

Chapitre II

*Effets des barrières dans
les intervalles d'air
pointe-plan*

II.1 Introduction

L'influence des barrières isolantes a été remarquée par C.P Steinmetz vers 1920 [1]. 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 [2-9].

L'amélioration de la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air pointe-plan, par l'introduction convenable d'une barrière isolante est un phénomène très intéressant à exploiter dans les systèmes d'isolation. En effet, la présence d'un écran isolant entre les deux électrodes transforme l'intervalle d'air initial en un système stratifié (air-barrière). Les ions dans le cas d'une décharge positive sont alors freinés par la barrière en se répartissant sur sa surface, provoquant la déformation du champ électrique et engendrant ainsi une nette augmentation de la tension disruptive du système [9].

L'introduction d'une barrière influence par plusieurs paramètres la variation de la tension disruptive d'un intervalle d'air. On trouve les paramètres de configuration de l'intervalle (longueur de l'intervalle, nombre de barrières utilisées, position de la barrière) et les paramètres concernant la barrière elle-même (son matériau, sa forme, ses dimensions...etc) [10, 11].

II.2 Paramètres définissant la nature de la barrière

Les écrans isolants de natures différentes n'ont pas tous les mêmes performances du point de vue de l'augmentation de la tension disruptive d'un système d'isolation. Cela est dû au fait que les paramètres définissant les propriétés isolantes d'un matériau varient d'un diélectrique à un autre. Parmi ces paramètres, on trouve la rigidité diélectrique qui est la propriété qu'à un diélectrique à s'opposer à la décharge disruptive. Ce paramètre est évalué par l'intensité du champ électrique susceptible de conduire à la décharge disruptive. La permittivité est une propriété physique décrivant la réponse d'un milieu donné à un champ électrique. Au niveau microscopique, la permittivité est liée à la polarisabilité électrique des molécules ou atomes constituant le milieu.

Dans un diélectrique réel, il existe toujours à basses fréquences une faible conductivité liée à différents mécanismes microscopiques (défauts notamment). On parle alors de pertes diélectriques. On peut tenir compte de ces pertes en définissant une permittivité complexe [12] :

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega) \quad (\text{II.1})$$

où ω est la pulsation de la tension appliquée

$\varepsilon'(\omega)$ est le terme de dispersion qui caractérise la vitesse de l'onde dans le matériau (plus ε' est grand, plus la vitesse est faible).

$\varepsilon''(\omega)$ est le terme d'absorption du matériau qui correspond aux pertes diélectriques dans le matériau, c'est-à-dire à sa capacité à transformer l'énergie électromagnétique en chaleur.

II.3 Décharges partielles

Le développement de la décharge disruptive (ou perforation diélectrique) à l'intérieur des matériaux isolants solides est généralement lié à un ou une association des phénomènes suivants : décharges intrinsèques, décharges thermiques et décharges partielles.

Une décharge partielle (DP) est définie par la CEI comme une décharge qui ne court-circuite que partiellement l'isolant entre deux conducteurs [13]. L'expérience montre que les mesures des DP permettent la connaissance et l'identification de plusieurs défauts d'isolation. Les effets des décharges partielles dans les installations haute tension comprenant des matériaux isolants solides peuvent être dramatiques, aboutissant à la destruction complète (par explosion) de l'installation. Ces décharges entraînent des dommages irréversibles des matériaux isolants. Ces dommages sont causés par l'énergie libérée par les décharges, par l'apparition d'ozone attaquant les parois des cavités, la libération de gaz sous haute pression et des réactions chimiques qui ont tendance à augmenter la conductivité de l'isolant autour de la cavité. Autant de phénomènes qui tendent à accélérer et à étendre la dégradation du matériel. Ce type de décharges prend naissance dans un défaut d'un diélectrique solide ou dans une bulle au sein d'un liquide diélectrique. Elles peuvent également apparaître à l'interface conducteur-diélectrique [14].

Les décharges partielles dans un diélectrique ont le plus souvent lieu dans une bulle gazeuse : la permittivité du gaz étant très inférieure à celle du matériau environnant, un champ beaucoup plus important que celui existant sur une distance équivalente au sein de l'isolant apparaît. Si cette tension dépasse le seuil d'apparition de la décharge couronne pour le gaz contenu par la bulle, une décharge partielle a lieu. Une fois amorcée, la décharge va progressivement détériorer l'isolant, conduisant finalement à un claquage du diélectrique et à la destruction de l'installation. Ce phénomène peut être limité lors de la fabrication de l'équipement par sa conception et par la qualité des matériaux utilisés.

Un classement des décharges partielles est possible suivant leurs origines on trouve : les décharges externes (décharge couronne), les décharges superficielles et les décharges internes.

Les décharges partielles sont dites superficielles lorsqu'elles se développent à l'interface de deux diélectriques dans des états différents d'agrégation. Le champ électrique donnant lieu à ce type de décharge a sa composante principale tangentielle à la surface du matériau. Du point de vue technique ce type de décharge est très nuisible au matériau car, la résistivité superficielle diminue. Pour un matériau dont la conductivité est faible, il peut se déposer des homocharges positives ou négatives qui restent piégées. Pour un certain niveau de tension, les canaux de décharge glissent sur la surface de l'isolant pour aller vers l'électrode mise à la terre. Dans le cas d'une mauvaise interface, les décharges de haute énergie se développent, même à des tensions modérées et peuvent court-circuiter d'importantes épaisseurs d'isolant [15].

Les décharges internes ont pour origine les inclusions de particules étrangères et les vacuoles gazeuses. Lorsque ces isolants sont soumis à une certaine tension on constate que le champ électrique est plus élevé dans les vacuoles gazeuses E_g que dans l'isolant E_i .

Etant donné la continuité du vecteur induction électrique dans un milieu non ionisé à l'état initial, on trouve dans le cas d'une stratification série :

$$\frac{E_g}{E_i} = \frac{\epsilon_{ri}}{\epsilon_{rg}} = \epsilon_{ri} \quad (\text{II.2})$$

ε_{ri} : est la permittivité relative de l'isolant.

ε_{rg} : est la permittivité relative du gaz (pour l'air $\varepsilon_{rg} = 1$).

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

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

Ces deux constatations, allant dans le même sens, font que des décharges dites partielles apparaissent dans les vacuoles de gaz incluses dans les isolants solides pour des tensions 20 à 60 fois plus faibles que celles qui entraîneraient la perforation du diélectrique solide.

II.4 Influence des barrières sur la tension disruptive des intervalles d'air pointe-plan

Plusieurs investigations ont été menées pour l'étude de l'influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique. Nous présentons par ordre chronologique certaines d'entre elles dans cette section.

II.4.1 Influence selon E. Marx

Marx montra en 1930 qu'une plaque isolante, insérée dans un champ divergent induit une modification de la forme des décharges ayant lieu dans l'intervalle inter électrodes. Pour la rupture diélectrique aux chocs (0.5/ 100 μ s) d'un intervalle d'air pointe-plan de 50 cm, il a obtenu une amélioration de la tension disruptive lorsque la barrière est située près de la pointe positive. Lorsque la pointe est négative, les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière et la rendent sans effet notable. En tension continue négative, la tension disruptive peut être fortement diminuée [2].

Sous des impulsions de choc, l'augmentation de la tension disruptive a été prélevée à une position de 60% de la longueur de l'intervalle (pointe-plan), contrairement à des positions proches de l'une des électrodes où la tension disruptive diminue.

En tension alternative, l'amélioration de la rigidité du système a été remarquée pour des positions de la barrière située entre 20% et 60% de l'intervalle d'air pointe-plan.

II.4.2 Influence selon H. Roser

Il a été le premier à étudier l'influence des barrières de différentes permittivités sur la tension disruptive aux chocs de foudre, en tension alternative et continue, pour divers systèmes d'électrodes.

Dans le cas du système pointe positive-plan, la charge d'espace qui se dépose à la surface de la barrière isolante est positive. Elle tend à uniformiser le champ électrique entre la barrière et le plan. Ceci engendre l'augmentation de la tension de décharge disruptive. Par contre, dans le cas de la pointe négative, il peut y avoir une réduction de la tension disruptive.

Roser a notamment étudié l'influence des barrières poreuses et des barrières compactes trouées, où il a constaté qu'elles n'entraînent aucune amélioration notable de la tension disruptive [3].

