

19/96
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **GENIE ELECTRIQUE**

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET

**INFLUENCE DE LA LARGEUR DES
ECRANS ISOLANTS SUR L'AMORÇAGE
DES INTERVALLES D'AIR
"POINTE-PLAN"**

Proposé par :

M^r: A. BOUBAKEUR

Etudié par :

**M. GUENFOUD
D. MIDA**

Dirigé par :

M^r: A. BOUBAKEUR

PROMOTION

JUIN 1996

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **GENIE ELECTRIQUE**

PROJET DE FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SUJET

**INFLUENCE DE LA LARGEUR DES
ECRANS ISOLANTS SUR L'AMORÇAGE
DES INTERVALLES D'AIR
"POINTE-PLAN"**

Proposé par :

M^r: A. BOUBAKEUR

Etudié par :

**M. GUENFOUD
D. MIDA**

Dirigé par :

M^r: A. BOUBAKEUR

PROMOTION

JUIN 1996



إلى

إلى أمي التي أمدتني بفيض الحنان .

إلى أبي الذي أمدني بالرعاية والتوجيه .

إلى إخوتي وأخواتي .

إلى عمي وعائلته .

إلى جميع أصدقائي وزملائي .

إلى كل من يحمل سلاماً وأمناً لهذا الوطن الحبيب .

إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل المتواضع .

فنفوس محمد

فهد

إلى روح أبي محمد الطاهرة النقية .

إلى أمي الحبيبة .

إلى إخوتي وأخواتي أحمد - إبراهيم - علي - علية - ياسمينه

والمعروف بشير إلى أخي محمد العيد شبرو إلى أصدقائي :

جمال - العيد - عسير - محمد - عبد الباطي - عبد الوهاب - طلال

لزهر - عبد السلام - محمد - نصر الدين - والي - مهدي - محمد - فنفور

أهدي هذا العمل المتواضع ...

مروه إبراهيم

Remerciements

Tous nos remerciements au tout puissant d'abord, ensuite nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance envers toutes les personnes qui ont rendu possible l'élaboration de ce projet de manière directe ou indirecte, en particulier Mr. A.

Boubakeur, notre professeur et notre promoteur pour tous les conseils qu'il nous a prodigués, pour la confiance qu'il nous a témoigné et pour sa participation active durant notre travail.

Nos remerciements vont également à Mr A. Mekhaldi, M. Tegar et à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation d'ingénieurs, en particulier ceux du département de Genie - électrique (E.N.P). Veuillez bien trouver ici l'expression de notre vive gratitude.

D. Mida

M. Guenfoud

يدخل هذا الموضوع في ميدان التوتر العالى ويعالج تأثير طول المادة العازلة على التفريغ في مجال من الهواء بين الرأس المدب والمستوى.
وقد تركزت الدراسة بالخصوص على تأثير طول ووضعية المادة العازلة وكذلك نوع التفريغ.

Abstract :

This subject belongs to the high voltage technology. It treats on the influence the breadth of insulating screens in a "pointe-plane" air gap on the breakdown voltage.

The special interest of this study is the breadth and the position of the screens, and also the type of discharge.

Resumé :

Ce sujet fait partie du domaine de la haute tension. Il traite l'influence de la largeur des écrans isolants sur l'amorçage des intervalles d'air "pointe-plan".

L'étude s'est particulièrement penchée sur l'influence de la largeur et de la position de la barrière, ainsi le type de décharge.

SOMMAIRE

	Pages
Introduction	01

Partie 1 : Partie théorique

Chapitre I : Décharges dans l'air à 50 Hz et aux chocs de foudre

1. Généralités.....	03
2. L'air isolant.	03
3. Rigidité.	03
4. Mécanismes de décharges dans l'air.	
4.1. Mécanisme de Townsend.	04
4.2. Mécanisme de Streamers.	06
4.3. Mécanisme de décharges aux chocs de foudre.....	07
4.3.1. Amorçage dans l'air aux petites distance (Système pointe-plan).	08
4.3.2. Amorçage dans l'air aux grandes distances.....	09
4.3.3. Amorçage en champ non uniforme (Système pointe-plan).....	10
5. Temps de retard.....	13
6. Influence des paramètres physiques de l'air.....	14

Chapitre II : Influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique de l'air

1. Généralités.....	16
2. Influence des paramètres définissant la nature de la barrière.	
2.1. La résistivité transversale.....	16
2.2. La résistivité superficielle.....	16
2.3. Constante diélectrique ou permittivité relative (ϵ_r).....	17
3. Influence des décharges superficielles et des décharges partielles sur le diélectrique solide.	17
4. Mécanisme de rupture diélectrique des isolants solides.	
4.1. Généralités.	17
4.2. Mécanisme électrique.	17
4.3. Mécanisme thermique.	18
5. Influence des paramètres extérieurs à la nature de la barrière.	
5.1. Influence de type de tension.....	20
5.2. Influence de la polarité de l'électrode pointe.....	21

5.3. Influence de la position de la barrière.....	21
5.4. Influence de la largeur.....	21
5.5. Décharge glissantes.....	22
6. Influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique de l'air (Système pointe-plan).....	22
7. Formes des décharges	
7.1. Décharge directe.	25
7.2. Décharge par étapes.....	26
8. Conclusion.	27

Partie 2 : Partie expérimentale

Chapitre III : Essai au laboratoire de haute tension de l'E.N.P d'Alger

1. Introduction.....	28
2. Equipement de la station d'essai de l'E.N.P à 50 Hz.	
2.1. Transformateur d'essais (50 Hz).....	28
2.2. Transformateur de réglage.....	29
2.3. Diviseur capacitif.....	29
2.4. Pupitre de commande.....	29
2.5. Circuit d'essai.	30
3. Equipement de la station de choc du laboratoire de l'E.NP	
3.1. Générateur de choc.	31
3.2. Diviseur de tension résistif.	32
3.3. Oscilloscope et Voltmètre de choc.	32
3.4. Détermination de la tension disruptive moyenne $U_{50\%}$	33
3.5. Circuit d'essai.	33
4. Arrangement " pointe - barrière - plan ".....	34
5. Conditions atmosphériques.....	36

Chapitre IV : Interprétations et discussions des résultats.

1. Introduction.....	38
2. Influence de la position de la barrière.....	38
3. Influence de la largeur de la barrière.....	41
4. Equivalence de l'arrangement " pointe - barrière - plan ".....	45
Conclusions générales.....	47
Annexe	48
Bibliographie.....	58

INTRODUCTION

Introduction:

Le recours, pour des raisons économiques, à des tensions de plus en plus élevées pour le transport de l'énergie électrique a nécessité et nécessitera encore, des distances d'isolement dans l'air de plus en plus grandes.

Dans des conditions atmosphériques données, la disruption de l'air dépend largement de la forme des électrodes et du genre de tension appliquée. Dans la pratique, la majorité des configurations rencontrées peut être caractérisée, à partir d'une certaine distance entre électrodes, par les géométries à champs non-uniforme (pointe-pointe) ou (pointe-plan).

De toutes ces configurations seule la géométrie pointe-plan est la plus défavorable en ce qui concerne la rupture diélectrique de l'air qui se manifeste dans ce cas aux plus faibles tensions quand la pointe est positive. Cela traduit l'importance que revêt l'utilisation du système d'électrodes pointe-plan dans plusieurs recherches liées à la rigidité diélectrique de l'air. En effet, sur la base des résultats obtenus avec ce système d'électrodes, il devient facile d'estimer les distances minimales dans l'air à respecter pour une tension de tenue donnée.

Pour augmenter la tension disruptive des intervalles d'air, on a proposé l'emploi de barrières isolantes. Cet emploi doit tenir compte de la forme géométrique des électrodes et de la nature de la barrière.

Selon plusieurs chercheurs, l'introduction d'une barrière provoque une augmentation appréciable quand il s'agit d'une polarité positive, par contre pour une polarité négative, l'écran isolant reste pratiquement sans effet, et engendre parfois une réduction de la tension disruptive.

Certaines études ont été déjà effectuées à l'E.N.P concernant l'influence des dimensions des écrans isolants à surface propre sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50 Hz), et de choc de foudre.

L'objet de ce projet est d'étudier l'influence de la largeur des écrans isolants à surfaces propres sur les tensions d'amorçage aux chocs de foudre et à fréquence industrielle, des intervalles d'air pointe-plan à distance fixe égale à 10 cm, et de déterminer les largeurs de transition "décharges directes - décharges par étapes".

Cette étude a été subdivisée en quatre chapitres, le premier présente les mécanismes de décharge dans l'air à 50Hz et aux chocs de foudre, le second traite d'une synthèse bibliographique concernant l'influence des barrières isolantes, le troisième donne les

caractéristiques des différents équipements du laboratoire haute tension de l'E.N.P, et enfin un quatrième chapitre donne une présentation des résultats d'essais et leurs interprétations.

PARTIE THEORIQUE



CHAPITRE I

CHAPITRE I

DECHARGES DANS L'AIR A 50 Hz ET AUX CHOCS DE Foudre

1 - Généralités

Le claquage électrique des diélectrique fait l'objet d'étude très importantes. Actuellement, dans l'industrie, on constate souvent que le même matériau présente des rigidités très variables suivant le milieu environnant et les conditions d'exploitation. Cependant, même dans le cas où les conditions d'utilisation et les distributions du champ sont apparemment les même, on s'aperçoit que le claquage se produit pour des tensions appliquées très variables. En outre ce claquage intervient pour des intensités de champ beaucoup plus faibles que celle que l'on trouvait pour un matériaux pur et dans les conditions de laboratoire.

2 - L'air isolant:

On entend par matériau isolant les matériaux qui présentent une très grande résistance au passage du courant électrique et dont la conductibilité est pratiquement nulle.

L'air est en général un bon isolant. Toutefois, même si ses molécules sont neutres, elle peuvent être soumises incessamment à des agents ionisant extérieurs, tels que la radiations cosmiques, les rayons x ou la radioactivité naturelle.

Ainsi, on voit qu'il existe toujours une possibilité donnant naissance à un certain nombre de charges électriques libres dans le gaz. Ce fait explique que les gaz jouant le rôle d'isolants parfaits sont rares.

On peut néanmoins trouver des gaz dont la conductivité électrique est très réduite.

3 - Rigidité:

En élevant la tension graduellement entre deux électrodes séparées par un matériaux isolant, on provoque un éclatement entre les deux électrodes sous forme d'étincelle qui perfore l'isolant.

La tension perforant un isolant par unité d'épaisseur est appelée "Rigidité diélectrique". On parle aussi de tension de perforation ou de tension disruptive et de claquage de l'isolant.

La rigidité diélectrique peut se définir comme étant les quotients de la tension des perforations par l'épaisseur de l'isolant. Elle est plus élevée pour des faibles épaisseurs.

La valeur de celle ci peut être influencée par plusieurs paramètres dont l'épaisseur, la forme des électrodes et leurs polarités, ainsi que la forme et la durée d'application de la tension.

Les essais de rigidité diélectrique doivent se fait dans des conditions déterminées, définies par les normes.

4 - Mécanismes de décharges dans l'air:

4.1. - Mécanisme, de Townsend:

En champ uniforme et aux faibles p.d, le phénomène de décharge est expliqué par la théorie de Townsend[1] Townsend explique que sous l'action du champ électrique appliqué, certains électrons libres présents dans le gaz acquièrent une énergie suffisante pour ioniser des molécules neutres. Au cours de leur déplacement, ils créent donc de nouveaux électrons susceptibles à leur tour d'ioniser le gaz.

Cette première phase d'ionisation est dite processus α , ou α désigne le premier coefficient de Townsend, qui est défini comme étant le nombre de chocs non élastiques sur un parcours de 1 cm dans la direction du champ.

Le développement de l'avalanche s'arrête quand le champ n'est pas suffisant pour assurer la multiplication électronique. On dit alors que la décharge est non autonome.

Pour que l'avalanche se poursuive, Townsend a défini un deuxième coefficient noté γ . Il représente la probabilité qu'a un ion positif d'extraire un électron de la cathode. Ainsi, la décharge autonome apparaît d'après Townsend quand le critère suivant est rempli:

$\gamma(e^{\alpha d} - 1) \geq 1$, où d est la distance entre les électrodes.

Le mécanisme de Townsend est relaté par la figure -I.1- qui représente la caractéristique densité du courant/tension.

La première partie montante (OA) de la courbe correspond au domaine où la loi d'ohm est valable (donc le nombre d'ions positifs et négatif est considéré comme constant).

La densité de courant est proportionnelle à la tension. Elle augmente et tend vers une valeur constante J_s qui représente le courant de saturation (partie AB). La densité de courant, dans l'air, est pratiquement négligeable.

Quand la tension continue croît et dépasse la valeur V_i (tension d'ionisation par choc: $V_i = 30 \text{ kV} / \text{cm}$. dans l'air),

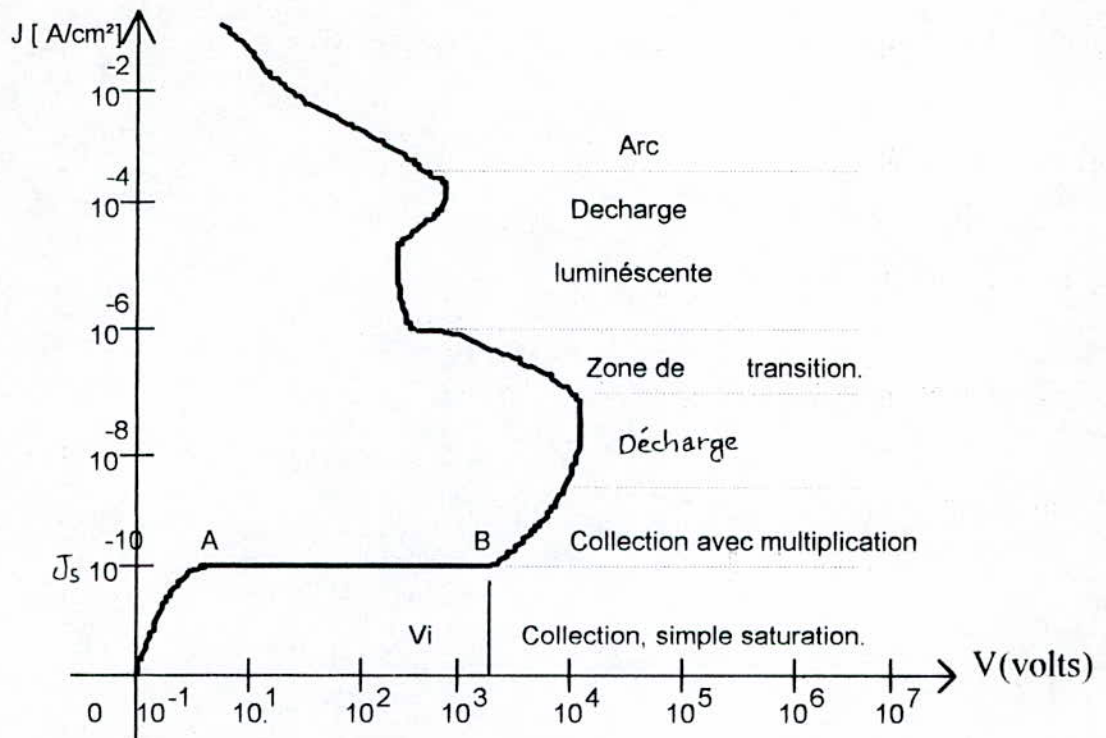


Figure.I.1 : Carracteristique d'une décharge non-autonome et autonome.

les électrons se trouvent alors animés d'une vitesse plus grandes, le processus α pouvant avoir lieu, le courant augmente alors très vite à partir du point B, pour tendre vers des valeurs élevées.

La figure -2- représente la distribution des électrons et des ions dans une avalanche électronique [2], E_0 représente le champ sans charge d'espace. Au niveau de l'anode, on voit que E_0 se superpose à un champ local de même sens créé entre l'anode et la charge négative. On est alors en présence d'un champ résultant E_1 supérieur à E_0 .

Entre les charges positives et négatives, le champ local. Créé s'oppose à E_0 d'où un champ résultât inférieur à E_0 .

Au niveau de la cathode, le champ local créé se superpose à E_0 et le champ résultat E_2 est supérieur à E_0 .

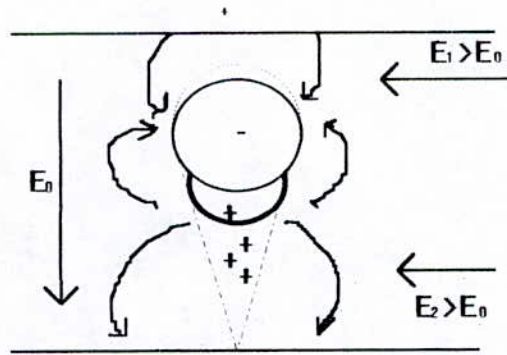


Figure 2: Influence de la charge d'espace sur l'intensité de champ créée entre deux électrodes planes.

4.2 - Mécanisme des streamers:

Aux grands p.d ($p.d > 133 \text{ kPa} \cdot \text{cm}$), le phénomène de décharge n'est plus celui proposé par Townsend. Selon Meek, Raether et Loeb [3.4.5], la décharge que ce soit en champ uniforme ou pas, s'explique par la théorie des streamers, avec l'intermédiaire d'un canal de plasma.

