



PA018/85

وزارة التعليم و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

2 ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المعهد الوطني للعلوم الهندسية
Département : D'électrotechnique

المكتبة

PROJET DE FIN D'ETUDES

BIBLIOTHEQUE

SUJET

Influence des barrières isolantes sur la tension
d'amorçage aux tensions de chocs de foudre
positives des intervalles d'air pointe-plan

Proposé par:
Mr A. Boubakeur

étudié par:
LABED. Abdesselam
et
KAHLA. Abdelkader

Dirigé par:
Mr : A. Boubakeur

Promotion : Juin 85.

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : D'électrotechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Influence des barrières isolantes sur la tension
d'amorçage aux tensions de chocs de foudre
positives des intervalles d'air pointe-plan

Proposé par:
Mr A. Boubakeur

étudié par:
LABED. Abdesselam
et
KAHLA. Abdelkader

Dirigé par:
Mr : A. Boubakeur

Promotion : Juin 85.

DEDICACES

Je dédie ce projet de fin d'études à mes chers parents,
à la mémoire de ma soeur Leila, à mes frères et soeurs,
à toute ma famille et à mes amis .

..Abdelkader

A la mémoire de mon frère Mohammed

..Abdessalem

R E M E R C I E M E N T S

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés dans l'élaboration de ce projet, et particulièrement notre promoteur Monsieur A.

BOUBAKEUR de ces précieux conseils .

Nos remerciements vont également à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation durant nos années d'études.

S O M M A I R E

- INTRODUCTION	1
<u>Chapitre 1</u> : <u>MECANISMES DE DECHARGE DANS L'AIR</u>	
1-1- mecanisme De Townsend	2
1-2- mecanisme De Streamers	2
1-3- mecanisme De Decharges aux chocs de foudre	4
1-3-1- Amorçage en champ uniforme . (Système pointe-plan)	4
1-3-2 Amorçage en champ non uniforme	6
1-4 Retard à l'amorçage	9
<u>Chapitre 2</u> : <u>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE</u> Influence des écrans isolants sur la regidité dielectrique de l'air	13
<u>Chapitre 3</u> : <u>STATION D'ESSAI DE CHOC</u> <u>D'UN LABORATOIRE H.T</u>	
3-1 Generateur de choc	19
3-1-1 Principe de fonctionnement	19
3-1-2 Montage de Marx	21
3-2 Circuit de mesure de choc à haute tension	21

.../...

3-2-1	Diviseur de tension	21
3-2-2	Oscilloscope et voltmetre de chocs	24

Chapitre 4 STATION D'ESSAI DE L'E.N.P

4-1	Equipement de la station d'essai de l'E.N.P	26
4-1-1	Generateur de choc	26
4-1-2	Diviseur de tension	27
4-2	Determination de la tension disruptive moyenne :	
	U_{50} %	27
4-3	Arrangement pointe- barrière-plan	27
4-3-1	Choix des barrières	29

Chapitre 5 INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

5-1	Influence de la position	30
5-2	Influence de la largeur	34
5-3	Influence de l'épaisseur	34
5-4	Equivalence entre les systemes pointe-plan avec et sans barrière	37
5-5	Influence de la distance pointe-plan	42
6 -	Conclusion ;	44

I N T R O D U C T I O N

Il a été montré, au point de vue rigidité diélectrique, que le système pointe-plan est le moins rigide. En effet, ce système est caractérisé par les tensions disruptives les plus basses. En plus, il correspond bien aux systèmes isolants réels les plus menacés dans l'exploitation. Sous une polarité positive, ce système se trouve beaucoup moins rigide. Cela traduit l'importance que revêt l'utilisation d'une telle configuration dans les études liées à la rigidité diélectrique de l'air .

Selon plusieurs chercheurs, l'introduction d'une barrière provoque une augmentation considérable quand il s'agit d'une polarité positive, par contre pour une polarité négative, l'écran isolant reste pratiquement sans effet; d'où l'importance de notre choix.

Une étude a été effectuée à l'E.N.P concernant l'influence des dimensions des écrans isolants à surfaces propres sur la tension disruptive à fréquence industrielle (50HZ) , des intervalles d'air inférieures ou égales à 30 cm .

L'objet de ce projet est d'étudier l'influence des dimensions des écrans isolants à surfaces propres sur les tensions d'amorçage aux chocs de foudre positifs, des intervalles d'air pointe-plan compris entre 5 et 20 cm .

.../...

Cette etude à été subdivisée en cinq chapitres, la première présente les mecanismes de décharges dans l'air aux impulsions, la seconde traite une synthèse bibliographique concernant l'influence des barrières isolantes, la troisième d'écrit la station d'essais de choc d'un laboratoire haute tension, la quatrième donne les caractéristiques des differents équipements du laboratoire haute tension de l'E.N.P , enfin une cinquième chapitre qui donne une présentation des resultats d'essais, et leurs interpretations.

MECANISMES DE DECHARGES DANS L'AIR

L'objet de ce chapitre est de présenter les mécanismes de décharges dans l'air aux chocs de foudre. On va présenter en premier lieu et brièvement les principaux mécanismes de décharges dans l'air, ensuite on va insister sur la décharge aux chocs de foudre.

1.1 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 présent dans le gaz acquièrent une énergie suffisante pour ioniser des molécules neutres. Au cours de leur déplacement, ils créent donc de nouveaux électrons susceptible à leur tour d'ioniser le gaz.

Cette première phase d'ionisation est dite processus α , où α est le premier coefficient de Townsend , qui est défini comme étant le nombre de chocs non élastiques sur un parcours de 1 cm. Pour entretenir la décharge une fois les agents extérieurs cessent d'agir, Townsend a défini un second coefficient dit γ qui représente le rapport du nombre d'électrons émis par la cathode au nombre d'ions positifs qui la bombardent.

Le maintien de la décharge se réalise une fois le critère suivant est rempli $(e^{\alpha d} - 1) \gamma > 1$. où d est la distance entre- électrodes .

La figure 1 qui représente la caractéristique courant-tension relate ce mécanisme .

1.2 Mécanisme des streamers :

Aux grands p.d le phénomène de décharge n'est plus celui proposé par Townsend. Selon Mesle, Raether et Loeb (2,3,4) , la décharge que se soit en champ uniforme ou pas, s'explique par la théorie des streamers.

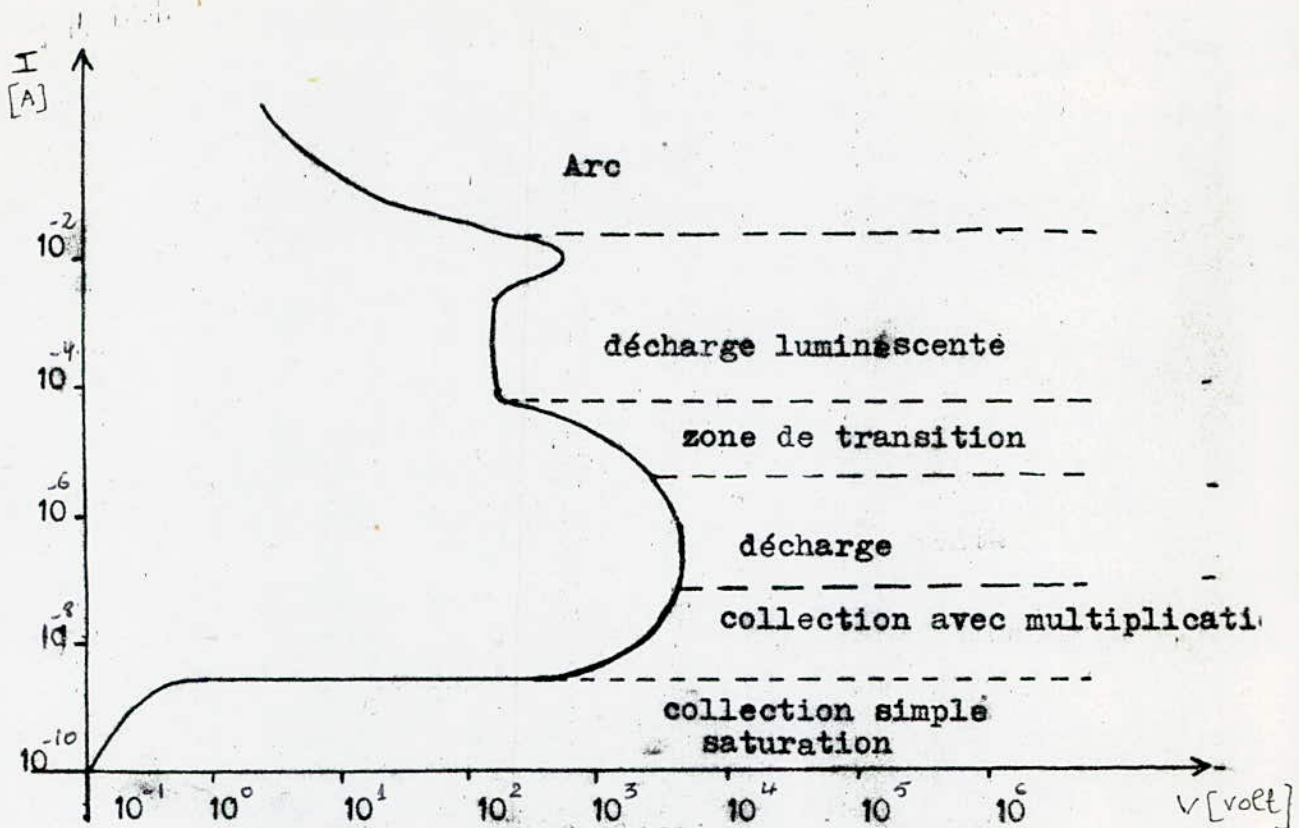


Fig 1

Caracteristique schématique d'une décharge gazeuse

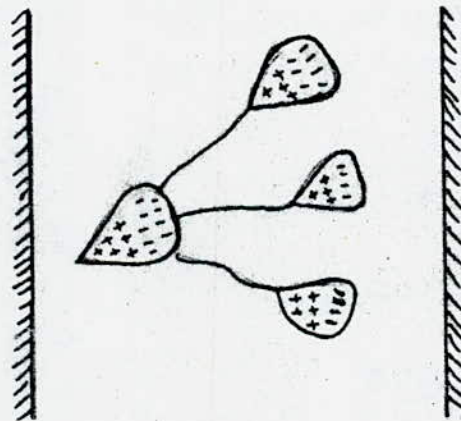


Fig 2

Formation d'avalanches secondaire
par photo-ionisation

Quand une avalanche présente une certaine taille critique, la combinaison du champ dû aux charges d'espace et du champ électrique appliqué conduit à une ionisation intense et à une excitation des particules de gaz autour de la tête d'avalanche. Une émission de photons peut avoir lieu et conduit à la formation d'électrons libres par le processus de photoionisation.

Sous l'influence du champ électrique, ces électrons vont produire d'autres avalanches. Comme ces photons se meuvent à la vitesse de la lumière, le processus conduit au développement rapide d'un canal de plasma à travers l'intervalle (fig 2). La condition qui assure le passage d'une avalanche au streamer est l'intensité du champ électrique, dû aux charges d'espace, qui doit être du même ordre de grandeur que le champ appliqué entre-électrodes .

1.3 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 (5) , on définit une tension de choc, comme étant une tension transitoire, aperiodique, unidirectionnelle de très courte durée, qui sans oscillations appréciables, croît rapidement jusqu'à une valeur de crête puis décroît lentement jusqu'à zéro (fig 3) .

1.3.1 Amorçage en champ uniforme .

Le mécanisme de décharge dans l'air en champ uniforme aux tensions de chocs de foudre s'effectue de la même façon que pour une tension continue ou alternative (50HZ) . Etant donné que la tension disruptive en champ uniforme est indépendante de la forme de la tension appliquée, la décharge se produit presque instantanément, et le retard à l'amorçage est pratiquement nul.

.../...

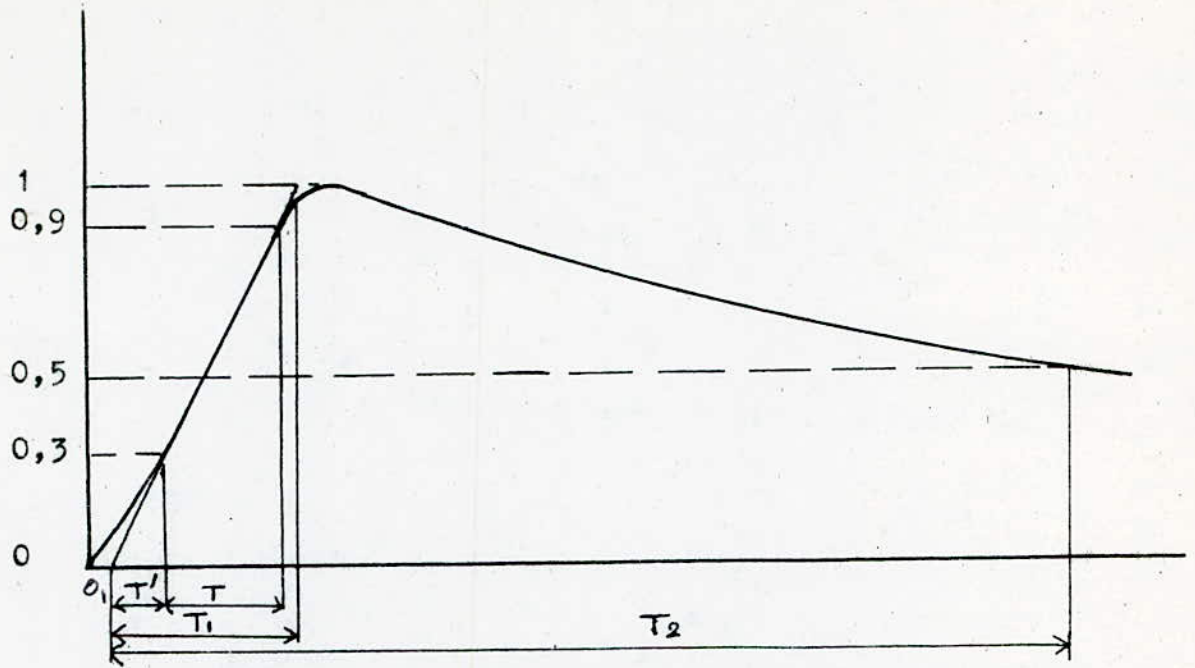


Fig 3 Choc de foudre plein

$$T_1 = 1,67T$$

$$T' = 0,3T_1 = 0,5T$$

O_1 : origine conventionnelle

T_1 : dureé conventionnelle du front.