II.4.3 Influence selon Tikhodeev

Selon Tikhodeev le processus de décharge en tension impulsionnelle positive peut être subdivisé en trois étapes principales [4]:

- 1) Etape non stationnaire de remplissage de la barrière par les charges. Cette étape commence dès que le seuil de la décharge couronne est dépassé. Une double couche de charges superficielle est formée, créant un champ de polarisation E_p à l'intérieur de la barrière, (Fig.II.1). En effet, la charge d'espace créée par la décharge couronne est stoppée par la barrière en se déposant dessus, ce qui conduit à la réduction du champ électrique à la surface de la pointe. La tension appliquée à la pointe devient alors insuffisante pour maintenir la décharge couronne. La charge installée à la barrière se répartie graduellement sur toute la surface de la barrière vu la valeur finie de la conductivité du matériau de la barrière. Dans ce cas la fréquence des impulsions de courant augmente, mais reste inférieure à celles de Trichel.
- 2) Une étape stationnaire de contournement de la barrière par les décharges glissantes. En augmentant la tension, les impulsions de courant se serrent et des courants stationnaires sont collectés au plan.
- 3) Etape de claquage de l'intervalle pointe –plan avec barrière, où la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan.

Pour une pointe négative on trouve trois étapes :

- 1) La décharge s'effectue de la pointe vers la barrière.
- 2) Pour un niveau de tension supérieur, la barrière est contournée par les décharges glissantes. D'autre part, à partir de l'électrode plane apparaît une décharge vers la surface opposée de la barrière.
- 3) L'amorçage s'effectue après la rencontre des deux décharges venant de part et d'autre de la barrière [4].

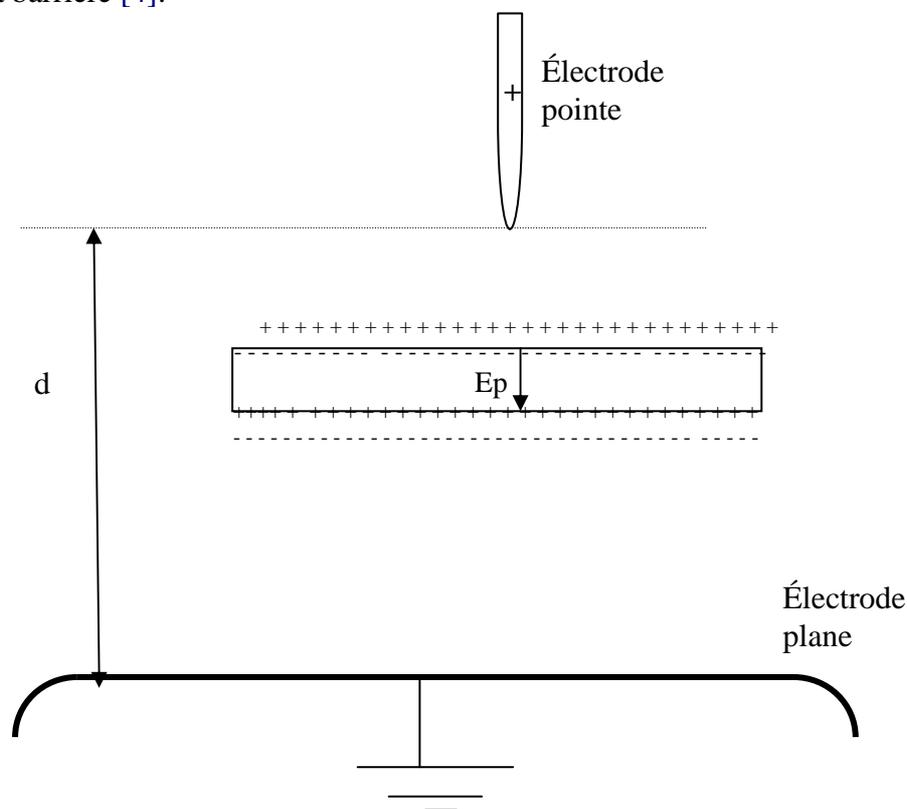


Figure.II.1: Distribution des charges au niveau de la barrière isolante

II.4.4 Influence selon M.P. Verma

Verma a travaillé sur les chocs de foudre positifs des intervalles d'air pointe-barrière-plan, de 4 à 14 cm. Les caractéristiques tension disruptive - distance inter électrodes obtenues présentent des pentes comprises entre 5 et 30 kV/cm, selon la position de la barrière [5].

II.4.5 Influence selon J.Pilling

Pilling a étudié l'influence des barrières isolantes sur la tension disruptive, en tension alternative des intervalles d'air pointe-plan allant jusqu'à 20 cm. Il a vérifié que la tension disruptive de l'intervalle est équivalente à la somme des tensions disruptives des intervalles d'air des deux côtés de la barrière et de la chute de tension sur la barrière [6].

II.4.6 Influence selon M.Awad

Awad a étudié le comportement des barrières polluées dans des intervalles d'air pointe-pointe de longueur inférieure à 12cm pour des tensions de choc de manœuvre 23/3000 μ s [7]. Il a constaté que la tension de claquage diminue lorsque la conductivité superficielle augmente, puis tend vers une valeur constante pour une conductivité superficielle supérieure ou égale à 3 μ S dans le cas où la surface polluée est en face de la pointe HT.

II.4.7 Influence selon A.Boubakeur

A.Boubakeur a travaillé sur les intervalles d'air pointe-plan de 40 à 200 cm, en tensions de choc de foudre et de manœuvre positives et en tension alternative à fréquence industrielle. Il a montré que la barrière isolante joue un rôle d'obstacle géométrique provoquant l'augmentation de la tension disruptive, quand la barrière est proche de la pointe aux environ de 20% de la distance pointe-plan. Cette augmentation est due à l'allongement du canal de la décharge disruptive [1,10].

L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes. La décharge directe est obtenue lorsque aucune décharge superficielle à la surface de la barrière n'est observée. Ce cas est généralement obtenu dans le cas où la barrière est suffisamment éloignée de l'une des électrodes [16]. Dans ce cas, la décharge contourne la barrière en la touchant dans un seul point, elle suit dans l'air le trajet pointe-bord de la barrière-plan (Fig.II.2).

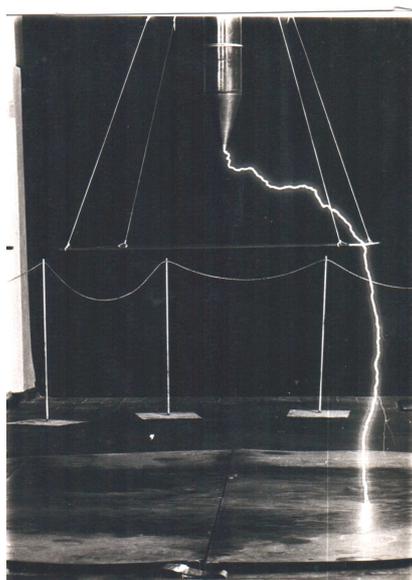


Figure.II.2: Décharge directe du système pointe-barrière-plan (d = 150 cm , a = 40 cm, 170/2500 μ s) [9]

Pour ce cas, la tension disruptive du système « pointe-barrière-plan » peut être déterminée approximativement de la caractéristique tension disruptive en fonction de la distance inter électrodes 'd' du système pointe-plan en considérant la distance géométrique d_{geom} (Fig.II.3).

telle que :

$$d_{\text{geom}} = \sqrt{a^2 + L^2} + a' \quad (\text{II.3})$$

Où $a' = d - a$

a : est la distance pointe-barrière

a' : est la distance barrière-plan

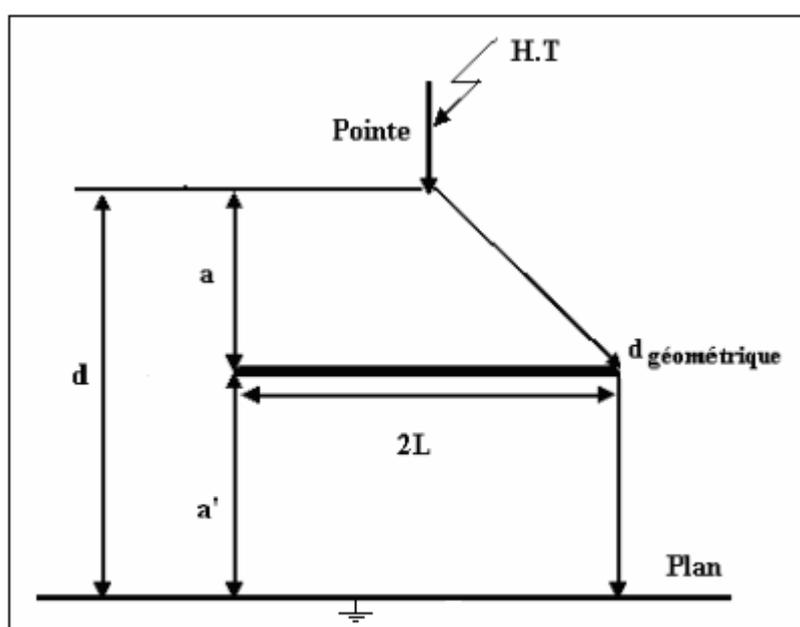


Figure.II.3 : Système pointe-barrière-plan

L'évolution de la décharge s'effectue par étapes lorsque la barrière est proche de la pointe positive. Dans ce cas, la décharge est composée de l'étincelle pointe-milieu de la barrière, de la décharge glissante sur la barrière (Fig.II.4) et de la décharge bord de la barrière-plan.