Le plasma est un gaz extrêmement ionisé, porté à des températures très élevées (quelques milliers de degrés celsius). La figure 3 explique les différentes phases de la formation du canal.

En premier lieu, on observe une avalanche principale appelé "avalanche mère" entre les deux électrodes. A cette avalanche ayant pris naissance à la cathode, il se produit des ramifications secondaires de petites avalanches à ses flancs. Celles-ci sont dues aux électrons libres, les quels, au lieu de se diriger vers l'anode, se voient attirés par la charge d'espace positive qui leur est proche. Ils se trouvent alors animés d'une vitesse très grande (car $\vec{V} = b \cdot \vec{E}$ et le champ est très élevé dans le domaine où les électrons sont attirés).

On observe alors la formation d'un canal de plasma dans le domaine où les avalanches sont groupées et où le champ électrique est intense. Ce canal se développe en progressant vers la cathode, jusqu'à ce qu'il relie les deux électrodes sous forme d'étincelle finale.

Le temps de formation de l'étincelle est de l'ordre de $0.1 \mu\text{s}$.

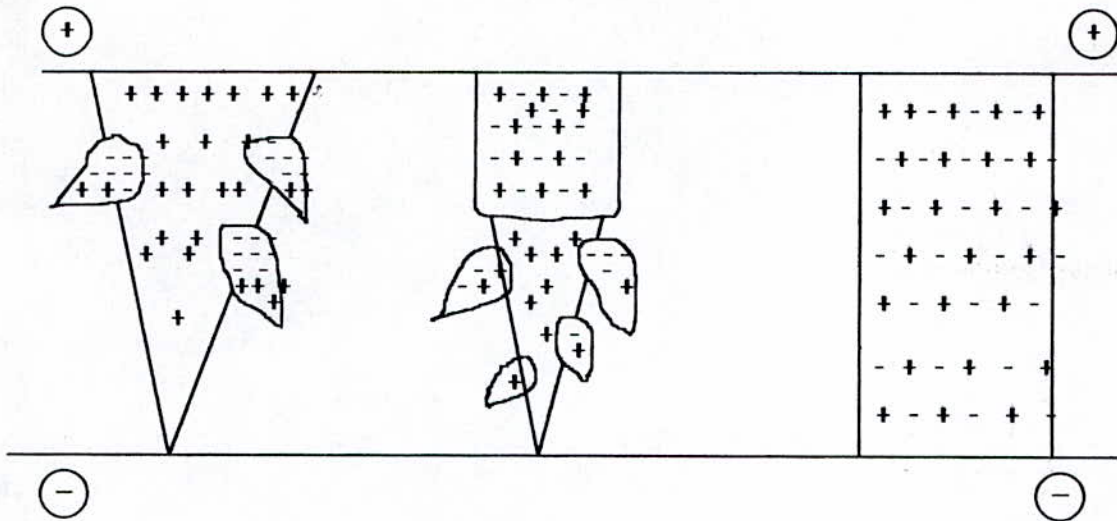


Figure 3: Mécanisme des streamers selon Meek et Craggs

4.3 - Mécanisme de décharges aux chocs de foudre:

Les décharges de foudre provoquent des surtensions dans les systèmes électro-énergétiques ce qui nous conduit à étudier la rigidité des différents systèmes d'isolement et particulièrement celle de l'air aux tensions de chocs de foudre.

L'étude des surtensions d'origine atmosphérique, a permis de définir une onde type, appelée onde de choc, représentant avec une approximation suffisante, l'allure d'une telle surtension.

D'après la C.E.I. 60.2, on définit une tension de choc, comme étant une tension transitoire, apériodique, unidirectionnelle de très courte durée, qui sans oscillations appréciables, croit rapidement jusqu'à une valeur de crête puis décroît lentement jusqu'à zéro, comme le montre la figure - 4^a

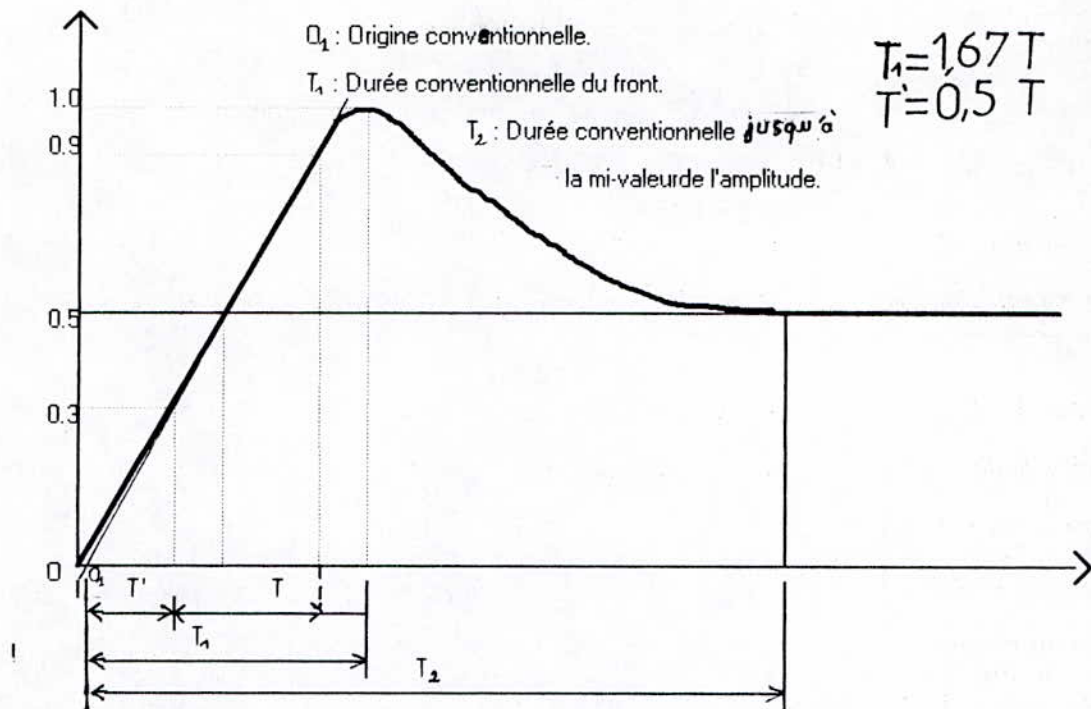


Figure 4.a - choc de foudre plein.

.4.3.1 - Amorçage dans l'air aux petites distances (système pointe-plan):

En champ non uniforme, les phénomènes apparaissent entre l'application de tension et l'amorçage sont beaucoup plus compliqués que dans le cas où le champ est uniforme.

Pour le système pointe-plan, le champ à la pointe aura pour effet, la création de charges d'espace qui entraînent une forte modification de la répartition du champ. figure 6.a.

Quand la pointe est positive, les charges d'espace positives diminuent le champ à proximité de la pointe et l'augmentent entre elles et le plan, d'où la facilité de formation d'un canal d'étincelle.

Les phénomènes de prédécharges, pouvant exister sont difficile à interpréter en détails. Ils sont caractérisés par des impulsions de courant ayant différentes fréquences, et leur existence dépendra, pour une distance donnée, du rayon de courbure de la pointe, de la pression, la température et aussi de l'humidité quand la pointe est positive.

En général dans les conditions normale lors que la tension atteint un certain niveau: $U=U_0$, on observe un effet couronne au niveau de la pointe; ensuite pour $U > U_0$, des décharges en aigrette ("streamers") et finalement (à $U=U_c$) l'étincelle à lieu lorsque les décharges précédentes auraient atteint le plan.

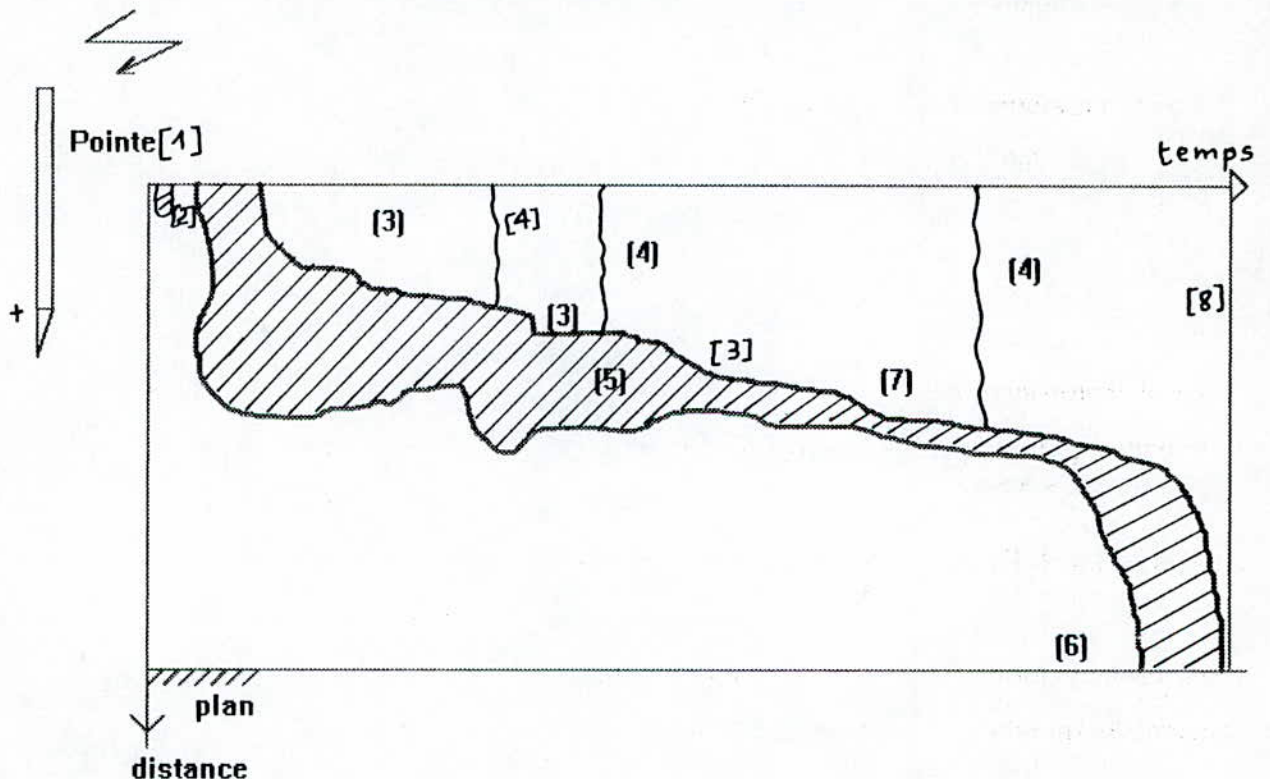
4.3.2 Amorçage dans l'air aux grandes distances:

Pour les grandes distances, les conditions les plus défavorables, concernant la tenue diélectrique de l'air, sont introduites par les ondes unidirectionnelles de polarité positive et de durée de front relativement longue.

Le système pointe-plan reste toujours pris comme référence, vu qu'il donne la tension disruptive minimale (pointe positive).

Les phénomènes conduisant à l'amorçage dépendront, dans ce cas, fortement du rayon de courbure de la pointe, du niveau de la tension appliqué et des conditions d'ambiance (notamment l'humidité).

Une description de ces phénomènes est présentée par le Groupe des Renardières[6]. Elle donne un aperçu général car les différentes phases n'existent pas systématiquement:



Légende :

- (1) : premier effet " couronne ".
- (2) : Zone sombre.
- (3) : tête du leader.
- (4) : reillumination du leader.
- (5) : canal du leader
- (6) : arrivée des streamers sur le plan.
- (7) : départ du saut final.
- (8) : canal de décalage.

Pour les grandes distances, on observe en premier lieu pour ($U \geq U_{10}$ tension de seuil), un premier effet de couronne après lequel une charge d'espace positive en excès reste près de la pointe, engendrant une modification du champ électrostatique et en empêchant toute ionisation nouvelle durant un certain temps: période sombre. L'apparition de cette zone est liée à la divergence du champ électrique: plus la longueur de l'intervalle est grande ou bien le rayon de courbe de la pointe est faible, plus il est certain d'avoir une ou plusieurs zones sombres.

Après cette période sombre, un canal lumineux apparaît: "leader", ayant un trajet irrégulier et se déplaçant de quelques centimètres par μs ($2\text{cm}/\mu s$ pour $U \cong U_{50\%}$) durant la propagation de ce leader, on a un nuage d'effet couronne toujours à l'avant du leader.

On peut observer aussi des reilluminations soudaines du canal du leader, liées à l'humidité absolue de l'air et pouvant l'être aussi à la forme des électrodes et la pente de la tension appliquée.

Enfin, au moment où les "streamers" d'effet de couronne atteignent le plan, la vitesse de l'extrémité du leader s'accroît à peu près exponentiellement et la décharge conduit au claquage. Cette période où la décharge ne s'arrête plus d'elle même correspond au saut final. A la fin apparaît un canal de décharge véhiculant le courant de court-circuit de la source à haute tension.

4.3.3 Amorçage en champ non uniforme (système pointe-plan):

En champ non uniforme du fait de l'intensité très élevée du champ au niveau de l'électrode pointue, la décharge est précédée d'un effet couronne apparaissant au voisinage de la pointe.

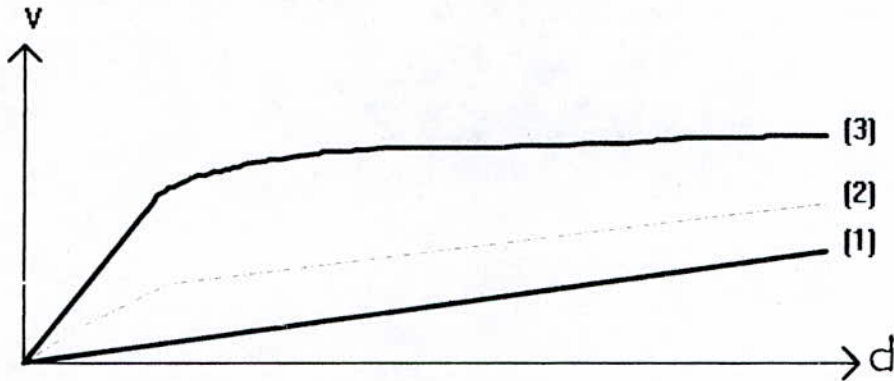
Pour une distance entre-électrodes donnée la tension disruptive est plus grande pour une tension de choc que pour une tension continue ou alternative 50 (Hz). Des études qui ont été faites, ont montré l'influence de la polarité sur le processus de développement de la décharge figure 5.

Ceci nous conduit à présenter les processus de décharges des deux cas séparément.

a) Cas où la pointe est positive:

Il faut qu'une tension suffisante soit maintenue entre les électrodes pour qu'un premier électron se dirigeant vers la pointe, entre en collision non élastique avec des molécules

neutres et par conséquent, active le processus α . Une fois ces conditions remplies, on peut observer au voisinage de la pointe un effet de couronne ensuite des aigrettes et finalement, la décharge principale partant vers la cathode. figure 4.b



1) effet couronne. 2) Aigrettes. 3) Etincelle.

Figure .4.B : Observation du processus de décharge dans un système pointe positive-plan.

La figure 6 (a) représente la variation de l'intensité de champ dans l'intervalle entre les électrodes avec et sans charge d'espace. Avec charge d'espace, au niveau de la pointe, le champ se trouve diminué et, au niveau du plan, au contraire, le champ est augmenté.

b) Cas où la pointe est négative:

Dans ce cas, sous l'impact d'ions positifs, l'émission d'électrons se fait à partir de la pointe et se trouve même favorisée. L'effet couronne apparaît pour une tension plus faible sous l'influence de la charge d'espace positive que quand la pointe est positive (figure 5).

Par contre, le champ est augmenté au niveau de la pointe et diminué au niveau du plan (figure 6.b), toujours sous l'influence de la charge d'espace positive.