T_2 : dureé conventionnelle jusqu'a la mi-valeur de l'amplitude.

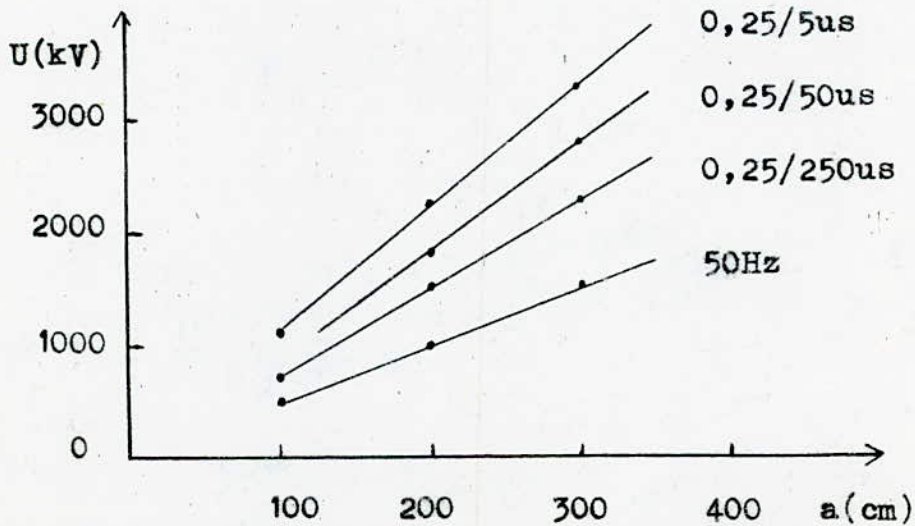


Fig 4 Tension minimale de l'etincelle pour de differentes forme d'onde.

1.3.2 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.

En champ divergent , il se produit un retard à l'amorçage* de l'uniformité . Pour une distance entre-électrodes donnée, la tension disruptive est plus grand pour une tension de choc que pour une tension continue ou alternative (50HZ)(fig 4).

Il s'est révélé que dans certaines conditions, l'humidité retarde l'amorçage et augmente la tension disruptive. Selon Kuffel (6) , l'amélioration de la tenue diélectrique de l'air en présence de vapeur d'eau est la même qu'en présence des gaz électronegatifs, et est qualitativement imputable à la perte d'électrons libres par attachement et à l'absorption des photons par la vapeur d'eau .Récemment N.L.ALLEN. et D.DRING (7) ont étudié l'influence de l'humidité sur l'apparition de l'effet couronne. Ils ont remarqué que la tension d'apparition de l'effet couronne augmente avec l'humidité, ceci est expliqué par la réduction de charges au niveau de la couronne (fig 5) .

Des études qui ont été faites, ont montré l'influence de la polarité sur le processus de développement de la décharge (fig 6) .Ceci nous conduit à présenter les processus de décharges des deux cas séparément .

A/ Pointe positive :

Il a été difficile de définir précisément le développement de la décharge, cependant avec l'utilisation des figures techniques de Lichtenberg (8) et plus récemment avec des dispositifs de haute sensibilité, il est devenu possible de comprendre les différentes étapes précédant la disruption sous onde de choc . Ces observations ont montré que lorsque la pointe est positive, la première ionisation détectable est une branche de filaments dite streamer semblable à celle observée dans le cas de champ uniforme pour les grandes valeur de p.d. Si le niveau de tension croit les canaux vont croître en longueur et en nombre (Eggen).

* qui sera d'autant plus grand que le champ s'éloigne davantage

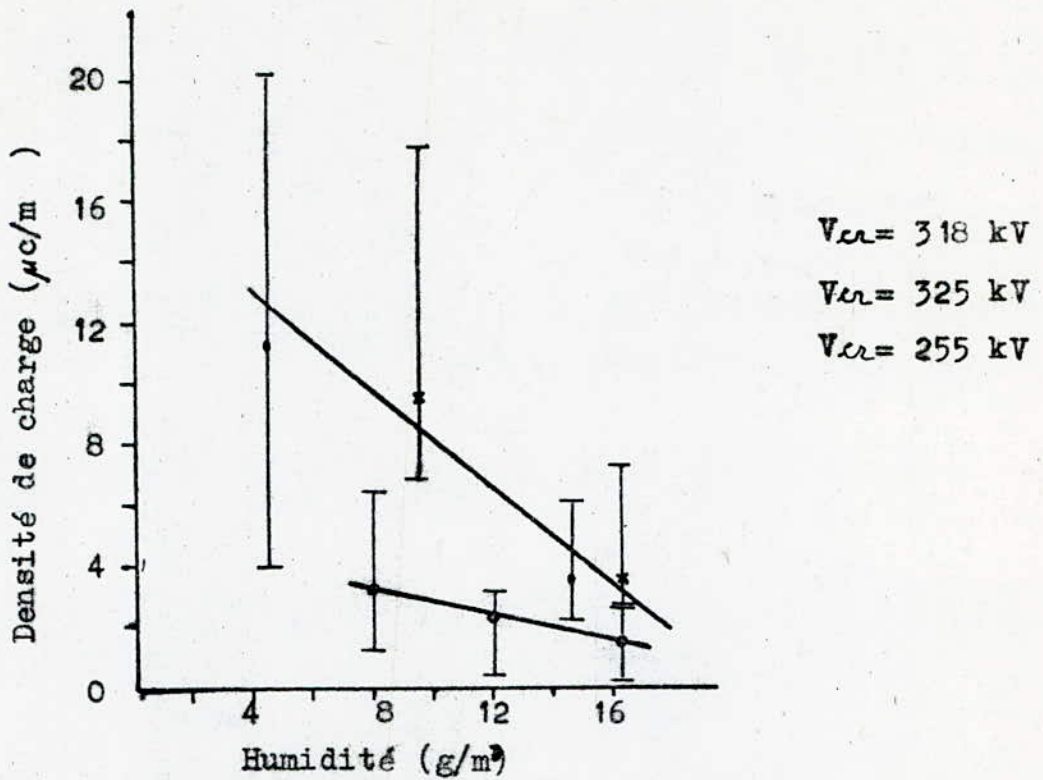


Fig 5. Variation de la densité de charge mesurée au plan. Tension appliquée 1/50µs Tension de crete

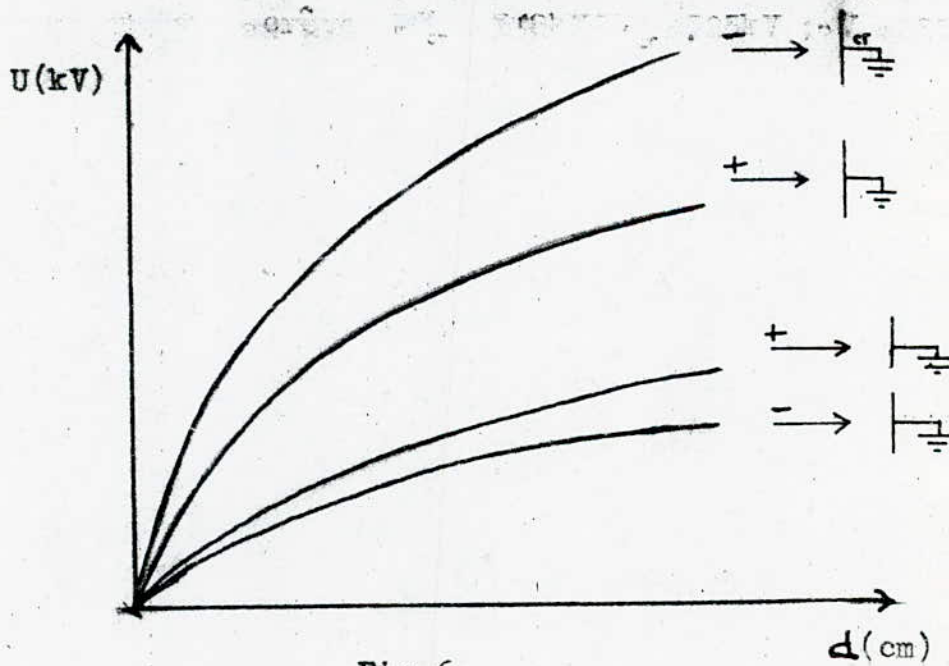


Fig 6

Influence de la polarité sur l'apparition de l'effet couronne et la disruption

Les principales phases qui composent la décharge sous tension de choc positive dans les petits intervalles d'air pointe-plan ont été étudiées par de nombreux chercheurs. Selon le degré de la non uniformité du champ électrique dans l'intervalle, la décharge se fait de manière directe (effet couronne -leader) ou de façon indirecte (première couronne-zone sombre-deuxième couronne-leader)

(9) .

-1/ Amorçage : indirecte

Une impulsion d'effet couronne apparaît lorsqu'un premier électron est accéléré par le champ électrique, provoquant une ionisation par choc qui conduit à la formation d'une avalanche. Du fait de la grande mobilité des électrons, une charge d'espace positive reste en arrière lorsque les électrons se dirigent rapidement vers l'anode. Le champ électrique au niveau de l'anode se trouve réduit (fig 8 a), alors que plus loin, il est augmenté. Cette réduction empêche toute ionisation ultérieure, et par conséquent retarde le passage de cette avalanche au streamer. La taille minimale qui décide si ce passage est possible est définie par un certain nombre d'électrons produit quand l'avalanche atteint la surface de l'électrode pointue. Ce nombre minimum de porteurs de charges présent à la tête du streamer rend sa propagation stable.

Dans les configurations où le champ électrique est très divergent, la charge d'espace est suffisante pour réduire de façon significative le champ électrique.

Le rétablissement de ce champ dépend de la vitesse d'accroissement de la tension, et de la vitesse de dissipation de la charge d'espace. Tant que ce rétablissement n'est pas effectif aucun processus d'ionisation ne peut être détecté dans l'intervalle. La durée qui s'écoule entre le moment où le champ est réduit et son rétablissement est dite période sombre.

Pour les configurations intermédiaires, la période sombre disparaît et le canal du leader commence à se former à l'anode. Si cette période sombre existe, la naissance du leader est précédée d'un deuxième effet couronne qui se compose généralement d'un grand nombre de filaments très fins, par comparaison à ceux de la première couronne.

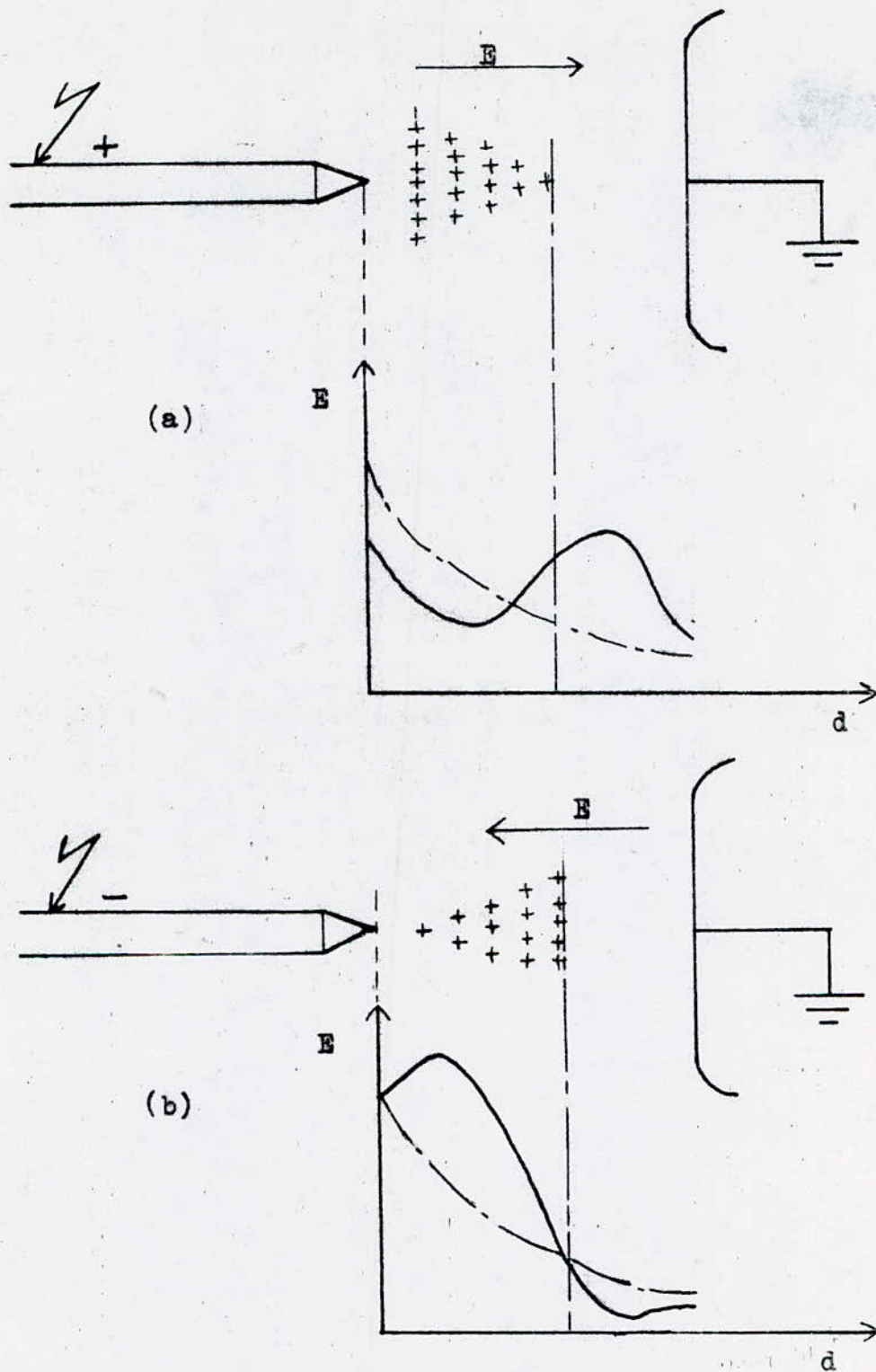


Fig 8

Influence de la charge d'espace sur la distribution du champ électrique.