Dans le cas d'une pointe de polarité négative, la décharge par étapes apparaît pour pratiquement toutes les positions de la barrière. Notamment, A.Boubakeur a mis en évidence l'apparition de décharges ascendantes positives, dans le cas d'une pointe négative pour un intervalle d'air pointe-plan de 1.5 m (Fig.II.5).

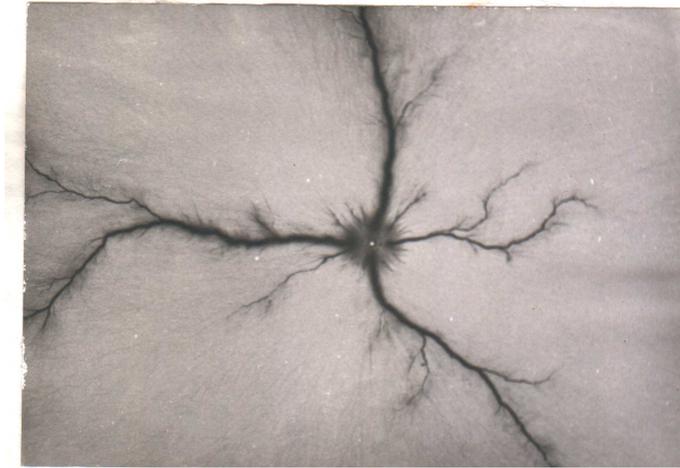


Figure.II.4: Décharges glissantes dans le cas d'une pointe positive en contact avec la barrière ($d = 100 \text{ cm}$ $U = 730 \text{ kV}$ $1.2/50\mu\text{s}$) [16]

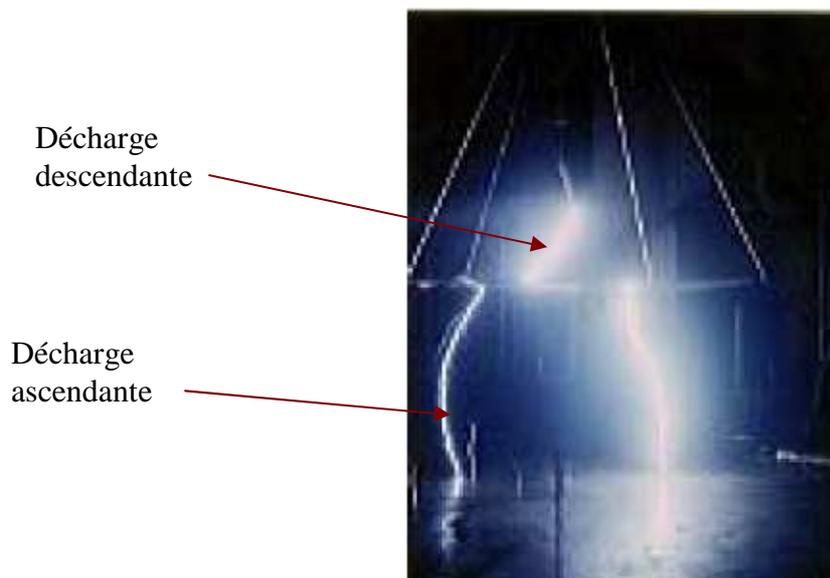


Figure II.5: Décharge disruptive dans un intervalle d'air pointe-barrière-plan de 1,5m (U près de 1100kV) [17]

A.Boubakeur a également travaillé sur l'influence des couches semi-conductrices appliquées sur la barrière isolante, où il a remarqué leur effet négatif sur la tension disruptive ; ceci à partir des conductivités superficielles supérieures à $0.4 \mu\text{S}$ et pour des distances pointe-barrière comprises entre 20 et 100 % de l'intervalle complet. Dans le cas d'une barrière conductrice, il a constaté que lorsque la barrière est en contact avec la pointe, la tension disruptive augmente. Par contre, lorsqu'elle est située au voisinage de la zone médiane de l'intervalle pointe-plan elle décroît. Dans le cas où la barrière est suffisamment proche du plan, la tension disruptive de l'arrangement "pointe-barrière-plan" reste voisine de celle de l'arrangement "pointe-plan" sans barrière [1].

Une étude a été réalisée sur le champ électrique dont le but est de vérifier l'uniformisation de celui-ci dans la partie barrière-plan lors d'une décharge en géométrie pointe-barrière métallique-plan [18, 19]. Il a été conclu que lorsque la pointe est sous tension, la barrière conductrice se charge par influence électrostatique et la distribution du champ se fait de deux manières. L'une non uniforme dans l'intervalle pointe-barrière et l'autre pratiquement uniforme dans l'intervalle barrière-plan. A cet effet le système "pointe-barrière-plan" aurait une rigidité équivalente à la somme de la rigidité d'un intervalle pointe-plan correspondant à la distance pointe-barrière et de celle d'un système plan-plan correspondant à l'intervalle barrière-plan, (Fig.II.6. A, B et C). L'approximation du calcul de la tension disruptive est acceptable en tension positive pour des positions de la barrière proches du plan, à l'inverse de la tension continue de polarité négative.

A. Boubakeur a aussi constaté l'influence de la charge spatiale déposée sur la barrière en réalisant des trous de différents diamètres au centre de la barrière [1]. La décharge disruptive passe généralement par le bord de la barrière pour des trous de faible diamètre et elle passe par le trou à partir d'un certain diamètre limite de 10mm.

II.4.8 Influence selon Li Ming

L'augmentation de la largeur de la barrière entraîne celle de la tension disruptive de l'intervalle pointe-barrière-plan. Pour les petites largeurs de la barrière, la tension disruptive est faiblement améliorée [20].

Li Ming a mesuré la tension disruptive en système pointe-plan sous tension impulsionnelle. Il a obtenu une augmentation de 30 à 45% pour une barrière de forme hémisphérique et dont la cavité est en face de la pointe, par rapport à la valeur de la tension de claquage d'une barrière plane [21] (Fig.II.7).

La propagation des streamers influe sur la tenue diélectrique et ne mène pas nécessairement à la rupture de l'intervalle d'air. Les décharges préliminaires accélèrent le vieillissement de la barrière et augmentent la quantité de la charge superficielle qui facilite les décharges glissantes. La tension de rupture est inférieure à celle de l'intervalle sans barrière pour une barrière proche du plan [21] (Fig. II.8). L'influence des trous au centre et au bord de la barrière est représentée à la figure II.9.

II.4.9 Influence selon Z.You Bin

You Bin a travaillé sur les intervalles pointe-barrière-plan sous tension continue. La distribution des porteurs de charges positifs sur la surface de la barrière et la chute de tension entre les faces opposées de la barrière sont influencées par l'épaisseur et la permittivité de la barrière utilisée. Lorsque ces dernières auront des valeurs importantes, le champ électrique entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme, mais leur influence est beaucoup moins importante par comparaison à l'effet de la largeur et de la position de la barrière [22].