La tension d'amorçage avec une pointe négative est deux à trois fois plus élevée qu'avec une pointe positive (figure 5). On peut alors tirer les deux résultats suivants:

1) La tension d'apparition de l'effet couronne (U_0), pour une pointe positive est supérieure à celle de la pointe négative et cela, pour un même intervalle d'air pointe-plan. C'est-à-dire:

$$U_0^+ > U_0^-$$

2) La tension disruptive (U_d), pour une pointe positive, cette fois est inférieure à celle de la pointe négative (toujours pour une même intervalle d'air pointe-plan):

$$U_d^+ < U_d^-$$

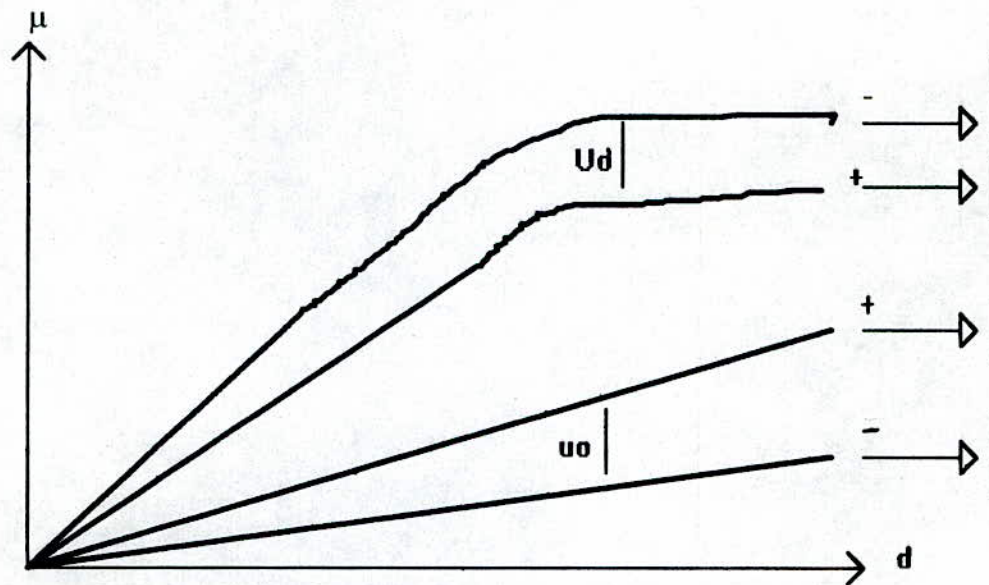
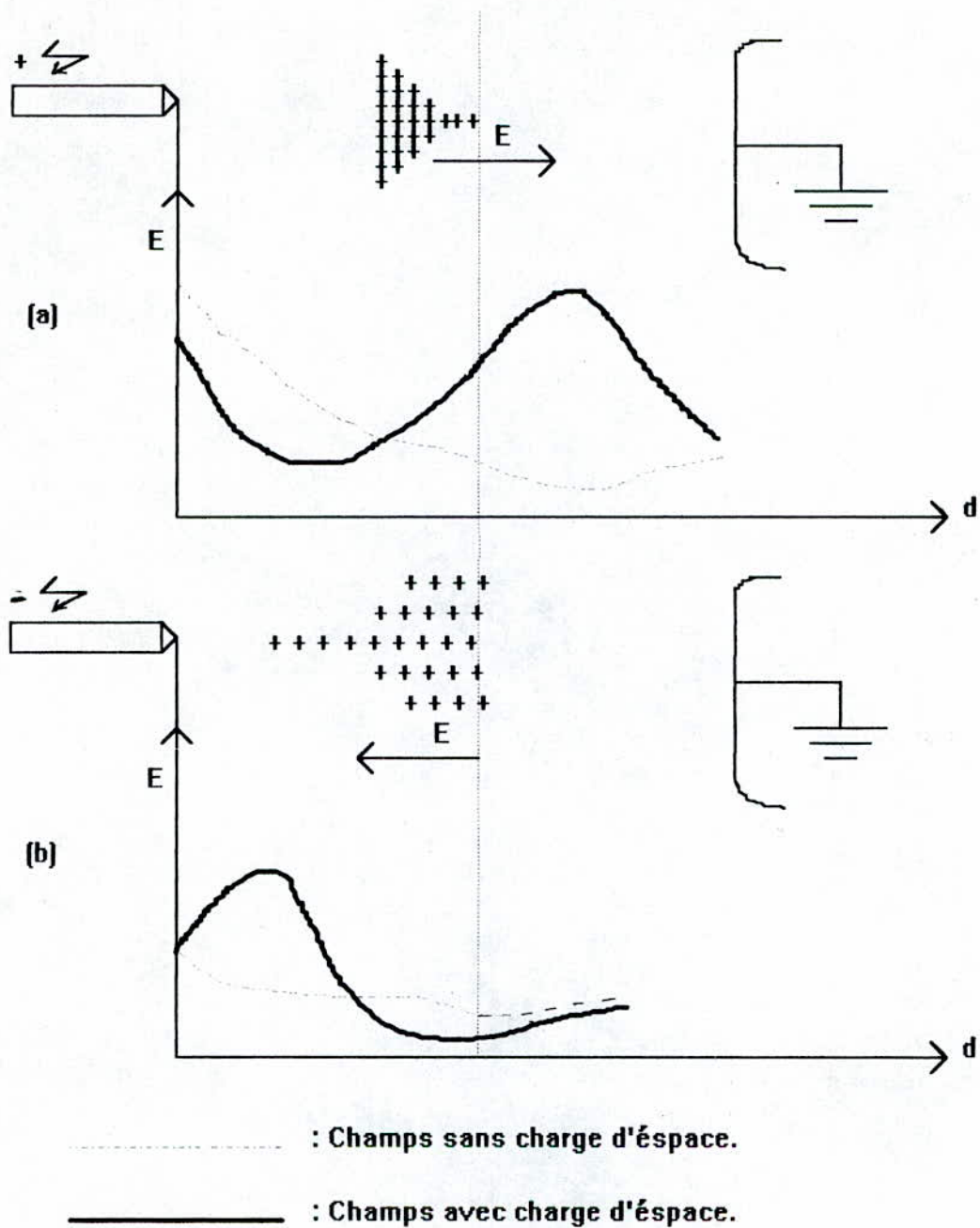


Figure 5: Influence de la polarité des électrodes sur l'apparition de l'effet couronne et la disruption.



*Figure 6: Influence de la charge d'espace sur la distribution du champ électrique
 champ sous charge d'espace.*

5 Temps de retard:

Pour que le processus de disruption commence, un électron germe doit être présent pour déclencher une avalanche. Pour les tensions lentement variable, des électrons germes

créées par les rayons cosmiques et la radioactivité naturelle sont en quantité suffisante pour déclencher le processus α .

Pour les tensions de choc de courte durée, la disruption n'aura lieu que si la tension de crête (ou de pic) V_p dépasse la valeur V_s de la tension qui conduit à la disruption après une longue durée d'application.

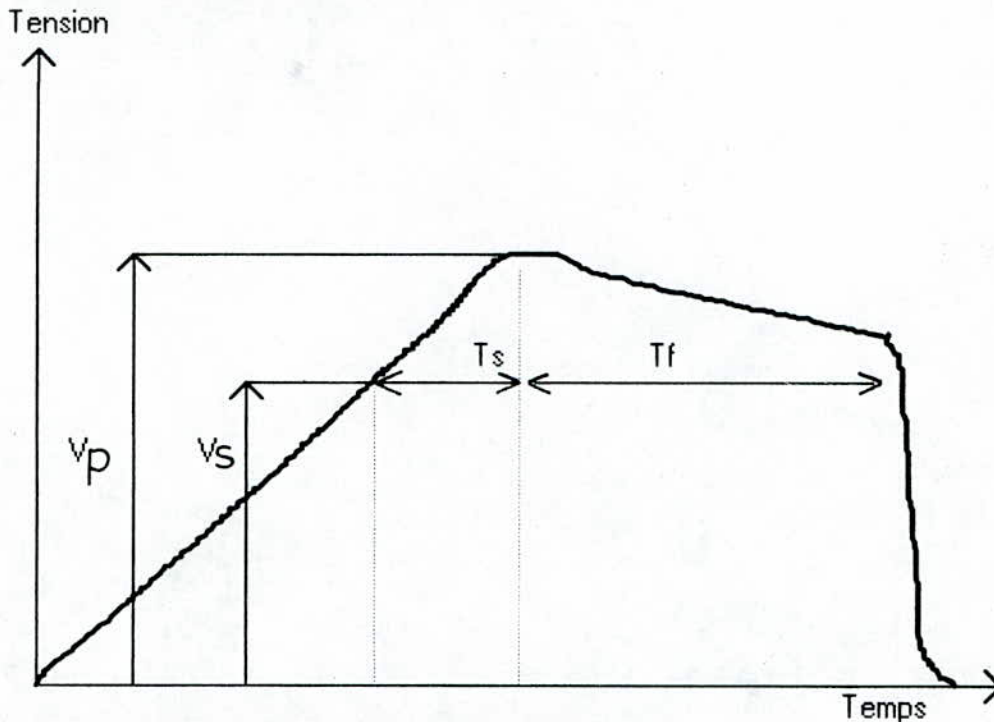


Figure.7. Disruption sous onde de choc.

Le temps qui s'écoule entre l'application d'une tension suffisante pour qu'il y ait disruption et la disruption est dit retard à l'amorçage.

Ce retard à l'amorçage recompose de deux période, l'une est le temps nécessaires à l'apparition du premier électron libre qui va déclencher une avalanche, et est connu sous le nom de temps de retard statistique t_s (figure 7); l'autre est le temps qui s'écoule entre le début de la décharge et la disruption totale, et est connu sous le nom de temps de formation de la décharge.

6: Influence des paramètres physiques de l'air:

Parmi les propriétés physiques de l'air conditionnant le mécanisme d'évolution des décharges, et ayant une grande influence sur sa rigidité diélectrique, on trouve la densité relative et l'humidité.

L'influence de la densité entraîne implicitement celles de la température et de la pression, vu leur dépendance mutuelle:

$$\delta=f(P,t)$$

L'augmentation de δ a tendance à faire croître la rigidité diélectrique de l'air.

Pour l'humidité, dans les champs uniforme, son influence est pratiquement négligeable. Cette influence peut être prise en considération quantitativement en utilisant les équations approchées ou les courbes expérimentales.

Les molécules d'eau se trouvent dans le gaz, captent les électrons et forment ainsi des ions négatifs lourds. Ainsi donc, l'humidité de l'air freine le mécanisme d'ionisation par collision, et par conséquent fait augmenter la rigidité diélectrique de l'air.



CHAPITRE II

CHAPITRE II:

INFLUENCE DES BARRIERES ISOLANTES SUR LA RIGIDITE DIELECTRIQUE DE L'AIR

1 - Généralités:

La présence d'un écran isolant entre les deux électrodes transforme l'intervalle d'air initial, en un système stratifié composé de deux diélectriques en série (air - barrière). Nous traitons d'abord de certains paramètres pouvant avoir une influence importante sur la rupture diélectrique des isolants solides, ensuite, nous expliquerons les principaux mécanismes de rupture de ses derniers, et influence des paramètres extérieurs à la nature de la barrière, et finalement nous aborderons l'influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique de l'air dans le système pointe-plan.

2 - Influence des paramètres définissant la nature de la barrière:

Les écrans isolants de nature différentes, n'ont pas tout les mêmes performances du point de vue 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:

2.1 La résistivité transversale:

La résistivité transversale d'un matériau isolant est la résistance d'un élément de ce matériau, de 1 cm^2 de section et de 1 cm de long [7]. Elle s'exprime généralement en $[\Omega \text{ cm}]$.

Cette résistivité détermine le courant de fuite à travers l'isolant. Elle varie suivant le degré d'humidité de l'isolant et diminue fortement avec une élévation de température. Une résistivité transversale faible, permet le passage d'un courant de fuite dangereux à travers l'isolation d'un conducteur, ou une pièce d'un appareil sous tension.

2.2 La résistivité superficielle:

Elle est définie comme étant la résistance de la surface de l'isolant. Elle peut s'exprime en $[\Omega]$ par unité de surface. Elle dépend du degré d'humidité du milieu ambiant, et de l'état de surfaces de l'isolant (forme des surfaces et pollution).

Cette résistivité détermine les courants de fuite à la surface de l'isolant, l'humidité de la surface due à la condensation de la vapeur d'eau, et les dépôts de pollution diminuent considérablement la résistivité superficielle.

2.3 Constante diélectrique ou permittivité relative (ϵ_r):

Elle est définie comme étant le rapport de la capacité d'un condensateur ayant pour diélectrique, le matériau isolant, à la capacité du même condensateur ayant le vide comme diélectrique:

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_v}$$

3 Influence des décharges superficielles et des décharges partielles sur le diélectrique solide:

Les décharges superficielles se produisent à la surface du diélectrique solide. Du point de vue technique, elles sont très nuisibles au matériaux car la résistivité superficielle diminue. Pour un certain niveau de tension, les canaux de décharge se produisent selon le mécanisme de REATHER. MEEK et glissent sur la surface de l'isolant pour aller vers l'électrode mise à la terre. Ces différents canaux glissants sur la surface du diélectrique solide sont appelés: décharges glissantes.

En ce qui concerne les décharges internes ou les décharges partielles, elles apparaissent quant il y a des impuretés ou des vacuoles gazeuses dans le diélectrique solide. Cela entraîne la dégradation progressive du diélectrique.

4 Mécanismes de rupture diélectrique des isolants solides:

4.1. Généralités:

La rupture diélectrique des isolants solides doit être considérée comme le résultat d'une destruction de l'édifice moléculaire ou des molécules elles-mêmes. Les deux principaux mécanismes de rupture diélectrique des solides sont: le mécanisme de rupture intrinsèque (rupture électrique), et le mécanisme thermique.

4.2. Mécanisme électrique:

La rupture est atteinte quand les électrons acquièrent suffisamment d'énergie dans le champ appliqués, afin de traverser la bande interdite de l'isolant. Selon le degré d'homogénéité et de pureté du matériau, on aura un certain transfert d'énergie entre les

électrons de conduction et de réseaux cristallin. On aura aussi une certaine distribution des électrons dans la bande de conduction [8].

En pratique, les réseaux cristallins présentent certaines imperfections dans leur structure, dues à la présence d'impuretés. Ces impuretés constituent des pièges pour les électrons libres. Aux hautes températures, les pièges se remplissent d'électrons et le cristal se refroidit lors de sa confection. Ensuite à température ambiante, certains électrons peuvent être thermiquement excités dans la bande de conduction. Ainsi, un cristal amorphe peut renfermer des électrons libres de conduction.

Quand on applique un champ électrique, les électrons acquièrent de l'énergie qu'ils se partageront lors des collisions. Dans les conditions stables, cette énergie doit être dissipée. Elle sera ainsi fournie au réseau cristallin (interaction électrons - réseau) et la température des électrons tendra vers celle du réseau.

Cependant, dans les diélectriques amorphes, les électrons acquièrent plus rapidement d'énergie qu'ils n'en fournissent et ainsi leur température devient supérieure à celle du réseau. De ce fait, le nombre d'électrons piégés qui atteignent la bande de conduction augmente, engendrant l'augmentation de la conduction du matériau, et favorisant ainsi la rupture diélectrique.

En général l'état d'équilibre est atteint lorsque l'énergie gagnée par les électrons est totalement transférée au réseau cristallin. Ceci dépendra de l'intensité du champ appliqué et de la température du réseau. Le transfert d'énergie est physiquement possible lorsque le champ appliqué est inférieur au "champ critique". Lorsque le champ appliqué est supérieur au champ critique, on atteint la rupture diélectrique.

4.3. Mécanisme thermique:

D'après K.W. Wagner, la rupture thermique a lieu après la formation d'un canal le long duquel la conductivité du diélectrique devient beaucoup plus importante que dans le reste du volume diélectrique.

La quantité de chaleur dans le canal s'exprime par

$$Q_1 = 0.24 \cdot I^2 R = 0.24 \cdot U^2 \cdot \gamma \cdot \frac{S}{a} \dots \dots \dots (1)$$

avec: S : Section du canal

a : Epaisseur du diélectrique

γ : Conductivité moyenne du canal.

Pour U, a et s constantes, la quantité de chaleur Q1 variera en fonction de la température. En effet la conductivité s'exprime par l'expression suivante:

$$\gamma_{\theta} = \gamma_{\theta_0} = e^{\alpha(\theta - \theta_0)} \dots \dots \dots (2).$$

avec:

- γ_{θ} : Conductivité du diélectrique à la température θ
- γ_{θ_0} : Conductivité du diélectrique à la température θ_0
- α : Coefficient de température
- θ : Température du diélectrique dans le canal
- θ_0 : Température du diélectrique en dehors du canal

La quantité de chaleur dissipée Q2 est donnée par l'expression suivante:

$$Q_2 = \lambda_{th} \cdot (\theta - \theta_0) \cdot a \dots \dots \dots (3).$$

avec:

λ_{th} : facteur de conduction thermique.

La rupture diélectrique est atteinte lorsque les conditions suivantes sont réunies:

$$Q_1 = Q_2 \text{ et } \frac{\partial Q_1}{\partial \theta} = \frac{\partial Q_2}{\partial \theta} \dots \dots \dots (4).$$

tenant compte de toutes les équations citées ci-dessus, la tension de rupture diélectrique, valable pour les épaisseurs relativement petites, est donnée par la formule suivante:

$$U_d = a \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{th}}{0.24 \cdot \gamma_{\theta_0} \cdot e \cdot s \cdot a}} \dots \dots \dots (5)$$

La tension disruptive décroît lorsque la température initiale du diélectrique croît, puisque γ_{θ_0} augmente.

5 Influence des paramètres extérieurs à la nature de la barrière:

L'amélioration de la rigidité diélectrique d'un intervalle d'air pointe-plan en y plaçant correctement une barrière isolante peut être considérable. Toute fois, la présence d'un écran isolant entre les deux électrodes, transforme l'intervalle d'air initiale en un système stratifié

(air-barrière). Les ions positifs créant la charge spatiale sont alors freinés par la barrière et se répartissant sur sa surface (figure: 8).