- - - - - Champ sans charge d'espace
- Champ avec charge d'espace

Le leader se propage dans une direction faisant un certain angle avec la direction du champ électrique appliqué . Sa vitesse de propagation dépend de la géométrie de l'intervalle, et de la tension appliquée. Sa luminosité est généralement faible. La propagation du leader est assurée par l'ionisation de l'air autour de sa tête. Ce mécanisme maintient le courant de décharge pendant le développement du leader. En s'approchant suffisamment du plan, sa vitesse ainsi que le courant de décharge augmentent, et le chemin de l'étincelle est complètement établi (fig 7)

2/ Amorçage directe

Si les streamers de la couronne atteignent la cathode, du fait, de la grande intensité du champ électrique ambiant, des processus d'émission secondaires peuvent avoir lieu et conduisent à la neutralisation de la charge d'espace. Le canal du leader commence à se former à l'anode, et se dirige vers la cathode. L'étincelle s'établit une fois le leader touche le plan .

B/ Pointe négative :

La charge d'espace positive conduit à une forte augmentation du champ électrique près de la pointe, et à une diminution de ce champ plus loin (fig 8 b) . L'effet couronne se trouve alors favorisé (fig 6), tandis que la disruption totale mettra un temps de retard, plus grand par comparaison à la polarité positive, qui dépendra essentiellement du temps de retablissement du champ. Les streamers de l'effet couronne croissent en longueur, et en nombre. Ils se dirigent vers l'anode, à ce moment des streamers positifs prennent naissance à l'anode . La décharge finale aura lieu quand les deux leaders se rencontrent (fig 9)

1.4 Temps de retards :

Pour que le processus de disruption commence, un électron germe doit être présent pour déclencher une avalanche. Pour les tensions lentement variables, des électrons germes créés par les rayons cosmiques et la radioactivité naturelle sont en quantité suffisante pour déclencher le processus α .

.../...

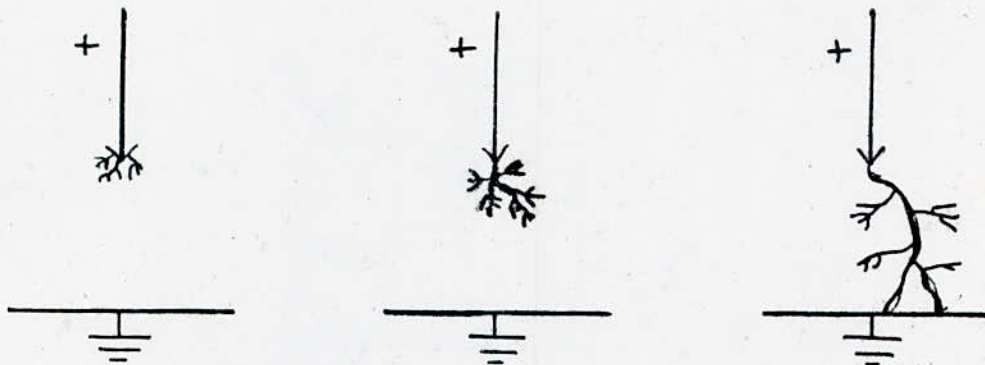


Fig 7

Illustration schématique du processus de développement de la décharge sous onde de choc positive

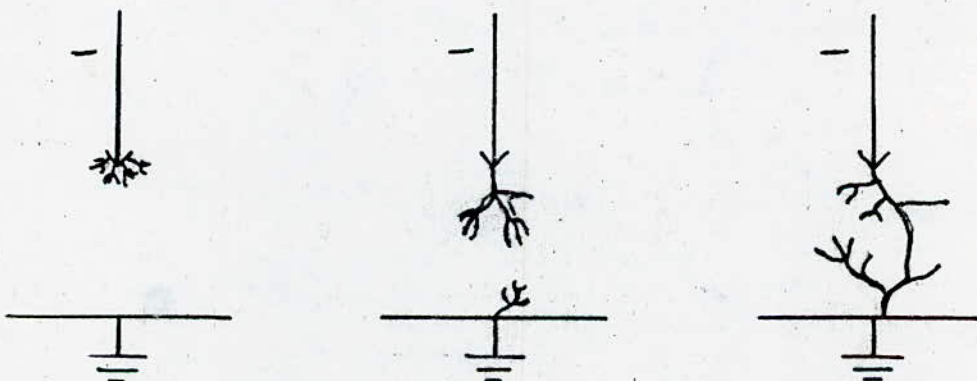


Fig 9

Illustration schématique du processus de développement de la décharge sous onde de choc négative

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 .

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 se compose de deux périodes, l'une est le temps nécessaires à l'apparition du premier electron libre qui va déclencher une avalanche, et est connu sous le nom de temps de retard statistique t_s (fig 10) ; l'autre est le temps qui s'écoule entre le debut de la décharge et la disruption totale, et est connu sous le nom de temps de formation de la décharge .

Le temps de retard statistique depend de la préionisation dans l'intervalle, de la distance inter-electrodes, de la surtension(V_p-V_s) (fig11) et des photons emis par les electrons primaire dont l'apparition est aléatoire . Pour reduire le temps de retard statistique, des techniques utilisant des radiations artificielles (ex U.V) sont adoptées. Ces techniques permettent aussi d'avoir la disruption pour un seuil de tension désirée. Le temps de formation t_f depend essentiellement du mecanisme de developpement de la décharge en question. Dans le cas où la totalité des electrons provient d'une emission de la cathode (processus γ) , le temps de transit de l'anode vers la cathode est le facteur prépondérant qui determine le temps de formation, le temps de formation augmente avec la distance inter-electrodes, et diminue avec l'augmentation de la surtension (V_p-V_s) (fig 11).

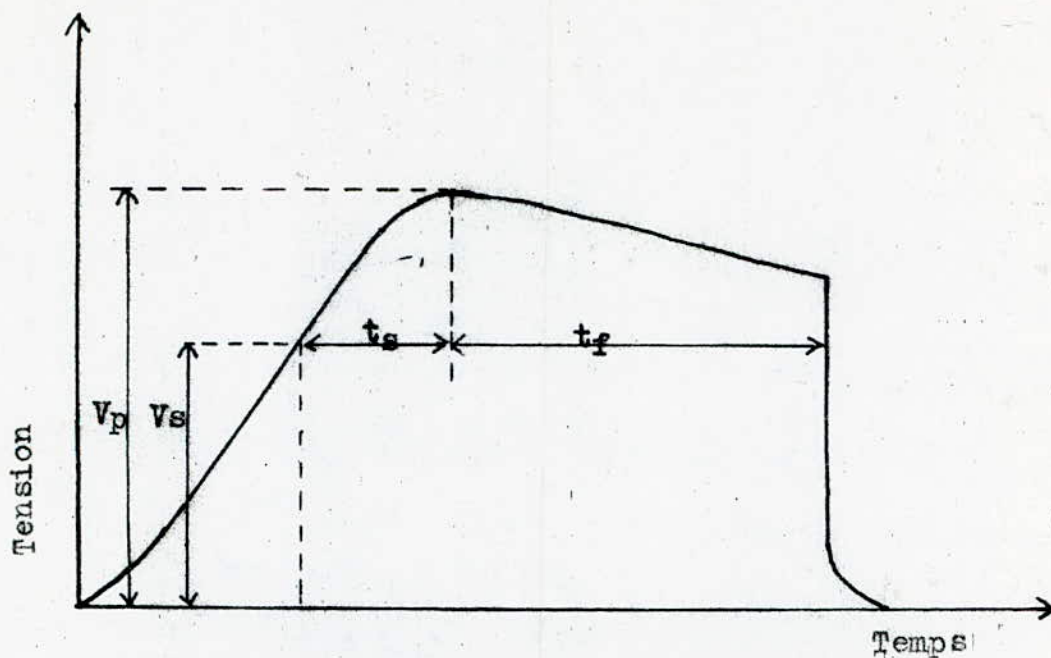


Fig 10 Disruption sous onde de choc

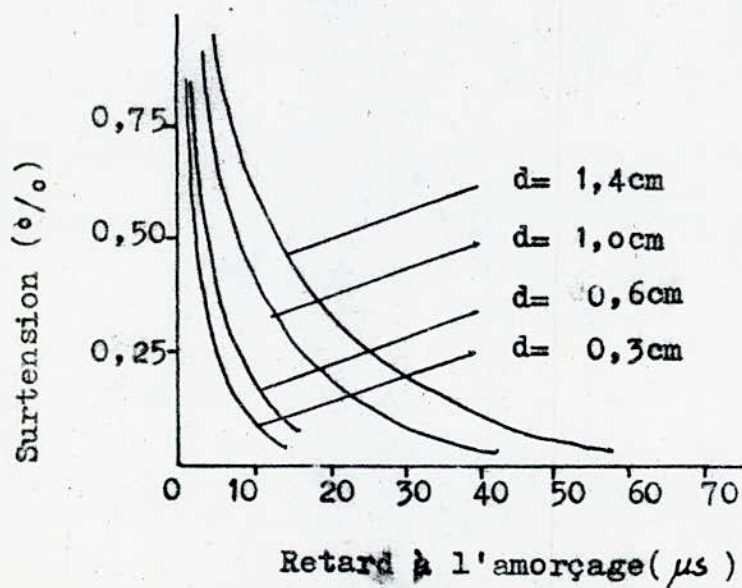


Fig 11. Retard à l'amorçage en fonction de la surtension pour quatre distances entre-electrodes .

C H A P I T R E 2

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

Un des moyens pour augmenter la tension disruptive consiste dans l'emploi des minces barrières isolantes. Cette idée est déjà ancienne, elle fut remarquée pour les petits intervalles d'air vers les années 1920 par C.P. Steinmets(10), et entre pris par la suite par d'autres chercheurs.

D'après les études 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 dielectrique et sa resistivité superficielle .

Vers les années 1930 E.MARX(11,12) montra que la présence d'une barrière isolante modifie la repartition du champ électrique, et provoque une amélioration notable quand l'écran est placé près de la pointe positive. Quant à la pointe négative, la présence de l'écran est pratiquement sans effet.

Ces résultats ont été confirmés par H. ROSER (13,14) 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 pointe, 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; dans le cas contraire, il peut même y avoir une diminution de la tension disruptive. Cette constatation a été confirmée par N.F. Wolochenko et M.P. Verma(15,16,17,-18) . Selon J.M. Meek et M.M.C Collins (19) 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(20) a vérifié que la rupture a tension continue d'un intervalle d'air pointe positive-plan de 4 cm avec barrière, se fait en trois phases: il y a la rupture de l'intervalle pointe-barrière en premier lieu suivi par le contournement de cette dernière, et en fin la rupture de l'intervalle 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(21) et complétées par H. Remde (22,23) qui a orienté ces recherches vers l'influence des éléments du circuit d'essais. Remde a étudié aussi, de même que J. Pilling(24,25) 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 steamers 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-electrodes. En 1981 Takchiko Hirano(26,27) 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 40 cm. Il a trouvé que la tension 50 % de décharge disruptive pour les chocs de foudre positifs ~ 50 kV dépend de la position et des dimensions de l'écran. Dans le cas d'une polarité négative, la barrière est pratiquement sans effet.-

Pour un intervalle d'air pointe-pointe de 20 cm avec une barrière de 40 cm 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 et 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 la tension du même intervalle d'air sans barrière. Des essais ont été effectués avec deux barrières de 20 cm placées dans le même sens de la largeur perpendiculairement à l'axe de la pointe. L'influence de la distance qui les separe a été examinée. Quand cette distance tend vers zéro, la tension $U_{50\%}$ est égale à (76 \div 93) % la tension avec une seule barrière. En utilisant une caméra ultra rapide et la méthode des tensions de chocs coupés, Takchiko a observé les processus de développement de la décharge dans l'air dans les configurations citées plus haut, avec barrière, et avec les deux types de polarités. Le développement des steamers positifs et du leader est empêché par la charge d'espace positive accumulée sur la surface de l'écran. L'angle solide des décharges positives à l'électrode pointue est plus important avec barrière que celui observé sans barrière.

