19]

Les décharges surfacique émanat d'une pointe négative, se distinguent par des branches rectilignes (Fig II.12a). Elles sont constituées d'un tronc principal du quel émanent des ramifications arborescentes. Les extrémités des branches et leurs ramifications forment un contour plus ou moins circulaire, centré sur la pointe. Les branches de la décharge négative, appelés aussi « streamers », sont plus lumineuses à leurs bases qu'à leur extrémités où on remarque la présence de points lumineux, témoins d'une intense activité d'ionisation.

- Les décharges générées à partir d'une pointe positive ont une forme différente des décharges négatives (Fig II. 12b). Les branches de la décharge ont une structure sinueuse et ramifiée et les ramifications se terminent par des points très lumineux en forme de bourgeon à leurs extrémités. Notons la présence de branches ayant la forme de filaments faiblement lumineux, émanant des

points lumineux ou « bourgeons ». Le contour formé par l'extrémité des branches prend une forme aléatoire à la différence des décharges négatives qui ont un aspect quasi circulaire.

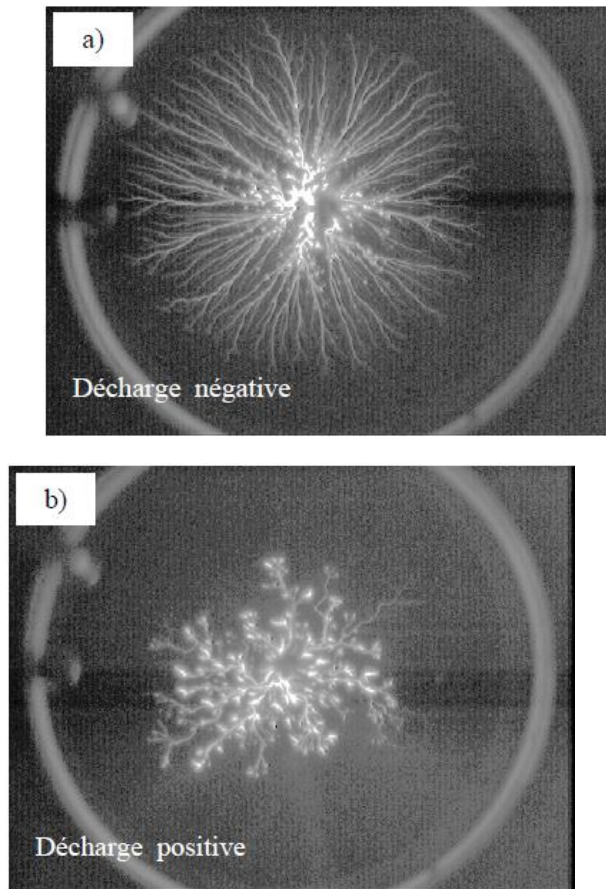


Fig . II.12: Photographie de décharges glissantes obtenues sur une interface huile/bakélite sous tension impulsionnelle d'amplitude 40 KV (valeur crête) pour les deux polarités : (a) polarité négative, (b) polarité positive.[19]

II.8.2.2. Nature et épaisseur du solide isolant sur la forme des décharges glissantes

Kebbabi [19] a montré que indépendamment de la longueur finale des décharges, la forme des décharges glissantes sous tension impulsionnelle négative dépend fortement de la nature et de l'épaisseur du solide isolant, comme le montre la **figure II.13**. L'aspect général change selon le matériau utilisé et la densité totale de branches dépend fortement de l'épaisseur du solide isolant.

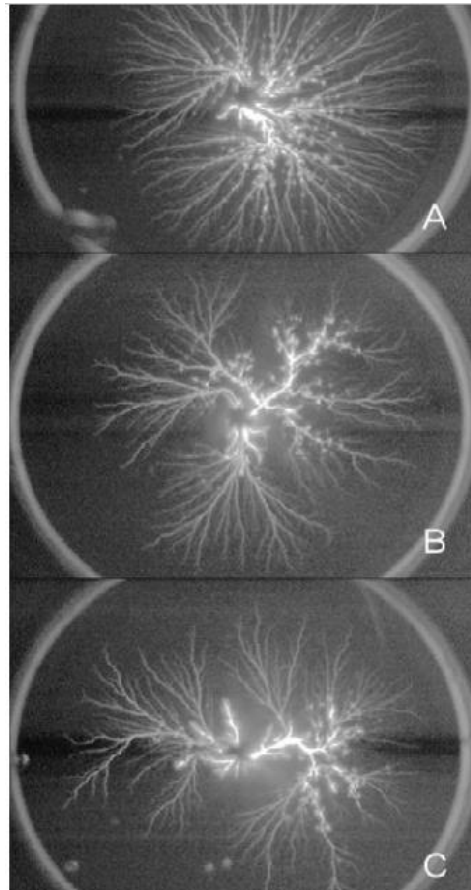


Figure II.13 : Photographies des décharges glissantes obtenues sous tension impulsionnelle négative, avec des échantillons en bakélite de différentes épaisseurs : (A) 2 mm, $U_{\text{crête}} = 44$ kV, (B) 10 mm $U_{\text{crête}} = 53$ kV et (C) 20 mm, $U_{\text{crête}} = 58$ Kv

II.8.2.3 . Nature et épaisseur du solide isolant sur la longueur finale des décharges glissantes

Les streamers qui prennent naissance au voisinage immédiat de la pointe, se propagent radialement sur la surface du solide et s'arrêtent à une certaine distance de la pointe qu'on appelle longueur final L_f . Cette dernière dépend de l'amplitude de la tension appliquée, de l'épaisseur et de la nature du solide isolant. L'évaluation de L_f des décharges glissantes est effectuée par la mesure de la distance entre la pointe et le contour circulaire formé par l'extrémité des branches formant la décharge.

II.8.2.4. Présence d'une barrière dans l'intervalle d'air interélectrode

L'introduction d'un solide diélectrique d'un espace inter électrodes permet, de dans le cas d'un champ divergent, d'améliorer la tenue diélectrique du système. La barrière est d'autant plus

efficace qu'elle est proche de l'électrode acérée (c'est adire celle dont le rayon de courbure est le plus faible).

II.8.2.5. Position de la barrière

La position optimale de la barrière, dans un système d'électrodes pointe – plan se trouve entre 0 et 20 % de la distance interélectrodes. la position optimale exacte a été déterminée expérimentalement en fonction de la géométrie des électrodes pas A.Beroual al [[21].

II.8.2.6. Epaisseur et permittivité de la barrière

L'introduction d'un solide diélectrique d'un espace inter électrodes permet, de dans le cas d'un champ divergent, d'améliorer la tenue diélectrique du système. La barrière est d'autant plus efficace qu'elle est proche de l'électrode acérée (c'est adire celle dont le rayon de courbure est le plus faible).

II.8.3. Dégradation de la surface du solide

La répétition d'essais engendre la dégradation de la surface du solide isolant et la perte partielle de ses propriétés diélectriques. Ainsi, pour une tension donnée, les décharges observées sur un échantillon soumis à des contraintes répétitives, ont une longueur finale relativement élevée comparée à celles générées sur des échantillons neufs. La multiplication des décharges sur le même échantillon, conduit inmanquablement au contournement de ce dernier à des amplitudes de tension relativement basses. Toutefois, la dégradation de surface dépend fortement de la rigidité diélectrique du solide isolant, du nombre de décharges et de l'amplitude de la tension.

II.8.4. Similarité de la décharge glissante avec la décharge de foudre

Le claquage diélectrique dans les gaz, les liquides et les solides isolants se manifeste souvent par la propagation de multiples canaux qui forment des arborescences complexes et diversifiés. La foudre et les décharges surfaciques sont les exemples les plus répandus. Leur structure générale montre une grande similitude entre les différents types de décharges. En effet, en plus de cette ressemblance à caractère optique, les deux décharges ont la capacité de se propager sur de longues distances sous l'effet d'un champ électrique faible par rapport au champ disruptif. cela suggère que la formation des branches des différents types de décharges peut être gouverné par une loi universelle faiblement sensible aux détails physiques du phénomène.

Ce type d'universalité, peut largement simplifier la classification et la description du phénomène de la décharge.

II. 9 Conclusion

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

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

-Un matériau isolant ne peut être caractérisé que par sa rigidité, sa permittivité diélectrique, son facteur de perte et sa résistance d'isolement (transversale et longitudinale) en tension continue et alternative ;

-Un matériau isolant ne peut être considéré comme un bon isolant que lorsque celui-ci possède une permittivité faible, des pertes électriques les plus faibles, une rigidité diélectrique très élevée et un niveau de décharges partielles très bas.

III. 1 Introduction

La pollution des barrières isolantes constitue un problème majeur dans la dégradation de l'isolement entre les parties conductrices de l'équipement électrique de haute tension .portée par le vent et déposée sur la surface isolante de l'appareillage haute et moyenne tension et en présence d'humidité, les divers dépôts polluants deviennent plus au moins conducteurs, ce qui engendre une diminution de la tension de tenue des barrières isolantes. Il en résulte que la tension de tenue d'une barrière polluée dépend essentiellement de la conductivité des dépôts polluants, c'est-à-dire du degré de pollution ainsi que la répartition de cette couche sur sa surface.

Il convient donc de connaître le degré de pollution subi par les barrières par le lieu de leur utilisation, afin de bien juger et apprécier le niveau de l'isolement dans les appareils et équipements électriques, en vue d'un dimensionnement convenable de l'isolation intérieure. Pour cela on procède à un choix judicieux des barrières et la mise en place, si nécessaire, de solutions complémentaires fiables et économiques.

III. 2 Définitions [22]

III. 2. 1 Pollution

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

III. 2. 2 Salinité (Sa)

La salinité est définie comme la concentration du sel dans l'eau. Elle correspond à la masse de sel divisée par le volume de la solution, généralement exprimée en kg/m^3 .

III. 2. 3 Couche de pollution

C'est une couche conductrice électrolytique appliquée sur la surface d'une isolation. Elle est composée du sel et des matériaux inertes.

III. 2. 4 Degré de pollution

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

III. 2. 5 Conductance superficielle [23]

La conductance superficielle est le rapport du courant qui traverse une surface isolante à la tension appliquée. Par exemple, la conductivité superficielle d'une isolation peut être également obtenue en multipliant la conductance superficielle par le facteur de forme de celle-ci.

III. 2. 6 Contrainte de contournement [23]

La contrainte de contournement d'une surface isolante est la tension de contournement divisée par la longueur totale de l'isolation solide.

On détermine soit la contrainte de contournement minimale, soit la relation entre celle-ci et la fréquence de contournement. La mesure de la contrainte de contournement d'une surface isolante donne toutes les informations nécessaires sur le calcul de la longueur de celle-ci, qui donnera une fiabilité raisonnable, où un taux de défauts acceptable.

III. 3 Différents types de polluants [22]

Les polluants de l'air (ou polluants atmosphériques) peuvent être d'origine naturelle ou provenir des activités humaines (industries, transports). Ils sont présents en quantité extrêmement faible.

III. 3. 1 Polluants naturels

Les polluants d'origine naturelle sont principalement le dioxyde de soufre (SO₂) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ils sont dus aux éruptions volcaniques, aux décompositions de matières organiques (animaux et végétaux morts) et aux feux de forêts.

Des particules en suspension dans l'air (aérosols) peuvent également provenir des éruptions des volcans ou des déserts et être transportées sur de très grandes distances. C'est par exemple le cas des poussières de sable du désert du Sahara (en Afrique), qui sont transportées par les vents jusqu'en Europe. Ces polluants naturels sont peu dangereux car ils ne restent pas très longtemps dans l'atmosphère.

III. 3. 2 Polluants dus aux activités humaines

Les principaux polluants que les hommes rejettent dans l'atmosphère sont :

Le dioxyde de carbone (CO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), l'ozone (O₃) et des particules en suspension. Ces polluants proviennent de la combustion des énergies fossiles

(charbon, pétrole, gaz naturel), des industries (usines métallurgiques et sidérurgiques, incinérateurs de déchets, raffineries de pétrole, etc.) et des transports routiers.

Cette pollution a commencé avec l'ère industrielle, au 19^{ème} siècle, elle est présente surtout en zones urbaines et entraîne de graves problèmes de santé chez les êtres humains, la pollution est plus forte les jours où la température est élevée (forte chaleur) et lorsqu'il n'y a pas de vent.

III. 4 Sources de pollution

La nature de la pollution dépend de la situation géographique et climatique. Les diverses sources de pollution les plus fréquemment observées sur les isolations de lignes électriques peuvent être regroupées selon leur origine et classées comme suit :

III. 4. 1 Pollution naturelle

Cette pollution peut être marine, désertique ou autre, provenant des dépôts de poussières véhiculés par les vents.

a- Pollution marine

Dans les installations en bordure de mer, les embruns portés par le vent déposent progressivement sur les isolateurs une couche de sel qui, à plus ou moins longue échéance, recouvre toute la surface de l'isolateur y compris les parties les mieux protégées. Cette couche de sel, humidifiée par les embruns eux même, ou par un brouillard ou simplement par condensation, devient conductrice. Un courant de fuite s'établit alors à travers la couche superficielle et des arcs électriques peuvent prendre naissance dans certaines conditions, et se développer jusqu'à provoquer le contournement total de l'isolation [25].

a- Pollution désertique

Dans les régions désertiques, les fréquentes tempêtes de sables déposent progressivement sur les surfaces des isolateurs une couche de pollution contenant des sels.

Une fois humidifiée, cette couche devient beaucoup plus conductrice. Un courant de fuite apparaît brusquement accompagné d'arcs partiels, dont la propagation à la surface de l'isolateur peut aussi conduire à un contournement total de l'isolation [25].

a- Autre type de Pollution naturelle

La pluie est un phénomène naturel. Dans certaines conditions de pluie violente, un film continu d'eau peut s'établir d'une extrémité à l'autre de la chaîne d'isolation. Comme l'eau n'est jamais

parfaitement isolante, ce phénomène peut conduire au contournement ; c'est le contournement sous pluie [26].

La pluie est un phénomène naturel propice à l'humidification des isolateurs par excellence. Lorsqu'elle est intense, elle est susceptible de provoquer la désagrégation des dépôts solides. Cependant, cet auto-lavage, favorable à l'amélioration des qualités diélectriques des isolations, est contrarié par le phénomène de ruissellement.

III. 4. 2 Pollution industrielle

La pollution industrielle provient des fumées évacuées à proximité de raffineries, de cimenteries, de complexes sidérurgiques ou même aux abords des centrales thermiques. Pour les régions exemptes des fumées, cette pollution peut être d'origine domestique (appareils de chauffage polluants, véhicules automobiles, ...) ou agricole (engrais). Les isolations se recouvrent des poussières faiblement conductrices, mais hygroscopiques (absorbe l'humidité).

A la présence d'une humidité intense, le sel contenu dans ces poussières abaisse considérablement la résistivité superficielle des surfaces isolantes et le contournement peut parfois survenir [26].

III. 4. 3 Pollution mixte

Ce type de pollution résulte de la combinaison entre deux ou plusieurs pollutions précitées, comme exemple les pollutions marine et industrielle lorsque les installations électriques sont situées en bord de mer.

III. 5 Facteurs climatiques d'influence de la pollution

Parmi les facteurs météorologiques essentiels d'influence des dépôts polluants et par conséquent de la tenue électrique des isolations on distingue :

a- Vent

Le vent joue un double rôle. Il assure d'une part le transport et la distribution des dépôts polluants formés sur les surfaces isolantes, d'autre part il peut se comporter comme agent d'auto nettoyage lorsque sa vitesse est élevée [26].

a- Pluie

Les fortes pluies permettent en général le nettoyage des surfaces isolantes polluées, ce pendant, les fines pluies peuvent les mouiller, ce qui augmente le risque de leur contournement [28, 29].

a-Humidité

L'humidification est considérée comme un obstacle car elle influe négativement sur la tenue électrique des isolations puisqu'elle accroît la conductivité électrique des agents polluants déposés à leur surface et entraîne par conséquent la diminution de leur tenue [28].

a-Température

Contrairement à l'humidité, l'élévation de la température favorise l'assèchement des dépôts polluants, ce qui fait augmenter leur résistivité et par conséquent la tenue des isolations contaminées devient plus importante. Cependant, la différence de température entre le jour et la nuit peut provoquer le phénomène de condensation et l'humidification de la couche de pollution [28].