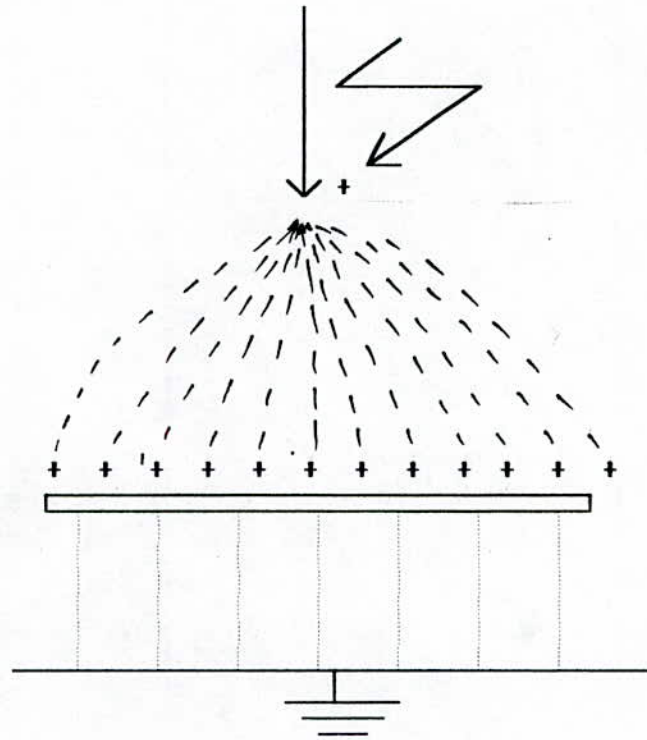


Figure 8: Déformation du champ électrique en présence de la barrière.

La répartition du champ électrique subit une déformation en provoquant une augmentation importante de la tension disruptive du système et une amélioration notable quand l'écran est placé près de la pointe positive.

5.1. Influence de type de tension:

La rigidité diélectrique dépend de l'amplitude et de la forme de la tension appliquée aux électrodes.

Beaucoup de recherches étaient limitées aux tensions de chocs de polarité positive de la pointe. Il fut vérifié que la contrainte de tension la plus défavorable est représentée pour les longs intervalles d'air par les chocs positifs de manoeuvres à durée de front relativement longue [9].

5.2 Influence de la polarité de l'électrode pointe:

Comme il a été déjà mentionné, l'influence de la barrière était particulièrement remarquée pour une polarité positive ou dans le cas de la pointe sous tension alternative.

Avec la polarité négative, la décharge est en étapes pour toutes les positions de la barrière, et aucune augmentation de la tension disruptive n'a été obtenue.

Vu les recherches faites pour ce cas, les décharges apparaissent des deux côtés de la barrière isolante.

L'étincelle a lieu quand les deux décharges de part et l'autre de l'écran se rencontrent, mais l'effet de la barrière est négligeable [10].

5.3 Influence de la position de la barrière:

La tension disruptive des petites intervalles d'air allant jusqu'à 40cm varie essentiellement en fonction de la position de la barrière. Cette tension passe par un maximum quand la barrière est près de la pointe.

Certains travaux [11], ont montré que pour des intervalles d'air de 15 à 30cm, le maximum de tension est obtenu en position $a/d = 0\%$ pour des barrières dont les longueurs n'excédant pas 50cm.

Une barrière isolante avec des surfaces propres d'un moyen intervalle d'air de 40 à 200cm conduit à une augmentation considérable de la tension disruptive du système quand elle est située particulièrement à 20% de l'intervalle à partir de la pointe.

5.4 Influence de la largeur:

Il a été observé, quand la largeur de la barrière n'est pas suffisamment large que la distance inter-électrodes, la rigidité diélectrique de l'arrangement (pointe-barrière-plan) dépend de la largeur du canal de décharge. Géométriquement, cette longueur est approximativement égale à la distance pointe-barrière - plan.

L'augmentation maximale de la tension disruptive dans ce cas est obtenue quand la barrière touche l'électrode pointe.

Les types des décharges dépendent essentiellement de la distance entre électrodes et la largeur de la barrière.

5.5 Décharge glissante:

Quand la barrière est proche du plan, on a d'abord le développement de la décharge de façon directe de la pointe vers le milieu de la barrière, en suite l'apparition de la décharges glissantes contournants la surface en face de la pointe et finalement l'amorçage de l'intervalle d'air entre le bord et le plan entraînant la rupture totale fig. (9.b).

L'augmentation de la tension disruptive est conséquente à la dérivation du canal de la décharge vers le bord de la barrière.

Quand le nombre de ions positifs augmente jusqu'à une valeur critique, il facilite ainsi l'apparition des décharges glissantes qui favorisent à leur tour le développement du canal de plasma.

6. Influence des barrières isolantes sur la rigidité diélectrique de l'air (système pointe-plan):

Un des moyens pour augmenter la tension disruptive consiste dans l'emploi des mines barrières isolantes.

Cette idée est déjà ancienne, elle fut remarquée pour les petites intervalles d'air vers les années 1920 par C.P. Steinmets [12], et des études ont été entreprise par la suite par d'autres chercheurs.

D'après les étude qui ont été faites, cet emploi doit tenir compte de plusieurs paramètres, dont les plus importants sont: la polarité et le genre de tension appliquée, la position de l'écran ainsi que ses dimensions, sa constante diélectrique et sa résistivité superficielle.

Vers les années 1930 E. MARX [13] montra que la présence d'une barrière isolante modifie la répartition du champ électrique, et provoque une amélioration notable quand l'écran est placé près de la pointe positive, quand à la pointe négative, la présence e l'écran est pratiquement sans effet.

Ces résultats ont été confirmés par H. ROSER[14] qui a expliqué que l'augmentation de la tension disruptive est surtout due à l'uniformisation du champ électrique entre la barrière et le plan. D'après cet auteur, l'amélioration ne sera bonne que lorsque les charges déposées sur la barrière auront la même polarité que la polarité, ceci est toujours vérifié dans le cas d'une pointe positive. Dans le cas d'une pointe négative, ceci n'est vérifié que lorsque la barrière est proche de la pointe. Cette constatation a été confirmé par N.F. Wolochenko et M.P Verma [15].

Selon J.M. Meek et M.M.C Collins [16] à l'introduction d'une barrière isolante, l'intensité du champ électrique au plan atteint sa valeur de Crête et reste constante car les streamers n'arrivent plus au plan où ils devraient être normalement neutralisés.

Les études qui ont été faites, après celles de MARX et ROSER, ont été orientées vers l'influence de la forme des électrodes, la distribution du champ électrique dans l'arrangement pointe - barrière - plan, et les types de décharges, ainsi que la géométrie et la nature de la barrière.

N.F. WOLOCHTCHENKO fut le premier à avoir confirmé que l'amorçage des intervalles d'air pointe-plan avec barrière a eu lieu en différentes étapes, il y a tout d'abord la rupture de l'intervalle pointe-barrière, suivi par celle de l'intervalle barrière - plan qui apparaît en même temps que la rupture totale.

N.N.TIKHODEEV [17] a vérifié que la rupture à tension continue d'un intervalle d'air pointe positive-plan de 4cm avec barrière, se fait en trois phase: il y a la rupture de l'intervalle pointe-barrière en premier lieu suivi par le contournement de cette dernière, et ne fin la rupture de l'intervalle pointe-barrière - plan qui s'effectue en même temps que la rupture complète.

Des informations plus précises sur l'existence de ces différentes phases de l'amorçage ont été données par M. Abou Alia [18] est complétées par H. Remde [19] qui a orienté ces recherches vers l'influence des éléments du circuit d'essais. Remde étudia aussi, de même que J.Pilling [20] et Tikhodeev, l'influence des dimensions de la barrière et de sa constante diélectrique.

J.Pilling a remarqué l'influence de la constante diélectrique et de l'épaisseur sur la distribution des porteurs de charge positive et la chute de tension sur la surface de l'écran isolant. Quand la constante diélectrique et l'épaisseur augmentent, la ramification des streamers s'élargit de plus en plus et le champ entre la barrière et le plan devient de plus en plus uniforme. Selon Tikhodeev la densité de charge superficielle n'est pas uniforme, et diminue en se dirigeant vers les bords de la barrière.

Ainsi une forte composante tangentielle du champ existe sur la barrière et favorisera l'augmentation du courant d'ionisation. Ce courant n'est limité que par la largeur de l'écran et varie en fonction de la tension indépendamment de la constante diélectrique de l'écran. D'après Tikhodeev, la largeur optimale est trois fois plus grande que la distance inter-électrodes.

En 1981 Takchiko Hirano [21] a étudié l'influence des barrières isolantes sur la propagation des décharges dans les intervalles d'air pointe-pointe et pointe - plan compris entre 10 et 40cm. Il a trouvé que la tension 50% de décharge disruptive pour les chocs de foudre positifs 2.5/50 μ s dépend de la position et des dimensions de l'écran. Dans le cas d'une polarité négative, la barrière est pratiquement sous effet. Pour un intervalle d'air pointe - pointe de 20cm avec une barrière de 40cm de largeur placée au milieu de l'intervalle, la tension (U 50%) est de (1.8 \div 2.1) fois la tension du même intervalle sans barrière. Dans le cas d'un intervalle d'air pointe - plan de 20cm avec une barrière de 40cm de largeur placée au milieu de l'intervalle, la tension (U 50%) est de (1.8 \div 2.1) fois la tension du même intervalle sans barrière. Dans le cas d'un intervalle d'air pointe-plan de 20 cm avec une barrière de 40 cm de largeur placée entre 0 et 15 cm de la pointe, la tension (U 50%) est de (1.5 \div 1.7) fois de la tension du même intervalle d'air sans barrière.

Le type de la décharge dépend essentiellement du rapport ($2L / a_1$) ou: $2L$: est la largeur de l'écran a_1 : est la distance pointe-barrière.

si $2L / a_1 < 4$; la décharge se fait de manière directe, par contre pour $2L/a_1 > 4$ la décharge s'effectue par étapes.

En 1983 M.Awad et autres [22] ont étudié l'arrangement avec barrière et son circuit équivalent pour de différents cas (propre, polluée, sec).

La barrière métallique a été utilisée pour étudier les différents paramètres affectant la tension disruptive. En effet, cet arrangement est utilisé pour étudier l'effet des parties métalliques sur les caractéristiques d'une chaîne d'isolateurs support. Il a été trouvé que la pointe mise à la terre est très dangereuse quand la barrière est utilisée pour améliorer la tension disruptive, et quand l'écran est pollué. Quand on utilise des chaînes d'isolateurs support en haute tension, il faut faire attention de la position des parties métalliques intermédiaire. Cette position provoque une légère augmentation de la tension disruptive. La tension disruptive des isolateurs support est plus haute quand ils sont placés horizontalement. Toutes ces recherches, ont été faites pour des écrans placés perpendiculairement aux axes. Pour des barrières parallèles aux axes des électrodes une étude détaillée fut réalisée par K.NOWACKI [23]. Cet auteur a étudié les variations de la tension disruptive de l'air aux chocs de foudre, à 50Hz et à courant continu entre deux électrodes pointues pour des intervalles d'air inférieurs ou égaux à 20cm en présence de deux écrans isolants. Le changement dans le comportement de l'amorçage de l'air dépendra des propriétés

diélectriques et de la position de l'écran. Quand les écrans sont très proche des électrodes, les décharges glissantes sur la surface de l'écran se transforment facilement en étincelle glissante provoquant la rupture totale. De ce fait, la tension disruptive se trouve diminuée.

Quand les écrans sont placés à 20% de la distance inter-électrodes, les décharges glissantes apparaissent mais s'éteignent rapidement en laissant une charge déposée sur les barrières. Le passage en une étincelle glissante n'est plus favorisé et la rupture se fait dans l'air. L'amélioration de la tension disruptive était de 40%, et le meilleur comportement est obtenu avec les écrans qui ont une résistivité superficielle, et une constante diélectrique plus grande. Si les barrières s'éloignent des électrodes, les charges déposées sur les écrans vont diminuer tout en laissant les écrans sans effets.

7. Formes des décharges:

L'évolution et la forme des décharges peuvent être classées en deux types différents:

- Décharge directe,
- Décharge par étapes.

Cette différence est liée aux paramètres définissant la barrière, notamment sa largeur, son épaisseur, sa nature, la résistance superficielle de ses deux surfaces, sa position dans l'intervalle et la distance pointe-plan.

7.1. Décharge directe:

L'amorçage se fait en une seule étape: de la pointe vers le plan et on distingue deux cas:

a) Cas ou la décharge perce la barrière.

Ce cas est rencontré surtout quand la barrière est très large, assez mince et située à une distance proche de la pointe (électrode près de laquelle le champ est très intense).

Quand la barrière est perforée, la décharge se prolonge comme dans le système sans barrière.

b) Cas ou la décharge contourne la barrière:

Pour un système pointe positive - plan avec barrière, les steamers partant de la pointe suivant le trajet: "pointe-bord de la barrière - plan". Ceci est constaté quand l'écran n'est pas suffisamment large ou quand une importante concentration de charges électriques de signes positifs se trouve répartie sur la surface de la barrière.

Dans ce dernier cas, la décharge se voit déviée vers le bord de l'écran à cause de l'existence de forces électrique répulsives. Figure (9-a).

La mise en évidence de cette forme de décharge a été observée [9] grâce à l'utilisation de trous au milieu de la barrière. Jusqu'à certains diamètres, le trou n'a aucune influence sur le trajet de la décharge qui reste toujours le même: "point bord de la barrière - plan". Ainsi, on voit bien que l'existence d'une décharge directe pour des barrières relativement larges est liée surtout à la polarité de la pointe (positive) ainsi qu'à la présence de forces électrostatiques à la surface de séparation des deux diélectrique (air - barrière).

7.2. Décharge par étapes:

Cette forme de décharge se rencontre quand la barrière est très large et n'est pas trouée. L'amorçage s'effectue en trois étapes quand la pointe est positive.

En premier lieu, on distingue l'effet couronne suivi de la décharge pointe - barrière qui constitue la première étape de l'amorçage.

En suite, pour un niveau de tension supérieur, on arrive à la seconde étape qui est le contournement de la barrière par les décharges glissantes. Et finalement, la troisième et dernière étape est atteinte quand la décharge s'effectue du bord de la barrière vers le plan.

Pour une pointe négative, on a quatre étapes:

- Une décharge s'effectue de la pointe vers la barrière.

Pour un niveau de tension supérieur, on a le contournement de la barrière par les décharges glissantes. D'autre part, à partir de d'électrode plane apparaît une décharge vers l'autre surface de la barrière et finalement l'amorçage s'effectue après la rencontre des deux décharges venant de part et d'autre de la barrière. (fig. 9 - b)

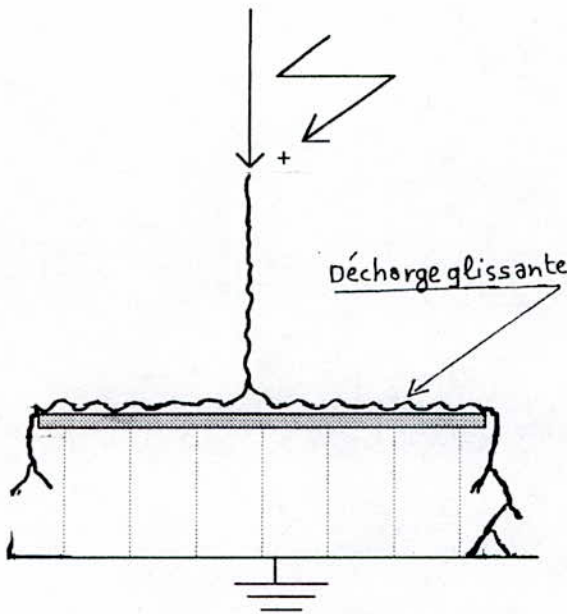


Figure 9.1 : Décharge par étapes.

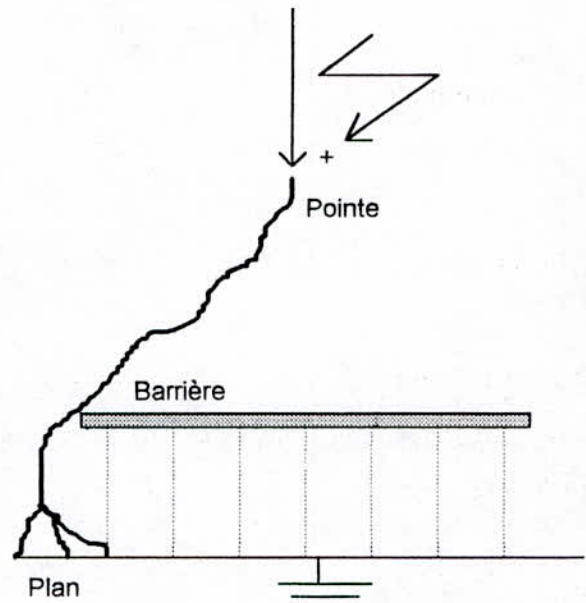


Figure 9.2 : Décharge directe.

8 Conclusion:

En conclusion, une barrière isolante constitue principalement un obstacle aux porteurs de charge lors des mécanismes d'avalanche précédents la décharge.

L'accumulation des charges à la surface de la barrière jouerait un rôle primordial.

Dans le cas des intervalles d'air pointe - plan la nature des charges dépendra de la polarité de la pointe.

Dans le cas de la pointe positive, cette charge est composée surtout d'ions positifs qui vont s'accumuler à la surface de la barrière en face de la pointe.

Dans le cas d'une pointe négative, la barrière est beaucoup plus bombardée par les électrons et avalanches partant de la pointe et on aurait beaucoup plus tendance à avoir une accumulation des charges positives en face du plan réduisant ainsi le champ global et par conséquent la rigidité du système sans barrière.