Le type de la décharge dépend essentiellement du rapport $2L/a_1$ (où $2L$ 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 / 28 / ont étudié l'arrangement avec barrière et son circuit équivalent pour de différents cas (propre, pollulée, 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 particulièrement, 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 intermédiaires. 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/29/ 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 20 cm 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 proches 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 diminuer. 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. D'autres recherches dans ce domaine ont été faites par J. Kedzia et autres /30/ . Ils ont conclu que les facteurs principaux aux quels est liée l'influence de l'écran sont :

le degré d'ionisation de l'air dans l'espace limité par la surface de l'écran, les charges déposées sur la surface de la barrière et la neutralisation de la charge d'espace durant les différentes phases de développement de la décharge disruptive .,

Pour les grand et moyens intervalles d'air (supérieur à 50 cm), les premières recherches qui furent réalisées vers les années 1950 par V.S. Komelkov et A.M. Lifchits /31/, et O. Solka et H. Norinder/32/

.../...

concernaient les mécanismes de décharge. Les premiers ont étudié l'influence de la barrière isolante sur le développement de la décharge disruptive, alors que les seconds sur l'apparition des décharges préliminaires. En 1973 R. Finsterwalder (33) a étudié l'influence des écrans isolants sur l'amorçage aux chocs de manoeuvres des intervalles d'air pointe-sphère. L'augmentation est notable quand l'écran est près de la pointe. En fonction de la position de l'écran dans l'intervalle et de la durée de front des chocs de manoeuvres, Finsterwalder a déterminé les distances critiques qui marquent la transition des petits intervalles d'air pour les que la décharge se fait par étapes et les grands intervalles d'air ou la décharge se fait de manière directe. En 1977 M. Darvenisa et B. Holcombe (34) ont présenté leurs travaux concernant l'influence d'une barrière isolante sur la rigidité diélectrique de l'air au choc de foudre et de manoeuvres pour des intervalles d'air point plan longs de 3m. Ils ont constaté que l'augmentation est obtenue quand la pointe est positive. En 1978 T. Sakai et autres (35) ont présenté à la cinquième conférence internationale sur les décharges dans le gaz, leurs travaux concernant la distribution de la densité de charge le long des streamers positives sur la surface de l'écran isolant. En tenant compte des différents paramètres aux quels est lié l'emploi des barrières. Jakubowski (36) a montré vers l'année 1980 que la décharge, pour les moyens intervalles d'air, s'effectue par étapes ou de façon directe. Les étapes de décharge dépend de la position de la barrière. B. Hülzler et P. Sireau (37) ont étudié quelques propriétés des intervalles d'air contenant des électrodes flottantes intermédiaires afin de prévoir la durée de vie des

installations à haute tension. Ils ont trouvé pour les intervalles d'air pointe-plan que les tensions de chocs positives sont plus sévères que les chocs négatives. Pour une polarité positive, la diminution de la tension disruptive est importante pour les grandes électrodes intermédiaires. La réduction maximale de la tension est obtenue à la position 40% du côté de l'anode, la tension disruptive est de 85% fois la tension disruptive de l'arrangement sans électrodes intermédiaires. Une formule empirique a été adoptée pour l'évaluation de la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive.

$$U_{50\%} \text{ (kV)} = k \cdot \frac{3400}{1 + 8/d(m)} \quad ; \quad k = 1 + \frac{0,6 h}{h + d}$$

ou h : distance entre-électrodes

d : hauteur net ($h - e$) ; e : épaisseur de l'électrode intermédiaire.

Tenant compte des études déjà faites par les différents auteurs cités ci-dessus et des résultats obtenus par L. Boutlendj en 1984 à l'E.N.P, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'influence des dimensions des barrières isolantes sur les phénomènes de décharges aux chocs de foudre positifs, des intervalles d'air pointe-plan.

Les paramètres importants qui feront l'objet de notre travail seront:

- la position de l'écran entre les électrodes .
- l'épaisseur de l'écran.
- la largeur de l'écran.

CHAPITRE 3

STATION D'ESSAI DE CHOC D'UN LABORATOIRE H.T

Les perturbations dans les réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique sont fréquemment due à deux sortes de tensions transitoires dont l'amplitude dépasse excessivement la tension de service. La première est la tension de choc de foudre qui résulte des surtensions d'origine atmosphérique, la seconde est la tension de choc de manoeuvre qui provient lors de la mise d'une ligne sous ou hors tension. De telles surtensions sont très dangereuse pour les différents systèmes d'isolation, ce qui nous mène à les produire au laboratoire à l'aide du générateur de choc afin de faire des essais de tenue sur les différents systèmes d'isolation avant de pouvoir les mettre en service.

3.1 - Générateur de choc :

Pour pouvoir produire l'onde de choc, plusieurs montages ont été proposés.

Parmi eux on trouve :

- 1°/ Montage A.E.G.
- 2°/ Montage Jeumont.
- 3°/ Montage de Marx.

Tous ces montages se basent sur le même principe. Pour pouvoir expliquer le mode de fonctionnement de ces générateurs on se réfère au schéma du montage de principe. (fig .12.)

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 repartit entre les circuits $R_1 R_2 C_2$ et $R_2 C_1$, il apparaît alors aux bornes de C_2 une onde de tension ayant une forme très proche d'une onde de choc. Cette

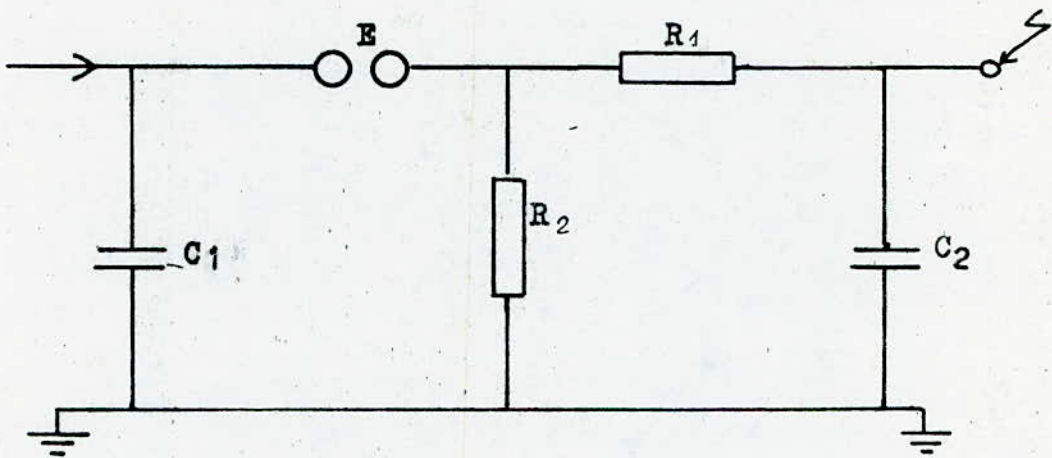


Fig 12

Schéma de principe d'un generateur de choc.

C_1 : Condensateur de choc.

C_2 : Condensateur de charge.

R_1 : Resistance serie.

R_2 : Resistance parallele.

E : Eclateur de couplage.

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

En pratique et pour des tensions supérieures à 300 KV , on utilise les montages proposés précédemment. Le montage qui nous intéresse dans notre étude est celui de E. Marx .

Montage de Marx :

Pour soulever les difficultés rencontrés dans le générateur à un seul étage , en 1923 Marx (37) proposa l'emploi d'un montage multiplicateur où un nombre de condensateurs se chargent en parallèles, et se déchargent en séries .

Les condensateurs C_1 se chargent successivement et relativement vite. Quand les éclateurs s'amorcent, chaque condensateur C_1 se décharge à travers la résistance R_s et pour l'étage supérieur à travers les deux résistances R_s et R_{se} .

Etant donné que la résistance de charge R_1 est suffisamment grande devant R_p le courant dans cette branche est négligé . Les tensions qui apparaissent aux bornes de R_p s'ajoutent grâce aux résistances séries R_s , pour faire apparaître une tension au sommet du générateur égale à la somme des tensions de chaque étage .

Les figures (13 et 14) illustrent les parties actives lors de la charge et la décharge .

3.2 Circuit de mesure de choc à haute tension :

La plupart des circuits de mesure de choc à haute tension consistent en un diviseur de tension, un oscillographe , un voltmètre de crête, des conducteurs à haute tension, des câbles de mesure à basse tension ainsi que des circuits de retour à la terre, et une résistance d'amortissement à haute tension peut être aussi utilisée.

3.2.1. Diviseur de tension :

Un diviseur de tension est un élément prévu pour fournir une fraction de la tension d'essai permettant la mesure. Il se compose habituellement de deux impédances branchées en série aux bornes desquelles la tension est appliquée. L'une d'elles , le bras haute

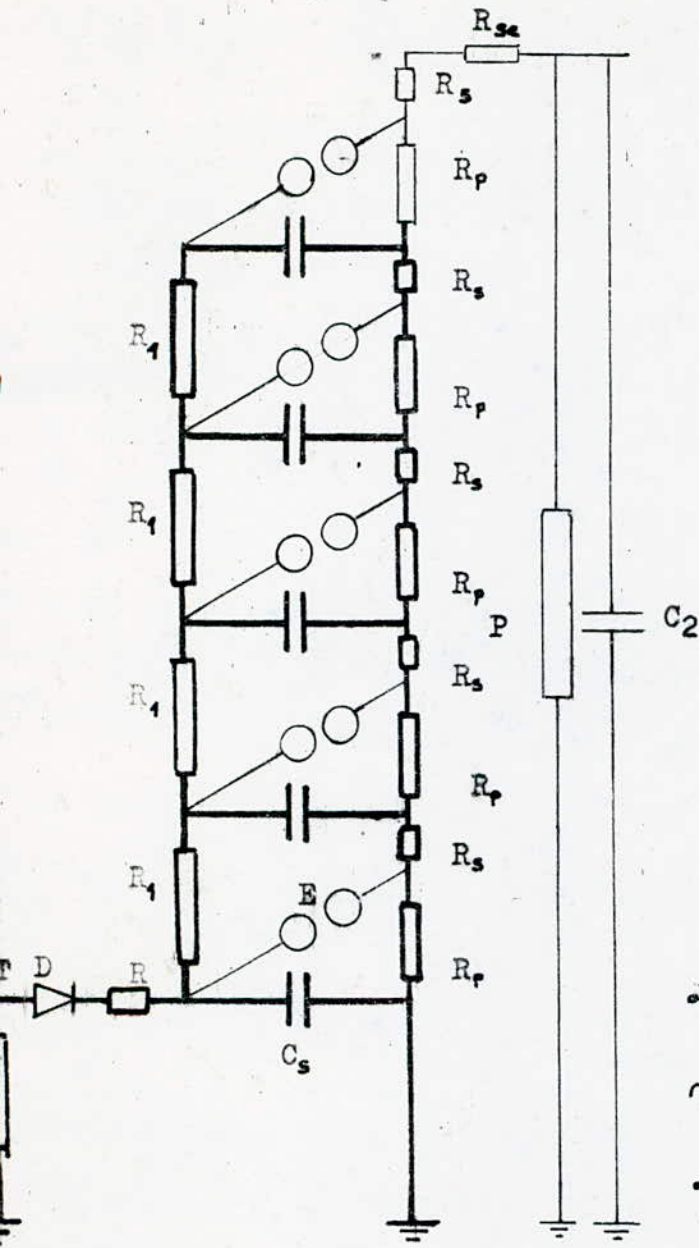


Fig 13
Charge d'un générateur
de choc de type Marx

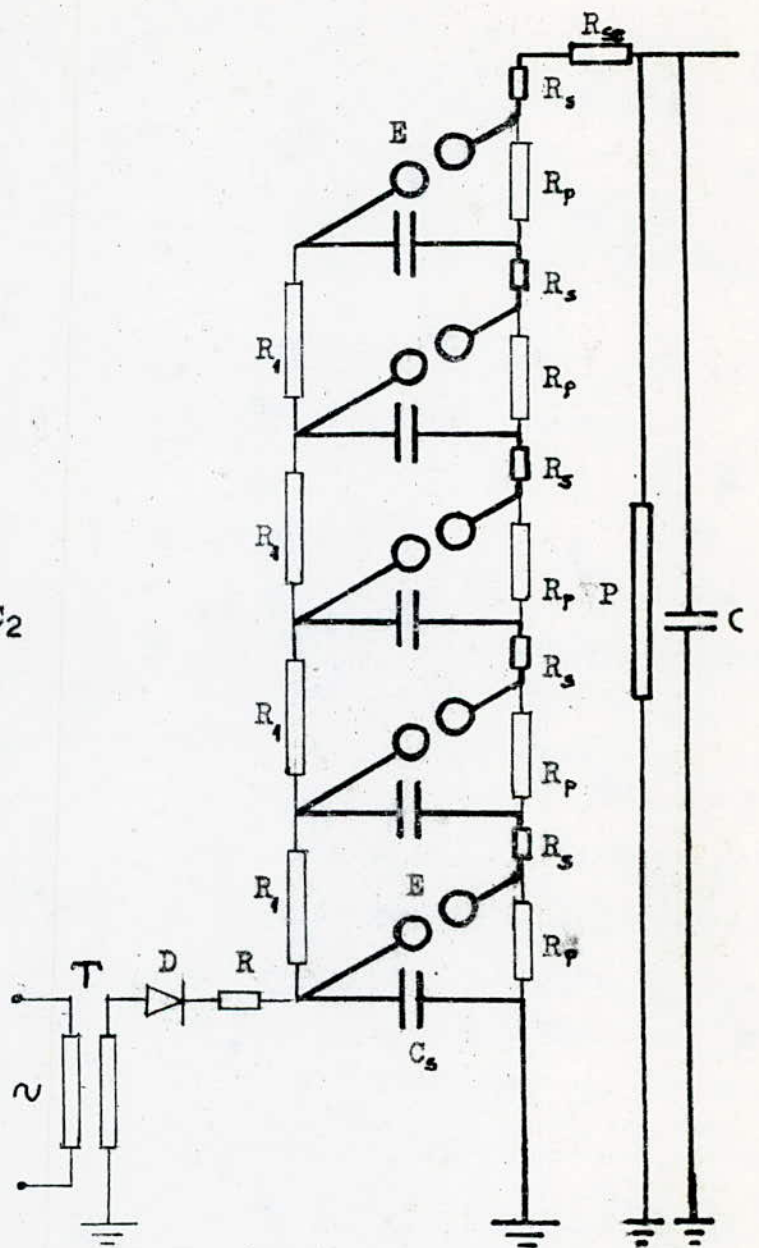


Fig 14
Décharge d'un generateur
de choc de type Marx

Les parties actives sont représentées
en traits plein.

support la plus grande fraction de la tension aux bornes, le bras basse tension, est utilisée pour la mesure . Les constituants des deux bras sont habituellement des résistances ou des condensateurs ou leurs combinaisons . On définit alors .