III. 6 Répartition de pollution sur les barrières isolantes

Deux différents modes de distribution de pollution sur la surface d'une barrière isolante, à savoir les répartitions uniforme et non uniforme de dépôts polluants (**Fig. III. 1**), ont été définis dans la littérature [15] :

1) La barrière est dite uniformément polluée, lorsqu'un dépôt polluant de conductivité électrique quelconque est appliqué de manière uniforme sur toutes les six faces de celle-ci selon la variante 1a (**Fig. III. 1a**) ;

2) Pour ce qui est de la distribution de pollution non uniforme sur la barrière, plusieurs variantes ont été proposées :

- Dans la variante 1b, la surface de la barrière en face de l'électrode sous haute tension est polluée, les autres sont maintenues propres et sèches ;

- La variante 1c est caractérisée par le fait que la surface de l'écran en face de l'électrode mise à la terre est polluée, les autres sont gardées propres et sèches ;

- Dans la variante 1d, la surface de la barrière en face de la haute tension est subdivisée en deux zones circulaires variables et différemment polluées $z_1 (\sigma_f)$, $z_2 (\sigma_T)$ ou l'inverse, les autres faces sont maintenues propres et sèches ;

- La variante 1e est caractérisée par le fait que la surface vis-à-vis de la haute tension et les bords sont fortement pollués, celle en face de la terre faiblement polluée de conductivité plus faible et variable ;

- La variante 1f correspond exactement à l'inverse de la variante 1e.

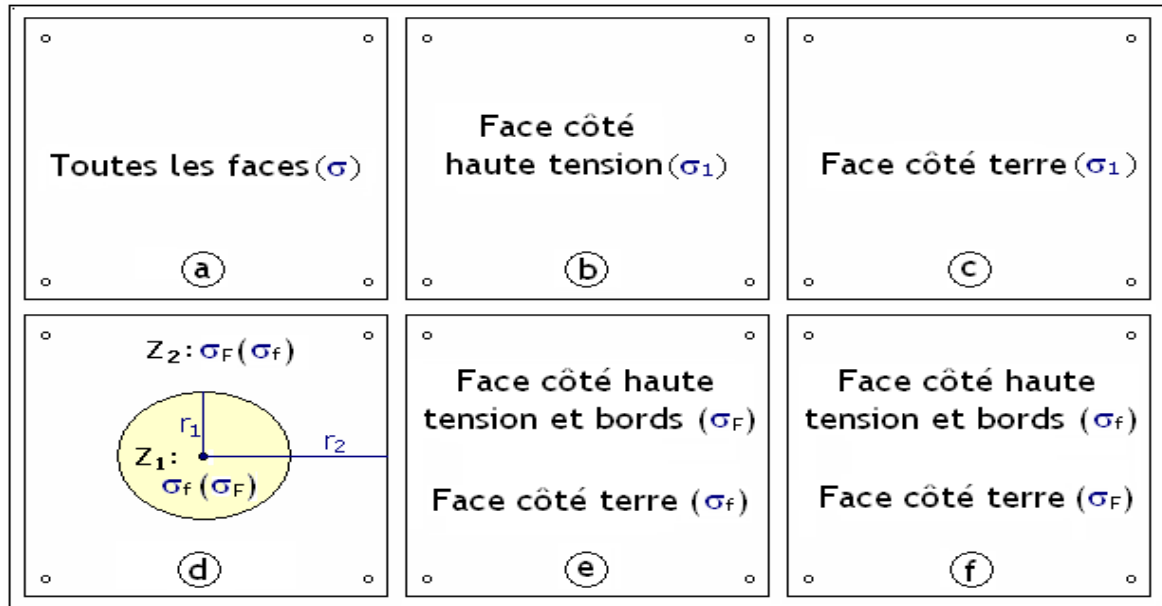


Fig. III. 1 : Variantes d’uniformité et de non uniformité de distribution de pollution sur une barrière isolante [15] (σ_f : conductivité faible, σ_F : conductivité forte)

III. 7 Effet de la pollution sur les équipements électriques

Les irrégularités dans la distribution des dépôts polluants sur une surface isolante conduisent évidemment à une diminution des performances des isolations sous pollution. Ce problème a toujours entraîné et engendre encore des défauts d’isolation au niveau de ces réseaux électriques, il en résulte parfois des défaillances des équipements, des installations des consommateurs d’énergie électrique, une diminution de la fiabilité des réseaux électriques ainsi qu’un manque à gagner pour les exploitants de ces structures électriques.

Des statistiques établies par les exploitants du réseau électrique algérien ont montré qu’environ 60 % des incidents électriques enregistrés sur ces structures électriques sont dus à l’industrialisation de l’Algérie et à l’inexistante d’information à l’échelle nationale sur le niveau de pollution des différentes régions traversées par le réseau électrique de la Sonelgaz et le manque de moyens de lutte contre la pollution.

III. 8 Principales méthodes d’évaluation de la sévérité de la pollution d’un site [23]

Le phénomène de contournement des surfaces isolantes polluées constitue un problème majeur pour les installations électriques, qu’on doit éliminer. Pour cela l’évolution de la sévérité de pollution d’un site et le calcul de la probabilité du contournement s’impose, afin de parvenir à des résultats fiables, chacune des phases de contournement citées précédemment doit être prise en compte.

Les principales méthodes d'évaluation de la sévérité de pollution des sites sont les suivantes :

- Densité de dépôt de sel équivalent (DDSE) ;
- Conductivité superficielle.

Comme on peut aussi évaluer la sévérité d'un site par la conductivité des dépôts de pollution c'est-à-dire en se référant à la constitution de la couche de poussière (sel soluble et acide dilué, etc.). Elle est définie par la conductivité superficielle des couches polluantes mais peut aussi être exprimée en termes de salinité équivalente.

III. 8. 1 Densité de dépôt de sel équivalente (DDSE) [22]

Il s'agit de dépôt équivalent, en milligramme de NaCl /cm² de la surface de l'isolant, dont la conductivité électrique est égale à celle du dépôt réel, dissous dans le même volume d'eau. Pour le calcul la DDSE, il faut prélever des échantillons du dépôt polluant présent à la surface des isolants sélectionnés et les dissoudre dans une quantité d'eau donnée. On peut alors déterminer la DDSE en fonction de la conductivité de la solution obtenue, de la surface de l'isolateur, du volume d'eau utilisé et de sa température.

III. 8. 2 Dispositif de mesure de conductivité superficielle à l'aide d'une sonde mobile

La méthode est basée sur la mesure de la conductivité superficielle à l'aide d'un dispositif de surveillance Allemand SLM 10 (sonde mobile). Ce dernier est constitué d'une sonde et d'un appareil de mesure (Fig. III. 2).

Description du dispositif et du procédé de mesure [36]



Fig. III. 2: Dispositif allemand de surveillance de la sévérité de pollution

SLM 10 (a: Sonde à électrodes planes, b: Sonde à électrodes linéaires)

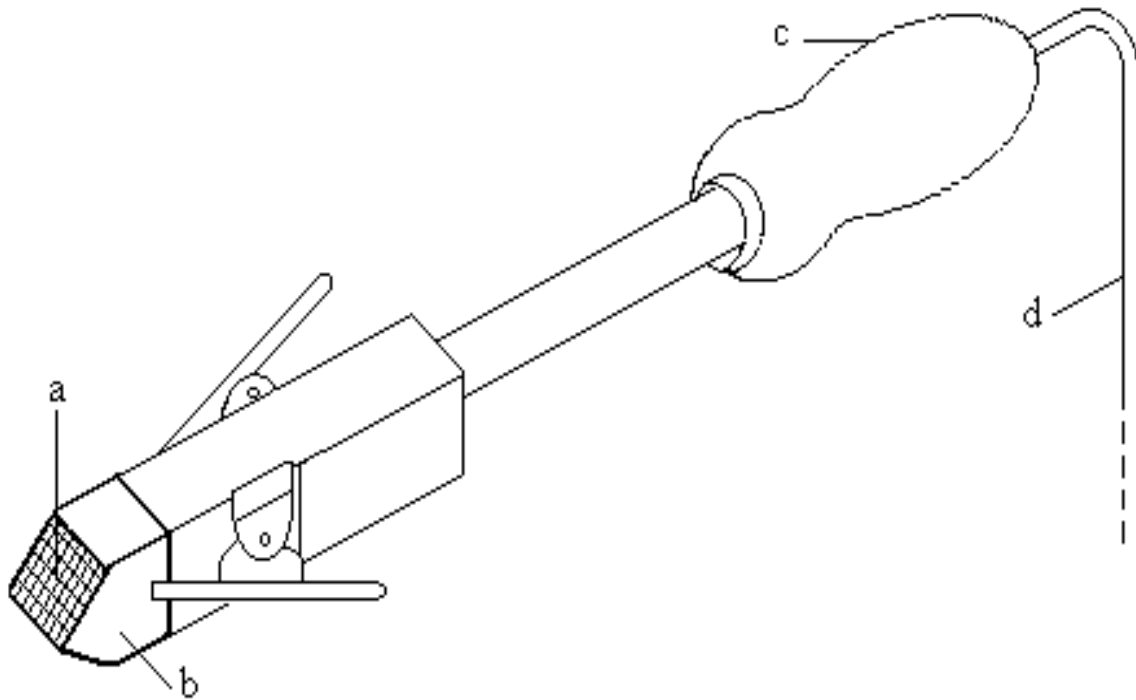


Fig. III. 3: Sonde à électrodes planes avec papier absorbant

- a: papier absorbant, c: poignée de la sonde,
 b: électrodes planes, d: câble de connexion au conductimètre

Dans le cas où on utilise une sonde à électrodes planes (**Fig. III. 3**). Avant d'effectuer les mesures sur une surface polluée de la barrière il faut:

- fixer une bande absorbante (papier PH) de dimensions ($a = 10$ mm: distance interélectrode; $b = 10$ mm: largeur des électrodes) sur la tête de la sonde ;
- avant chaque essai la bande absorbante doit être trempée dans de l'eau distillée dont la conductivité volumique doit être inférieure ou égale à $10 \mu\text{S}/\text{cm}$. Le nettoyage et l'humidification de la bande absorbante nécessitent la quantité d'un litre d'eau distillée;
- Après chaque nettoyage la tête de la sonde doit être secouée pour éliminer les gouttelettes d'eau distillée non absorbées par le papier;
- vérifier que la conductivité superficielle propre de la bande absorbante σ_p ne dépasse pas $2 \mu\text{S}$;

- poser légèrement la tête de la sonde sur un endroit choisi au préalable, sur la couche de pollution de la barrière étudiée, de telle sorte que la surface de la bande (a x b) soit en bon contact avec la surface équivalente correspondante de la barrière polluée ;

- s'assurer que l'eau absorbée par la bande ne se propage pas au-delà de la surface de contact sur la barrière isolante pendant que le dépôt polluant se trouvant en dessous de la surface du papier absorbant se dépose sur celle-ci. L'eau distillée passe de la bande absorbante vers la pollution, de telle sorte que la conductivité équivalente de la couche de pollution, résulte des conductivités de la pollution humidifiée et de la bande polluée.

La conductivité superficielle mesurée est donnée par la relation suivante :

$$\sigma_e = \sigma_r - \sigma_p (\mu S/cm) \dots\dots\dots (III. 1)$$

Où :

σ_r est la conductivité superficielle réelle donnée par la formule III. 1 ;

σ_p est la conductivité propre de la bande absorbante.

III. 9 Classification des niveaux de pollution atmosphérique extérieure [23]

La répartition des différentes classes de sévérité de pollution des sites extérieurs permet d'évaluer l'isolement des lignes de transport. Ces dernières se répartissent en quatre classes qui sont les suivantes :

III. 9. 1 Pollution légère (première classe) [23] ($\sigma_s = 50 \mu S$)

- Zone sans industrie et avec une faible densité de maisons équipées d'installation de chauffage ;
- Zone avec une faible densité d'industries ou de maisons à des vents ou des pluies ;
- Toutes les régions agricoles.

Avec une condition que toutes ces régions doivent être situées loin de la mer (10 à 20 km) ou à haute altitude et ne doivent en aucun cas être exposées aux vents de la mer.

III. 9. 2 Pollution moyenne (deuxième classe) [23] ($\sigma_s = 10$ a $15 \mu S$)

Les régions à pollution moyenne sont :

- Les zones avec industries ne produisant pas de fumée polluante, et celles ayant une densité moyenne de maisons équipées de chauffage ;

- Les zones avec forte densité de maisons ou d'industries, mais soumises à des vents fréquents et propres ou à des pluies ;
- Les zones exposées au vent de la mer, mais pas trop proches de la côte (distantes d'au moins 1 km).

III. 9. 3 Pollution forte (troisième classe) [23] ($\sigma_s = 15$ a $30 \mu\text{S}$)

- Zone à forte densité d'industries et banlieues, de grandes villes avec forte densité d'appareils de chauffage polluants ;
- Zones proches de la mer, ou celles exposées à des vents relativement forts venant de la mer.

III. 9. 4 Pollution très forte (quatrième classe) [23] ($\sigma_s = 30$ a $50 \mu\text{S}$)

- Zones généralement peu étendues, soumises à des poussières conductrices et à des fumées industrielles produisant des dépôts conducteurs particulièrement épais ;
- Zones très proches de la côte et exposées à des vents forts polluants venant de la mer.

III. 10 Classification des sévérités de pollution intérieure

Le niveau de pollution des milieux intérieurs d'exploitation des barrières diélectriques est très faible vis-à-vis de celui qui règne en atmosphère extérieure. Les résultats d'estimation de la sévérité du degré de pollution de ce genre de lieux ont montré que dans des conditions climatiques les plus sévères celui-ci peut atteindre la valeur de $10 \mu\text{S}$ [30 - 32].

III. 11 Méthodes de simulation de la pollution

Bien que de nombreuses méthodes d'essais aient été imaginées pour simuler avec plus au moins de précision des conditions naturelles particulières, aucune procédure d'essais ne peut à elle seule reproduire rigoureusement toutes les contraintes naturelles qui peuvent conduire à l'amorçage, même d'un site donné. Dans ce qui suit nous donnerons un aperçu sur de différentes méthodes de simulation.

III. 11. 1 Essais sous pollution naturelle [23]

Cette méthode permet d'analyser la variation de sévérité d'un isolant d'un site choisi, sur une période bien déterminée, en installant dans des sites pollués des stations qui subissent la même pollution que les différentes chaînes d'installations ou colonnes de différentes dimensions. Les isolants ainsi soumis à une même tension et une même contrainte sont jugés en fonction des temps au contournement, ainsi qu'en se basant sur la conductivité superficielle et le courant de fuite. Le choix final sera les isolants qui ont tenu en faveur de ceux qui ont été contournés durant le temps

d'étude. Cette procédure d'essai est la plus normalement adoptée pour des résultats fiables. Il en est de même un inconvénient majeur, vu que dans la nature, la formation d'une couche de pollution se fait sous forme d'accumulation progressive et lente de dépôts. Des années sont donc nécessaires pour pouvoir comparer valablement les performances des isolants essayés sur site. Cet inconvénient fait que les chercheurs se penchent vers des laboratoires en essayant de reproduire des conditions de pollution naturelle, qui sont plus rapides, plus faciles et moins coûteuses.