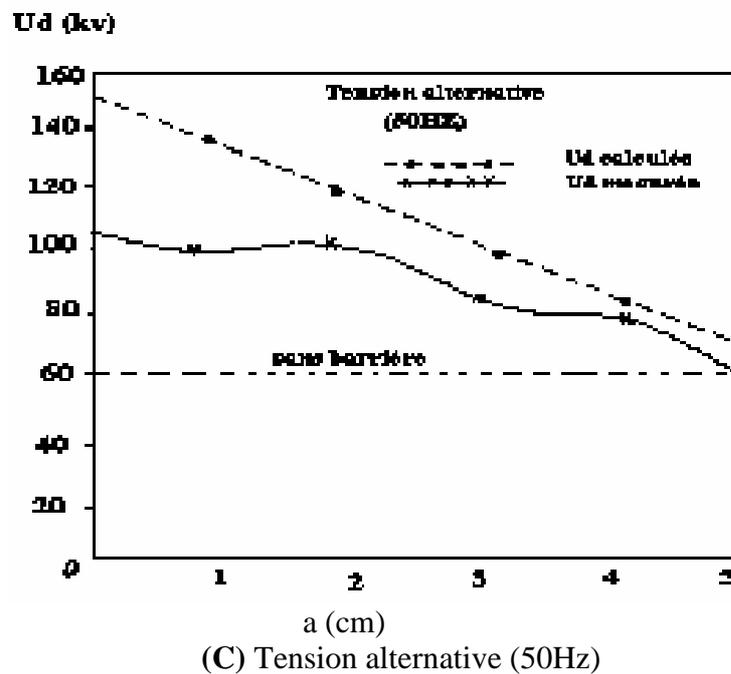
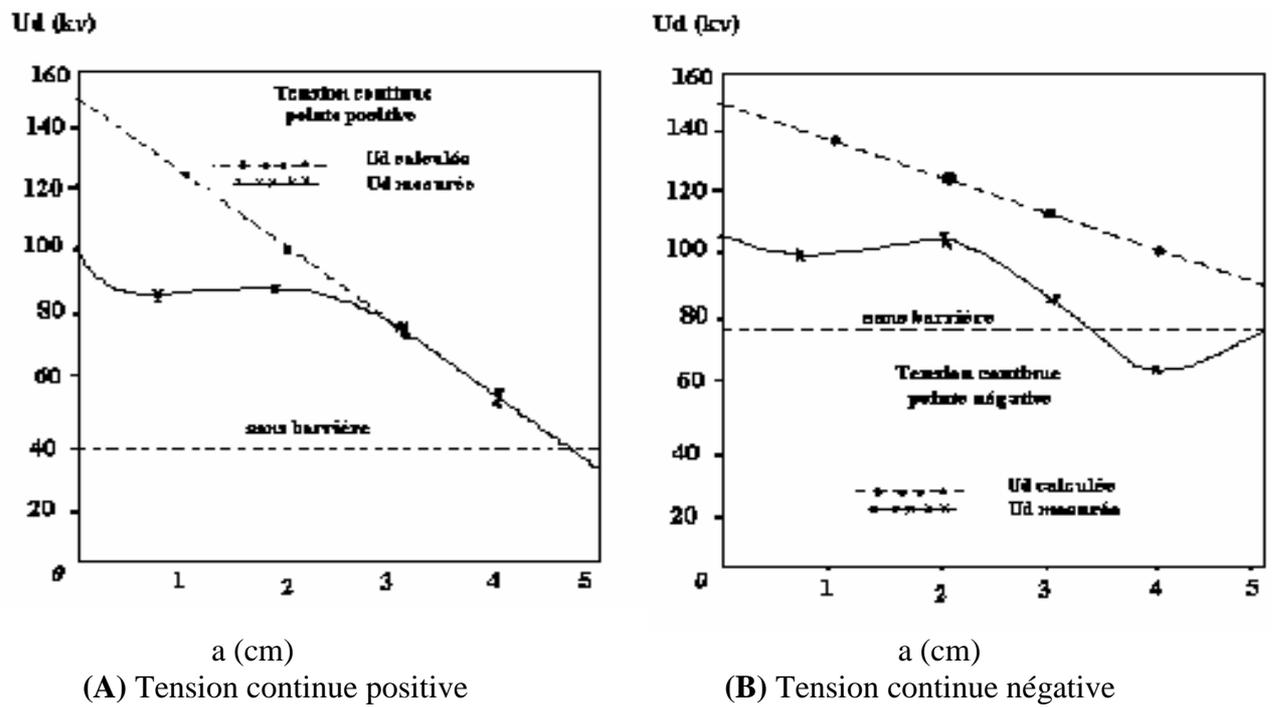


Figure.II.6: Equivalence entre le système pointe-barrière-plan et l'association série pointe-plan ($d = 5 \text{ cm}$) [18]

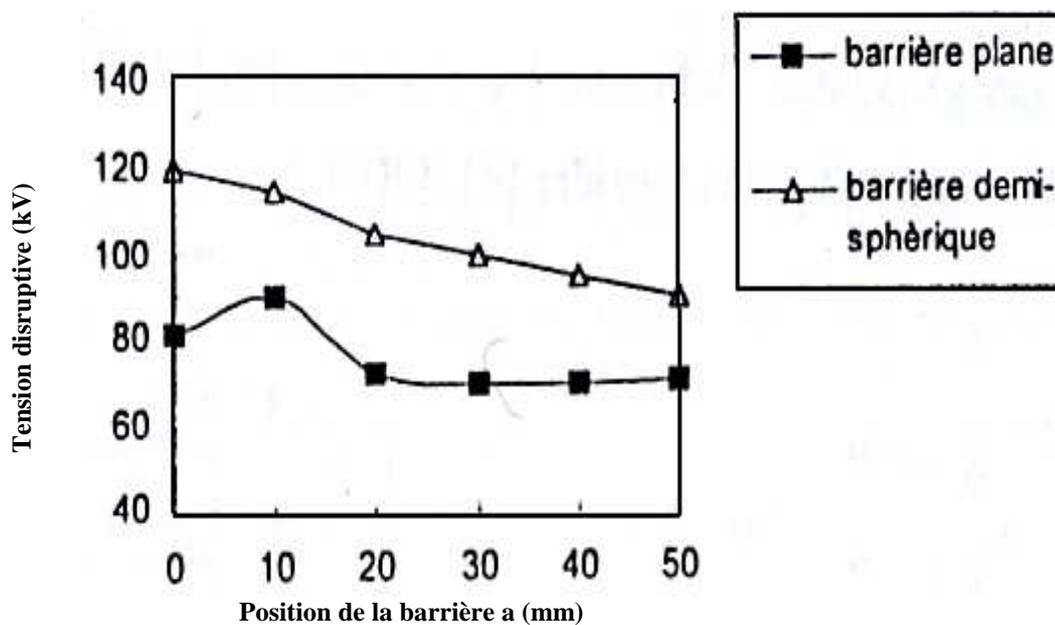


Figure II.7: Effet de la forme de la barrière (d= 50mm) [21]

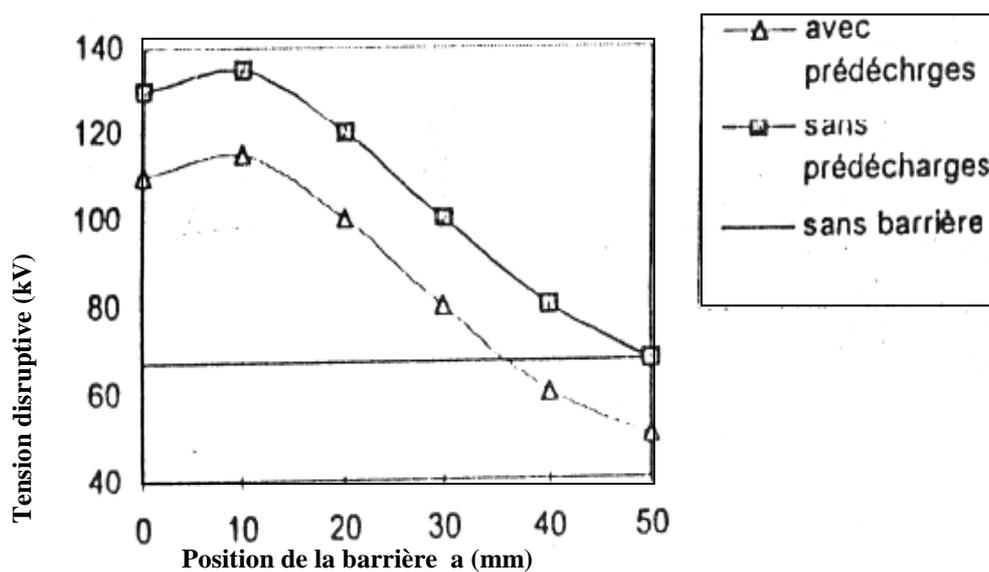


Figure II.8: Influence des prédécharges [21]