- A - Diviseur résistif
- B - Diviseur mixte
- C - Diviseur capacitif .

A - Diviseur résistif :

Il se compose de deux résistances, l'une connectée à la borne haute tension et ayant une valeur très élevée, l'autre de valeur faible connectée à la masse .

L'inconvénient , c'est que ce type de diviseur présente des capacités parasites entre la colonne haute tension et la terre - ce qui va introduire des erreurs de mesure. Pour réduire ce phénomène plusieurs solutions ont été proposées (38 ? 39) , parmi elles on trouve l'utilisation d'une résistance répartie le long du diviseur d'une façon non linéaire. Une autre solution consiste à maintenir la résistance à une valeur aussi faible que possible sans trop charger le circuit générateur et en utilisant des électrodes de blindage à l'extrémité haute tension du diviseur. Ces électrodes fournissent un chemin capacitif pour charger les capacités parasites par rapport au sol .

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 manoeuvre à cause de très grande dissipation de l'énergie .

B - Diviseur mixte :

Pour réduire l'effet des capacités parasites au sol, on connecte des capacités longitudinales en plusieurs points de la résistance de tel façon que ces capacités longitudinales seront plus importante devant les capacités parasites transversales. Donc on aura dès la première instant du choc , une répartition capacitive égale à la répartition résistive .

Malgré cet avantage, ce type de diviseur présente un inconvénient du fait de la grande capacité du diviseur qui modifie la forme de l'onde .

.../...

C - Diviseur capacitif :

Ce type de diviseur est adopté aux tensions de chocs de manoeuvre .

L'inconvénient reside dans les inductances parasites du bras basse tension qui provoquent des oscillations de valeurs élevés surtout dans les cas de choc à front raide. Ce qui nous oblige à utiliser des capacités spéciales dont dont l'inductance apparente vue du circuit de mesure s'annule .

Pour pouvoir reduire aussi l'effet des capacités parasites, on utilise une capacité de très grande valeur . L'amélioration de la précision est obtenue à l'aide d'un diviseur capacitif amortis qui est constitué d'un grand nombre de condensateurs et de résistances en serie réparties le long de la colonne .

3.2.2 Oscilloscope et voltmètre de choc .

Les oscilloscopes et les voltmètres pour la mesure des tensions de chocs doivent être blindés ou placés dans une cage de Faraday afin d'éviter les perturbations importantes qui se manifestent lors des essais. Pour les mêmes raisons, les signaux transmis par l'intermédiaire des câbles blindés .

Pour augmenter le rapport signal sur le bruit, ces câbles sont en général de quelques centaines de volts .

A - Oscilloscope de choc :

C'est un appareil qui permet de donner la forme de l'onde . Il est équipé d'un atténuateur , mais généralement pas d'amplificateur de déviation verticale . Les phénomènes enregistrés necessitent une vitesse de balayage de 10 à 100 ns/cm et ne sont pas répétitifs à moins de 1 s . L'oscilloscope doit avoir donc une vitesse d'écriture très élevée de (10 à 500cm/us) et , par conséquent, fonctionne avec des tensions de post- accélération élevées(10 à 20 KV).L'oscilloscope est déclenché par le phénomène ou bien, extérieurement par une impulsion crée soit par une antenne placée près du générateur de choc, soit par l'automatisme du générateur .

.../...

B -- 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. Son principe de fonctionnement est le suivant :

Un condensateur se charge à travers une diode proportionnellement à la valeur de crête de la tension de choc à mesurer. La charge emmagasinée est alors mesurée à l'aide d'un amplificateur ayant une impédance très élevée. Les voltmètres de choc modernes utilisent des éléments actifs afin d'augmenter la précision de mesure qui atteint $\pm 1\%$ actuellement .

C H A P I T R E 4

STATION D'ESSAI DE L'E.N.P.

Dans ce chapitre nous donnons quelques renseignements sur l'équipement de la station de choc du laboratoire de l'E.N.P ainsi que la méthode utilisée pour calculer la tension disruptive $U_{50\%}$.

4.1 Equipement de la station d'essai 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 220V, 50HZ .

Cette prise alimente le générateur de choc par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement (1,2 KVA , 220/220V , 50HZ) .

4.1.1 Générateur de choc :

Ce générateur de choc est basé sur le principe de E. Marx . Il comporte huit étages, 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 μ F , 75KV)
- éclateur de couplage . (\emptyset 12,5 cm)

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

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

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 .

4.1.2 Diviseur de tension

Il est du type à résistances avec écrans de répartition du champ. La résistance haute tension est de 20 K Ω ., la résistance basse tension est de 73 Ω ..

4.1.3 Oscillographe cathodique :

CARACTERISTIQUES Techniques :

- Ecran : Plat métallisé de diamètre 130 mm
- Tension d'accélération : 14350V
- Vitesse de balayage maximale : 0,14 us /cm .
- Tension d'alimentation : 220 - 110 , 50HZ

4.2 Détermination de la tension disruptive moyenne : U_{50%}.

La tension U_{50%} de décharge disruptive fut calculer d'après DIXON et Moode(37) avec un intervalle de confiance de 95 % . Les valeurs mesurées ont été ramenées aux conditions normales de température et de pression selon la norme C.E.I 60-1 .

4.3 Arrangement pointe-barrière-plan .

L'arrangement pointe-barrière-plan est représenté à la figure 15 l'électrode pointue est constituée par un cylindre creux, en cuivre, de diamètre $\phi = 45$ mm et de longueur 1200 mm . Ce cylindre se termine par une pointe de forme conique faisant un angle de 30° . Le plan est une plaque en aluminium de forme carrée, de 1000 mm de côté. Il a été déjà vérifié au laboratoire de l'E.N.P qu'un tel plan permet d'avoir des résultats identiques à ceux obtenus avec un plan de 2000 mm de large .

.../...

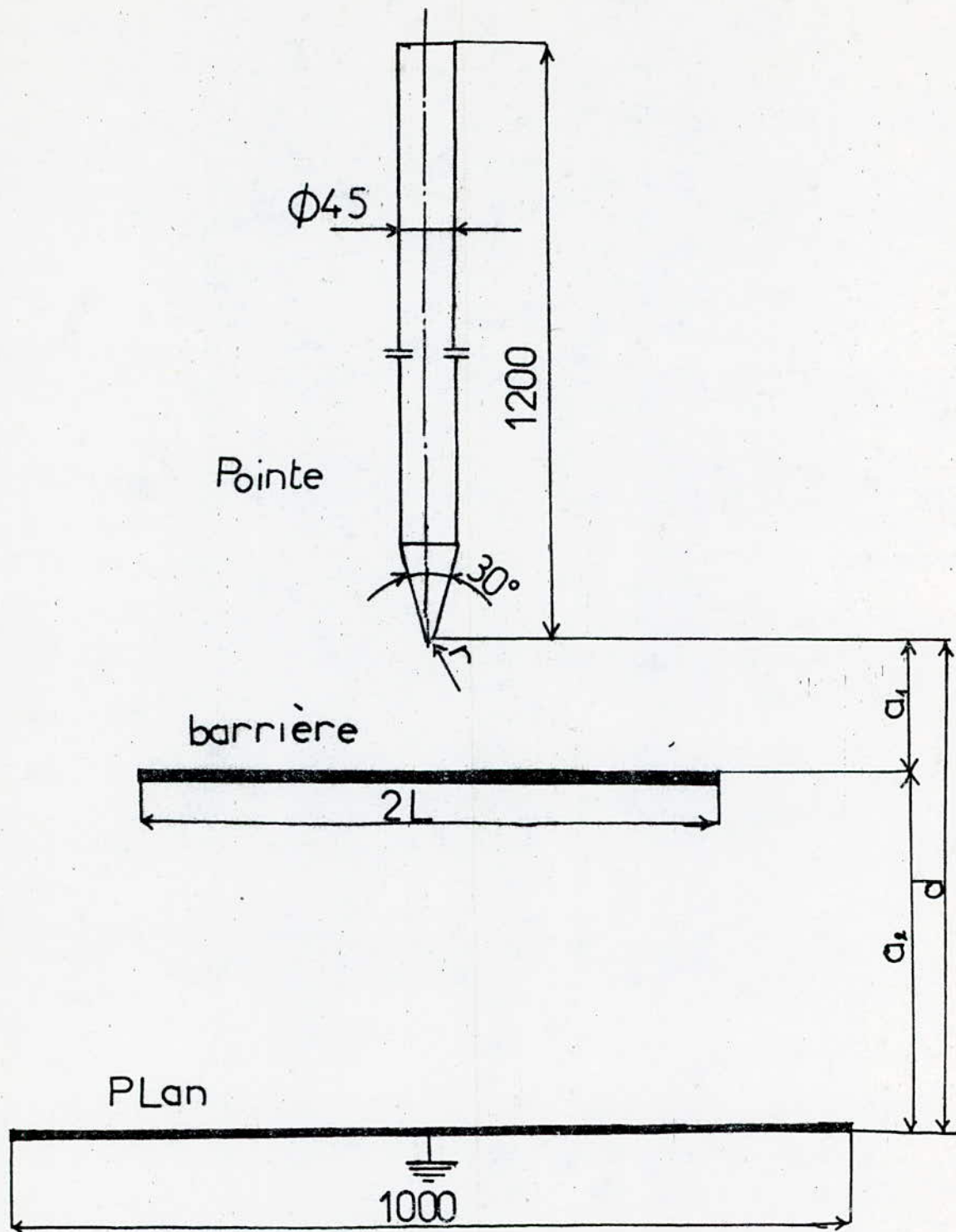


Fig 15
Arrangement pointe - barrière - plan

4.3.1 Choix des barrières .

Les barrières qu'on a utilisé, sont des plaques carrées en plexiglass de largeurs 10,20,30,40,50,60,70 cm et d'épaisseurs 2,5 et 8 mm

Les caractéristiques propres aux ecrans se trouvent dans le tableau 1

Epaisseur de l'éprouvette (mm)	Perte diélectrique tg $\cdot 10^{-2}$	Permittivité relative	Resistivité superficielle	Resistivité transversale	T, h	Tension U(V)
2	7,937	3,60	$2 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	21% 62%	500
5	7,913	3,52	$2,34 \cdot 10^{11}$	$4,1 \cdot 10^{12}$	21% 62%	500

Tableau 1 : paramètres des ecrans en plexiglass .

Les valeurs qui y sont indiquées ont été déterminées à partir d'essais effectués à la cablerie SONELEC du Gué de constantine, conformément aux normes en vigueur .

INTERPRETATION ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre, nous étudions séparément les différents paramètres qui influencent la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive ainsi que l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières

5.1 Influence de la position de l'écran.

La barrière isolante de largeur "2L", et d'épaisseur "e" est suspendue à l'aide de quatre fils en laine, en restant parallèle au plan .

Pour étudier l'influence de la position de la barrière, on a choisi quatre distances entre-electrodes et six positions de l'écran vis à vis de l'électrode haute tension pour une largeur prise constante $2L = 50$ cm et une épaisseur de 5 mm . Les positions de l'écran sont définies à partir de la distance " a_1 " entre la pointe et la barrière. Cette distance prend différentes valeurs entre 0 et d. (d : étant la distance entre-electrodes)

Les distances a_1 choisies sont :

$$a_1 = 0, d$$

$$a_1 = 0,2 d$$

$$a_1 = 0,4 d$$

$$a_1 = 0,6 d$$

$$a_1 = 0,8 d$$

$$a_1 = 1 d$$

On suppose que l'épaisseur de l'écran est négligeable devant la distance inter-electrodes .

.../...