III. 11. 2 Essais sous pollution artificielle [23]

De nombreuses méthodes sont utilisées dans ce genre d'essais dans le but d'aboutir à des résultats convaincants et significatifs, donc ces différentes méthodes d'essais peuvent être classées en trois catégories :

- La méthode du brouillard propre ou de la couche solide ;
- La méthode de la pollution liquide ;
- La méthode du brouillard salin.

Mais dans des cas très rares on utilise le sel ordinaire (NaCl) comme étant une matière soluble à la présence d'eau à la surface d'un isolant pour que le liquide électrolytique se forme. Pas contre dans d'autres cas il est utilisé comme matière insoluble déposée à la surface des isolants et joue le rôle de liant.

III. 11. 2. 1 Pollution liquide [23]

Cette méthode est connue sous le nom de méthode méthyle cellulose et s'apparente à la méthode du brouillard propre. Dans ce cas le kaolin peut être remplacé par le méthyle cellulose qui est appliquée à son tour sur la surface de l'isolateur avant l'essai. La pollution n'est pas asséchée avant l'essai et la tension est appliquée après quelques minutes d'égouttage. Dans cette méthode la couche de pollution n'est pas donc humidifiée en cours d'essai, les courants de fuite assèchent la pollution et la probabilité de contournement décroît rapidement.

III. 11. 2. 2 Brouillard salin [23]

Le brouillard salin utilise une solution saline simple qui représente assez bien la pollution marine, qui normalement contient une matière insoluble.

On peut la considérer valable également pour représenter de nombreux dépôts de pollution industrielle tels que la cendre de fuel et le ciment (ce genre de couche peut contenir des quantités d'eau relativement importantes).

Dans cette méthode, pour définir la sévérité de la pollution, on fait varier le taux de salinité qui est caractérisé soit par le poids du sel contenu dans un litre d'eau en g/l, soit par la mesure de la résistivité ou la densité de la solution saline. Selon la classification des sites pollués, les valeurs de salinité appliquées sont choisies selon une progression allant de 2.5 à 160 kg/m³.

Dans la méthode du brouillard salin la production du brouillard est spécifiée d'une manière suffisamment détaillée pour assurer la reproductibilité des caractéristiques du brouillard, qui est plutôt humide.

Dans cet essai, il est bien de noter qu'il y a certainement, un ruissellement d'eau considérable à partir des ailettes des isolateurs, ce qui explique qu'aucun moyen n'est employé pour recouvrir la surface uniformément ce qui veut dire que cette méthode ne donne pas une conductivité uniforme.

La validité de cette méthode a été vérifiée dans un certain nombre de régions côtières (Btighton-G.B ; Martigne, France -S.Catarina-Italie).

III. 11. 2. 3 Couche solide [23]

Cette couche est composée d'un matériau solide contenant des ingrédients ioniques. La terre diatomée (le kieselguhr) est souvent choisie comme matériau solide et le chlorure de sodium (NaCl) comme ingrédient ionique. Cette couche devient conductrice par humidification à travers un brouillard produit par un générateur de vapeur. Cette technique « kieselguhr- brouillard de vapeur » est en accord avec les spécifications de la CEI 38.

Dans certains cas, la couche solide est composée d'une peinture semi-conductrice, cette dernière simule mieux les dépôts de pollution industrielle, tels que les cendres de carburant. La validité de cette méthode a été vérifiée dans un certain nombre de régions côtières.

La méthode de brouillard salin permet d'obtenir, par rapport aux méthodes de couche solide, une bonne reproductibilité des essais. Elle est d'une grande facilité de mise en œuvre. Cette méthode est la seule qui assure, au cours des essais, un renouvellement de couche.

Tableau. III. 1 : Equivalence entre pollution naturelle et méthode de pollution artificielle [33]

Niveau de pollution	Pollution artificielle : sévérité équivalente		
	Brouillard salin	Couche solide	Couche liquide

		Salinité g /l	Densité de NaCl équivalente mg/cm ³	Conductivité µS
I	Léger	0 < 7	0,05 à 0,1	5 à 10
II	Moyen	7 à 20	0,1 à 0,2	10 à 15
III	Fort	20 à 50	0,2 à 0,6	15 à 30
IV	Très fort	112 à 225	0,6 à 1,1	30 à 50

III. 12 Techniques de lutte contre la pollution [23]

Vu la sévérité de pollution des sites, la variation de celle-ci à travers le temps et l'extension des zones industrielles et urbaines, font que l'isolement des postes ou des lignes reste toujours insuffisant.

Alors des méthodes de lutte contre ces phénomènes peuvent être envisagées, par exemple le changement des isolateurs ; le coût étant élevé on préfère limiter ou même essayer de réduire le surplus de pollution.

III. 13 Conclusion

La pollution des barrières est un facteur essentiel dont il faut tenir compte dans la conception des équipements électriques de haute tension.

Pour mieux dimensionner les barrières, il est indispensable de connaître la sévérité de la pollution des sites concernés. La connaissance de cette sévérité consiste à étudier les différents paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation. Il n'en demeure pas moins que trois années sont au minimum nécessaires pour déterminer la sévérité d'un site. Le fait de disposer d'une méthode de pollution artificielle permet de n'effectuer l'expérimentation (sur site) que sur un seul type d'isolation et éventuellement à un niveau de tension différent que celui prévu, ce qui constitue déjà un avantage considérable.

Afin d'être en mesure de fournir rapidement des renseignements concernant l'isolement nécessaire, il serait préférable de disposer d'une carte de sévérité des principaux sites pollués. On propose de les classer en quatre catégories de sévérité auxquelles correspondent des longueurs minimales de lignes de fuite à respecter pour les isolations en site de service.

Chapitre IV

Partie expérimentale

IV.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de rechercher l'équivalence électrique existant entre un système pointe – pointe avec deux barrières polluées et un système plan – plan métalliques sous tension continue positive et négative, dans un intervalle d'air variant entre 4 et 16 cm.

Pour une distance séparant les deux barrières en verre, en contact avec les pointes sous tension et à la terre et une sévérité du degré de pollution de celle-ci données, la tension disruptive de l'espace d'air inter-barrières variable sera mesurée plusieurs fois (25 mesures) et une valeur moyenne de celle-ci sera déterminée.

Pour les mêmes intervalles d'air, la tension de claquage de l'espace d'air entre le système plan - plan sous atmosphère sèche et/ou les deux plans métalliques recouverts de gouttes d'eau sera aussi déterminée.

Pour des intervalles d'air égaux à 5 et 10 cm, la position optimale d'une ou deux barrières protégeant le système pointe – pointe sera recherchée.

Enfin tous ces essais seront appuyés par la visualisation du phénomène électrique se développant dans l'espace d'air interélectrode des différentes configurations d'électrodes avec barrières sous des conditions de pollution très sévères.

IV. 2 Dispositif expérimental et techniques de mesure

IV.2.1 Modèle expérimental

Le modèle expérimental est illustré par la figure **IV.1**. Il a été réalisé au laboratoire de haute tension de l'université de Bejaia [5]. Celui-ci est composé d'un support en bois en forme de U, ayant 45 cm de hauteur et 54 cm de longueur et sur lequel sont encastrés deux bras en bois. Des électrodes pointues ou planes peuvent être vissées sur ces derniers (**Fig. IV. 1a, 1b et 1c**), et l'introduction de 1 ou 2 barrières se fait au moyen d'un support en bois (**Fig. IV. 1d**). Chacune des deux électrodes pointues est constituée d'une tige cylindrique en bronze de 20 mm de diamètre et 150 mm de longueur. Celle-ci est terminée par une pointe conique en bronze ayant un angle de 60° et de 0.2 mm de rayon de courbure. Elles peuvent être aussi vissées sur les tiges sortant des deux bras du support en U. Les deux électrodes planes circulaires et métalliques ont 40 cm de diamètre et de 6 mm d'épaisseur. La distance dans l'air entre ces deux électrodes de base varie entre 4 et 16 cm.

Les barrières isolantes exploitées dans notre cas sont en verre, de forme carrée de 6 mm d'épaisseur et de 40 cm de largeur.

La fixation de chacune des deux barrières sur un support en bois parallélépipédique de dimensions $(65 \times 55 \times 72) \text{ cm}^3$ et leur maintien perpendiculaires aux deux pointes est réalisé au moyen de deux autres supports en bois en forme de T coulissant sur un rail en bois installé sur la paroi supérieure du parallélépipède. Les barrières sont attachées à ce support à l'aide de chevilles en plastique (**Fig. IV. 1d**). Les deux supports suscités sont séparables et celui en forme de U peut être introduit à l'intérieur du cube afin de pouvoir varier aisément et simultanément la distance interélectrode (d) et inter-barrières ($d - 2 e_b$). Ce dispositif est déposé sur une table en bois métallisée et reliée à la terre. Une paroi isolante en verre d'une épaisseur de 1 cm est placée sur la table afin de renforcer l'isolement du modèle expérimental de la partie métallisée de la table mise à la terre.

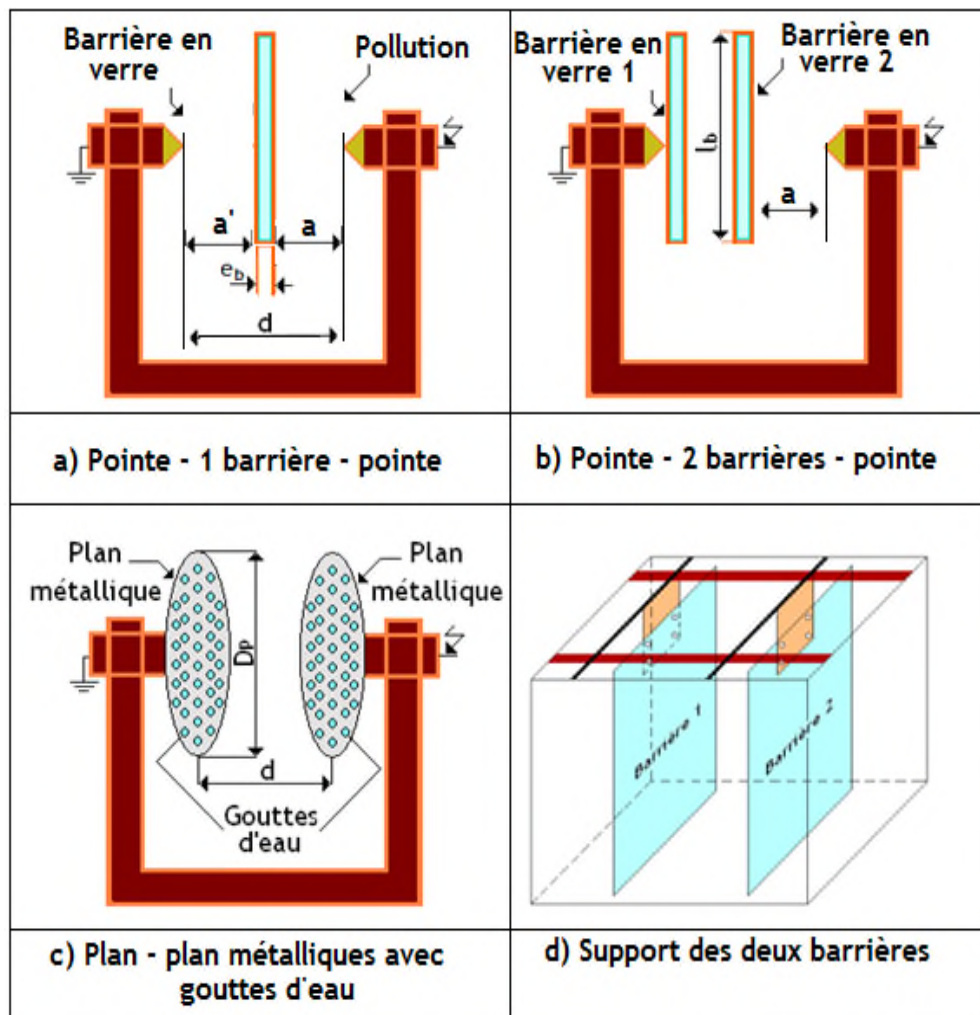


Fig. IV. 1 : Modèle expérimental pointe – pointe avec une et deux barrières contaminées, plan – plan avec gouttes d'eau (D_p : diamètre du plan métallique circulaire; l_b : largeur de la barrière en verre; e_b : son épaisseur)

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

La mesure de la performance du système avec barrières polluées et la visualisation de la décharge électrique évoluant dans l'espace d'air interélectrode de celui-ci peuvent être réalisées à l'aide du schéma électrique illustré par la figure IV. 2.

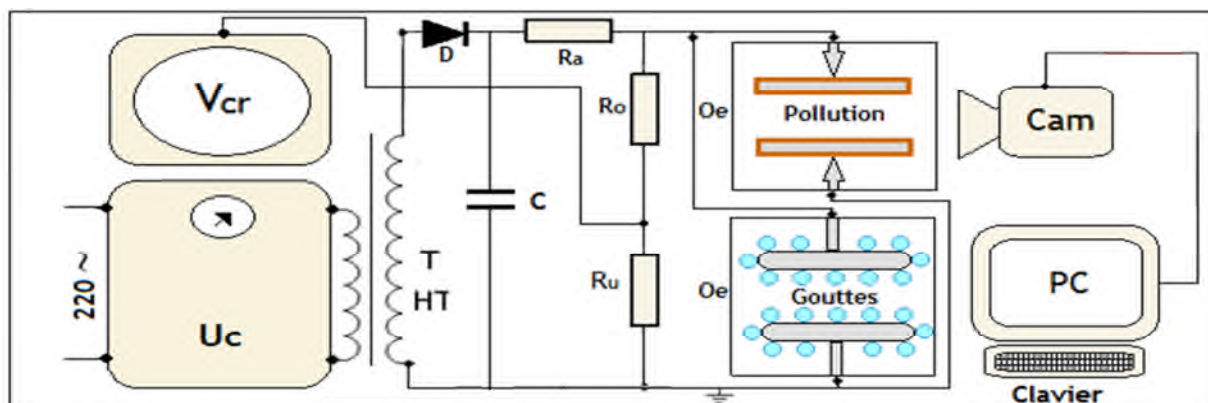


Fig. IV. 2 : Circuit de mesure de la tension disruptive du système pointe – pointe avec barrières polluées et de visualisation de la décharge électrique

Le circuit de mesure de la tension de disruption du système considéré est composé d'un transformateur Tr qui peut délivrer à son secondaire une tension alternative maximale de 135 kV, dont la variation temporelle de sa rampe peut être obtenue automatiquement à l'aide de l'appareil de commande manuelle ou automatique SG, un voltmètre de crête V_{cr} (DC/AC) à affichage numérique, La tension suscitée est redressée par une diode D et lissée par un condensateur C.

L'objet Oe n'est tout autre que le système d'électrodes pointe – 2 barrières – pointe ou le système plan – plan métalliques recouverts de gouttes d'eau, qui est connecté aux limites de la résistance de protection R_a , et au diviseur de tension résistif R_o/R_u .

Le circuit de visualisation est constitué d'un caméscope Cam pour l'enregistrement des différentes phases de la décharge électrique se développant dans l'espace d'air interélectrode du système et d'un PC pour une meilleure observation et analyse de celles-ci.

IV. 2. 3 Composition de la solution polluante



$$\sigma v = 25 \text{ mS/cm}$$

Fig. IV. 3: Appareil de mesure de la conductivité volumique des solutions polluantes (Conductimètre)

La solution polluante utilisée est composée d'un mélange d'eau de robinet, de 40 g de kaolin par litre d'eau pour l'épaississement de la couche et de chlorure de sodium dont la proportion est déterminée selon la conductivité volumique désirée de la solution (**Fig. IV.3**).

La mesure de la conductivité superficielle de la barrière isolante contaminée est effectuée au moyen du conductimètre à sonde mobile. La conductivité volumique utilisée dans le cadre de cette étude est égale à 25 mS/cm.