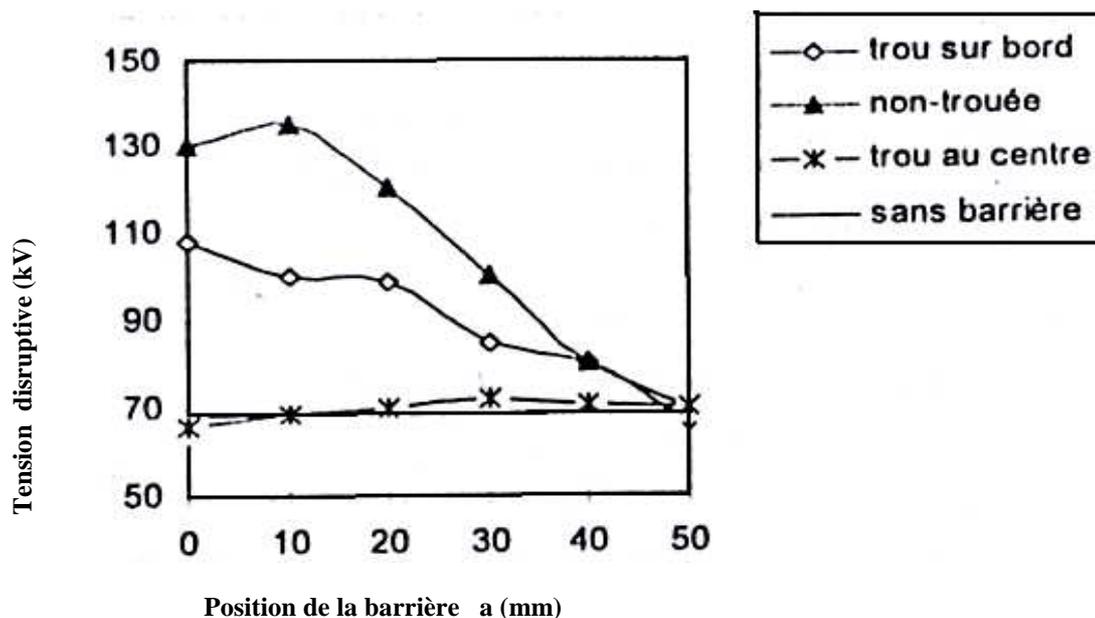


Figure II.9: Influence des barrières trouées [21]

II.4.10 Influence selon M.V.Sokolova

Sokolova a effectué des mesures des courants de décharges pour des intervalles d'air avec différents matériaux de la barrière. L'analyse des oscillogrammes a montré que chaque impulsion de courant a une structure complexe. Il a obtenu les résultats regroupés dans le tableau II.1, pour une distance pointe-plan $d=1.5\text{mm}$ et $U_{eff} = 4.5\text{kV}$ [23].

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

Tableau.II.1 : Paramètres de la décharge dans l'air pour différents matériaux [23]

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

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

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

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

Tableau.II.2: Courant maximum de décharges dans le cas d'un état de surface différent de la barrière [23]

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

II.4.11 Influence selon M. C . Siddagangapa

La distribution du champ électrique et les niveaux de tension de claquage sont souvent modifiés par l'accumulation de la charge sur un isolant où la modification du champ sur la surface peut mener aux décharges glissantes. Il est important de savoir que l'influence de cette accumulation sur la distribution du champ électrique dans les systèmes stratifiés (gaz-solide) est un paramètre fondamental pour établir une meilleure isolation. Afin de visualiser et de quantifier la charge déposée sur le diélectrique, on fait recours aux techniques optiques.

M.C.Siddagangapa [24], a utilisé la méthode de simulation de charge pour le calcul du champ électrique et de la tension disruptive. Les résultats de simulation concorde avec la base de données expérimentales obtenue, par Nakanishi [25].

II.4.12 Influence selon F.V. Topalis et I.A.Stathopoulos

La rigidité diélectrique de l'air s'améliore pour des positions relativement éloignées de la barrière des deux électrodes, dans le cas des petits et moyens intervalles [49]. L'effet de la barrière n'est plus le même dans le cas des longs intervalles et pour des positions de la barrière équivalentes à celles du cas précédent. Selon les conditions expérimentales, ceci est dû à l'influence du phénomène physique dénommé 'leader', qui est matérialisé par un canal lumineux observé dès que la distance inter électrodes dépasse 80 cm.

En tension impulsionnelle et en géométrie d'électrodes pointe-pointe, l'insertion de deux barrières de manière à ce que l'une soit fixe et l'autre mobile ne change presque pas la tension de claquage en fonction de la position de la barrière, mais reste toutefois supérieure à celle de l'intervalle d'air ayant une seule barrière (Fig.II.10). Dans le cas d'un système pointe-plan, la tension disruptive augmente de 35% pour une barrière située à 20% de la distance inter électrodes [26].

L'insertion de trois barrières a été réalisée par Y Julliard, où il a constaté une amélioration de la rigidité diélectrique du système par rapport à l'introduction de deux barrières [4].

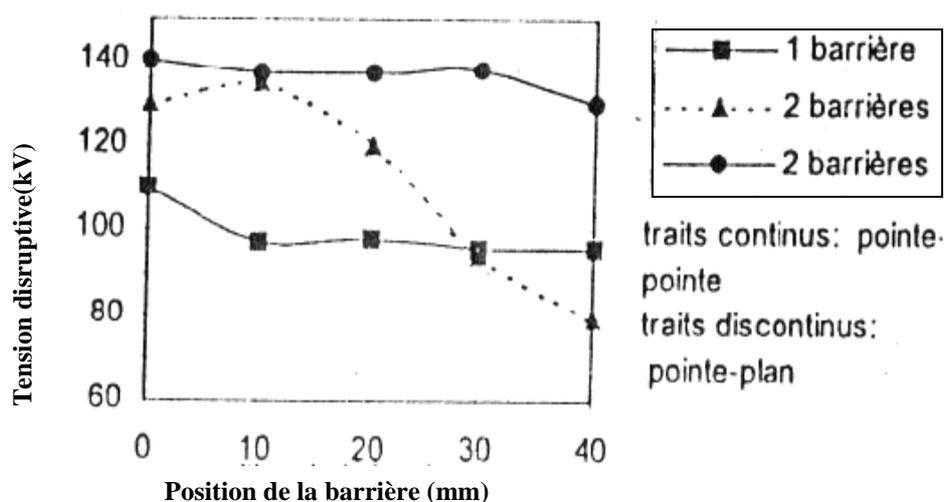


Figure. II.10 : Influence du nombre de barrières sur la tension disruptive en système pointe-pointe et pointe-plan (tension impulsionnelle) [26]

II.5 Influence des barrières isolantes sur le champ électrique des intervalles d'air pointe-plan

En utilisant une sonde capacitive, Meek et Collins ont observé les variations de l'intensité du champ électrique à la surface des électrodes d'un intervalle d'air pointe-barrière isolante-plan, ayant une distance inter électrodes de 15 cm, aux chocs 0.4/30 μ s [27].

La figure II.11 donne des oscillogrammes du champ électrique sans et avec barrière isolante. La figure (A) (sans barrière), montre un pic de champ électrique à la pointe qui décroît rapidement à cause de la charge positive injectée dans l'intervalle, créant un champ de charge d'espace opposé au champ appliqué. On note aussi le développement d'un pic au plan. Les streamers de la décharge couronne traversent l'intervalle et augmentent avec l'augmentation de la tension appliquée à la pointe. Par la suite, le champ électrique décroît tant que les streamers atteignent le plan, la charge est alors neutralisée.

La figure (B) donne le champ électrique avec barrière isolante. On remarque que le champ électrique au plan augmente pour atteindre un maximum, mais ne diminue pas tant que les streamers sont empêchés d'atteindre la barrière où ils devraient être neutralisés. Au niveau de la pointe le champ électrique est légèrement réduit par rapport à celui obtenu dans le cas sans barrière.

K.Hidaka a également effectué la même étude, mais en utilisant une sonde optique à effet pockels, Fig (II.12) [28]. La distribution du champ électrique sur la surface opposée à la pointe en tension impulsionnelle est donnée à la figure II.13. Il ressort de cette étude que la charge d'espace accumulée sur la barrière est maximale au centre de la barrière et décroît dans la direction radiale. En effet la charge accumulée réduit le champ électrique entre la pointe et la barrière.