On remarque en premier lieu que la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive dépend d'une façon significative de la position de l'écran vis à vis de l'électrode pointue (fig 16) . Plus l'écran s'approche de l'électrode haute tension, plus la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive augmente. Elle atteint sa valeur optimale pour la position $a_1/d = 0\%$, c'est à dire quand l'écran touche la pointe. Ceci est vrai pour toutes les distances pointe-plan seule la distance $d = 10$ cm, qui atteint son optimum de tension à environ 20 % de la distance entre-electrodes, du côté de la pointe.

En plus , pour la distance $d = 10$ cm la différence entre les tensions $U_{50\%}$ de décharge disruptive pour les positions $a_1/d = 0\%$ et 20 % ne dépasse pas 10 KV . Ceci nous permet de dire que la position optimale se situe entre les positions $a_1/d = 0\%$ et 20 % , pour les petits intervalles d'air pointe-plan inférieurs ou égaux à 20 cm .

On remarque aussi que l'amélioration de la tension disruptive est de 270% pour la distance pointe-plan de 5 cm, et de 170% pour la distance entre-electrodes de 20 cm. Ceci est vrai dans le cas où l'écran est très près de la pointe. Pour les autres distances $d = 10$ et 15 cm , l'amélioration reste entre 170% et 270% (tableau 2)

On voit clairement que lorsque l'écran s'éloigne de la pointe, la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive de l'arrangement pointe positive - barrière-plan décroît, et tend vers la valeur de la tension du système sans barrière (fig 16)

.../...

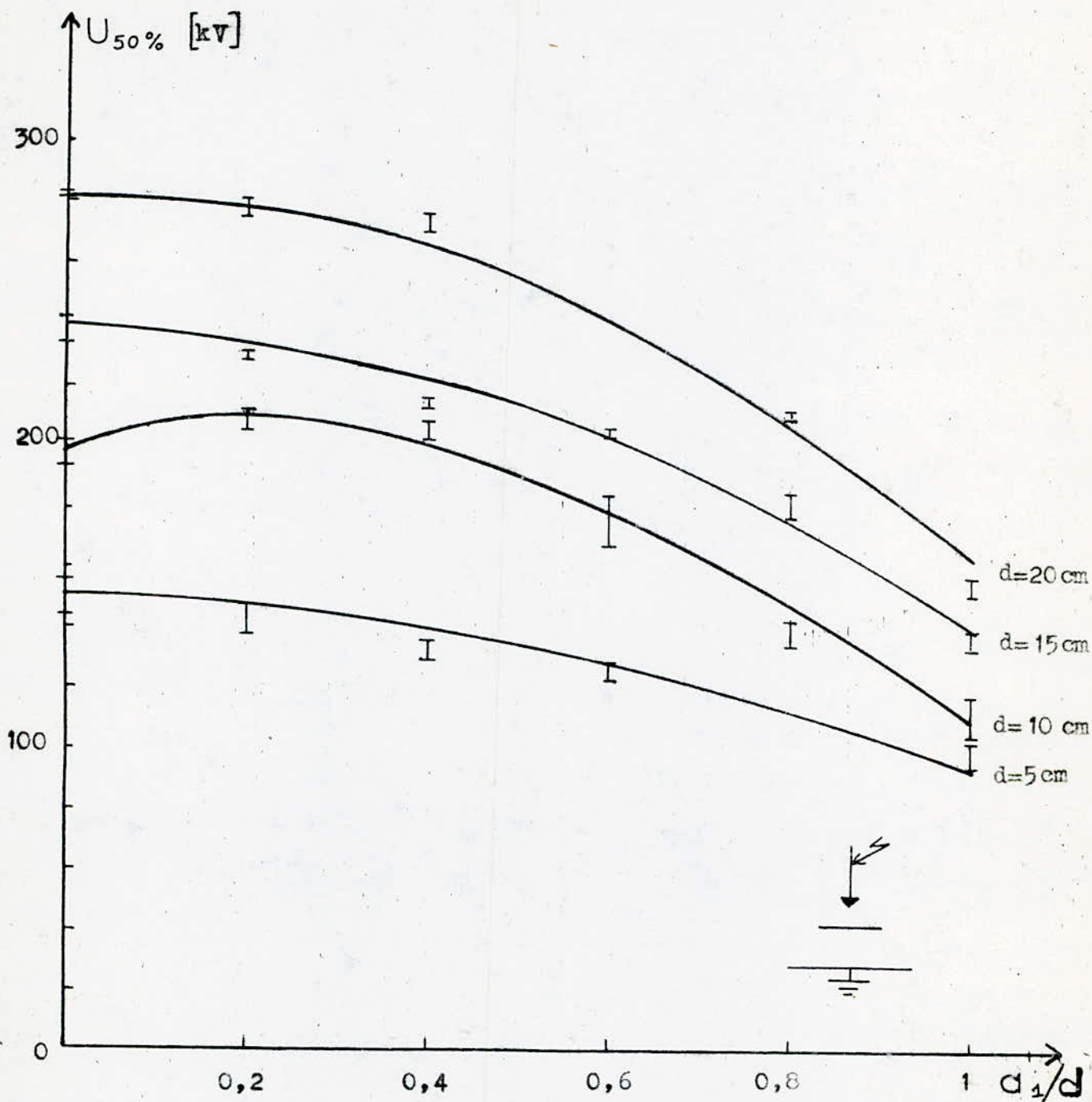


Fig 16 Tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive en fonction de la position d'une barrière de 50cm de large et de 5mm d'épaisseur.

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

Pour pouvoir expliquer le passage de l'optimum de la position $a_1/d = 0\%$ à 20% , on se réfère aux tableaux 3 et 4 qui donnent l'erreur commise lorsqu'on prend l'équivalence des systèmes pointe-plan avec et sans barrière. On remarque que pour les distances entre-electrodes supérieures ou égales à 15 cm, et pour les largeurs inférieures à cinq fois la distance pointe-plan, l'erreur commise est de quelques pourcent.

Ceci nous permet de dire que la décharge pourrait s'effectuer de manière directe pour toutes les positions a_1/d comprises entre 0% et 60% , et par conséquent, l'optimum est obtenu pour le chemin le plus long de la décharge. Ceci correspond bien à la position $a_1/d = 0\%$. Pour les distances entre-electrodes inférieures à 10cm, et pour les largeurs supérieures ou égales à cinq fois la distance entre-electrodes, l'erreur commise est de quelques dizaines de pourcent. Ceci nous permet de dire que la décharge ne se faisait que par étapes, indépendamment de la position de l'écran.

De ce fait, on constate qu'une relation entre la largeur et la distance entre-electrodes pourrait exister pour définir les types de décharges .

.../...

5.2 Influence de la largeur de la barrière .

Pour étudier la variation de la tension $U_{50\%}$ de décharges disruptives en fonction de la largeur de l'écran, on a pris une distance entre-electrodes de 10 cm, et une épaisseur de 5 mm pour deux positions de l'écran $a_{1/d} = 0\%$ et 20% . Les largeurs ainsi utilisées sont : $2L = 10, 20, 30, 40, 50, 60,$ et 70 cm.

On remarque aisément que la tension $U_{50\%}$ de décharges disruptives augmente avec la largeur d'une façon presque lineaire pour les largeurs inferieures à 50 cm (fig) . Ceci peut être expliquer, par le fait que l'écran joue le rôle d'un obstacle géometrique empêchant les ions positives de gagner la cathode, en s'étalant sur la surface de la barrière. Plus la largeur augmente, plus le nombre d'ions freinés devient de plus en plus important, -ce qui va engendrer alors une augmentation de la tension disruptive . Pour les largeurs superieures où égales à 50 cm l'augmentation devient de plus en plus faible.

Ceci peut être expliquer 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 de plasma.

5.3 Influence de l'épaisseur :

Pour étudier l'influence de l'épaisseur sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive, on a choisi trois épaisseurs $e = 2, 5$ et 8 mm pour une barrière de largeur constante $2L = 50$ cm , pour quatre distances entre-electrodes, et deux positions de l'écran $a_{1/d} = 0\%$ et 20% .

.../...

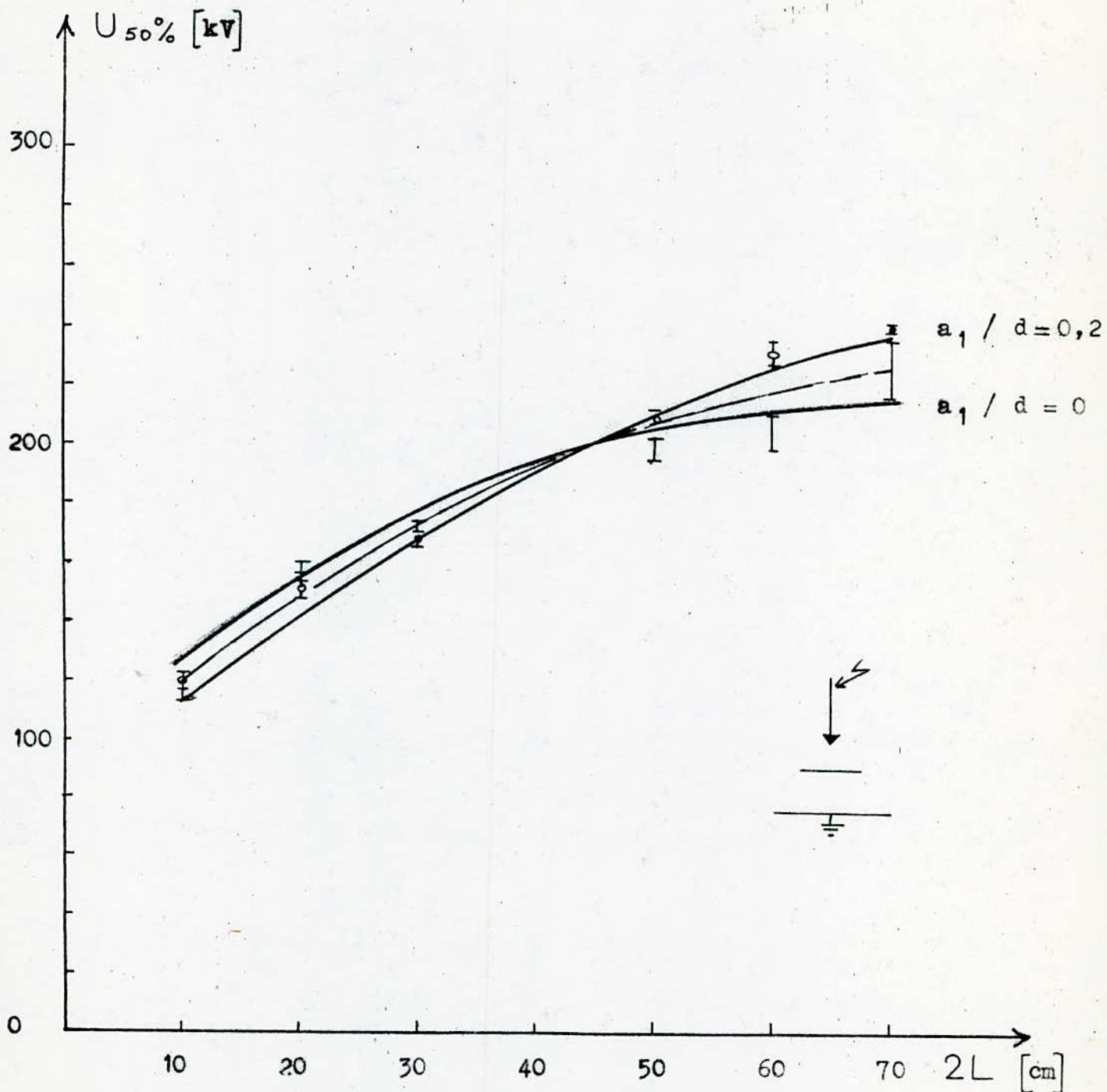


Fig 17 Influence de la largeur d'une barrière de 5mm d'épaisseur sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive d'un intervalle d'air pointe-plan de 10cm