PARTIE EXPERIMENTALE



CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III :ESSAIS AU LABORATOIRE DE HAUTE TENSION DE L'E.N.P. D'ALGER :

1- Introduction:

Dans le laboratoire de haute tension de l'E.N.P d'Alger, où notre étude expérimentale a été effectuée, existent deux sources de tension d'essais: Un transformateur d'essais à fréquence industrielle 50[Hz] et un générateur de choc de foudre de type Marx. Dans ce chapitre nous présenterons l'équipement de la station d'essai à fréquence industrielle 50[Hz], l'équipement de la station d'essai de choc, l'arrangement "pointe-barrière-plan" et les conditions atmosphériques.

2- Equipement de la station d'essai de l'E.N.P à 50 Hz:

L'équipement de la station d'essai à fréquence industrielle (50 Hz) du laboratoire de L'E.N.P est de marque HAEFELY. Cette station d'essai comprends les organes suivants:

- Un transformateur d'essai .
- Un transformateur de réglage.
- Un diviseur capacitif de tension.
- Un pupitre de commande.
- Des appareils annexes de mesures et de protection.

2-1- Transformateur d'essais (50 Hz):

Il délivre la tension à appliquer à l'objet d'essai, il est du type monophasé et à les caractéristiques suivantes :

- Rapport de transformation :500 / 300.000 V.
- Puissance apparente nominale : 50 kVA.
- Puissance absorbée à vide : 10 kVA .

- Résistance de l'enroulement B.T : 0,0365 Ω .

- Résistance de l'enroulement H.T : 4893 Ω .

Vu l'importance des pertes à vide du transformateur d'essai, le constructeur recommande de ne pas le laisser fonctionner pendant plus de 12 heures par jour, même à vide [24].

2-2-Transformateur de réglage :

Il permet le réglage de la haute tension de sortie du transformateur d'essais de zéro à la pleine tension, de façon continue et indépendamment de la charge.

Le réglage peut se faire, soit manuellement (à l'aide d'un volant), soit à l'aide d'un moteur dont le fonctionnement est commandé à partir du pupitre. Ses caractéristiques sont :

- Tension primaire nominale : 220 V (50 Hz) .

- Puissance apparente à tension maximale : 50 kVA.

- Tension secondaire réglable de 0 à 500 V .

- Temps de parcours du curseur tout le long de l'enroulement secondaire : 103 secondes.

2-3- Diviseur capacitif :

Il est alimenté par la tension secondaire du transformateur d'essais et délivre une tension réduite aux bornes des voltmètres installés dans le pupitre de commande.

Le diviseur capacitif est constitué d'une capacité H.T et de 4 capacités B.T, dont la combinaison de branchement permet d'obtenir les calibres de mesures :

75 kV, 150 kV et 300 kV .

La tension délivrée par le diviseur capacitif est mesurée par deux Voltmètres, l'un statique et l'autre de crête. Le voltmètre statique mesure la valeur efficace de la tension d'essai, tandis que le Voltmètre de crête mesure la valeur de la crête (\hat{u}) divisée par $\sqrt{2}$ de la tension d'essai.

2 -4- Pupitre de commande :

Il est alimenté en 220 V, indépendamment du régulateur de tension et du transformateur d'essai.

On y trouve les appareils de mesure permettant la lecture des tension et courant au secondaire du transformateur de réglage ainsi que les tension de crête et efficace du transformateur d'essai.

2-5- Circuit d'essai :

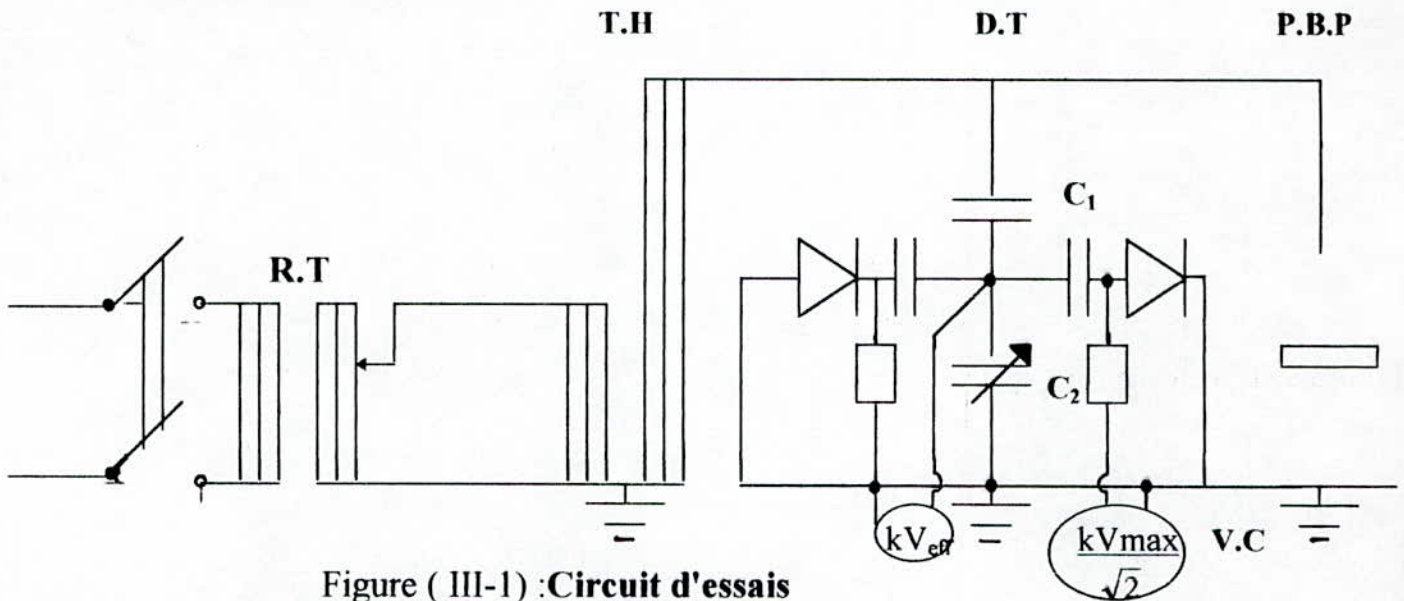


Figure (III-1) :Circuit d'essais

Tension à fréquence industrielle 50 Hz

- C_1 : Condensateur H.T.
- C_2 : Condensateur B.T.
- T.H : Transformateur H.T.
- R.T : Régulateur de tension .
- V.C : Voltmètre de crête.
- D.T : Diviseur de tension.
- P.B.P : Arrangement " Pointe-barrière-plan"

3 - Equipement de la station de choc du laboratoire de l'E.N.P:

Cette station d'essai comprend les éléments suivants :

- Un générateur de choc de type MARX, avec les dispositifs de charge et de commande placés sur un châssis unique et mobile.
- Un diviseur de tension résistif.
- Un oscillographe cathodique.
- Un voltmètre de choc.

Tous ces équipements sont alimentés par une prise de courant simple 220 V, 50 Hz.

Cette prise alimente le générateur de choc par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement (1,2 kVA, 220 / 220 V, 50 Hz) [25].

3 -1 Générateur de choc :

Pour pouvoir expliquer le mode de fonctionnement de ce générateur on se réfère au schéma du montage de principe (Figure III -2).

3 -1-1 Principe de fonctionnement :

Dans une première phase, le condensateur C_1 se charge lentement par l'intermédiaire de la source de tension continue V_0 jusqu'à l'amorçage de l'éclateur E. En deuxième phase le condensateur C_1 se décharge brusquement et la charge se répartie entre les circuits $R_1R_2C_1$ et R_2C_1 , il apparat alors aux bornes de C_2 une onde de tension ayant une forme très proche d'une onde de choc.

Cette onde dépend du paramètre R_1 qui fixe la durée du front et amortie les oscillations à haute fréquence, et R_2 qui définit la forme de la queue de l'onde.

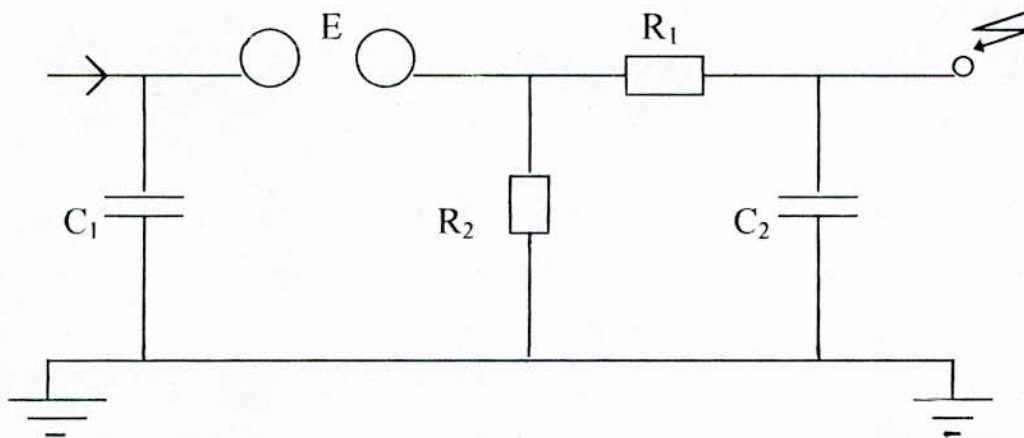


Figure (III-2) : Schéma de principe d'un générateur de choc

C_1 : Condensateur de choc .

C_2 : Condensateur de charge .

R_1 : Résistance série.

R_2 : Résistance parallèle.

E : Eclateur de couplage .

Au laboratoire H.T de l'E.N.P d'Alger, les tensions de choc sont produites par un générateur de type Marx, à huit étages, ayant une tension nominale de 600 kV et une énergie de 4 kJ, chaque étage est équipé d'une :

- Résistance de charge (7000 Ω) .
- Résistance de front (10 Ω) .
- Résistance de queue (430 Ω)
- Condensateur de choc (180 μF , 75 kV) .
- Eclateur de couplage (\varnothing 12,5cm)

L'équipement de charge du générateur de choc est le suivant:

- Transformateur d'isolement
- Transformateur de réglage
- Résistance de mesure de tension de charge.
- Redresseur [(75kV) , (10mA).]

L'équipement de commande et de protection comporte des dispositifs de mise à la terre automatique du générateur lors du déclenchement, deux volants de réglage, l'un pour la variation de la tension, l'autre pour l'écartement des sphères .

3-2 Diviseur de tension résistif :

Un diviseur de tension résistif est un élément prévu pour fournir une fraction de la tension d'essai permettant la mesure. Il se compose de deux résistances, l'une connectée à la borne haute tension et ayant une valeur très élevée (20 k Ω), l'autre de valeur faible connectée à la masse (73 k Ω) .

Ce type de diviseur est particulièrement bien adopté à des mesures de choc de foudre, mais ne convient pas pour la mesure de choc de manoeuvres à cause de la très grande dissipation de l'énergie .

3-3 Oscilloscope et voltmètre de choc :

Les oscilloscopes et les voltmètres pour la mesure des tensions de chocs doivent être blindés ou placés dans un cage de Faraday afin d'éviter les perturbations importantes qui se manifestent lors des essais.

3-3-1 Oscilloscope de choc :

C'est un appareil qui permet de donner la forme de l'onde. Les phénomènes enregistrés nécessitent une vitesse de balayage de 10 à 100 NS / cm .

3-3-2 Voltmètre de crête :

C'est un appareil qui permet de mesurer la tension de crête de l'impulsion de tension . Il est en général utilisé avec un oscilloscope de manière à vérifier si la tension est dépourvue d'oscillations ou pas .

3-4 Détermination de la tension disruptive moyenne $U_{50\%}$

La tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive a été destinée par la méthode Up and Down et calculée d'après DIXON et MOODE [26]. Les valeurs mesurées ont été ramenées aux conditions normales de température et de pression selon la norme C.E.I 60-1.

3-5 Circuit d'essai :

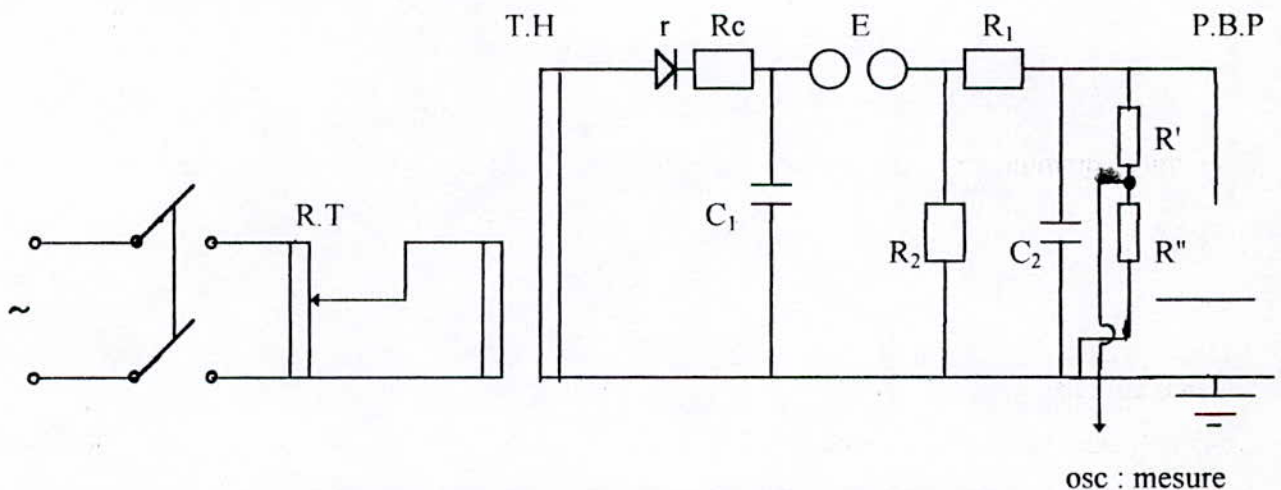


Figure (III-3) : **Circuit d'essais de choc de foudre**

R-H : Régulateur de tension .

T.H : Transformateur de H.T .

r : Redresseur .

R_c : Résistance de charge .

C_1 : Condensateur de choc .

R_1 : Résistance série .

R_2 : Résistance parallèle .

C_2 : Condensateur de charge .

P.B.P : Arrangement " pointe-barrière-plan".

4 - Arrangement " pointe-barrière - plan " :

A la figure (III-4), nous présentons l'arrangement complet avec les indications utilisées par la suite.

4 -1- Choix de l'électrode pointue :

L'électrode pointue est constituée par un cylindre creux, en cuivre, de longueur : 1200mm et de diamètre 45mm .

Ce cylindre est déterminé par une pointe à bout conique faisant un angle de 30° .

L'électrode pointue est de longueur suffisante pour éviter l'influence des capacités parasites entre la borne H.T et la terre.

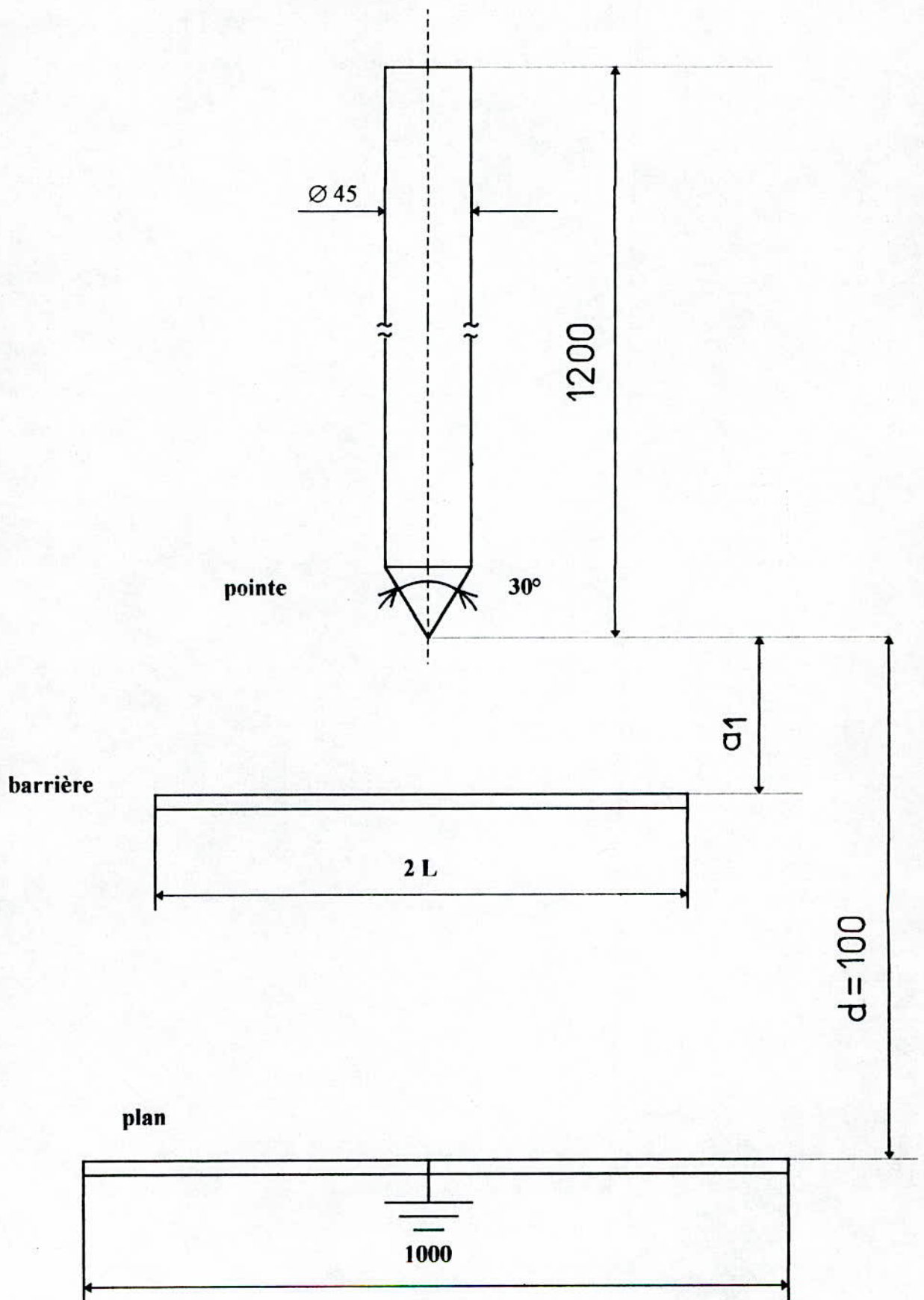


Figure (III-4) : Arrangement "pointe-barrière-plan".