IV. 2. 4 Procédé d'application de la pollution

Concernant l'application de la solution polluante, un mode de distribution de celle-ci a été utilisé :

- répartition uniforme de la pollution sur les deux grandes faces des barrières et leurs trois bords.

La couche de pollution sur les barrières a été appliquée comme suit :

Nous prélevons à l'aide d'une seringue une quantité constante de 3 ml de la solution polluante que nous avons préalablement bien agité et que nous déposons par la suite uniformément sur une éponge propre.

La mise sous tension d'essai du système d'électrodes considéré est effectuée immédiatement après l'application de la pollution sur la surface de la barrière pour éviter l'assèchement naturel de celle-ci. Avant chaque nouvel essai, la barrière est nettoyée et rincée à l'eau puis séchée à l'aide du papier absorbant. La pollution est déposée à l'aide de l'éponge imbibée de la solution polluante sur la surface de la barrière sous forme de bandes de pollution de 8 cm de taille, disposées en parallèle et reliées les unes aux autres de telle sorte à obtenir une seule couche continue de même épaisseur tout le long de la surface de la barrière en verre.

IV. 2. 5 Correction des résultats suivant les conditions atmosphériques [34]

La tension disruptive de l'intervalle d'air d'un système électrique avec barrière polluée est strictement liée aux conditions atmosphériques nominales, dont on trouve la température ambiante, la pression et l'humidité de l'air environnant. La valeur de la tension disruptive ramenée aux conditions normales de température θ_0 , de pression P_0 et d'humidité H_0 ($\theta_0 = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $P_0 = 100\text{ kPa}$ et $H_0 = 11\text{ g/m}^3$), est donnée par la relation suivante :

$$U = \frac{K_h}{K_d} U_m \tag{IV. 1}$$

Avec :

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

U : tension disruptive ramenée aux conditions normales de température θ_0 , de pression P_0 et d'humidité H_0 .

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

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

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/m^3), est nécessaire, car K_h est donné en fonction de cette dernière. L'abaque de la figure IV. 4, 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. 4) est reportée sur l'abaque de la figure IV. 5.

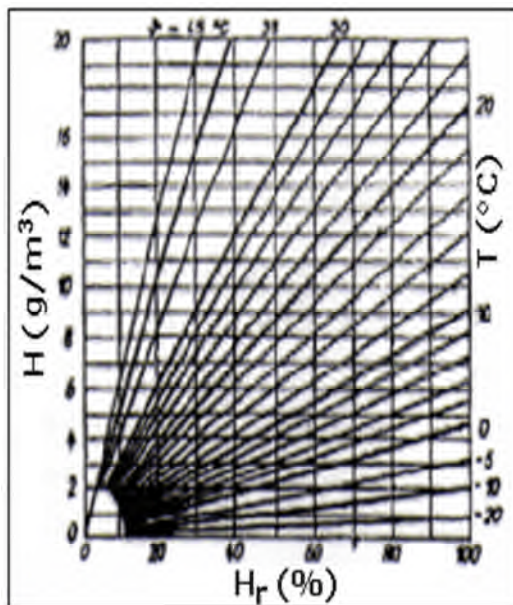


Fig. IV. 4: $H = f(H_r, T)$

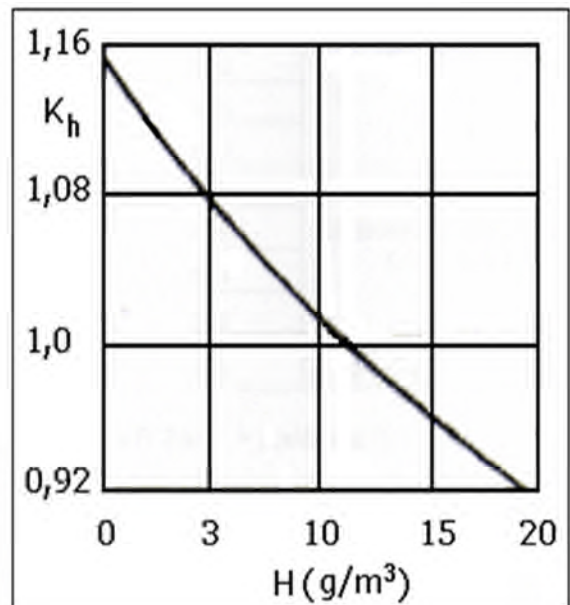


Fig. IV. 5: $K_h = f(H)$

IV. 3 Paramètres d'influence de la performance d'un système pointe – pointe protégé par une ou deux barrières

IV. 3 .1 Polarité positive

IV. 3. 1 .1 Position optimale d'une barrière dans un système d'électrode pointe – 1 barrière –pointe pour un intervalle d'air fixe

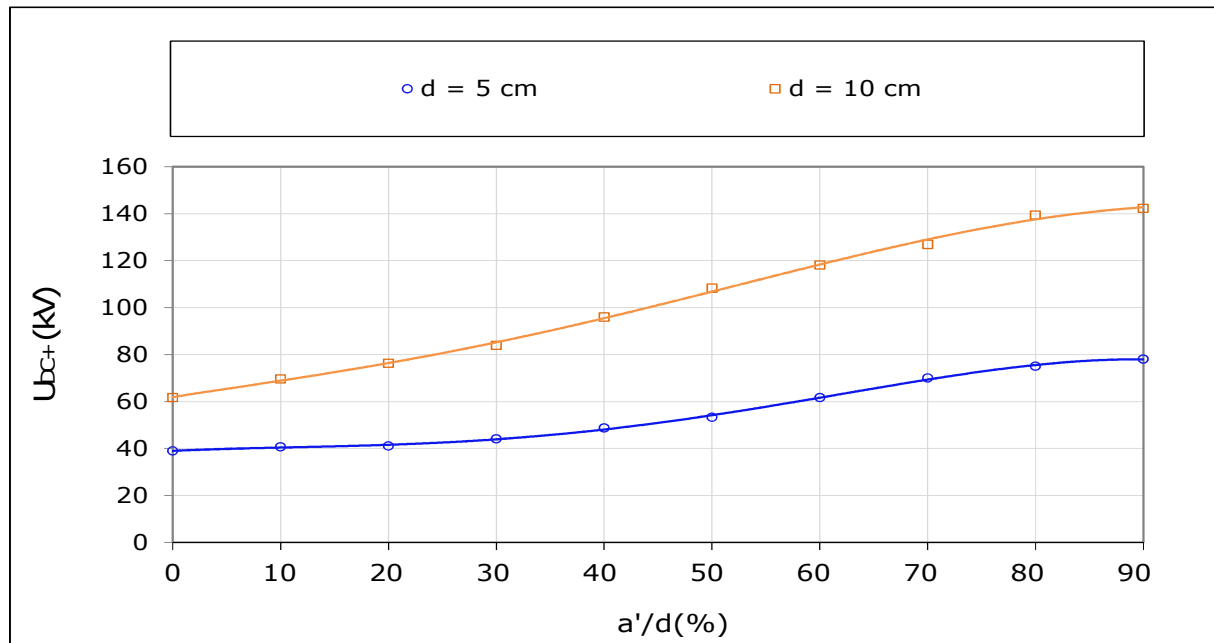


Fig. IV. 6 : Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25 \text{ mS/cm}$)

Pour une longueur de l'intervalle d'air pointe – pointe égal à 5 cm et 10 cm, l'allure de la performance électrique d'un système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de (a/d) , est illustrée par la figure IV. 6.

Avec a/d : Position relative de la barrière en pourcentage;

a' : Distance entre la pointe terre et la barrière (**Fig. IV. 1 a**);

d : Distance interélectrode (**Fig. IV. 1 a**).

Dans le premier cas nous avons posé la barrière polluée en contact avec l'électrode terre et nous la déplaçons ensuite vers l'électrode haute tension.

Il en résulte que la tension de disruption de l'espace d'air du système étudié croît en fonction de la position de la barrière (**Fig. IV. 6**).

Pour $d = 5 \text{ cm}$ et $d = 10 \text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec barrière polluée, est toujours maximale lorsque la barrière est en contact de l'électrode haute tension, a/d est égale à 90 %. Cela est dû au fait que la décharge évoluant dans l'air lorsque

la barrière est en contact avec la terre est une décharge positive (Fig. IV. 7a et Fig. IV. 8a), et lorsque cette dernière est en contact avec l'électrode haute tension la décharge se développant est négative. Sachant que la tension de disruption de la décharge négative (Fig. IV. 7a et Fig. IV. 8a), est de loin supérieure à celle de la décharge positive, cela explique que la tension la plus élevée est obtenue à 90 %

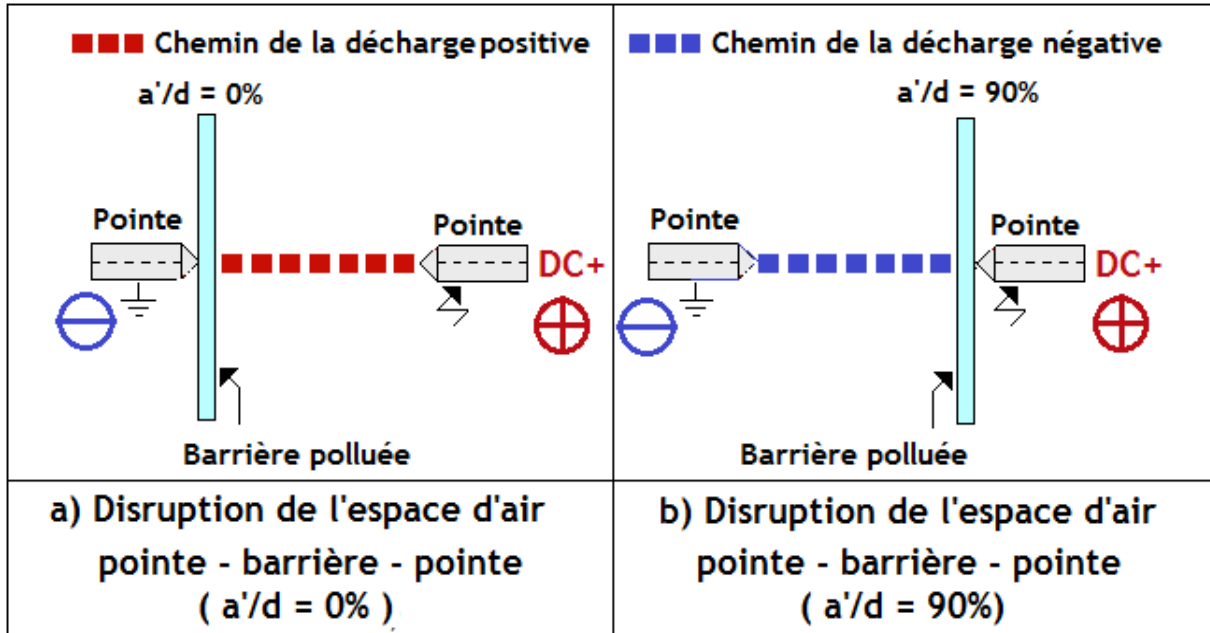


Fig. IV. 7: Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée - pointe sous tension continue positive

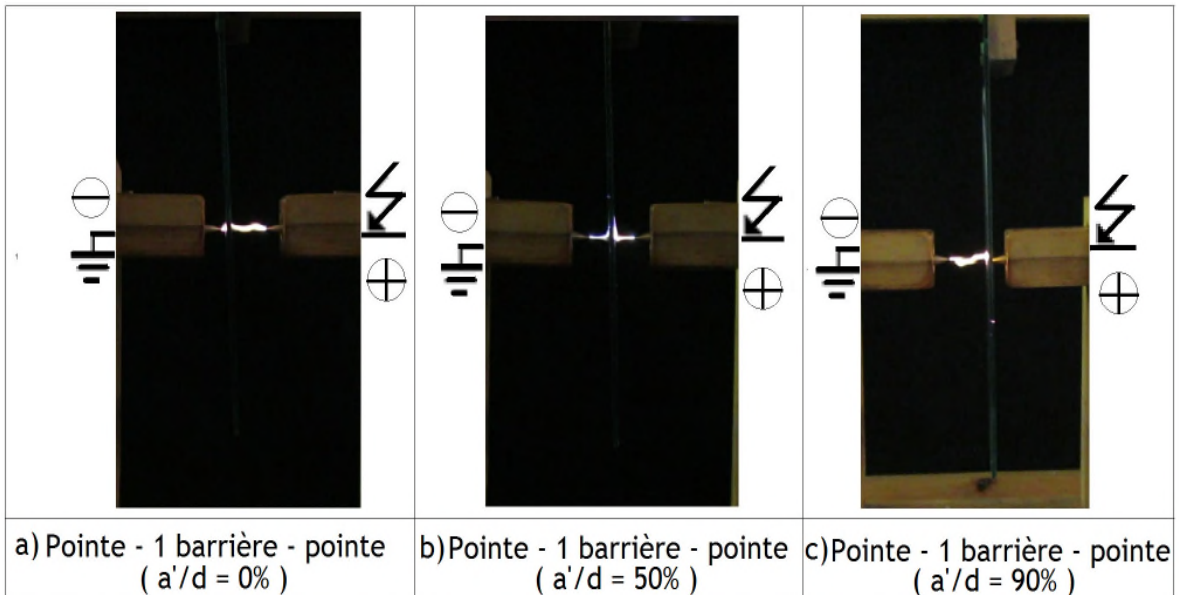


Fig. IV. 8: Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue positive ($\sigma_v = 25 \text{ mS/cm}$)

Il résulte de la visualisation du phénomène de disruption de l'intervalle d'air du système pointe - barrière fortement polluée - pointe que cette valeur limite de conductivité électrique de la barrière [2] égale à 25 mS/cm, de la barrière correspond bien à l'absence de contournement des deux faces de la barrière polluée (**Fig. IV. 8**) et que la rupture diélectrique du système considéré est engendrée uniquement par l'amorçage de l'intervalle d'air entre la pointe et le centre de la barrière polluée comme si celle - ci est équivalente à une barrière métallique. Ce phénomène est reproductible sur les deux intervalles d'air de longueur 5 et 10 cm.

IV. 3. 1. 2 Position optimale de deux barrières dans un système d'électrode pointe – pointe pour un intervalle d'air fixe

Pour une distance interelectrode fixée à 5 et 10 cm, l'allure de la performance électrique d'un système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de a/d est illustrée par la figure **IV. 9**.