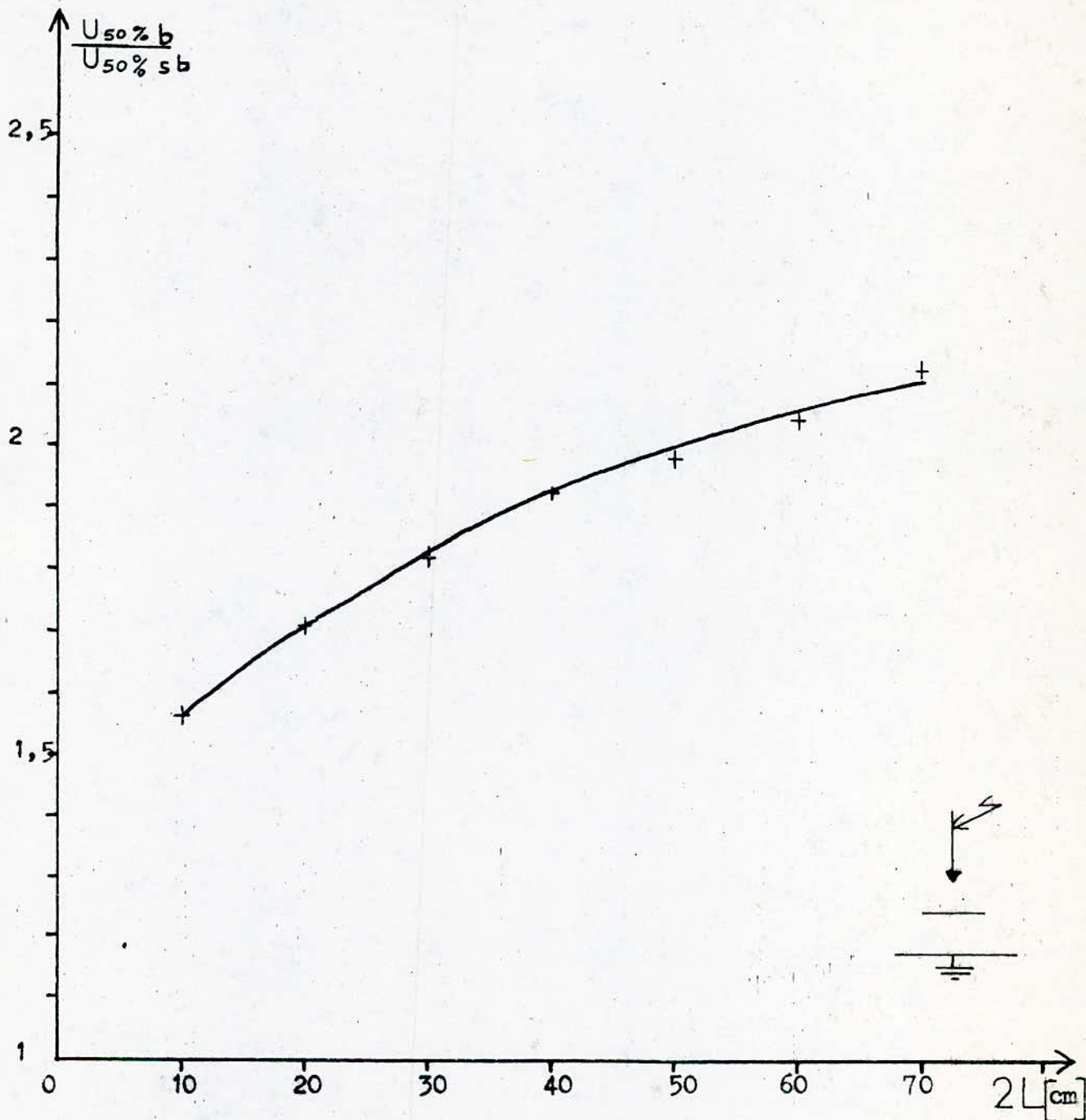


Fig 18 Rapport de la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive des systèmes pointe-plan avec et sans barrières.

On remarque en premier lieu que l'influence est surtout importante pour les faibles distances ($d \leq 5$ cm). Pour $d = 20$ cm nous constatons pour les deux positions étudiées que l'épaisseur n'a pratiquement aucune influence sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive. Pour les distances comprises entre 5 et 20 cm, l'influence de l'épaisseur diminue avec l'augmentation de la distance entre électrodes (fig 19, 20) ceci vérifie les résultats obtenus par J. Pilling (24). Selon J. Pilling, l'épaisseur allant jusqu'à 15 mm n'a pas beaucoup d'influence pour les intervalles d'air pointe-plan de 20 cm.

Le résultat qu'on peut tirer de cette étude, c'est que l'épaisseur a une influence considérable pour les petites distances ($d \leq 5$ cm) et que son effet diminue avec l'augmentation de la distance entre électrodes.

5.4 Equivalence entre les systèmes pointe-plan, avec et sans barrière

Pour pouvoir établir l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières, on se réfère aux tableaux (3 et 4) qui représentent les écarts existants entre les tensions du système pointe-plan ayant $d_{\text{géo}}$ comme distance entre électrodes et le système sans barrière ayant d comme distance entre électrodes ($d_{\text{géo}}$ étant calculée à partir de la formule suivante $d_{\text{géo}} = \sqrt{a_1^2 + L^2} + a_2 + a_2$). Le tableau 3 représente cette équivalence, pour de différentes distances entre électrodes $d = 5, 10, 15$ et 20 cm, pour une largeur de l'écran prise constante $2L = 50$ cm, et une épaisseur de 5 mm. La première remarque à faire est que l'erreur commise

.../...

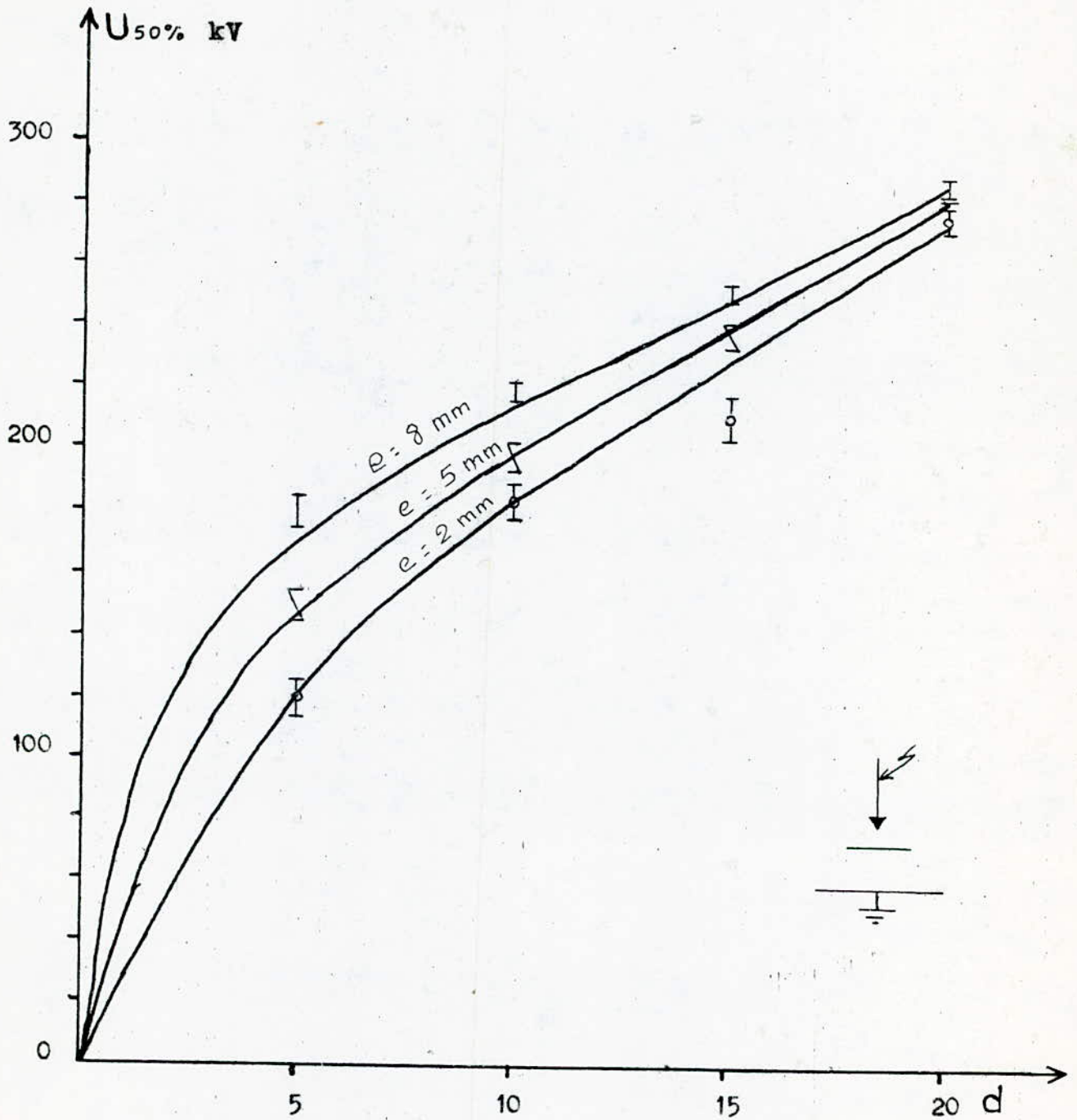


Fig 19 Influence de l'epaisseur d'une barrière de 50cm de largeur pour la position $a_1/d = 0$, sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive .

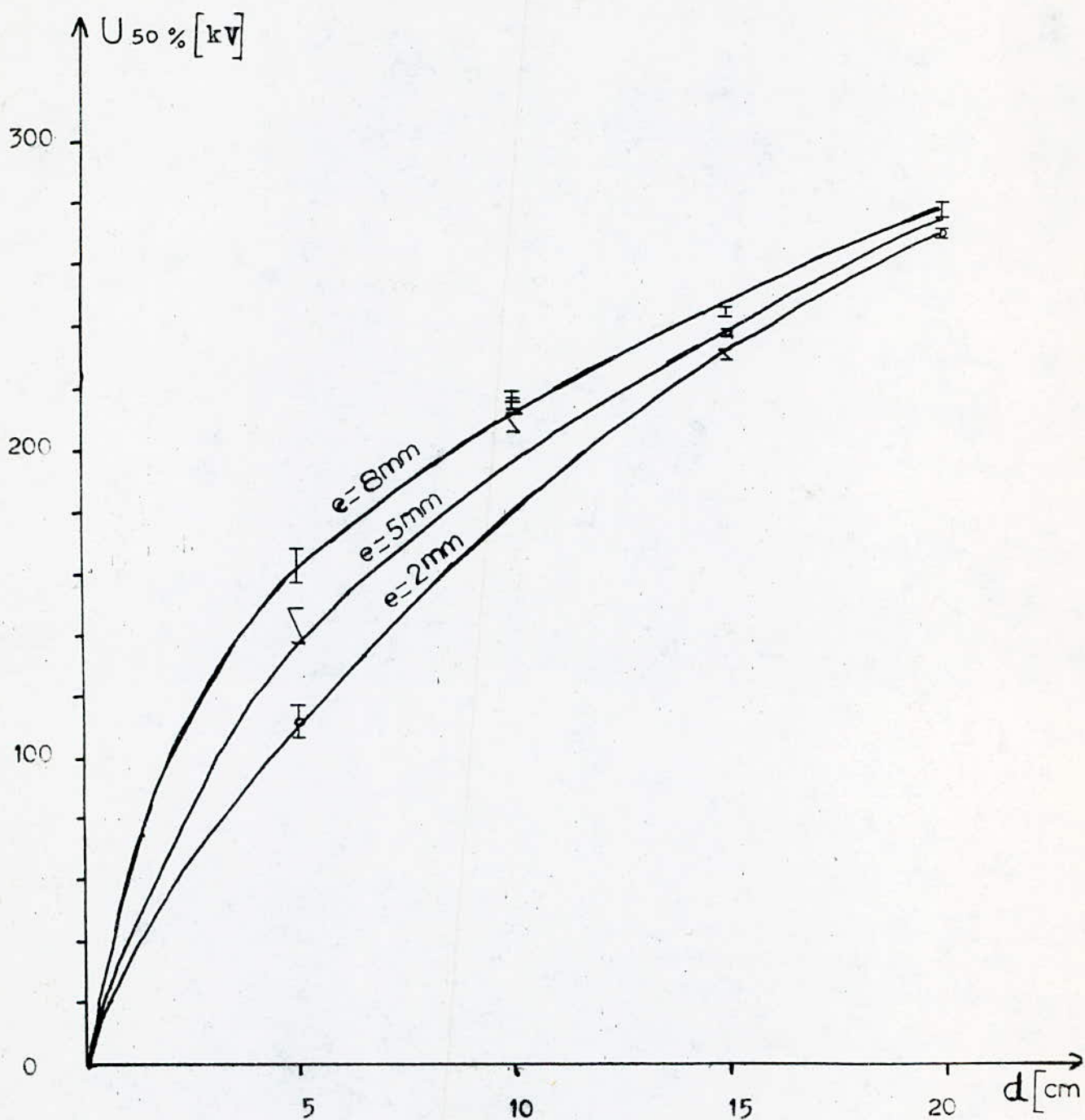


Fig 20 Influence de l'épaisseur d'une barrière de 50 cm de largeur pour la position $a_1/d = 0,2$ sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive.

diminue quand la distance entre-electrodes augmente.

Ceci est vrai pour toutes les positions de l'ecran entre electrodes supérieures où égales à 15 cm, alors qu'elle est de quelques dizaines de pourcent pour les distances pointe-plan inférieures à 15 cm . La cause principale de l'augmentation de l'erreur semble être les décharges glissantes, - ce qui nous permet de dire que pour les faibles distances entre- electrodes la décharge se fait par etapes. De ce fait l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières n'est plus vérifiée pour les petites distances. Pour les distances pointe-plan supérieures où égales à 15 cm l'équivalence entre les systèmes pointe-plan avec et sans barrières est vérifiée ce qui permettrait de confirmer que la décharge se fait de manière directe.

Le tableau 4 représente l'équivalence des systèmes pointe-plan avec et sans barrières pour les différentes largeurs $2L = 10, 20, 30-40, 50, 60$ et 70 cm, pour une distance entre -electrodes de 10 cm et un épaisseur de 5 mm , et pour deux positions de l'ecran $a_{1/d} = 0\%$ et 20% .

On remarque que l'erreur augmente avec la largeur de l'ecran. Ceci peut être expliquer par la facilité de l'apparition des décharges glissantes quand la largeur de l'ecran c roit.

Pour les largeurs supérieures où égales à 50 cm nous constatons que l'erreur commise diminue lorsque la position de la barrière passe de $a_{1/d} = 0\%$ à 20% . Ceci pourrait être expliqué par le fait que les décharges glissantes sont beaucoup moins favorisées à la position $a_{1/d} = 20\%$ qu'à la position $a_{1/d} = 0\%$.

.../...