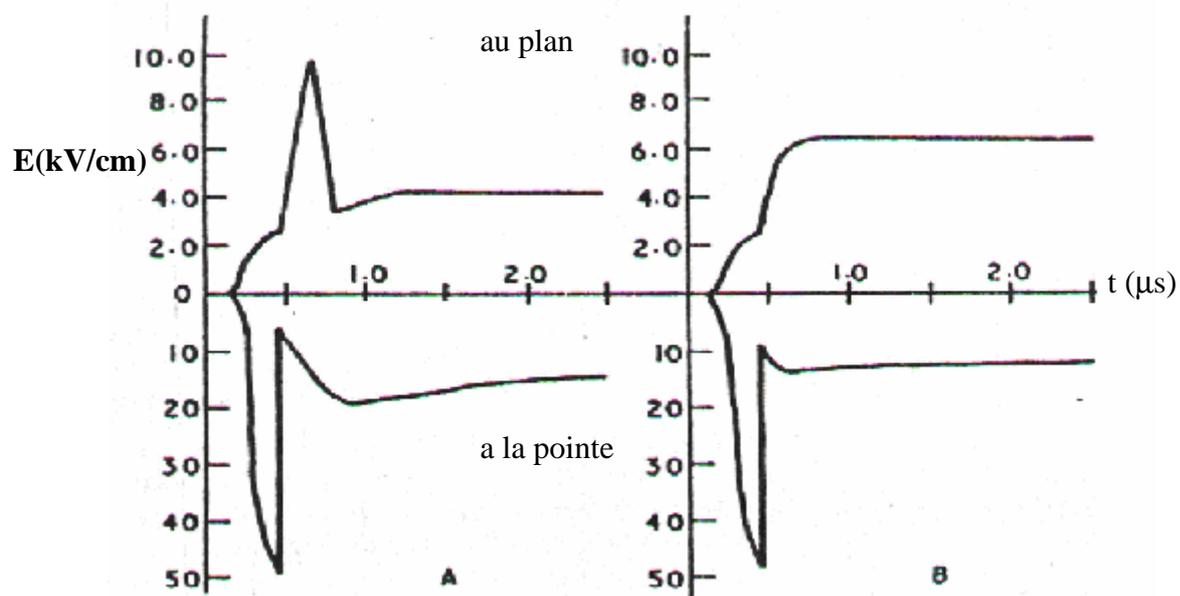


Figure.II.11: Effet d'une barrière isolante sur le champ électrique en Système pointe plan ($V= 89 \text{ kV}$) [27]
 A) Sans barrière B) Barrière à 5 cm du plan

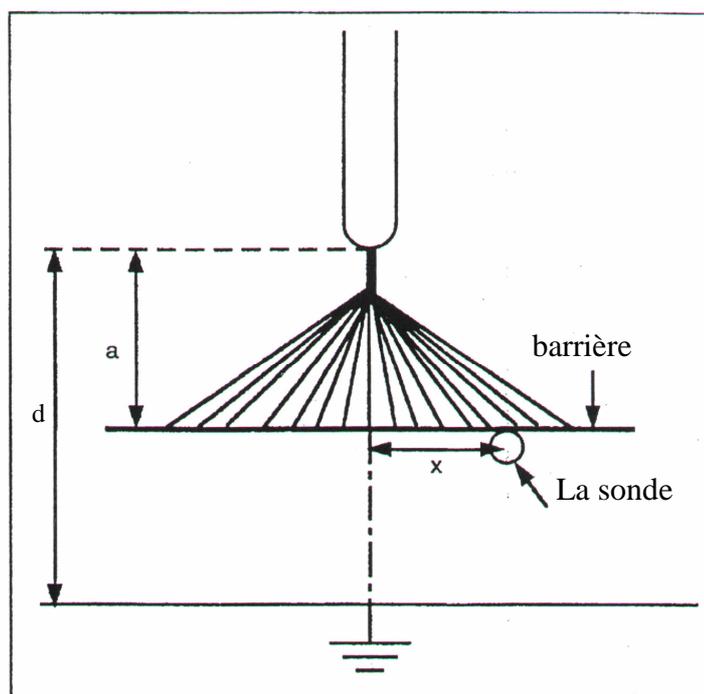


Figure.II.12: Diagramme schématique d'un système pointe-plan avec une barrière isolante [28]

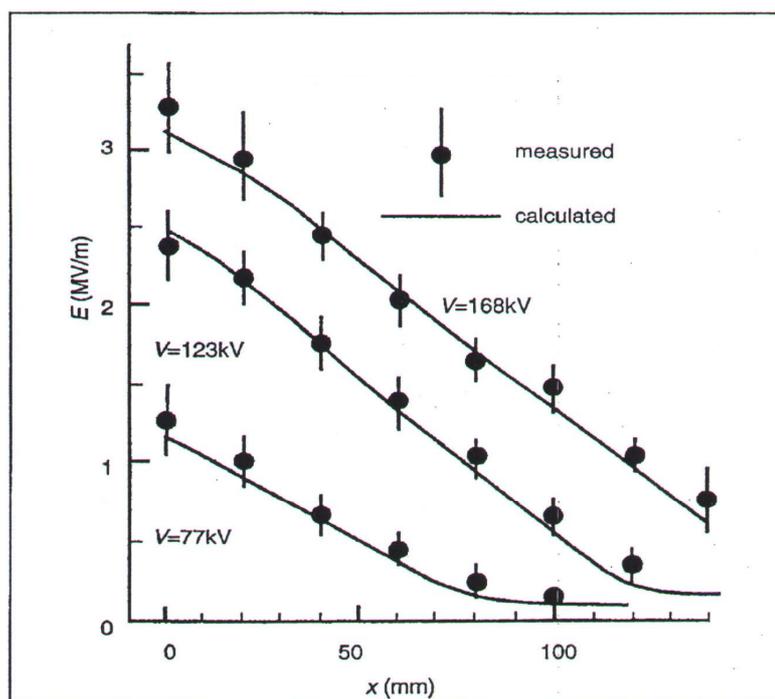


Figure II.13: Distribution du champ électrique sous la barrière obtenue avec une sonde à effet pockels ($d = 10$ cm, $a = 3$ cm) [28]

L.Mokhnache a réalisées des modèles de simulation sur les intervalles pointe-barrière-plan [29-32]. Elle a élaboré un programme pour le calcul du champ électrique par la méthode des éléments finis, pour les longs intervalles d'air pointe-barrière-plane [18, 32]. Dans son modèle, elle a tenu compte de l'effet du champ de polarisation de la barrière et a obtenu l'influence de quelques paramètres tels que la tension, la permittivité, l'angle d'ouverture de la pointe et la largeur de la barrière.

Il ressort des résultats de simulation que plus la largeur de la barrière augmente, plus le champ électrique sur la barrière, notamment en son centre, devient important, (Fig. II.14).

Toutefois, plus l'angle d'ouverture de la pointe 'alpha' augmente moins le champ électrique est important à la surface supérieure de la barrière et sur l'axe de la pointe (Fig.II.15 et 16). Aussi l'augmentation de la permittivité relative du matériau de la barrière rend le champ électrique plus important (Fig.II.17 et 18).

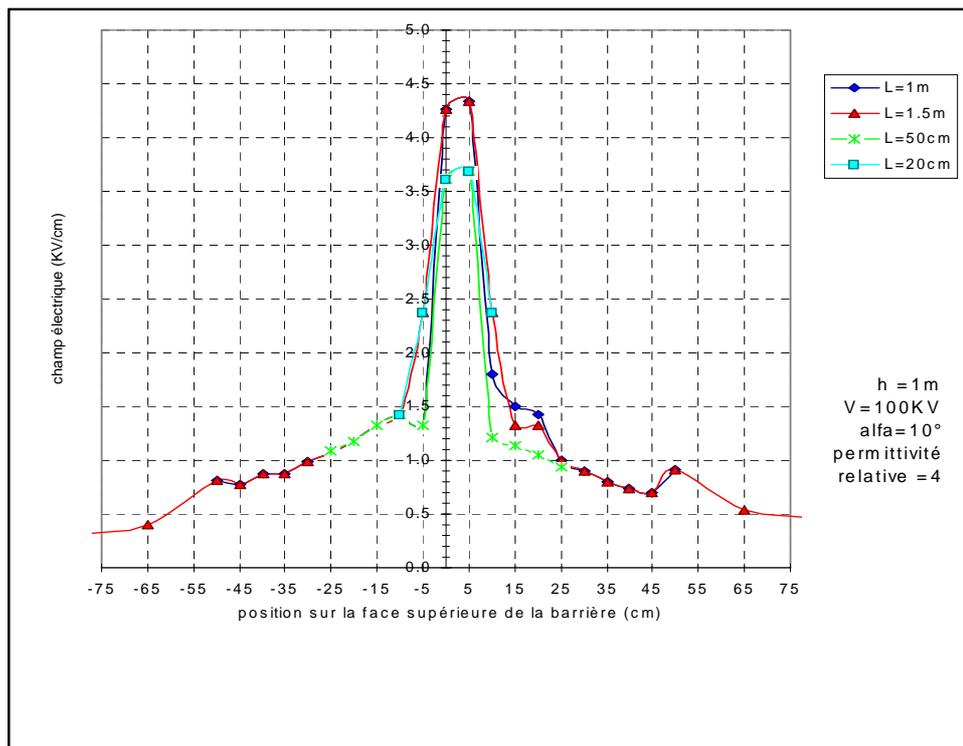


Figure II.14: Influence de largeur L de la barrière sur le champ électrique a sa surface supérieure [18]