Avec a/d : Distance relative séparant la barrière mobile de la haute tension en pourcentage;

a: Distance entre la pointe haute tension et la barrière mobile (**Fig. IV. 10**);

d: Distance interélectrode entre les deux points (**Fig. IV. 1**)

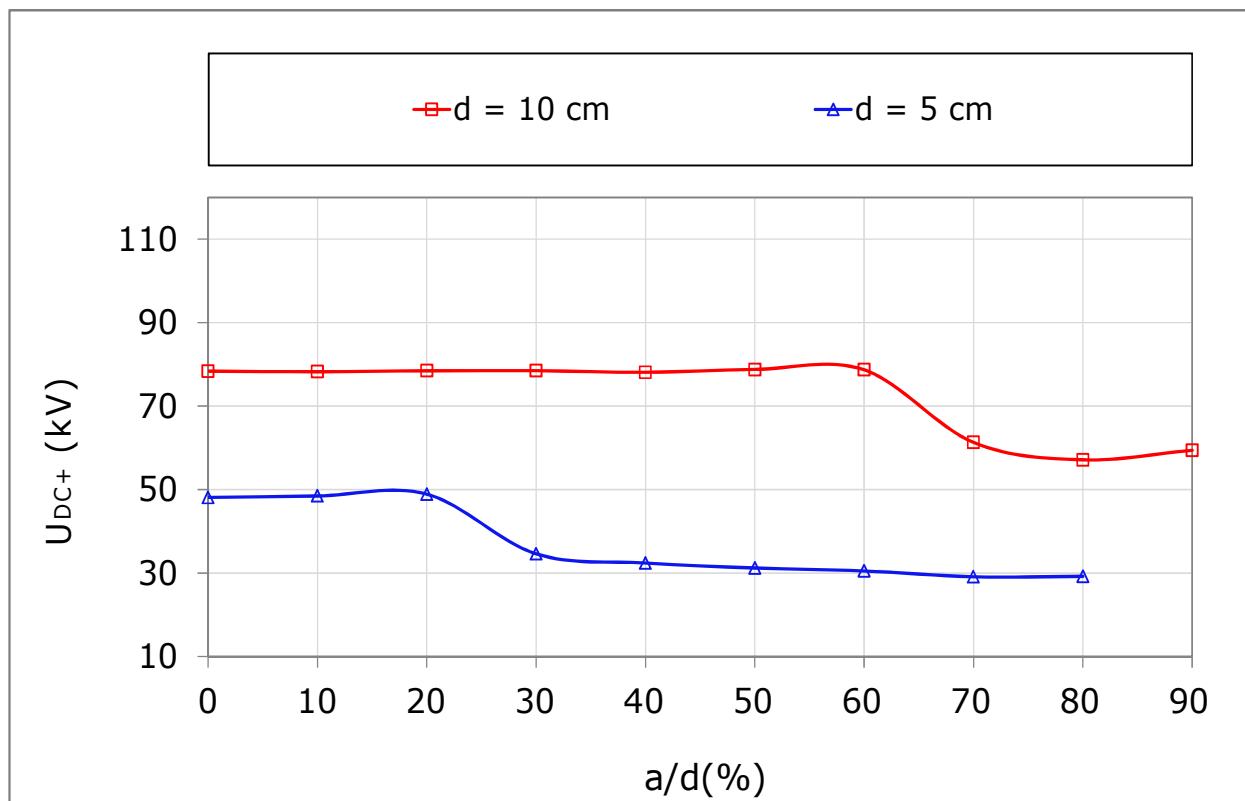


Fig. IV. 9: Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Dans ce cas nous avons pris $a/d = 0\%$, c'est - à - dire lorsque la 1^{ère} barrière est mise en contact avec l'électrode terre et la 2^{ème} barrière en contact avec la pointe haute tension, puis nous déplaçons cette 2^{ème} barrière vers l'électrode terre.

Pour $d = 5\text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec deux barrières polluées, est maximale lorsque la barrière mobile est positionnée entre 0 % et 20 %. Au - delà, elle décroît jusqu'à une valeur minimale atteinte pour $a/d = 90\%$.

Pour une distance interélectrode $d = 10\text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec deux barrières polluées, est maximale lorsque la position relative de la 2^{ème} barrière varie entre 0 % et 60 %.

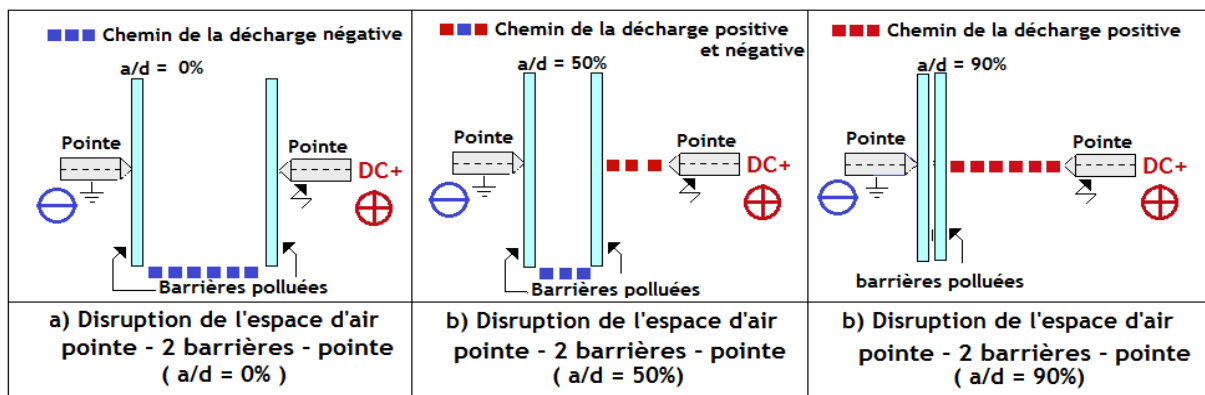


Fig. IV. 10: Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée - pointe sous tension continue positive ($\sigma_v = 25\text{ mS/cm}$)

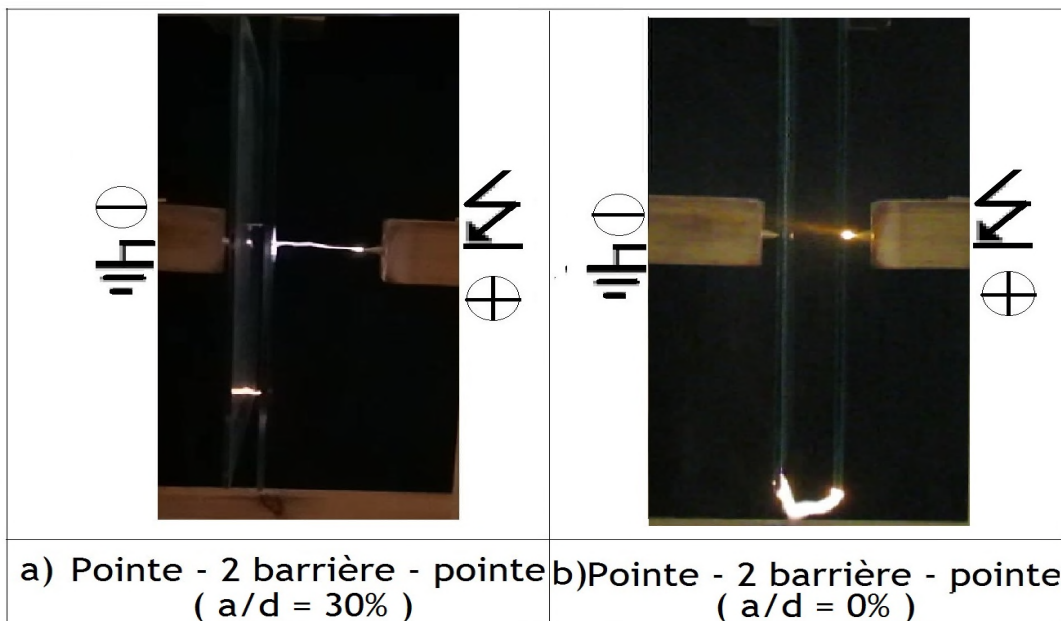


Fig. IV. 11: Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe sous tension continue positive ($\sigma_v = 25\text{ mS/cm}$)

Il ressort de la visualisation du phénomène de disruption de l'intervalle d'air du système pointe - 2 barrières fortement polluées – pointe que la rupture diélectrique du système considéré est engendrée par une seule décharge négative qui évolue du bord au bord des deux barrières lorsque celles-ci sont mises aux deux extrémités du système $a/d = 0\%$ (**Fig. IV. 10a**). Pour $a/d = 50\%$, le claquage de l'espace d'air interélectrode est régi par la décharge négative entre les deux barrières et la décharge positive entre la pointe HT et la deuxième barrière (**Fig. IV. 10b**). Par contre pour $a/d = 90\%$ la disruption du même intervalle d'air interélectrode a lieu sous l'action d'une seule décharge électrique positive issue de la pointe HT vers les deux barrières en contact entre elles et avec la terre. Ce phénomène est reproductible sur les deux intervalles d'air de longueur 5 et 10 cm.

IV. 3. 3. 3 Disruption d'un intervalle d'air variable entre deux plans conducteurs secs ou recouverts de gouttes d'eau

La tension disruptive de l'intervalle d'air du système plan – plan avec ou sans gouttes d'eau est illustrée par la figure **IV. 12**.

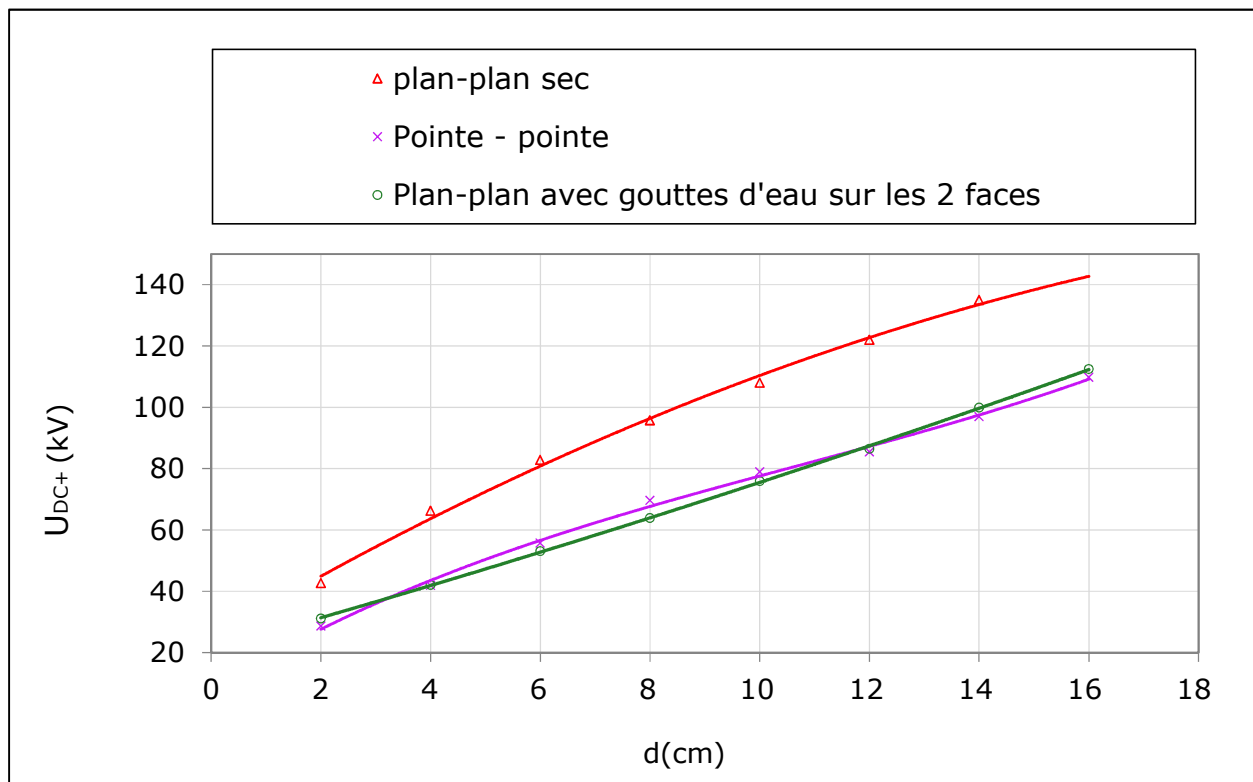


Fig. IV. 12: Tension disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

Il en résulte que pour une taille donnée de ces électrodes planes et métalliques de 40 cm de diamètre et pour des intervalles d'air variant entre 2 cm et 14 cm, la tension de disruption de l'espace d'air du système étudié croît en fonction de leur distance interélectrode. De plus la tension de rupture de l'intervalle d'air plan – plan métalliques avec gouttes d'eau est largement inférieure à la tension de claquage de celui-ci sans gouttes. Cela peut s'expliquer par le fait que les petites gouttes d'eau prennent la forme de petites saillies et perturbent ainsi le champ électrique régnant dans cet intervalle d'air et la tension d'amorçage de cette configuration est quasi-confondue avec celle du système pointe – pointe déterminée sur ce même espace d'air.

Il ressort de la visualisation (**Fig. IV. 13**) une seule décharge évoluant dans l'air du bord au bord des deux électrodes planes sans gouttes d'eau car c'est à ces endroits que le rayon de courbure est le plus faible. Concernant la configuration plan-plan avec gouttes d'eau, nous constatons que la décharge évolue toujours du bord au bord des électrodes planes métalliques mais cette fois-ci des extrémités des gouttes déposées sur les bords dont leur géométrie est équivalente à des petits cônes générés suite à l'accentuation du champ électrique très intense aux bords des électrodes planes métalliques.

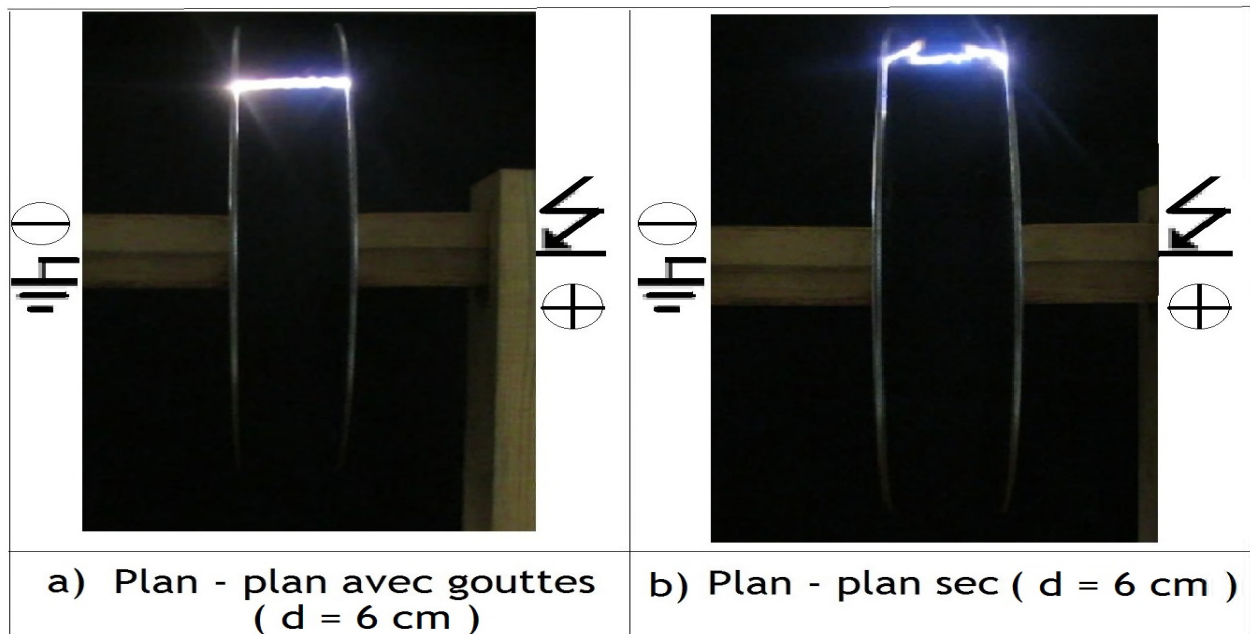


Fig. IV. 13: Tension disruptive de l'intervalle d'air des systèmes plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

IV. 3. 1. 4 Equivalence de performance électrique entre plan – plan métalliques et pointe – pointe protégée par deux barrières fortement et uniformément polluées

L'allure de la tension disruptive de l'espace d'air du système plan – plan avec gouttes d'eau et celui du système pointe - pointe protégé par deux barrières polluées de 40 cm de largeur et mises au contact avec les pointes sous tension et à la terre est illustrée par la figure **IV.14**

Il découle de cette figure une équivalence électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières contaminées uniformément avec un dépôt polluant de conductivité volumique égale à 25 mS/cm et une configuration plan – plan métalliques recouverts de gouttes d'eau de conductivité électrique égale à 1200 μ S/cm.

Sur les barrières mises sous condition de pollution humide (eau + sel + kaolin) se déposent des petits grains issus du kaolin insoluble dans l'eau de la solution préparée. Leur effet sur la distorsion du champ électrique régnant entre deux barrières en verre uniformément et fortement polluées est pratiquement équivalent à celui généré par des gouttelettes d'eau de robinet déposées sur deux plans métalliques de diamètre égal à la largeur des barrières en verre et séparés par une même distance dans l'air que celle séparant les deux barrières isolantes polluées mises sous la même contrainte de tension.