4-2- Choix de l'électrode plane :

Le plan est une plaque en aluminium de forme carrée, de 1000mm de côté.

Etant donné qu'on utilise des barrière dont la largeur atteint 60cm, il est important de choisir une électrode plane suffisamment large pour éviter l'effet de bords. En effet, les bords du plan peuvent jouer le rôle de pointes où le champ est très intense. Ainsi, notre système ne serait plus un système pointe-plan, mais un arrangement pointe-pointes-complexe.

4-3- Choix des barrières :

Nos barrières sont des plaques carrées en plexiglass d'épaisseur égale à 2 mm et de largeurs 60cm , 50cm , 40cm, 30cm, 20cm et 10cm.

Avant chaque essai, nous nettoyons nos écrans avec de l'alcool isopropylique.

5- Conditions atmosphériques :

5-1- Atmosphère normalisée de référence :

L'atmosphère normalisée est :

Température	$t_0 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$.
Pression	$b_0 = 101,3 \text{ kPa (1013 mbar)}$.
Humidité absolue	$h_0 = 11 \text{ g / m}^3$

5-2- Facteurs de correction atmosphérique :

En appliquant les facteurs de correction, une tension disruptive mesurée dans des conditions d'essais données (température t , pression b , humidité h), peut être ramenée à la valeur qui aurait été obtenus sous les conditions atmosphériques de référence normalisées (t_0, b_0, h_0).

Lors des expériences réalisées au laboratoire, toutes les valeurs des tensions seront corrigées suivant les prescriptions des normes de la C.E.I - 60 - 1 [27].

Il existe deux facteurs de correction :

- Le facteur de correction de densité de l'air k_d .
- Le facteur de correction de l'humidité k_h .

Les tensions disruptives mesurées U_m sont ramenées à U_n correspond aux conditions atmosphériques de référence normalisés, en divisant par ($k_d \cdot k_h$).

5-2-1- Facteur de correction de densité de l'air :

Le facteur de correction de la densité de l'air dépend de la densité relative de l'air δ , et peut en général être exprimé par :

$$k_d = \delta^{(m)}$$

Si les températures t et t_0 sont exprimées en degrés Celsius et la pression atmosphérique b dans la même unité (kilopascals ou millibars) que b_0 , la densité relative de l'air est :

$$\delta = \frac{b \cdot (273 + t_0)}{b_0 \cdot (273 + t)}$$

5-2-2 Facteur de correction de l'humidité :

Le facteur de correction de l'humidité peut être exprimé par : $k_h = k^{(m)}$

ou k : est un paramètre fonction du type de la tension d'essai et qui, pour les besoins pratiques, peut être approximativement exprimé en fonction du rapport entre l'humidité absolue h et la densité relative δ [27].

En champ non uniforme (système pointe-plan) et dans le cas la distance entre-électrodes est faible, on a :

tension d'essai appliquée	k	m	ω
tension alternative à 50 [Hz]	$1 + 0.012 (h / \delta - 11)$	1	1
choc de foudre à polarité +	$1 + 0.010 (h / \delta - 11)$	1	1
choc de foudre à polarité -	$1 + 0.010 (h / \delta - 11)$	1	0



CHAPITRE IV

CHAPITRE IV

INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

1- Introduction :

Ce chapitre traitera de l'influence d'une barrière isolante à surfaces propres sur l'amorçage de l'intervalle d'air "pointe-plan" aux chocs de foudre et à fréquence industrielle.

Nous présentons en premier lieu l'influence de la position de la barrière, ensuite l'influence de sa largeur. L'amorçage de notre intervalle se fait à une tension de décharge disruptive moyenne de $U_{sb} = 39,15$ kV à 50 Hz et de $U_{50\% sb} = 92,6$ kV aux chocs de foudre positif et de $U_{50\% sb} = 212,4$ kV aux chocs de foudre négatifs. Ces niveaux sont représentés sur tout les graphes par une ligne en traits discontinus avec la notation "SB"

2- Influence de la position de la barrière :

La barrière isolante est soutenue par trois (03) tubes en Plexiglas. Pour étudier l'influence de la position de la barrière on a choisi six (06) positions de l'écran vis à vis de l'écran.

Les positions de la barrière sont définies par la distance (a_1) entre la pointe et la barrière.

Cette distance prend différentes valeurs entre "0" et "d" ($d = 10$ cm, étant la longueur axiale de l'intervalle) figure (III-4).

Les positions (a_1 / d) choisies sont :

$a_1 / d = 0 \%$, 20% , 40% , 60% , 80% , 100% .

En négligeant l'épaisseur de la barrière par rapport à la distance d.

Aux figures (IV-1, IV-2) sont présentées les variations de la tension disruptive moyenne U_{dn} pour la fréquence industrielle et $U_{50\%}$ pour le choc de foudre à polarité positive, en fonction des différentes positions (a_1 / d) % des barrières, pour différentes largeurs.

Une remarque principale à tirer de ces caractéristiques est l'augmentation relativement importante de la tension disruptive quand la barrière s'approche de l'électrode haute tension. L'augmentation optimale est obtenue quand la barrière est près de la pointe entre (0% et 20%) de la distance "pointe-plan". Aux tensions de choc à polarité positive, l'amélioration de la tension disruptive est de 300% pour la largeur $2L = 60$ cm, et de 160% pour la largeur

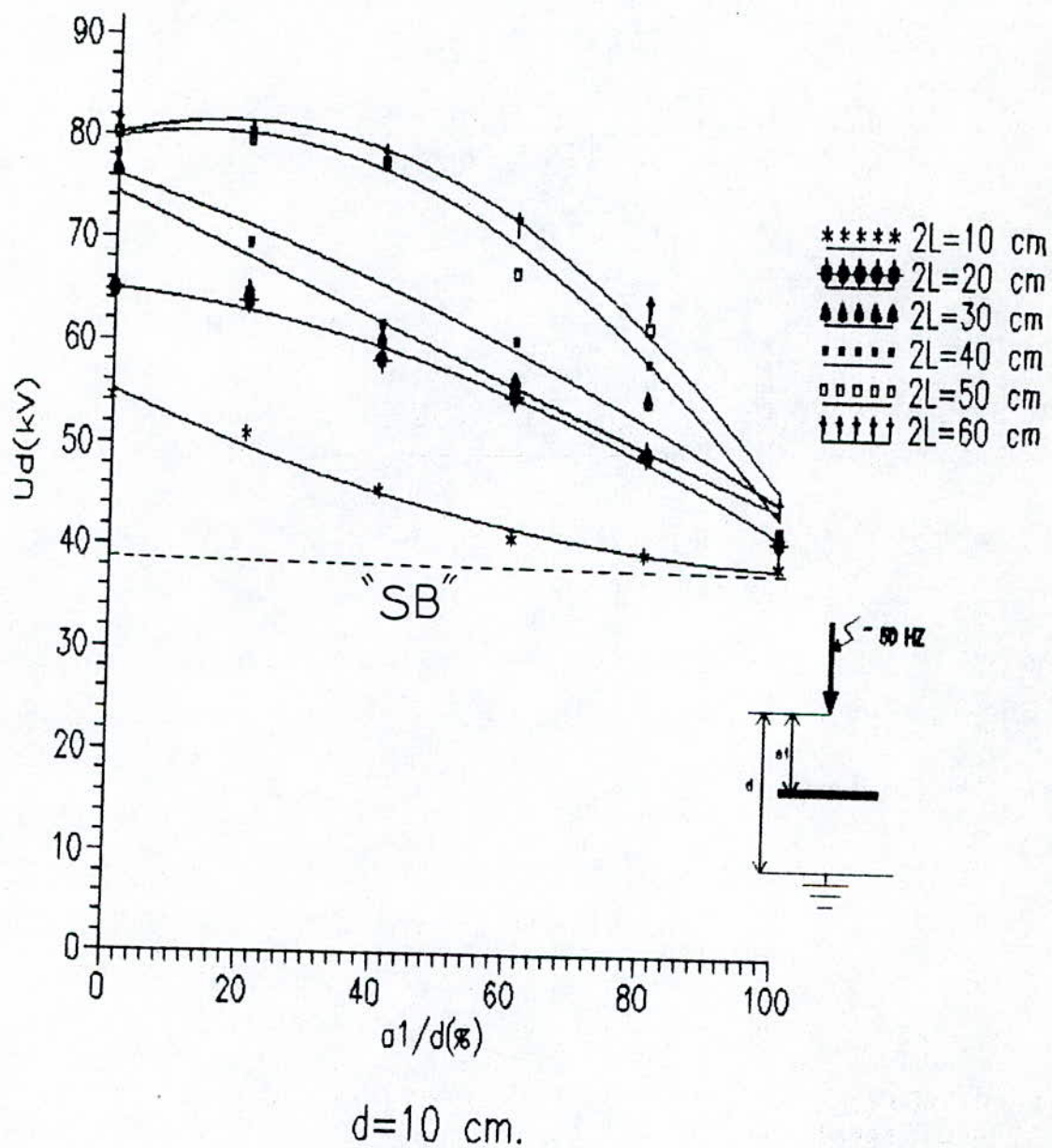


FIGURE IV.1: L'influence de la position de la barrière sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50 Hz).

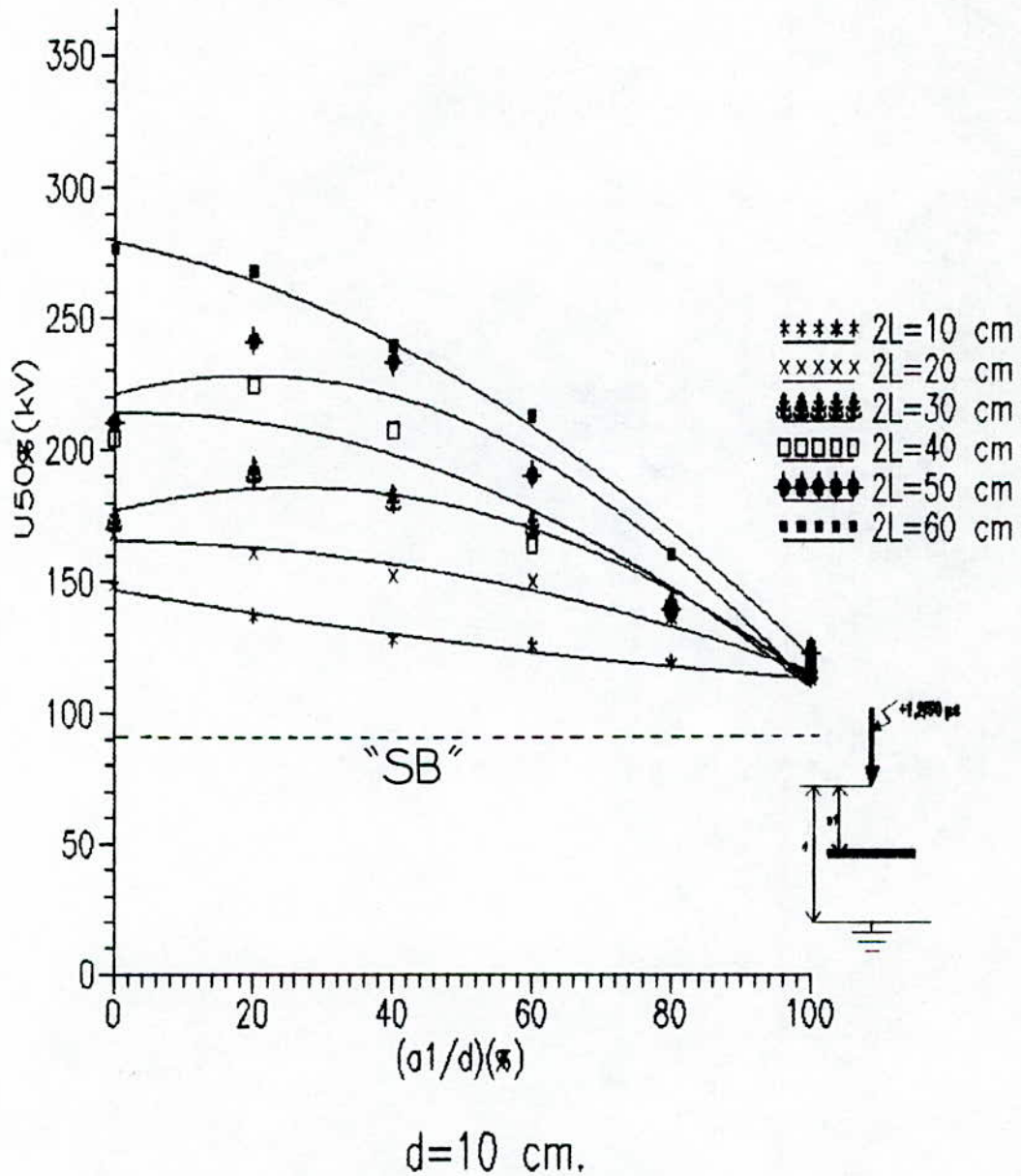


FIGURE IV.2: L'influence de la position de la barrière sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive (choc de foudre à polarité(+)).

$2L = 10 \text{ cm}$, ceci est vrai dans le cas où l'écran est très proche de la pointe. Pour le cas de la tension à fréquence industrielle, l'amélioration de la tension disruptive est d'environ 207% pour la largeur $2L = 60\text{cm}$, et de 139% pour la largeur $2L = 10\text{cm}$. L'augmentation de la tension reste quantitativement comprise entre les valeurs citées, décroissant quand la distance (a_1) entre la pointe et la barrière augmente.

On voit clairement que lorsque la barrière s'éloigne de la pointe (a_1 / d comprise entre 20% et 100%), la tension disruptive décroît de plus en plus quand a_1 augmente, c'est à dire quand la barrière s'approche du plan. Quand la barrière touche le plan son influence reste faible et la tension disruptive correspond approximativement à celle obtenue dans le système " pointe- plan" sans barrière.

L'augmentation de la tension disruptive est liée surtout à l'allongement du canal de la décharge principale. Cet allongement sera relativement réduit quand la barrière s'approche du plan.

De cette étude, on peut donc affirmer que l'amélioration est notable quand l'écran est placé près de la pointe.

A la figure VI - 3 est présentée la variation de la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive de choc de foudre à polarité négative en fonction des différentes positions a_1 / d (%) d'une barrière de largeur $2L = 30\text{cm}$.

On voit aisément que la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive atteint une valeur inférieure à la valeur de tension sans barrière pour les positions a_1 / d comprises entre 0% et 60%, puis elle augmente légèrement. Donc on peut constater que pour une polarité négative, l'écran isolant reste pratiquement sans effet, et engendre parfois une réduction de la tension disruptive.

On remarque aussi que la tension disruptive est plus grande pour une tension de choc à polarité négative que pour une tension de choc à polarité positive et une tension alternative 50Hz .

3- Influence de la largeur de la barrière :

Pour étudier la variation de la tension disruptive en fonction de la largeur de l'écran, on a pris six (06) positions de l'écran ($a_1 / d = 0\%$, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%). Les largeurs ainsi utilisées sont :

$2L = 10\text{cm}, 20\text{cm}, 30\text{cm}, 40\text{cm}, 50 \text{ cm}, 60\text{cm}$.