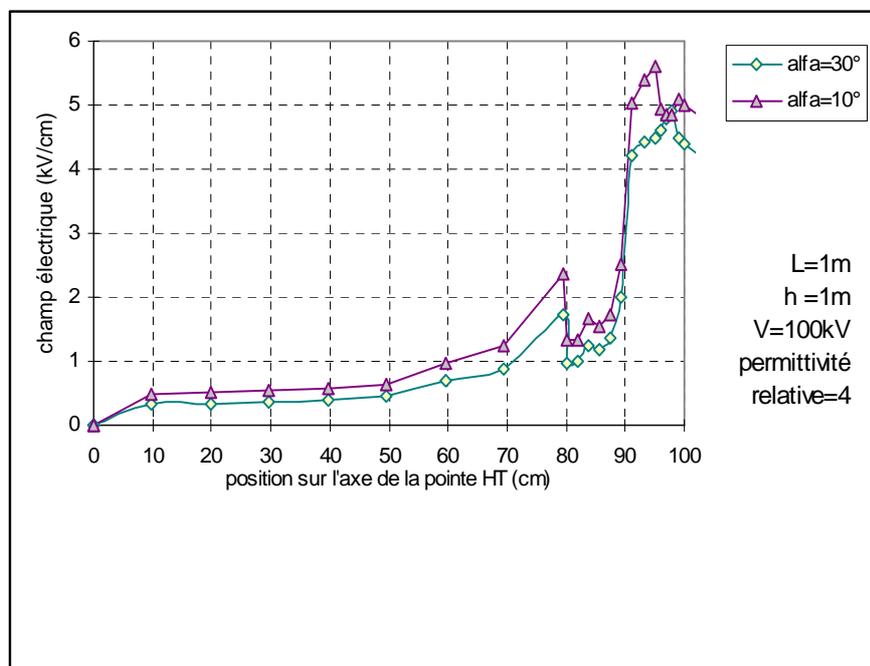


Figure II.15: Champ électrique sur l'axe de la pointe HT pour deux ouvertures différentes de l'angle de la pointe [18]

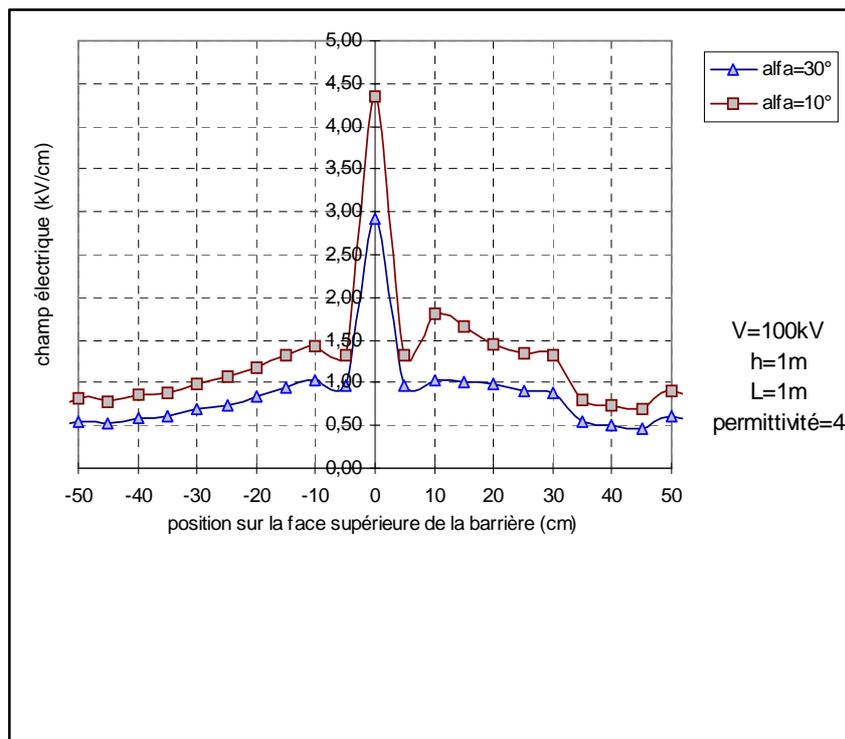


Figure II.16: Champ électrique sur la surface supérieure d'une barrière isolante pour différentes ouvertures de l'angle de la pointe HT différentes de l'angle de la pointe [18]

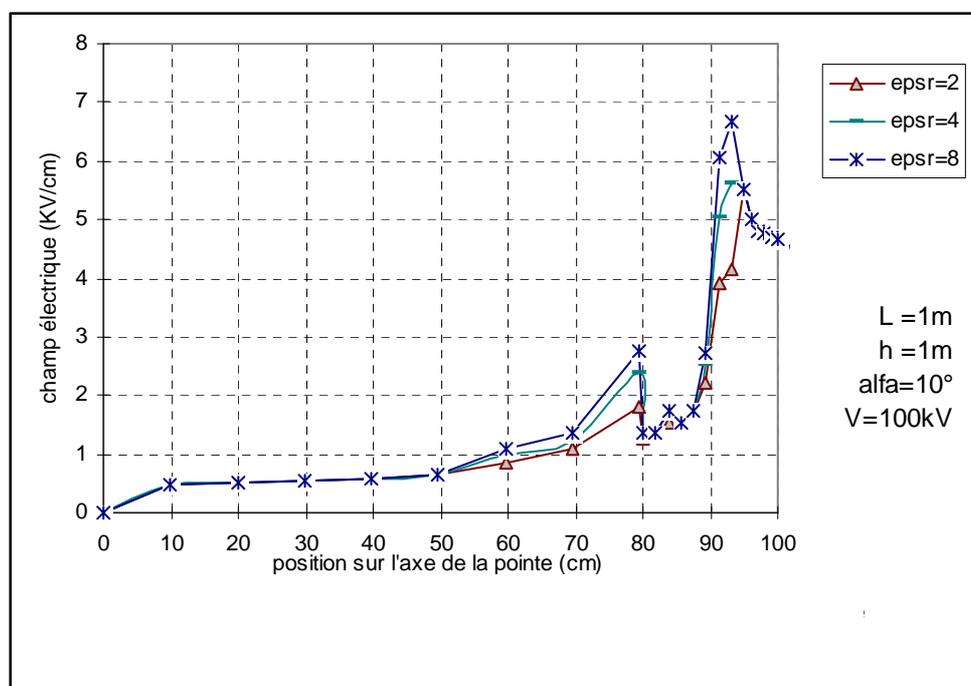


Figure II.17: Champ électrique sur l'axe de la pointe HT pour une barrière avec des permittivités différentes [18]

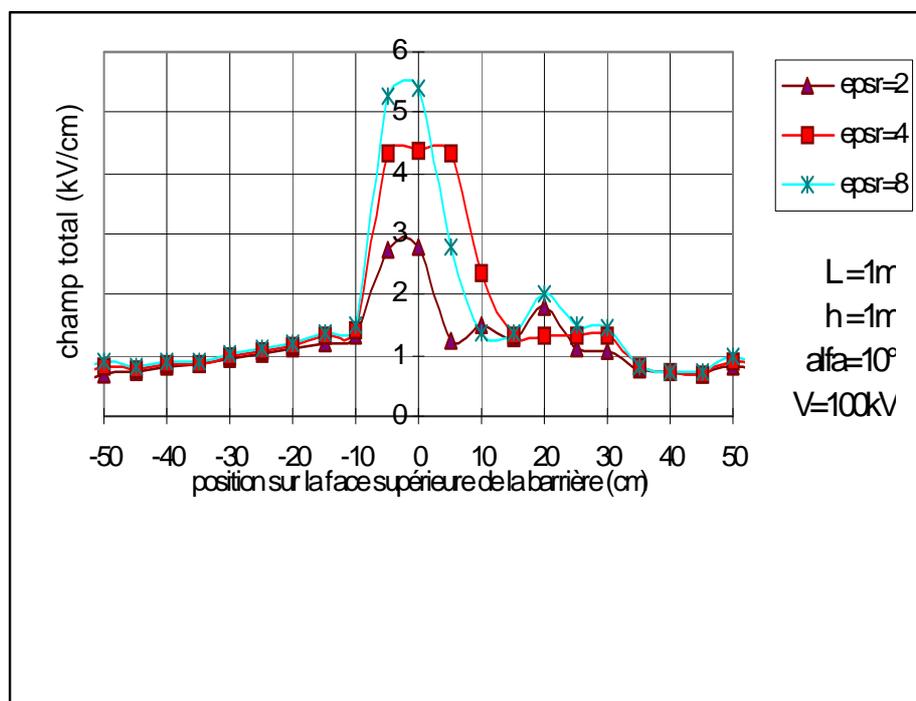


Figure.II.18: Champ électrique sur la face supérieure de la barrière pour des permittivités différentes [18]

II.6 Conclusion

Les barrières isolantes ont des propriétés différentes l'une par rapport à l'autre. La connaissance des paramètres définissant leur nature est nécessaire. On trouve parmi ces paramètres : la rigidité diélectrique, la permittivité ainsi que les décharges partielles pouvant avoir lieu à l'extérieur, à la surface et à l'intérieur des isolants solides.