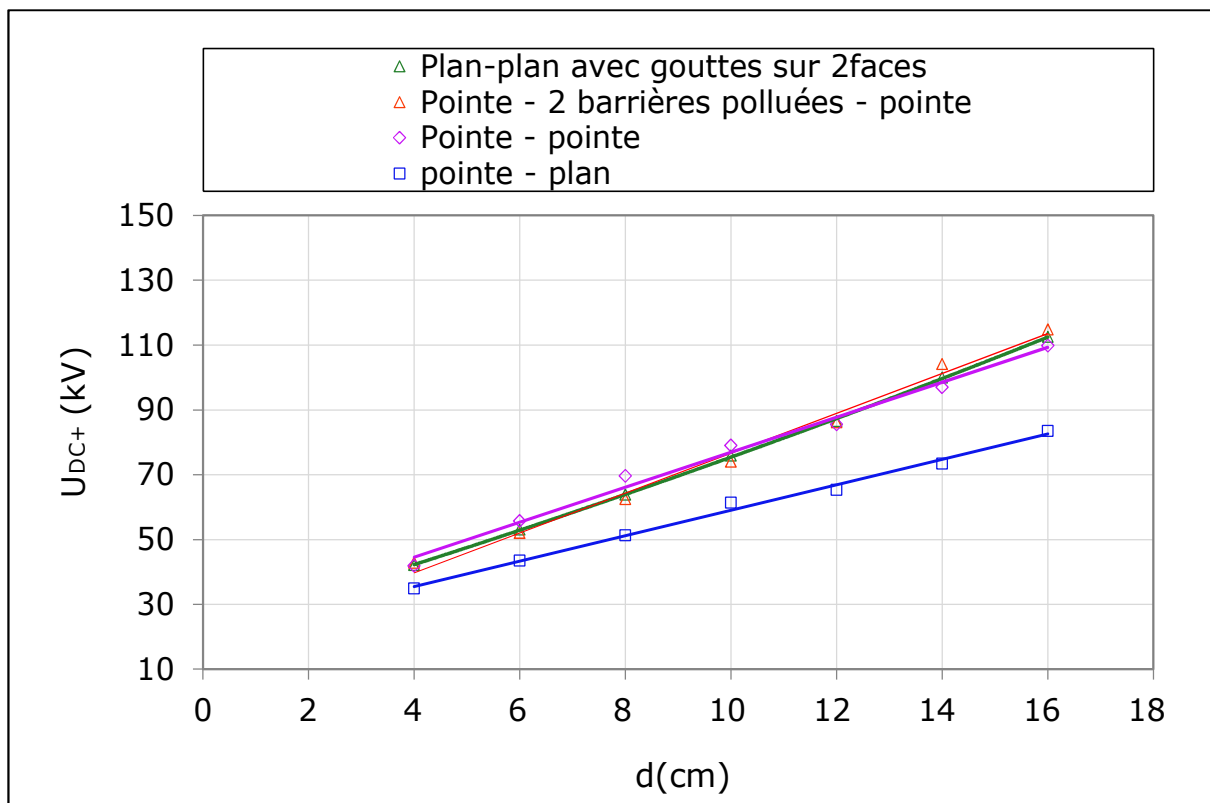


Fig. IV. 14: Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières uniformément et fortement polluées, et un système plan – plan métalliques avec gouttes d'eau

Il en résulte que l'équation la courbe de tension du système de pointe – 2 barrières - pointe représente la forme d'une droite d'équation : $U_{DC+} = 6d + 15$ et de pente égale à 6.0 kV/cm. Cette valeur est comprise entre 4.5 et 7 kV/cm, qui n'est tout autre que l'intervalle donnant les valeurs limites nécessaires pour le développement des streamers positifs [35 - 36] et entraîner l'amorçage de l'espace d'air délimité par les trois configurations d'électrodes citées

précédemment. Nous pouvons conclure, sur la base des résultats issus de cette étude, qu'une modélisation de l'isolement sous tension continue positive est possible pour une longueur variant entre 4 et 16 cm d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme pointe – plan sous la protection d'une seule barrière et pointe – pointe protégé par deux barrières dans un site où règnent des conditions de pollution très sévères.

Il ressort de la visualisation de l'évolution de la décharge électrique dans le cas de deux barrières polluées et mises en contact avec les pointes sous tension et à la terre que la disruption d'un tel espace d'air est régie pratiquement par une seule décharge reliant les bords des deux barrières fortement contaminées comme si celles-ci sont équivalentes à des électrodes métalliques. La décharge électrique de rupture ne glisse plus sur leur surface. Les décharges électriques issues de la pointe sous tension et celle mise à la terre sont réduites à deux points lumineux glissent pas sur les faces des barrières. La liaison entre ces deux décharges est établie par le biais des lignes de courant reliant ces dernières (**Fig. IV. 15**).

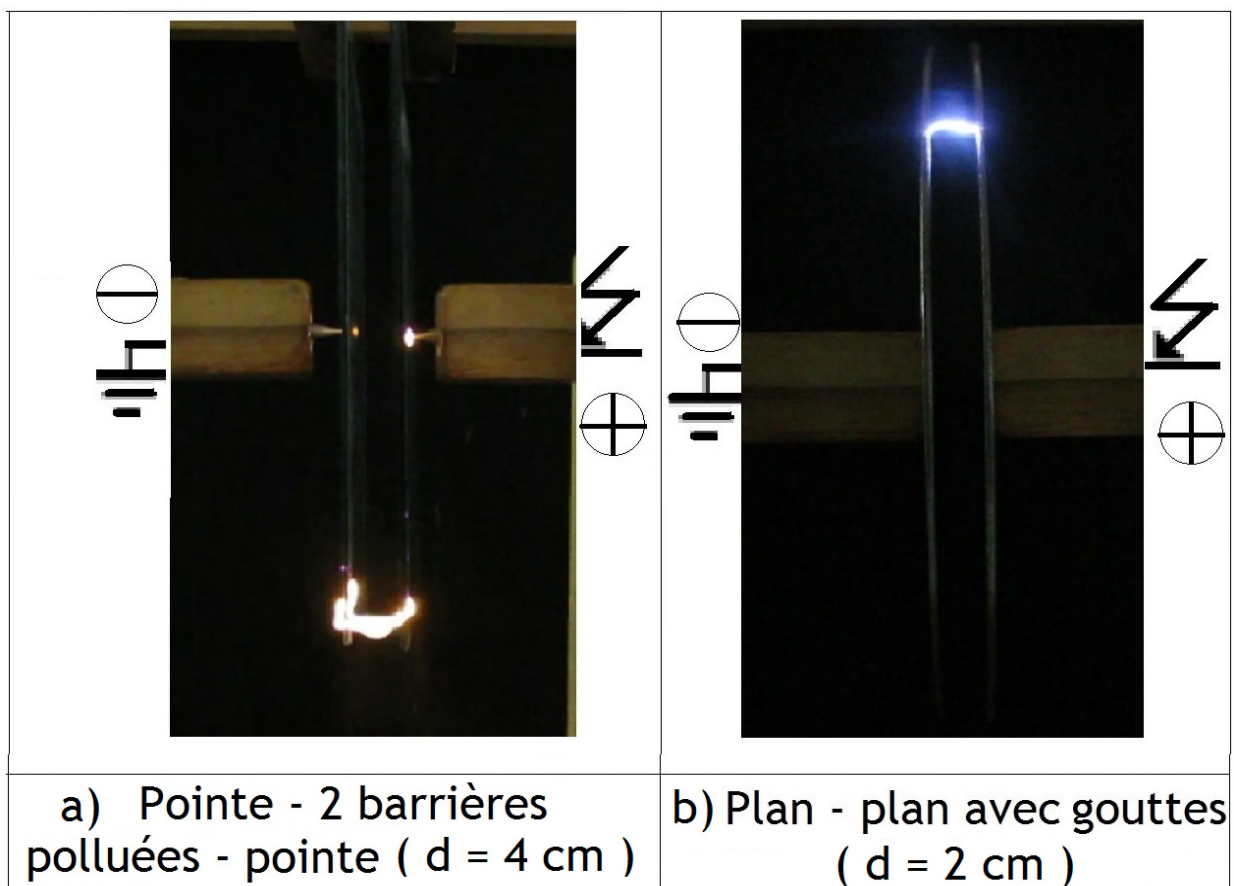


Fig. IV. 15 : Chemin de la décharge électrique court-circuitant l'intervalle d'air compris entre deux configurations plan – plan métalliques avec gouttes d'eau et pointe -2 barrières uniformément et fortement polluées – pointe ($\sigma_v = 25 \text{ mS/cm}$)

Il est à souligner aussi que le chemin emprunté par la décharge dans le système plan – plan métalliques est le même que celui établi dans un système pointe – pointe protégé par deux barrières polluées.

IV. 3 .2 Polarité négative

IV. 3. 2. 1 Position optimale d'une barrière dans un système d'électrode pointe – 1 barrière –pointe pour un intervalle d'air fixe

Pour une longueur de l'intervalle d'air pointe – pointe égal à 5 cm et 10 cm, l'allure de la performance électrique d'un système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de a/d , est illustrée par la figure IV. 16.

Avec a/d : Position relative de la barrière en pourcentage;

a: Distance entre la pointe terre et la barrière;

d: Distance interélectrode

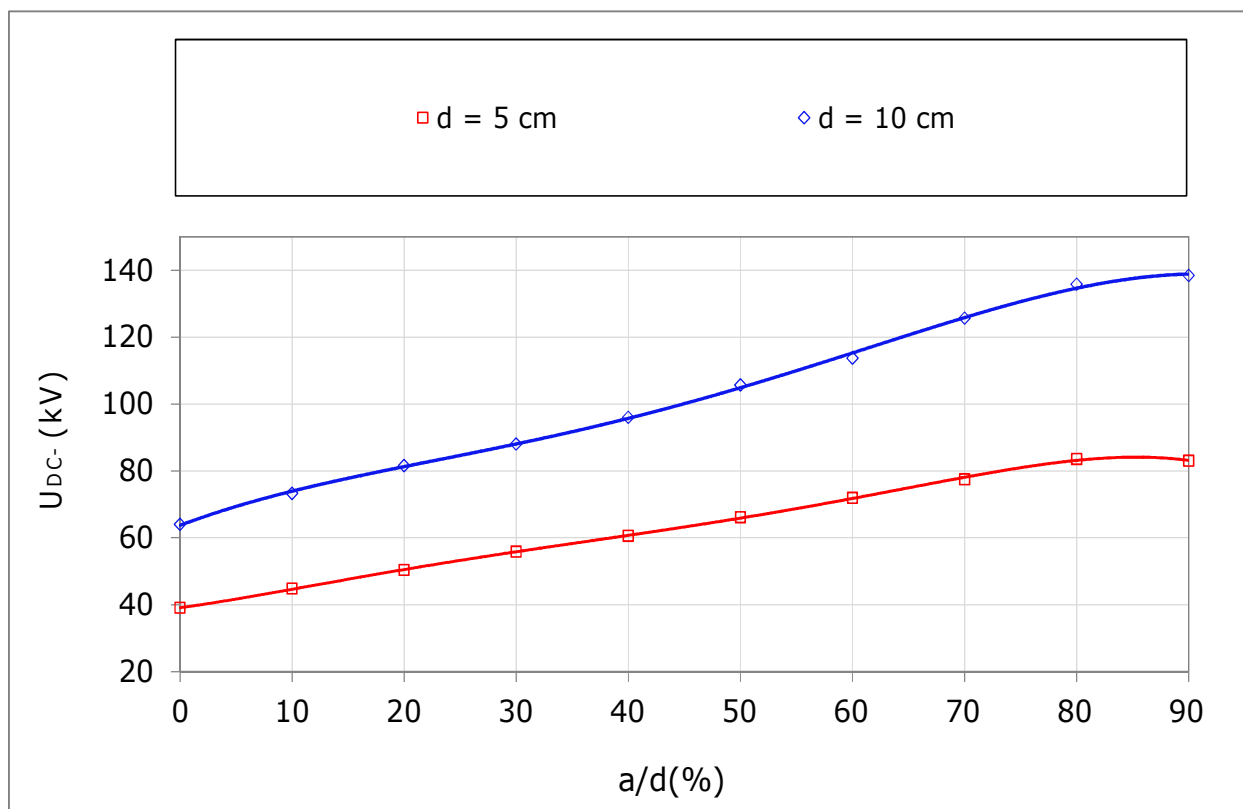


Fig. IV. 16: Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 1 barrière polluée – pointe en fonction de la position de la barrière ($\sigma_v = 25$ mS/cm)

Dans ce cas nous avons pris $a/d = 0$ % correspondant à la barrière mise en contact avec l'électrode haute tension et nous la déplaçons vers l'électrode terre.

Il en résulte que la tension de disruption de l'espace d'air du système étudié croît en fonction de la position de la barrière.

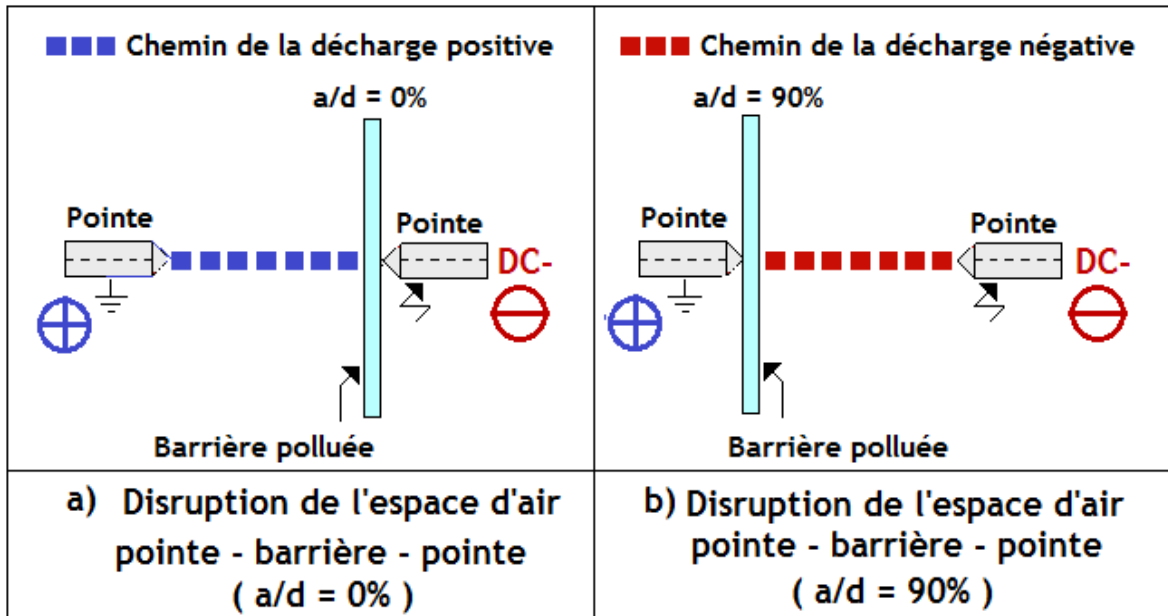


Fig. IV. 17: Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée - pointe sous tension continue négative

Pour $d = 5\text{ cm}$ et $d = 10\text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec barrière polluée, est maximale lorsque $a/d = 90\%$, donc au contact avec l'électrode terre. Cela est dû au fait que la décharge évoluant dans l'air lorsque la barrière est en contact avec la terre est négative (**Fig. IV. 17b**), et lorsque cette dernière est en contact avec l'électrode haute tension la décharge évoluant est la positive (**Fig. IV. 17a**).