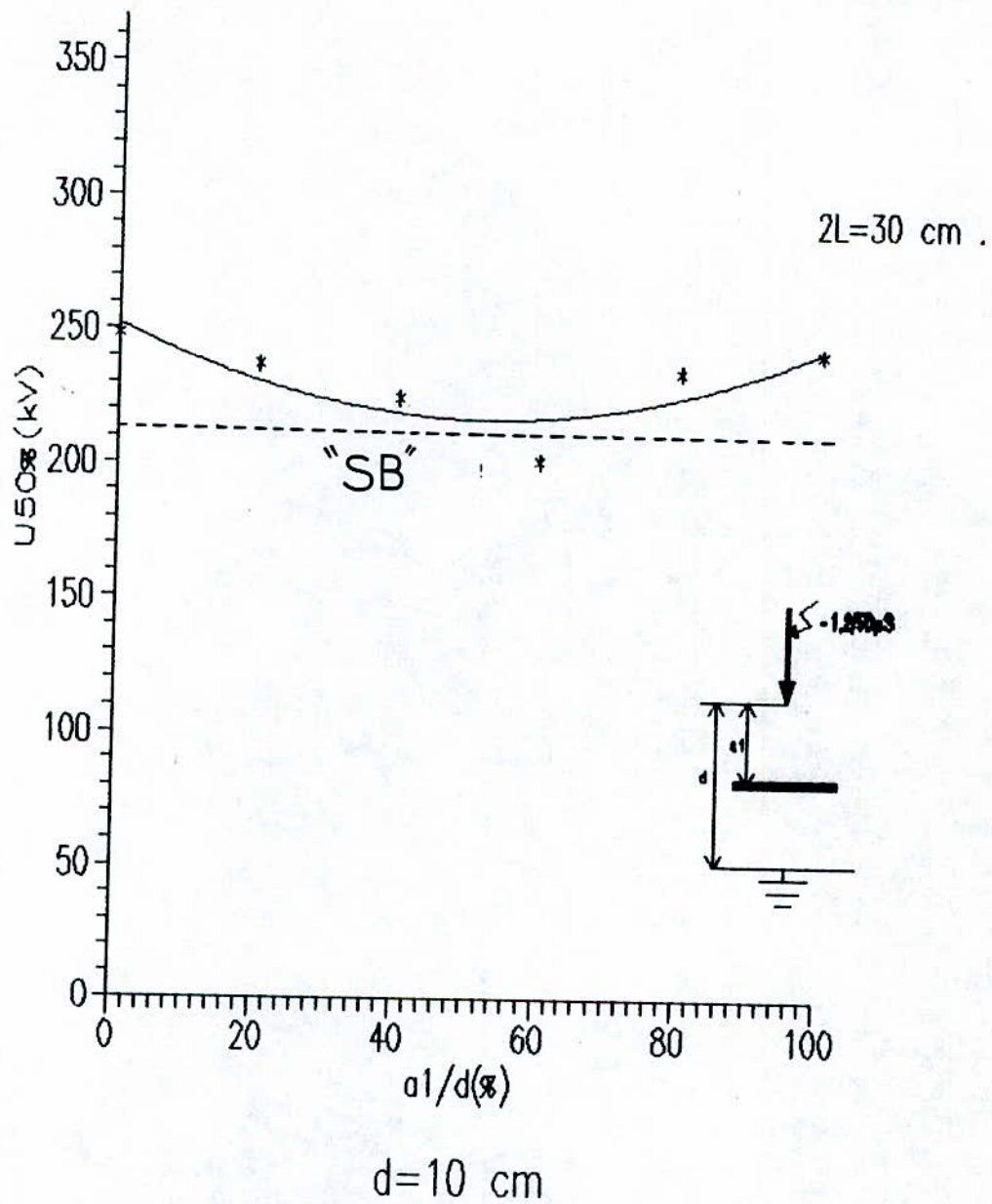
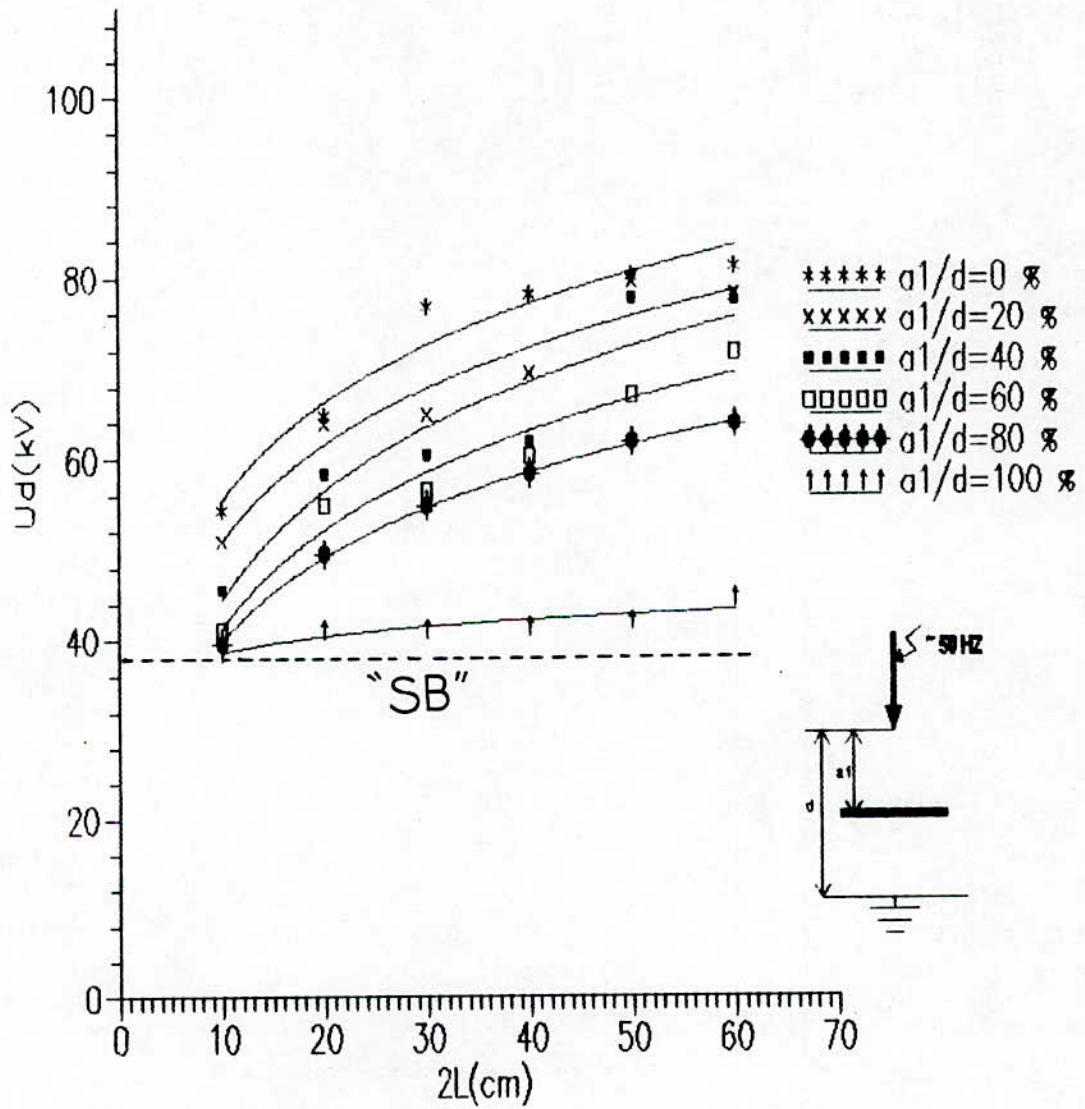


FIGURE IV.3: L'influence de la position de la barrière sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive (choc de foudre à polarité(-)). $2L=30$ cm.



$d=10$ cm.

FIGURE IV.4: L'influence de la largeur de la barrière sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50HZ).

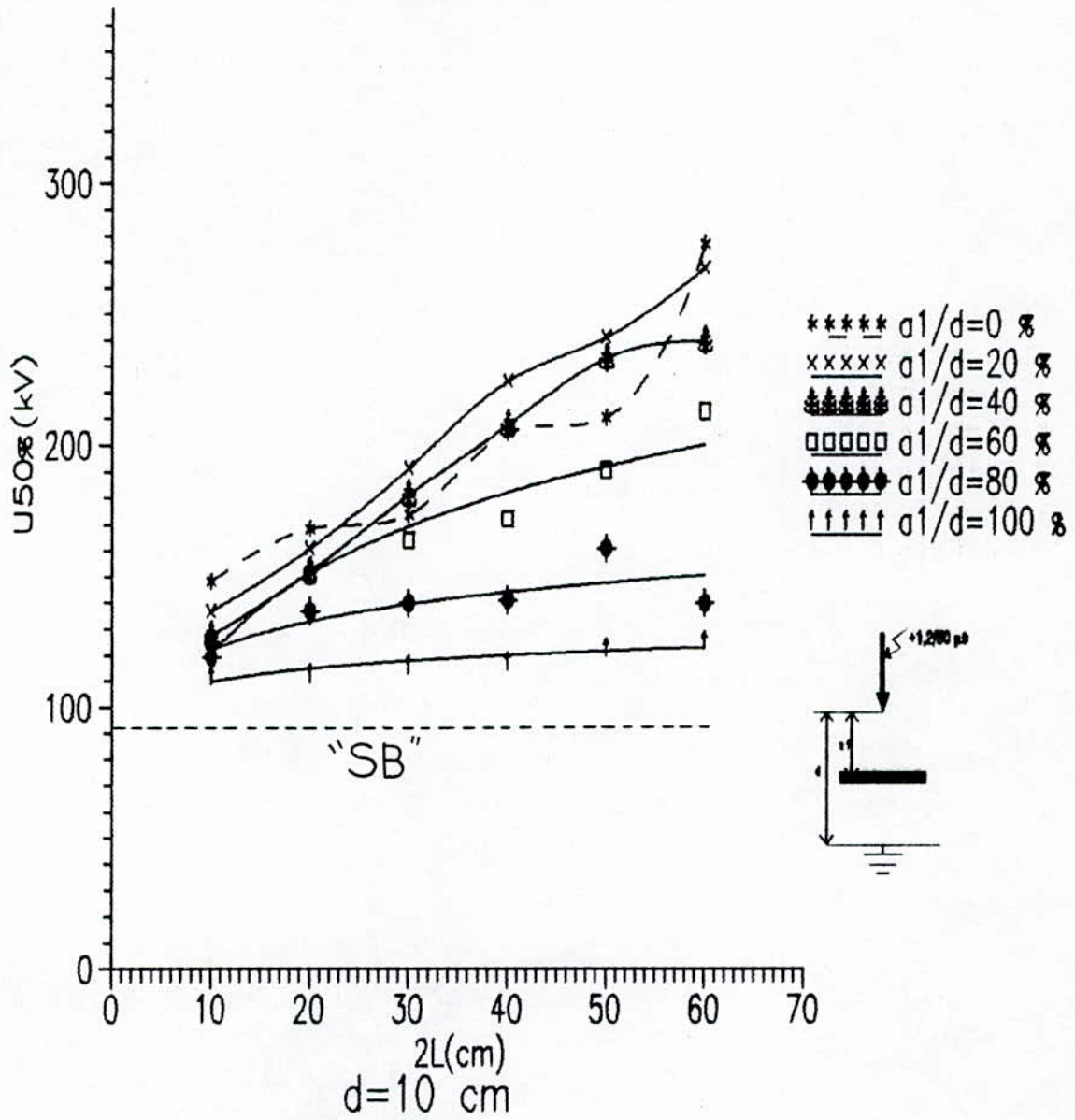


FIGURE IV.5: L'influence de la largeur de la barrière sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive (choc de foudre à polarité (+)).

Les figures IV - 4 , IV - 5 représentent les variations de la tension disruptive en fonction de la largeur de la barrière.

On voit clairement d'après les deux figures que la tension disruptive augmente avec la largeur de la barrière d'une façon presque linéaire. Ceci peut être expliqué par le fait que l'écran joue le rôle d'un obstacle géométrique empêchant les ions positives de gagner la cathode (le plan), en s'étalant sur la surface de la barrière. Plus la largeur de la barrière augmente, plus le nombre d'ions freinés devient de plus en plus important. En effet ces ions, dans leur mouvement vers la cathode se répartissent sur la surface de la barrière, et quand la largeur de la barrière augmente, le processus de développement du canal de plasma est retardé, ce qui va engendrer alors une augmentation de la tension disruptive du système. Pour les largeurs supérieures où égales à 50cm l'augmentation devient de plus en plus faible. Figures IV - 4 et IV - 5.

Ceci peut être expliqué par le grand nombre d'ions positifs ainsi freinés. Quand ce nombre atteint une certaine valeur critique, il facilite ainsi l'apparition des décharges glissantes, qui favorisent à leur tour le développement du canal du plasma.

4 - Equivalence de l'arrangement " pointe - barrière - plan " :

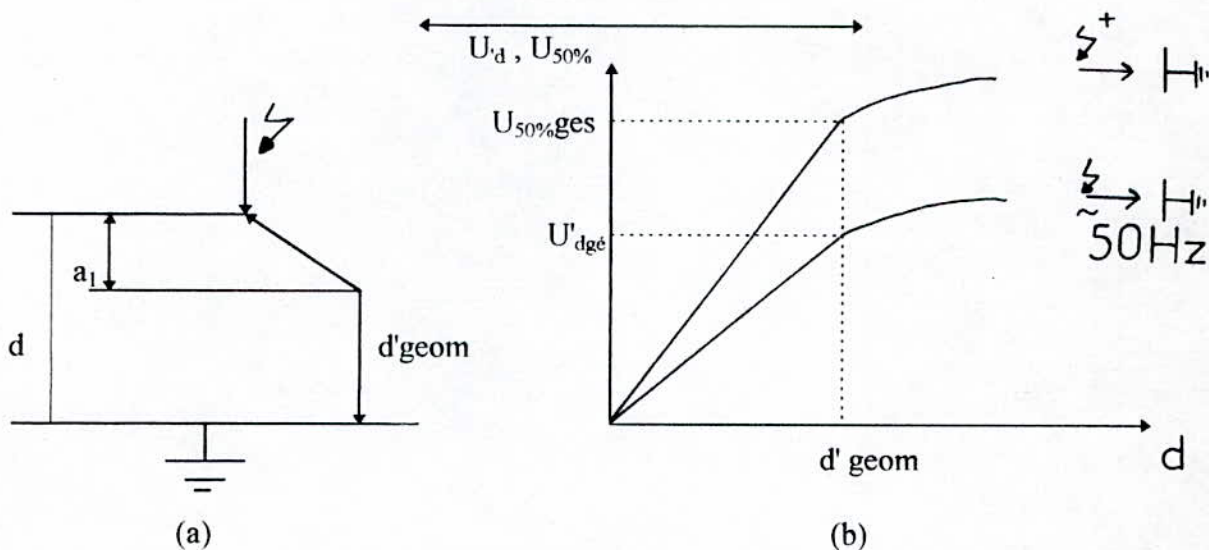
Pour pouvoir établir l'équivalence entre les systèmes pointe - plan avec et sans barrière, on se réfère aux tableaux IV - 1 et IV - 2 , qui représentent les écarts existants entre les tensions du système pointe - plan ayant " d'geom" comme distance entre électrodes et le système sans barrière ayant "d" comme distance entre-électrodes (d'geom étant calculée à partir de la formule suivante : $d_{geom} = \sqrt{L^2 + a^2} + d - a$) figure (IV - 6).

Les tableaux IV - 1 et IV - 2 représentent respectivement l'équivalence des systèmes pointe-plan avec et sans barrière pour les différentes largeurs $2L = 10, 20, 30, 40, 50$ et 60 cm, et pour différentes positions de l'écran $a_1 / d = 0\%, 20\%, 40\%, 60\%, 80\%$ et 100% aux chocs de foudre et à fréquence industrielle.

La première remarque à faire est que la différence entre les deux systèmes devient de plus en plus grande quand la barrière se rapproche du plan, et augmente avec la largeur de l'écran. La cause principale de la différence semble être les décharges glissantes, ce qui nous permet de dire que pour les faibles distances entre-électrodes la décharge se fait par étapes pour les largeurs supérieures où égales à 50 cm.

A fréquence industrielle, l'erreur commise est de quelques dizaines de pour-cent, de ce fait l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières n'est plus vérifiée.

Aux chocs de foudre à polarité positive et à fréquence industrielle, la décharge se fait par étapes quand la barrière est plus proche de la pointe, et elle se fait de manière directe quand la barrière est proche du plan, mais au chocs de foudre à polarité négative, la décharge se fait par étapes quelque soit la position de la barrière.



a) : Détermination de la distance d'_{geom} .

b) : Détermination de la tension $U_{50\%_{géom}}$ et $U'_{d'géom}$.

Figure IV - 6

5 - Conclusions générales :

Dans les intervalles d'air " pointe-plan ", pour les tensions de choc de foudre positif et pour la tension à fréquence industrielle 50 Hz, la barrière isolante à surfaces propres joue en premier lieu le rôle d'obstacle géométrique provoquant l'allongement de la décharge disruptive et en conséquent l'augmentation de la tension disruptive. Le trajet suivi par la décharge correspond à la distance entre la pointe, le bord de la barrière et le plan. Ce trajet est suivi par le canal de la décharge dans le cas de "décharge directe".

Ce type de décharge est observé lorsque la barrière est située loin des deux électrodes, et pour la largeur de la barrière inférieure à cinq fois la distance pointe-plan. Dans ce cas la tension disruptive augmente d'une façon presque linéaire en fonction de la largeur de la barrière. Dans les autres cas la décharge s'effectue par étapes: amorçage de l'intervalle d'air pointe-barrière suivi successivement par le contournement de la barrière par des décharges glissantes et l'amorçage de l'intervalle "bords de la barrière - plan".

Pour les largeurs supérieures à cinq fois la distance pointe-plan, l'influence de la largeur sur la tension d'amorçage devient de plus en plus faible.

Pour la tension de choc de foudre négatif, la barrière isolante reste pratiquement sans effet, et engendre parfois une réduction de la tension disruptive, et la décharge se fait par étapes quelque soit la position de la barrière.