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

L'évolution de la décharge peut être directe ou par étapes selon la position de la barrière dans l'intervalle d'air pointe-plan. En effet, la décharge directe est obtenue lorsque aucune décharge superficielle à la surface de la barrière n'est observée. Ce cas est généralement obtenu quand la barrière est suffisamment éloignée des électrodes. La progression de la décharge s'effectue par étapes lorsque la barrière est proche de la pointe positive. Dans le cas d'une pointe de polarité négative, la décharge par étapes apparaît pour pratiquement toutes les positions de la barrière.

La distribution du champ électrique est modifiée lors de l'insertion d'une barrière dans l'intervalle pointe-plan. Elle est fonction de plusieurs paramètres : angle d'ouverture de la pointe, position, largeur et permittivité de la barrière. En l'occurrence, le dimensionnement de l'intervalle d'air pointe-barrière-plan doit être optimisé en fonction des paramètres cités ci-dessus, afin d'assurer les meilleures performances techniques en parvenant à une meilleure qualité d'isolation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Boubakeur, « Influence des barrières sur la tension de décharge disruptive des moyens intervalles d'air pointe-plan », Thèse de Doctorat, E.P. Varsovie, Pologne, 1979.
- [2] E. Marx, « Air dielectric strength in non uniform fields », E.T. Z., H 33, pp.1161, 1930.
- [3] H.Roser, « Dielectric strength screen in air », E.T.Z . H17, Bd 53, pp.411, 1932.
- [4] N.N. Tikhodeev, « Effect of an incomplete barrier in electrical discharge; new experiments and advances in theory », Soviet Physics Tech. Phys, Vol.2, pp.385, 1957.
- [5] M.P.Verma, « Electric field lines of rod-barrier-plane in positive impulse voltage », Wiss.Zeit. der TU Dresden H1, pp.111, 1962.
- [6] J.Pilling, « Dielectric barrier in uniform field », Elektrie 23, H11, pp.463, 1969.
- [7] M.Awad, « Disruption d'un intervalle d'air pointe-plan avec barrière polluée », Elektrie 29, H10, pp.559,1975.
- [8] A.Boubakeur, M.Boutlendj, «Screen size influence on the AC breakdown voltage of a point-screen-plane arrangement », Journal of Technology, Ecole Nationale Polytechnique, Algiers, N°1, pp.3-10, 1986.
- [9] A.Boubakeur, « Influence des barrières sur l'amorçage des moyens intervalles d'air pointe-plan », Rozprawy Elektryczne (Polish Academy of Sciences), Vol.27, N°3, pp.729-744, 1981.
- [10] A. Beroual, A. Boubakeur, « Influence of barriers on the lightning and switching impulse strength of mean air gaps in pointe-plane arrangements », IEEE Trans. Electr. Insul, Vol .20. N°6, pp.1131, 1991.
- [11] H.E. Remde, H.Boeker, « Voltage-current characteristics during propagation of a surge breakdown of a point-to-plane gap with insulating barrier », IEEE. Trans, Vol. 91, N° 1.pp.271-276, 1972.
- [12] M. Aguet, M. Ianoz, «Haute tension », volume XXII : traité d'électricité. Deuxième édition, 1982.
- [13] CEI 60270-2, « Partial discharge measurement », 2000.
- [14] C.Guillermin, « La dégradation des isolants électriques », LEMD- Schneider Electric, p 1-4, 1999.
- [15] E.Kuffel, W. Zaengl, J. Kuffel, « High voltage engineering fundamentals» Edition, Butterworth-Heinemann, Oxford 2000.

- [16] J.L.Jakubowski, A.Boubakeur, « Rigidité des moyens intervalles d'air dans les systèmes isolants pointe-plan avec barrières », Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences (Polish Academy of Sciences Bulletin), Vol.28, N°9-10, pp.141-147, 1980.
- [17] A.Boubakeur, « Discharge phenomena in long air gaps with insulating screens », 4th International Symposium on High Voltage Engineering (4th ISH), paper 44-05, Athens, Greece, 1983.
- [18] L. Mokhnache, « Contribution à l'étude de l'influence des barrières dans les intervalles d'air pointe-plan par le calcul numérique du champ à l'aide de la méthode des éléments finis avec et sans charge d'espace », Thèse de magister, ENP d'Alger 1997.
- [19] A.Boubakeur, L.Mokhnache, « Potentiel d'une barrière conductrice flottante dans un intervalle d'air pointe-plan », Première Conférence National sur la Haute Tension (CNHT'95), pp.27-31, Bejaia 1995.
- [20] L. Ming, T. Bengtsson, « Barrier effects air insulates systems under DC voltage », session 4303, 8th ISH, pp.1-4. Japan 1993.
- [21] L. Ming, M. Leijon, T. Bengston, « Factors influencing barrier effects in air gaps », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2168, pp.1-4, Graz 1995.
- [22] Z.You Bin, « The influence of the electrode material of rod-rod gap with tip on its DC breakdown voltage », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2135, pp.1-2, Graz 1995.
- [23] M.V. Socolova, A.N. Zhukov, « Influence of barrier surface properties on the discharge in a narrow gas gap », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2899, pp. 1-4, Graz 1995.
- [24] S. Chakravorti, M. C . Siddagangapa, « Effect of charge accumulation on the electric field distribution along spacer surfaces », International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 8352, pp. 1-4, Graz 1995.
- [25] K.Nakanishi, A.Yoshiyoka, Y. Shibuya, « Surface charging on epoxy spacer at DC stress in compressed SF6 gas », IEEE Trans. Power Apparatus and Syst, Vol.102, N°12, pp. 3919-3927, 1983.
- [26] F.V. Topalis, I.A.Stathopoulos, « Barrier effect on electrical breakdown air gaps: a theoretical approach», International Symposium on High Voltage Engineering (9th ISH), session 2147, pp.1-4, Graz 1995.
- [27] J.M.Meek, M.MC.Collins, « Measurement of field preceding impulse breakdown of rod-plane gaps », Proc. Of the 7th Int.conf. on Phenomena in ionized gases, Vol1, Belgrad, pp.581-585, 1966.

- [28] k.Hidaka, « Progress in Japan of space charge field measurement in gaseous dielectric using a pockels sensor », IEEE. Electrical Insulation Magazine, Vol.12, N°1, pp17-28. 1996.
- [29] A.Boubakeur, L.Mokhnache, S.Boukhtache, « Theoretical investigation on barrier effect in point-plane air gap using finite elements method in presence of space charge », POWERCOM'98, International conference on Power System Technology, Vol.1, pp.116-121, Beijing, 1998.
- [30] A.Boubakeur, L.Mokhnache, S.Boukhtache, « Numerical model describing the effect(s) of a barrier and the space charge fields on the electrical strength of a point-plane air gap using the finite elements », Conference on Electrical. Insulation and Dielectric Phenomena CEIDP'2000, Vol.2, pp.466-469, Victoria (Canada), 2000.
- [31] A.Boubakeur, L.Mokhnache, S.Boukhtache, A.Felliachi, « Theoretical investigation on barrier effect on point-plane air gap breakdown voltage based on streamers criterion », IEE. Science, Measurement and Technology. Vol.151 , pp.167-174, 2004.
- [32] A.Boubakeur, L.Mokhnache, S.Boukhtache, « Numerical Model of Electrostatic Barrier effect in a Point-Plane Air Gap in Presence of Positive Space Charge », Archives of Electrical Engineering, Polish Academy of Sciences, edited by Polish Scientific Publishers PWN, ISSN 0004-0746, Index 351 660, Vol.XLVIII, N°189- 3/99, 1999.