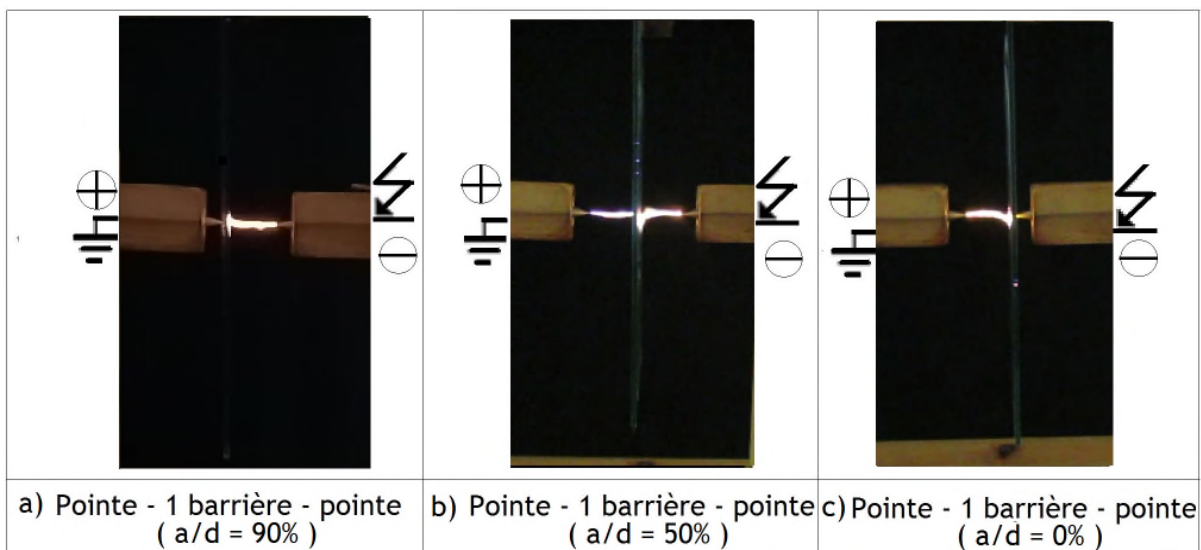


Fig. IV. 18: Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe – 1 barrière polluée – pointe

Il résulte de la visualisation du phénomène de disruption de l'intervalle d'air du système pointe – 1 barrière fortement polluée – pointe (**Fig. IV. 18**) que la rupture diélectrique du système considéré est engendrée uniquement par l'amorçage de l'intervalle d'air entre la pointe et le centre de la barrière polluée comme si celle-ci est équivalente à une barrière métallique. Ce phénomène est reproductible sur les deux intervalles d'air de longueur 5 et 10 cm.

IV. 3. 2. 2 Position optimale de deux barrières dans un système d'électrode pointe –pointe pour un intervalle d'air fixe sous tension

L'allure de la performance électrique d'un système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de a/d , et pour une distance interélectrode fixe à 5 et 10 cm est illustrée par la figure IV. 19.

Avec a/d : Position des barrières en pourcentage;

a: Distance de la deuxième barrière par rapport à la pointe sous tension en pourcentage;

d: Distance interélectrode entre les deux pointes

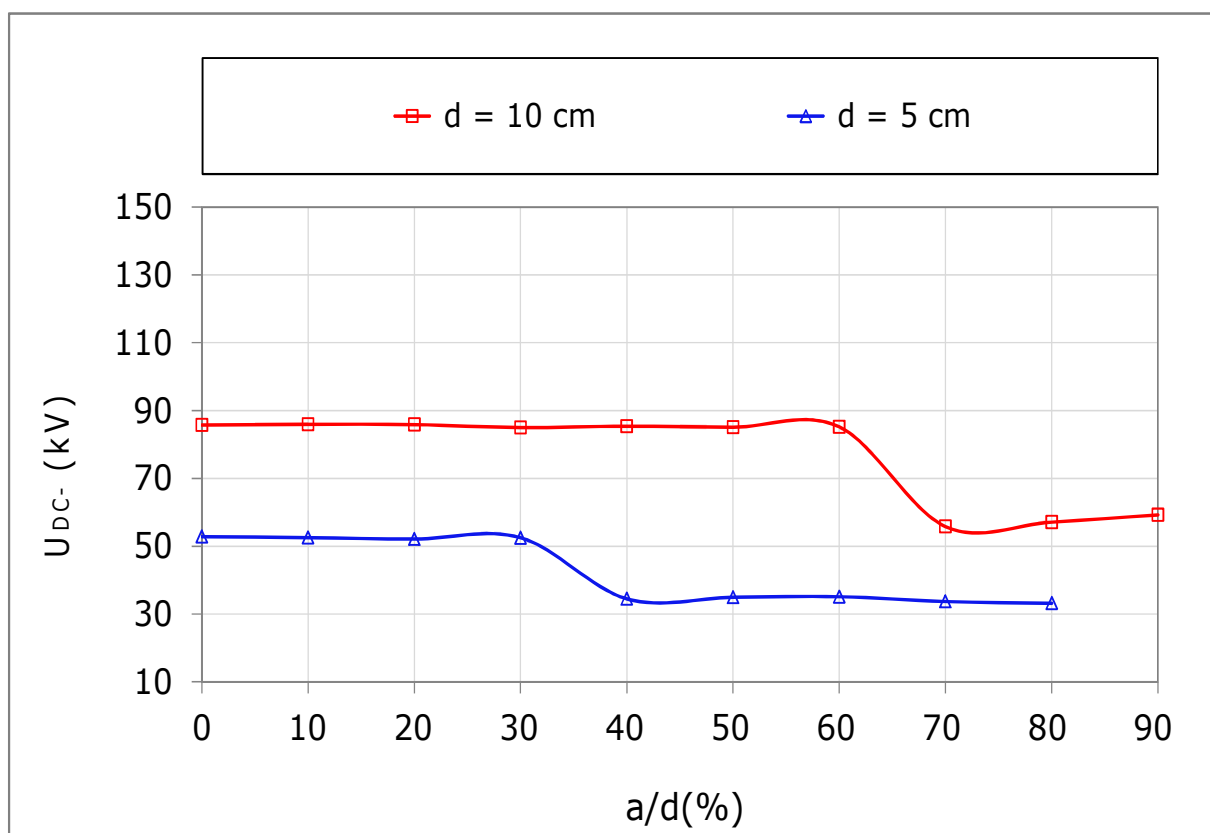


Fig. IV. 19: Tension disruptive de l'intervalle d'air du système pointe – 2 barrières polluées – pointe en fonction de la position de la barrière

Dans ce cas nous avons pris $a/d = 0\%$ c'est - à - dire lorsque la 1^{ère} barrière est mise en contact avec l'électrode terre et la 2^{ème} barrière en contact avec la pointe haute tension, puis nous déplaçons cette 2^{ème} barrière vers l'électrode terre.

Pour $d = 5\text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec deux barrières polluées, est maximale lorsque la barrière mobile est positionnée entre 0% et 30% . Au - delà, elle décroît jusqu'à une valeur minimale atteinte pour $a/d = 90\%$.

Pour une distance interélectrode $d = 10\text{ cm}$, il en ressort que la performance électrique optimale du système avec deux barrières polluées, est maximale lorsque la position relative de la 2^{ème} barrière varie entre 0% et 60% .

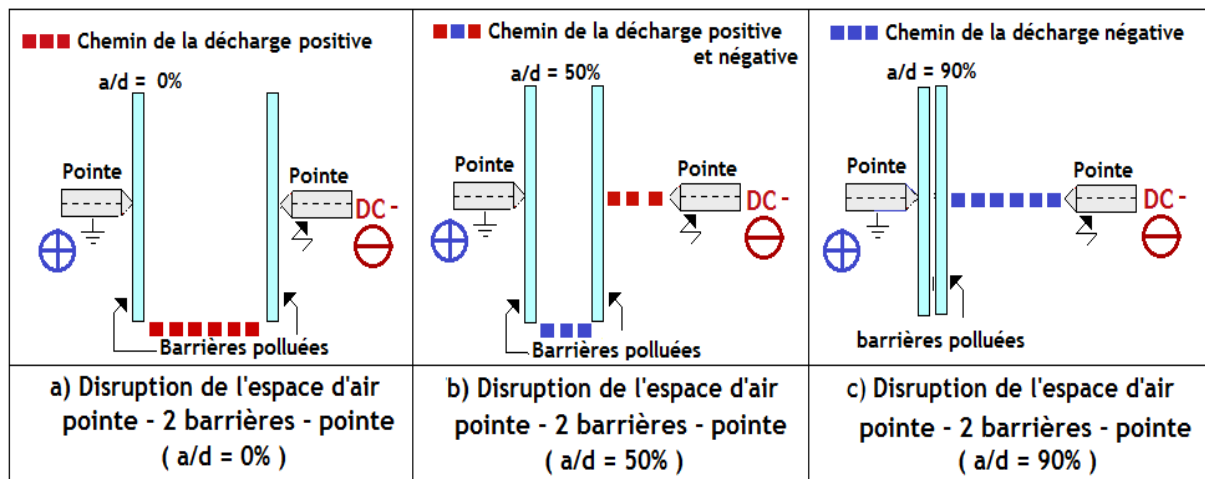


Fig. IV. 20: Chemin de la décharge évoluant dans l'espace d'air pointe - 1 barrière polluée - pointe

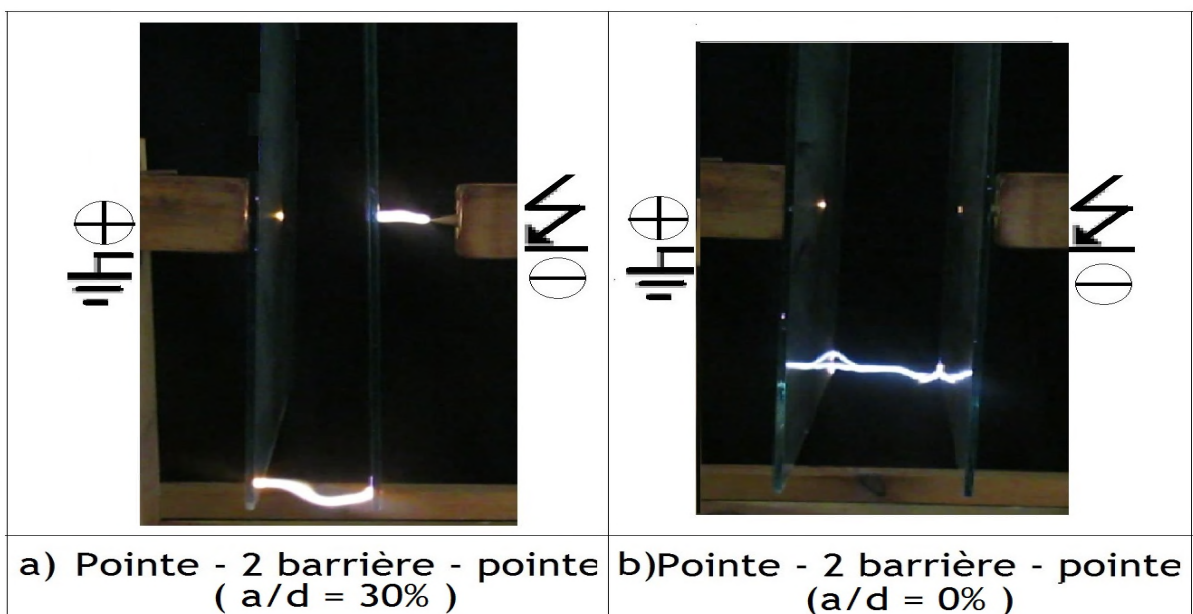


Fig. IV. 21: Décharge évoluant dans l'espace d'air pointe - 1 barrière polluée - pointe

Il ressort de la visualisation du phénomène de disruption de l'intervalle d'air du système pointe - 2 barrières fortement polluées – pointe que la rupture diélectrique du système considéré est engendrée par une seule décharge positive qui évolue du bord au bord des deux barrières lorsque celles-ci sont mises aux deux extrémités du système $a/d = 0\%$ (Figs. IV. 20a et 21a). Pour $a/d = 50\%$ le claquage de l'espace d'air interélectrode est régi par la décharge négative entre les deux barrières et la décharge positive entre la pointe HT et la deuxième barrière (Fig. IV. 20b). Par contre pour $a/d = 90\%$ la disruption du même intervalle d'air interélectrode a lieu sous l'action d'une seule décharge électrique négative issue de la pointe HT vers les deux barrières en contact entre elles et avec la terre. Ce phénomène est reproductible sur les deux intervalles d'air de longueur 5 et 10 cm (Fig. IV. 20c).

IV. 3. 2. 3 Disruption d'un intervalle d'air variable entre deux plans conducteurs secs ou recouverts de gouttes d'eau

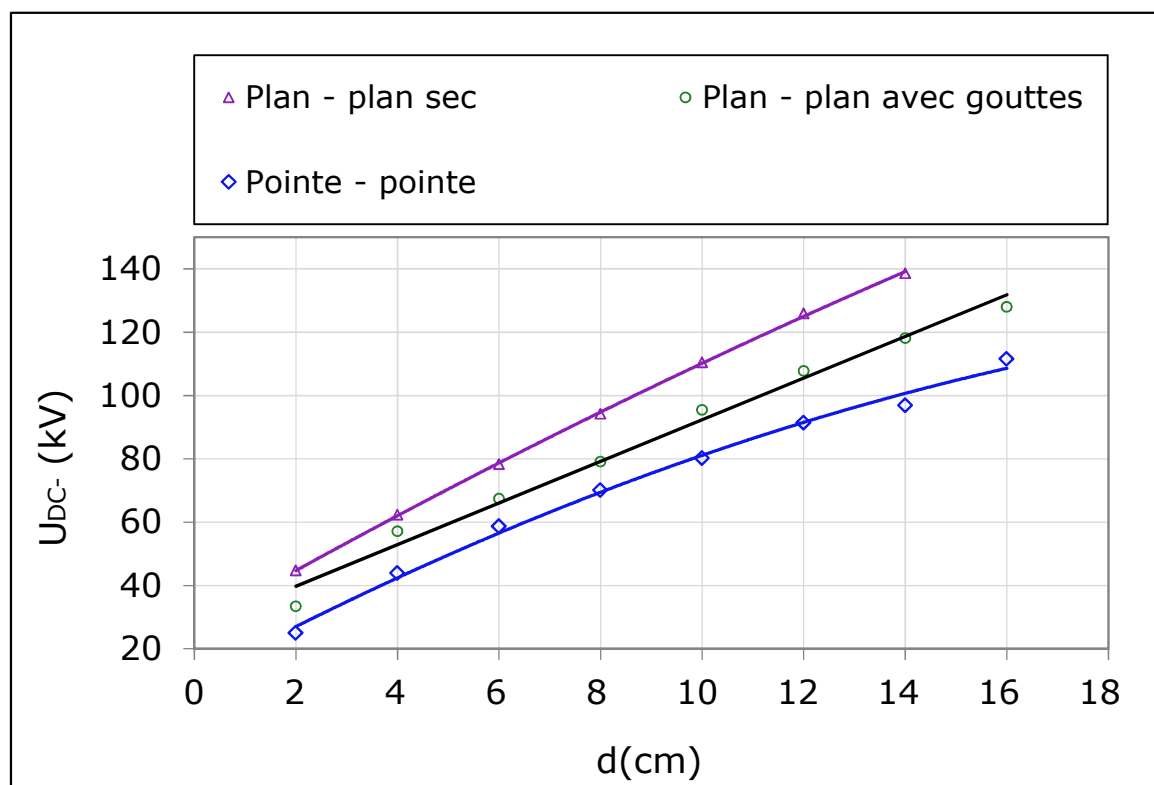


Fig. IV. 22 : Tension disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

La tension disruptive de l'intervalle d'air du système plan – plan avec ou sans gouttes d'eau est illustrée par la figure IV. 22. Il en résulte que pour une taille donnée de ces électrodes planes et métalliques de 40 cm de diamètre et pour des intervalles d'air variant entre 2 cm et 14 cm, la

tension de disruption de l'espace d'air du système étudié croît en fonction de leur distance interélectrode. De plus la tension de rupture de l'intervalle d'air plan – plan métalliques avec gouttes d'eau est largement inférieure à la tension de claquage de celui-ci sans gouttes. Cela peut s'expliquer par le fait que les petites gouttes d'eau prennent la forme de petites saillies et perturbent ainsi le champ électrique régnant dans cet intervalle d'air et la tension d'amorçage de cette configuration est quasi-confondue avec celle du système pointe – pointe déterminée sur ce même espace d'air.