Les étapes sont différentes de celles observées dans le cas de la pointe-positive, et correspondent à des décharges qui partent des deux électrodes et se rencontrent au niveau de la barrière.

Pour les petites distances entre-électrodes, l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières n'est plus vérifiée à cause de la présence des décharges glissantes.

ANNEXE

ANNEXE

(1) Influence de la position de l'écran isolant sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50 HZ).

$$U_{dsb} = 39,15 \text{ kV}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$2L = 10 \text{ cm}$$

(T1)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	$(Ud/Udsb)_n$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	51,9	54,4	1,39	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	48,6	50,9	1,30	
40	43,4	45,5	1,16	
60	39,2	41	1,04	
80	37,8	39,5	1,01	
100	36,8	38,6	0,98	

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$2L = 20 \text{ cm}$$

(T2)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	$(Ud/Udsb)_n$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	61,8	64,8	1,65	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	61	63,8	1,63	
40	55,7	58,3	1,49	
60	52,4	54,9	1,40	
80	47,2	49,5	1,26	
100	39,2	41	1,04	

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$2L = 30 \text{ cm}$$

(T3)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	$(Ud/Udsb)_n$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	73,4	76,8	1,96	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	61,9	64,8	1,65	
40	57,6	60,3	1,54	
60	53,8	56,4	1,44	
80	52,2	54,8	1,40	
100	39,2	41,1	1,05	

d = 10 cm
2L = 40 cm

(T4)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	(Ud/Udsb) _n	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	74,6	78,1	1,99	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	66,4	69,5	1,77	
40	59	61,8	1,58	
60	57,6	60,3	1,54	
80	55,7	58,3	1,49	
100	39,7	41,4	1,06	

d = 10 cm
2L = 50 cm

(T5)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	(Ud/Udsb) _n	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	76,5	80,1	2,04	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	76	79,6	2,03	
40	74,2	77,6	1,98	
60	64	66,9	1,71	
80	59	61,8	1,58	
100	40,1	42	1,07	

d = 10 cm
2L = 60 cm

(T6)

a_1/d (%)	Udm (kV)	Udn (kV)	(Ud/Udsb) _n	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	77,5	81,1	2,07	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 0,972
20	76,5	80,1	2,04	
40	74,6	78,1	1,99	
60	68,5	71,7	1,83	
80	60,9	63,8	1,63	
100	42,5	44,5	1,13	

(2) Influence de la position de l'écran isolant sur la tension de choc de foudre à polarité positive

$U_{50\%sb} = 92,6 \text{ k}$

$d = 10 \text{ cm}$
 $2L = 10 \text{ cm}$

(T7)

a_1/d (%)	$U_{n50\%}$ (kV)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%} / U_{50\%sb}$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	143,9	148,1	1,60	P = 752 mmHg T = 21°C h = 68% kd = 0,982 kh = 0,990
20	132,9	136,8	1,48	
40	124,1	127,7	1,38	
60	122	125,5	1,35	
80	115,7	119,1	1,28	
100	108,9	112,1	1,21	

$d = 10 \text{ cm}$
 $2L = 20 \text{ cm}$

(T8)

a_1/d (%)	$U_{n50\%}$ (kV)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%} / U_{50\%sb}$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	158,9	168,2	1,81	P = 750 mmHg T = 19°C h = 79% kd = 0,987 kh = 0,975
20	159,6	160,9	1,74	
40	150,8	152	1,64	
60	149,3	150,4	1,62	
80	131,6	136,7	1,47	
100	106,7	112,9	1,22	

$d = 10 \text{ cm}$
 $2L = 30 \text{ cm}$

(T9)

a_1/d (%)	$U_{n50\%}$ (kV)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%} / U_{50\%sb}$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	171,2	173,6	1,87	P = 751 mmHg T = 21°C h = 69% kd = 0,981 kh = 0,987
20	185,8	191,9	2,07	
40	175,3	181,1	1,95	
60	166,5	171,9	1,85	
80	136,4	140,8	1,52	
100	114,6	116,2	1,25	

d = 10 cm
2L = 40 cm

(T10)

a ₁ /d (%)	U _{n50%} (kV)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} / U _{50%sb}	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	196,7	204,4	2,20	P = 751 mmHg T = 21°C h = 69% kd = 0,981 kh = 0,987
20	216,9	224,1	2,42	
40	200,8	207,4	2,24	
60	158,7	163,9	1,77	
80	135,3	139,7	1,51	
100	113	117,4	1,27	

d = 10 cm
2L = 50 cm

(T11)

a ₁ /d (%)	U _{n50%} (kV)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} / U _{50%sb}	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	206,7	210,1	2,26	P = 750 mmHg T = 20°C h = 66% kd = 0,983 kh = 0,995
20	235,7	241	2,60	
40	227,8	232,9	2,51	
60	186,1	190,3	2,05	
80	136,5	139,6	1,51	
100	120,1	122,8	1,33	

d = 10 cm
2L = 60 cm

(T12)

a ₁ /d (%)	U _{n50%} (kV)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} / U _{50%sb}	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	270,6	276,6	2,98	P = 750 mmHg T = 20°C h = 66% kd = 0,983 kh = 0,995
20	261,7	267,5	2,88	
40	234,1	239,4	2,58	
60	207,8	212,5	2,29	
80	157,1	160,6	1,73	
100	122,7	125,5	1,35	

(3) Influence de la position de l'écran isolant sur la tension disruptive de choc de foudre négatif

$$U_{50sb} = 212,4 \text{ kV}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$2L = 30 \text{ cm}$$

(T13)

a_1/d (%)	$U_{n50\%}$ (kV)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%} / U_{50\%sb}$	CORRECTIONS ATMOSPHERIQUES
0	244	248,2	1,16	P = 750 mmHg T = 20°C h = 77% kd = 0,983 kh = 1
20	232,8	236,8	1,11	
40	220,5	224,3	1,05	
60	197,7	201,1	0,94	
80	230,7	234,7	1,10	
100	237,6	241,7	1,13	

(4) Influence de la largeur des écrans isolants sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50HZ)

$$U_{dsb} = 39,15 \text{ kV}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$a_1/d = 0 \%$$

(T14)

2L (cm)	U_{dm} (kV)	U_{dn} (kV)	$(U_d/U_{dsb})_n$
10	51,9	54,4	1,39
20	61,9	64,8	1,65
30	74,6	76,8	1,96
40	73,4	78,1	1,99
50	76,5	80,1	2,04
60	77,5	81,1	2,07

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$a_1/d = 20 \%$$

(T15)

2L (cm)	U_{dm} (kV)	U_{dn} (kV)	$(U_d/U_{dsb})_n$
10	48,6	50,9	1,30
20	60,9	63,8	1,63
30	66,4	64,8	1,65
40	61,9	69,5	1,77
50	76	79,6	2,03
60	74,6	80,1	2,04

d = 10 cm
a₁/d = 40 %

(T16)

2L (cm)	U _{dm} (kV)	U _{dn} (kV)	(U _d /U _{dsb}) _n
10	43,4	45,5	1,16
20	55,7	58,3	1,49
30	59	60,3	1,54
40	57,6	61,8	1,58
50	74,1	77,6	1,98
60	73,9	77,8	1,99

d = 10 cm
a₁/d = 60 %

(T17)

2L (cm)	U _{dm} (kV)	U _{dn} (kV)	(U _d /U _{dsb}) _n
10	39,2	41	1,04
20	52,4	54,9	1,40
30	53,8	56,4	1,44
40	57,6	60,3	1,54
50	63,9	66,9	1,71
60	68,5	71,7	1,83

d = 10 cm
a₁/d = 80 %

(T18)

2L (cm)	U _{dm} (kV)	U _{dn} (kV)	(U _d /U _{dsb}) _n
10	37,8	39,5	1,01
20	47,2	49,5	1,26
30	52,2	54,8	1,40
40	55,7	58,3	1,49
50	59	61,8	1,58
60	60,9	63,8	1,63

d = 10 cm
a₁/d = 100 %

(T19)

2L (cm)	U _{dm} (kV)	U _{dn} (kV)	(U _d /U _{dsb}) _n
10	36,8	38,6	0,98
20	39,1	41	1,04
30	39,3	41,1	1,05
40	39,6	41,4	1,06
50	40,1	42	1,07
60	42,5	44,5	1,13

(5) Influence de la largeur des écrans isolants sur la tension de choc de foudre à polarité positive.

$$U_{sb} = 92,6 \text{ kV}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$a_1/d = 0 \%$$

(T20)

2L (cm)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%}$ (kV)	U_{m50}/Vsb
10	143,9	148,1	1,60
20	158,9	168,2	1,81
30	171,2	173,6	1,87
40	196,7	204,4	2,20
50	206,7	210,1	2,26
60	270,6	276,6	2,98

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$a_1/d = 20 \%$$

(T21)

2L (cm)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%}$ (kV)	U_{m50}/Vsb
10	132,9	136,8	1,48
20	159,6	160,9	1,74
30	185,8	191,9	2,07
40	216,9	224,1	2,42
50	235,7	241	2,60
60	261,7	267,5	2,88

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$a_1/d = 40 \%$$

(T22)

2L (cm)	$U_{m50\%}$ (kV)	$U_{n50\%}$ (kV)	U_{m50}/Vsb
10	124,1	127,7	1,38
20	150,8	152	1,64
30	175,3	181,1	1,95
40	200,8	207,4	2,24
50	227,8	232,9	2,51
60	234,1	239,4	2,58

d = 10 cm
a₁/d = 60 %

(T23)

2L (cm)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} (kV)	U _{m50} /Vsb
10	112	125,5	1,35
20	149,3	150,4	1,62
30	166,5	171,9	1,85
40	158,7	163,9	1,77
50	186,1	190,3	2,05
60	207,8	212,5	2,29

d = 10 cm
a₁/d = 80 %

(T24)

2L (cm)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} (kV)	U _{m50} /Vsb
10	115,7	119,1	1,28
20	131,6	136,7	1,47
30	136,4	140,8	1,52
40	135,3	139,7	1,51
50	136,5	160,6	1,51
60	157,1	139,6	1,73

d = 10 cm
a₁/d = 100 %

(T25)

2L (cm)	U _{m50%} (kV)	U _{n50%} (kV)	U _{m50} /Vsb
10	108,9	112,1	1,21
20	106,7	112,9	1,22
30	114,4	116,3	1,25
40	113	117,4	1,27
50	120,1	122,8	1,33
60	122,7	125,5	1,35

Tableau: (IV-1)

**Equivalence entre le système pointe-plan avec barrière et sans barrière:
d= 10 cm (Choc de foudre (+)).**

2L (cm)	a ₁ /d (%)	d' géom (cm)	U _{kV50%} géom	U _{50%} (kV)	ε (%)
10	0	15	126	148,1	15
	20	13,38	113	136,8	17,4
	40	12,40	107	127,7	16,2
	60	11,81	103	125,5	18
	80	11,43	99	119,1	16,8
	100	11,18	97	112,1	13,4
30	0	25	197	173,6	13,4
	20	23,13	182	191,9	5
	40	21,52	173	181,1	4,4
	60	20,15	164	171,9	4,5
	80	19	156	140,8	10,8
	100	18,09	150	116,2	29
60	0	40	260	276,6	6
	20	38,06	245	267,5	8
	40	36,26	244	239,4	2
	60	34,6	235	212,5	10
	80	33,05	232	160,6	44
	100	31,62	222,5	125,5	77

$$\varepsilon = \frac{|U_{50\text{géo}} - U_{50\%}|}{U_{50\%}} \times 100$$

Tableau: (III-2)

**Equivalence entre le système pointe-plan avec le sans barrière:
d= 10 cm (à fréquence industrielle).**

2L (cm)	a ₁ /d (%)	d' géom (cm)	U _{d'} géom (kV)	U _{dn} (kV)	ε (%)
10	0	15	79	54,4	45
	20	13,38	74	50,9	45
	40	12,40	71	45,5	56
	60	11,81	68	41	65
	80	11,43	66	39,5	64
	100	11,18	65	38,6	68
20	0	20	91	64,8	40
	20	18,20	88	63,8	37,9
	40	16,77	86	58,3	47
	60	15,66	81	54,9	47,5
	80	14,86	78	49,5	57,5
	100	14,14	76	41	85
30	0	25	105	76,8	36,7
	20	23,13	98	64,8	51,2
	40	21,52	94	60,3	55,8
	60	20,15	92	56,4	63,1
	80	19	90	54,8	64,2
	100	18,08	88	41,1	114
40	0	30	112	78,1	43,4
	20	28,1	109	69,5	56,8
	40	26,4	106	61,8	71,5
	60	24,8	104	60,3	72,4
	80	23,54	100	58,3	71,5
	100	22,36	98	41,4	136
50	0	35	169	80,1	109
	20	33,07	157	79,6	97
	40	31,32	149	77,6	92
	60	29,07	110	66,9	64,4
	80	28,24	109	61,8	76,3
	100	26,92	107	42	154
60	0	40	190	81,1	134
	20	38,06	180	80,1	124
	40	36,26	172	78,1	120
	60	34,6	164	71,7	128
	80	33,05	157	63,8	146
	100	31,62	150	44,5	237



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE :

- [1] - J.S. Tawsend, "Electricity in gases" Oxford, 1914.
- [2] - L.L. Alston-D.J. Tedford, " High voltage Technology" Oxford University press 1968.
- [3] - J.M. Meek, "Phy. Rev 57" 1940.P722.
- [4] - H. Raether, "Electron avalanches and Breakdown in gases", Butterworths, London, 1964.
- [5] - L.B. Loeb - J.M. Meek, "The mécanisme of electric spark" Stanford University.press 1940.
- [6] - Groupe des Renardières: "Recherche sur l'amorçage des grands intervalles d'air aux renardières"
Electra n° 23 - 1972.
Electra n° 35 - 1973.
- [7] - M.J. Slosiar, "Materiaux de l'électrotechnique" E.N.P. d'Alger 1966.
- [8] - A.Boubakeur, "Notes de cours de 4^{ème} année de haute tension",
Dept.G. électrique, E.N.P Alger.
- [9] - A.Boubakeur, "Influence des barrières sur la tension disruptive des moyens intervalles d'air pointe-plan."
Thèse de doctorat, polytechnouka Varsovie, 1979.
- [10] - A.Boubakeur, "Discharge phenomena in long air gaps with insulating screens"
4th International Symposium on Voltage Engineering (4th ISH) Athens 1983.
- [11] - J.L. Jakubowski- A.Boubakeur " Rigidité des moyens intervalles d'air dans les systèmes isolants pointe-plan avec barrière"
Bulletin de l'Academie Polonaise VOI 28? Nr 9-10, 1980.
- [12] - A.Roth, "Hochs pannungstechnik" Berlin 1927 p118.
- [13] - E.Marx, "Der electrische Durchschlog Von luft in unhomogenen fled"
Arch. Elek, Bd 24, 1930, P. 61.

- [14] - H.Roser, " Schime Zur Erhômung der Durchsch Lagspannung in luft"
E.T.Z.H 17,Bd 53, 1932 ,P 411.
- [15] - N.F. Wolochtachenko, " Problèmes relatifs au mécanisme de l'effet de l'écran" Elekritchestwo nr 6, 1947, P.61.
- [16] - J.M.Meek - M.M.C. Collins, "Measurment of field changes preceding impulse breakdown of rod-plan gaps"
proc- of the 7 th int. Conf. on phenomena in ionized gazes, Vol 1, Beogrol 1966, P. 581.
- [17] - N.N. Tithodeev, " Effet of an incompet barrier in electrical discharge"
Soviet physics Tech. phys- 2 1957, P.385.
- [18] - M.Abou Alia, " Ein Beitrax Zum stors durchschlageiner spitze-platte-Funkenstrecke mit isolierschirm" .
Dissertation, T.H Stuttgart, 1966.
- [19] - H.Remde, "Storsdurchschlageiner spitze-platte-Funkenstrecke mit isolierschim" Dissertation, Tu stuttgart 1969.
- [20] - J.Pilling , " Luftisolierug mit isolier stoff barrier en und Verkleidungen bei Wechschnspannung " Dissertation, Tu Dresden 1968.
- [21] - Takchiko Hirano, " The barrier. Effects on the propagation of discharge in the air gaps"
(voltage-Time caractéristiques) Octobre 2, 1981.
- [22] - M.Awad, E. EL.Sharkawi, F. Farid " Modelling of multigaps using barrier arrangements"
4^{eme} ISH. Athens- Greece 5.9 Septembre 1983.
- [23] - K.Nowacki, " Isoliers-toffschirme parallel sur electrodenachse in inhomogenen Funkenstrecken" .
Dissertation , TH Aachen 1975.
- [24] - Md. Boutlendja, " Influence des écrans isolants sur la tension de décharge disruptive à 50 Hz des intervalles d'air pointe-plan"
P.F.E 1984, E.N.P , d'Alger.
- [25] - A.Labed - A.Kahla, " Influence des barrières isolantes sur la tension

d'amorçage aux tensions de chocs de foudre positive
des intervalles d'air pointe-plan"
P.F.E , 1985, E.N.P, d'Alger.

- [26] - W.J.Dixon - A.M.Mood, " Methode for obtaining and lysing sensitivity
data" Journal of A.S.A, Vol 43, 1948, P 109.
- [27] - C.E.I. 60-1 : Pblication " Technique des essais à haute tension-définitions
et prescriptions générales relatives aux essais" 1989.