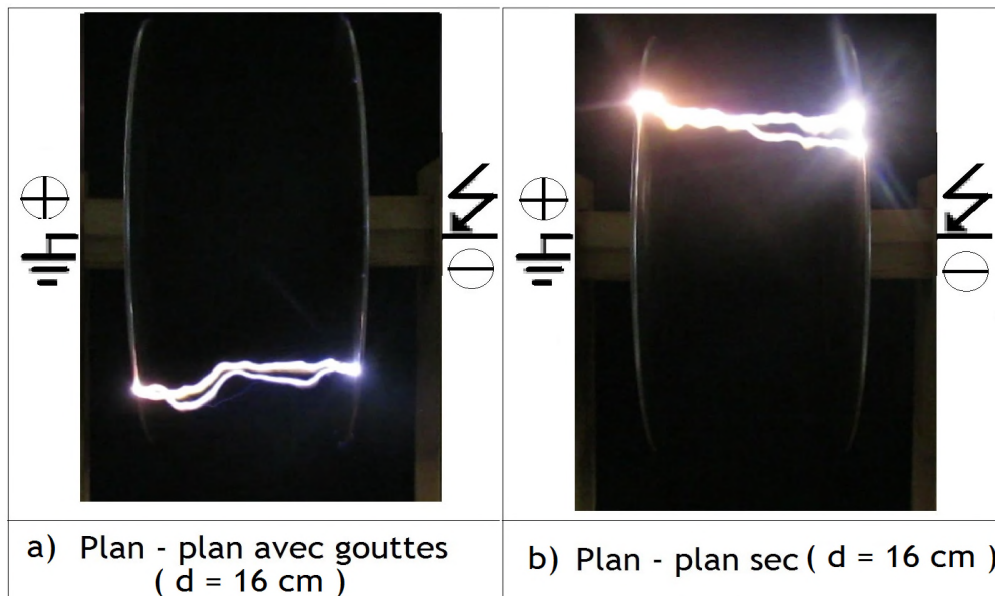


Fig. IV. 23: Disruptive de l'intervalle d'air des systèmes pointe – pointe métalliques et plan – plan métalliques (avec ou sans gouttes d'eau)

Il ressort de la visualisation (**Fig. IV. 23**) une seule décharge évoluant dans l'air du bord au bord des deux électrodes planes sans gouttes d'eau car c'est à ces endroits que le rayon de courbure est le plus faible. Concernant la configuration plan-plan avec gouttes d'eau, nous constatons que la décharge évolue toujours du bord au bord des électrodes planes métalliques mais cette fois-ci des extrémités des gouttes déposées sur les bords dont leur géométrie est équivalente à des petits cônes générés suite à l'accentuation du champ électrique très intense aux bords des électrodes planes métalliques.

IV. 3. 8 Equivalence électrique entre plan – plan métalliques et pointe – pointe protégée par deux barrières fortement et uniformément polluées

L'allure de la tension disruptive de l'espace d'air du système plan – plan avec gouttes d'eau et celui du système pointe - pointe protégé par deux barrières polluées de 40 cm de largeur et mises au contact avec les pointes sous tension et à la terre est illustrée par la figure **IV.24**.

Il découle de la figure IV. 24 une équivalence électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières contaminées uniformément avec un dépôt polluant de conductivité volumique égale à 25 mS/cm et une configuration plan – plan métalliques recouverts de gouttes. Sur les barrières mises sous condition de pollution humide (eau + sel + kaolin) se déposent des petits grains issus du kaolin insoluble dans l’eau de la solution préparée. Leur effet sur la distorsion du champ électrique régnant entre deux barrières en verre uniformément et fortement polluées est pratiquement équivalent à celui généré par des gouttelettes d’eau de robinet déposées sur deux plans métalliques de diamètre égal à la largeur des barrières en verre et séparés par une même distance dans l’air que celle séparant les deux barrières isolantes polluées mises sous la même contrainte de tension.

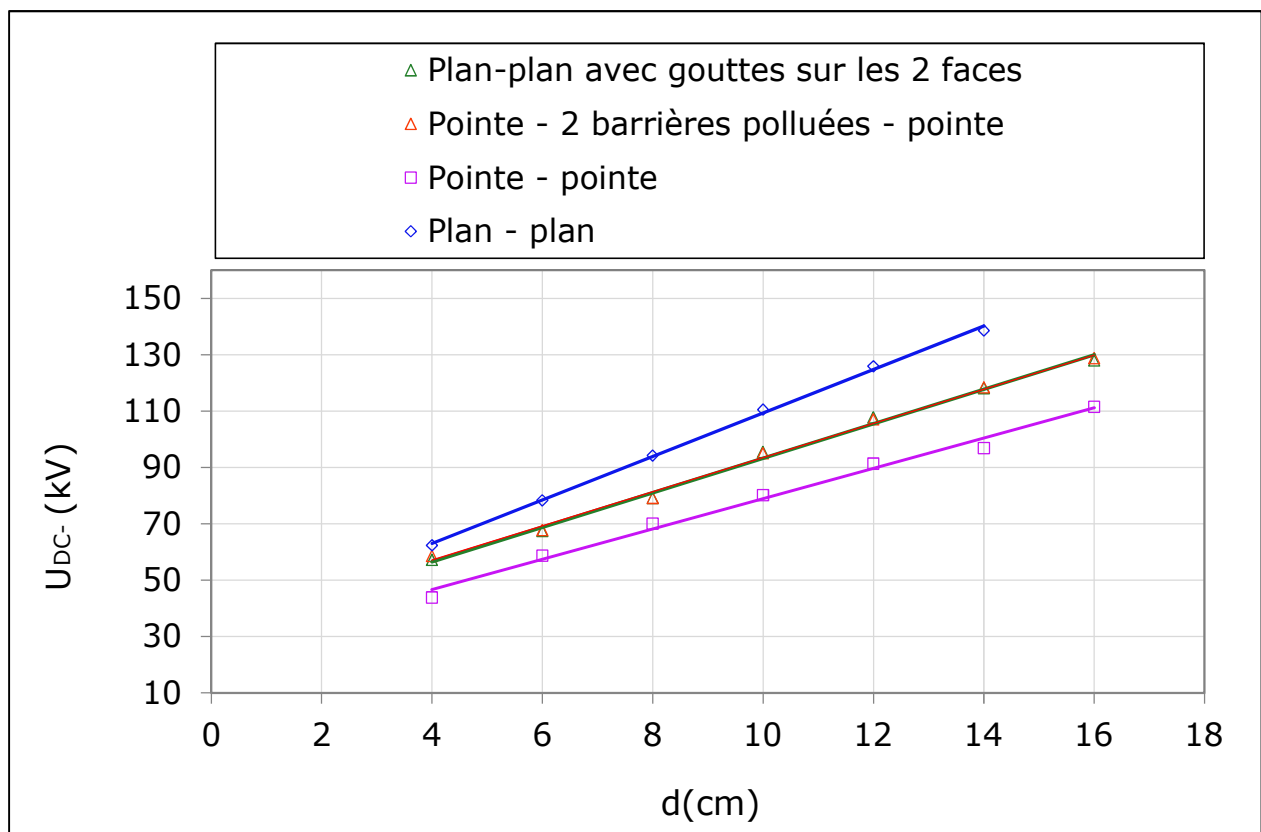


Fig. IV. 24: Comparaison de la performance électrique entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières uniformément et fortement polluées, et un système plan – plan métalliques avec gouttes d’eau

Il en résulte que l’équation la courbe de pointe – 2 barrières - pointe représente la forme d’une droite d’équation : $U_{DC} = 6 d + 33$ et de pente égale à 5.84 kV/cm. Cette valeur est comprise entre 4.5 et 7 kV/cm, qui n’est tout autre que l’intervalle donnant les valeurs limites nécessaires pour le développement des streamers positifs [35 - 36] et entraîner l’amorçage de l’espace d’air délimité par les trois configurations d’électrodes citées précédemment. Nous pouvons conclure, sur la base des résultats issus de cette étude, qu’une modélisation de l’isolement sous tension

continue négative est possible pour une longueur variant entre 4 et 16 cm d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme pointe – plan sous la protection d'une seule barrière et pointe – pointe protégé par deux barrières dans un site où règnent des conditions de pollution très sévères.

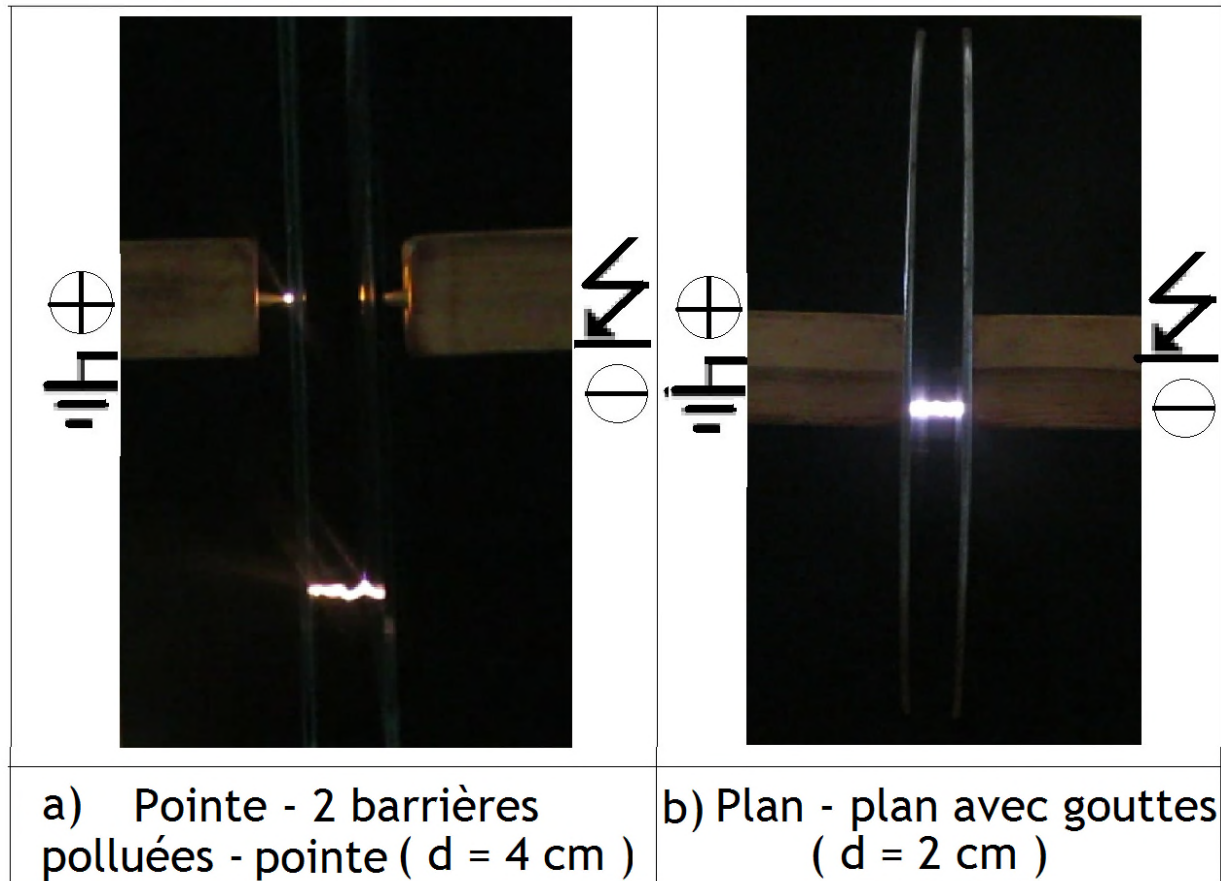


Fig. IV. 25: Chemin de la décharge électrique court - circuitant l'intervalle d'air compris entre deux configurations plan – plan métalliques avec gouttes d'eau et pointe - 2 barrières uniformément et fortement polluées – pointe

Il ressort de la visualisation de l'évolution de la décharge électrique dans le cas de deux barrières polluées et mises en contact avec les pointes sous tension et à la terre que la disruption d'un tel espace d'air est régi pratiquement par une seule décharge reliant les bords des deux barrières fortement contaminées comme si celles - ci sont équivalentes à des électrodes métalliques. La décharge électrique de rupture ne glisse plus sur leur surface. Les décharges électriques issues de la pointe sous tension et celle mise à la terre sont réduites à deux points lumineux qui ne glissent pas sur les faces des barrières. La liaison entre ces deux décharges est établie par le biais des lignes de courant reliant ces dernières (**Fig. IV. 25**).

Il est à souligner aussi que le chemin emprunté par la décharge dans le système plan – plan métalliques est le même que celui établi dans un système pointe – pointe protégé par deux barrières polluées.

IV. 4 Conclusion

L'étude de la disruption d'un intervalle d'air à champ électrique non uniforme pointe - pointe avec deux barrières ou pointe – plan protégé par une barrière sous une atmosphère fortement polluée et soumis à une tension continue positive et négative a mené aux résultats essentiels suivants:

- Etablissement de la position optimale d'une barrière polluée dans une configuration pointe – pointe sur des intervalles fixes de 5 et 10 cm en polarité positive et négative.
- L'établissement de position optimale de la deuxième barrière introduite au système pointe - 1 barrière - pointe sous atmosphère fortement polluée pour des intervalles d'air fixée à 5 et 10 cm pour les deux polarités.
- Confirmation du comportement de la barrière fortement contaminée comme conductrice pour un degré de pollution de 25 mS/cm sous tension continue négative et positive.
- Etablissement de l'équivalence de la performance électrique des systèmes pointe - 1 barrière - pointe et pointe - plan.
- Existence d'une possibilité de modélisation de la performance électrique des systèmes pointe - 2 barrières polluées - pointe au moyen de celle du système conventionnel plan - plan métalliques recouverts de gouttes d'eau de robinet de conductivité électrique égale a 1200 μ S/cm dans l'intervalle d'air interélectrode variant entre 4 et 14 cm en polarité positive et négative.

Conclusion générale

L'objectif principal de notre étude expérimentale est la recherche de l'équivalence entre un système pointe – pointe protégé par deux barrières en verre mises en contact avec les deux pointes sous tension et à la terre et un système plan –plan métallique de même surface sous conditions de pollution très sévères et sous une tension continue positive et négative.

Les principaux résultats émanant de notre étude sont résumés comme suit :

- La position optimale d'une barrière polluée dans une configuration pointe – pointe sur des intervalles fixes de 5 et 10 cm en polarité positive et négative a été établie.
- La position optimale de la deuxième barrière introduite au système pointe - 1 barrière - pointe sous atmosphère fortement polluée pour des intervalles d'air fixée à 5 et 10 cm pour les deux polarités a été démontrée.
- Confirmation du comportement de la barrière fortement contaminée comme conductrice pour un degré de pollution de 25mS/cm sous tension continue négative et positive
- La tension de rupture diélectrique de l'espace d'air plan-plan métallique avec gouttes d'eau est largement inférieure à la tension de claquage de celui-ci sans gouttes sous tension continue et pour les deux polarités.
- L'équivalence de la performance électrique entre un système pointe-pointe protégé par deux barrières contaminées uniformément avec un dépôt polluant de conductivité volumique égale à 25 mS/cm et une configuration plan-plan métalliques recouverts de gouttes d'eau de conductivité électrique égale à 1200 μ S /cm a été établie sous tension continue positive et sous tension continue négative.