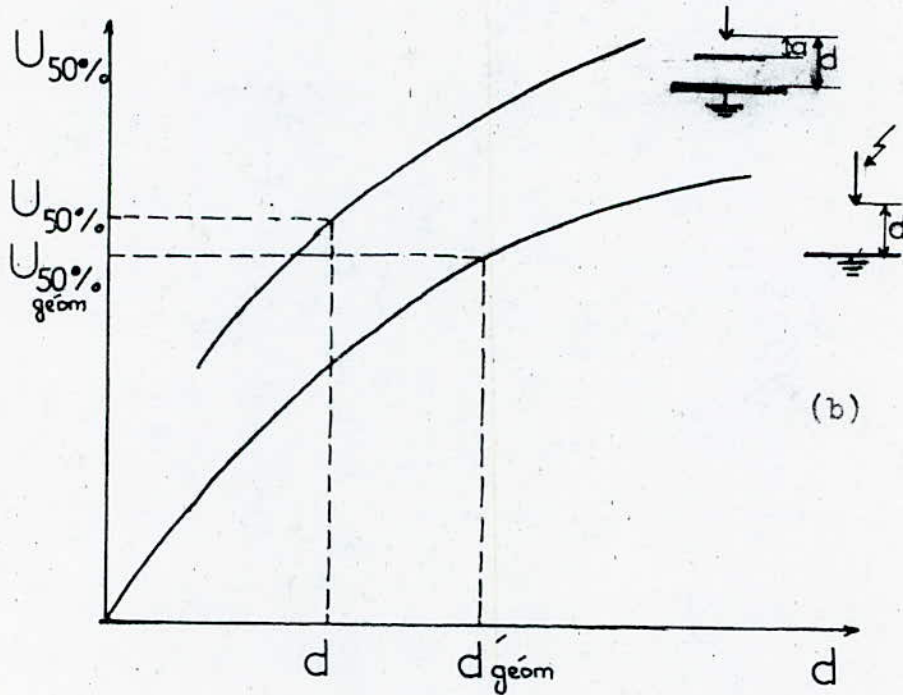
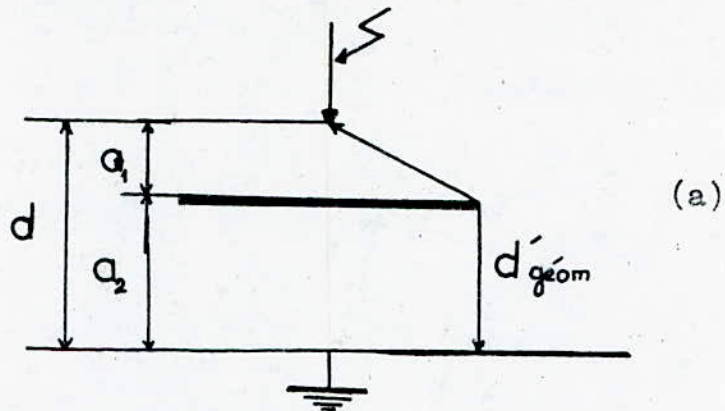


Fig 21

(a) Determination de la distance $d'_{\text{g\u00e9om}}$.

(b) Determination de la tension $U_{50\% \text{ g\u00e9om}}$.

5.5 Influence de la distance pointe-plan .

Pour etudier l'influence de la distance pointe-plan sur la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive, On a choisi quatre distances entre-electrodes 5,10,15 et 20 cm ; pour différentes positions de l'écran de largeur constante

On remarque en premier lieu que pour les distances $d = 5, 15, \text{ et } 20 \text{ cm}$, les courbes ont les mêmes allures c'est à dire que le maximum de la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive est pour la position 0 %, alors que la tension minimale est obtenue à la position 100 % .Par contre pour $d = 10 \text{ cm}$ la courbe change d'allure c'est à dire que le maximum est à la position $a_1/d = 20 \%$ (fig)

Pour une largeur constante et une position de l'écran constante, On remarque que la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive augmente avec la distance entre-electrodes.(fig),. Ceci peut être expliquer par l'allongement du canal de décharge quand la distance entre - electrodes augmente .

ser 402

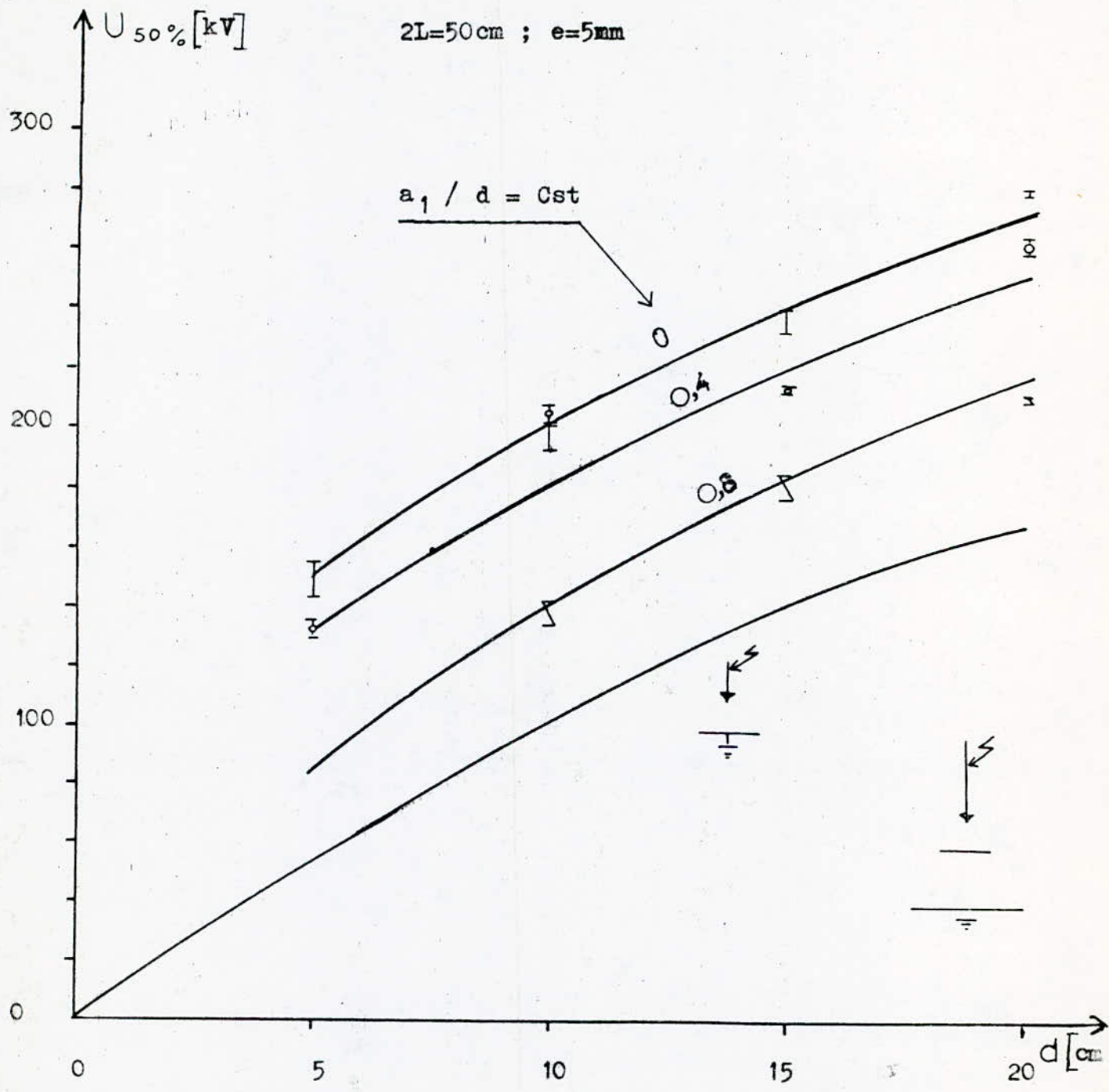


Fig 22 La variation de la tension $U_{50\%}$ de décharge disruptive en fonction de la distance entre-electrodes pour differentes positions.

C O N C L U S I O N S

1°/ Dans les intervalles d'air pointe-plan inférieurs ou égaux à 20 cm, pour les tensions de chocs de foudre 1,2 /50 us , la barrière isolante à surfaces propres joue en premier lieu le rôle d'obstacle géométrique provoquant l'allongement de la décharge, et par conséquent l'augmentation de la tension disruptive .

2°/ Les types de décharge dépendent essentiellement de la distance entre-electrodes, et de la largeur de l'écran isolant .

Pour les largeurs inférieures à cinq fois la distance entre-electrodes, la décharge pourrait se faire de manière directe, par contre pour les largeurs supérieures à cette valeur la décharge se fait par étapes .

3°/ La tension disruptive augmente d'une façon presque linéaire pour les largeurs inférieures à cinq fois la distance entre-electrodes . Pour les largeurs supérieures à cette valeur, l'influence de la largeur devient de plus en plus faible .

4°/ L'influence de l'épaisseur est beaucoup moins importante par comparaison à l'effet de la largeur, et de la position de l'écran ainsi que de la distance inter-electrodes .

.../...

Notre étude se base sur des résultats pratiques, vu que nous nous disposons pas de dispositifs photographiques, nous n'avons pas pu vérifier certaines résultats qu'ils nous apparaissent très intéressante pour définir l'optimisation des dimensions de l'écran. De ce fait, nous souhaitons qu'une étude sera faite à l'E.N.P concernant les relations qui peuvent exister entre la largeur, la position de l'écran et la distance entre-electrodes pour définir les types de décharges ?

Tableaux 1 : influence de la position de l'écran,
 $d = 5 \text{ cm}$ $2L = 50 \text{ cm}$ $e = 5 \text{ mm}$

$a_1/d(\%)$	0	20	40	60	100
$U_{50\%}(\text{KV})$	150	143	133	126	99
$\Delta U(\text{KV})$	6	5,5	3	3	4

$d = 10 \text{ cm}$

$a_1/d(\%)$	0	20	40	60	80	100
$U_{50\%}(\text{KV})$	198	209	206	175	139	113
$\Delta U(\text{KV})$	4	3	3	7	4	5,5

$d = 15 \text{ cm}$

$a_1/d(\%)$	0	20	40	60	80	100
$U_{50\%}(\text{KV})$	238	231	215	206	182	137
$\Delta U(\text{KV})$	4	1,5	1,5	1,5	4	3

$d = 20 \text{ cm}$

$a_1/d(\%)$	0	10	20	40	80	100
$U_{50\%}(\text{KV})$	282	280	278	264	212	155
$\Delta U(\text{KV})$	1,5	3	3	3	1,5	3

.../...

Ta bleau 2 :

d(cm)	a/d(%)	0	20	40	60	80	100
5	k	2,7	2,6	2,4	2,3		1,8
10	k	1,9	2	2	1,7	1,4	1,1
15	k	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1
20	k	1,7	1,65	1,6		1,3	1

$$k = \frac{U_{50 \% \bar{d}}}{U_{50 \% 5b}}$$

.../...

Tableau N° 3

Equivalence entre le système pointe-plan avec barrière et sans barrière . 2L = 50cm : e = 5 mm

d (cm)	a ₁ /d(%)	d'geom (cm)	U _{50%} geom (kV)	U _{50%} (kV)	d graph (cm)	ε (%)
5	0	30	217	150	17	44
	20	29	212	143	16	48
	40	28	208	133	14	56
	60	27	200	126	13	58
	100	25,5	197	99	9,7	99
10	0	35	240	198	25,7	21
	20	33	232	209	28,3	11
	40	31	222	206	27,3	7,8
	60	29,7	216	175	21	23,4
	80	28,2	209	139	14,7	50,3
	100	26,9	202	113	10	78,8
15	0	40	260	238	36,3	9,2
	20	37	249	231	34,3	7,8
	40	34	239	215	29,7	11,1
	60	32,6	230	206	27,3	11,6
	80	30,7	220	182	22,3	20,9
	100	29,1	212	137	14,3	54,7
20	0	45	266	282	51,7	5,7
	20	41,3	255	278	50	8,2
	40	38,2	246	264	44,3	6,8
	80	33,7	229	212	29	8,0
		100	32	223	155	17,3

$$\epsilon = \frac{|U_{50\% \text{ geom}} - U_{50\%}|}{U_{50\%}} \times 100$$

.../...

Tableau 4 : Equivalence entre le système pointe-plan
avec barrière et sans barrière. $d=10\text{cm}, e=5\text{mm}$

$2L(\text{cm})$	$a_1/d(\%)$	d'_{geom} (cm)	$U_{50\% \text{ geom}}$ (kV)	$U_{50\%}$ (kV)	ε (%)
10	0	15	138	115	20
	20	13,4	127	119	6,7
20	0	20	167	158	5,7
	20	18,2	159	150	6
30	0	25	195	171	14
	20	23,1	185	167	10,8
40	0	30	217	191	13,6
	20	28,1	208	192	8,3
50	0	35	240	198	21
	20	33	232	209	11
60	0	40	258	204	26,5
	20	38	250	230	8,7
70	0	45	280	226	23,9
	20	43	270	240	12,5

.../...

Tableau : 5 Influence de la largeur
 $d = 10 \text{ cm}$, $e = 5 \text{ mm}$

2L (cm)		10	20	30	40	50	60	70
$a_{1\%=0}$	$U_{50\%}(\text{kV})$	115	158	171	191	198	204	226
d	$\Delta U(\text{kV})$	1,5	1,5	1,5	1,5	4	6	10
$a_{1\%=20}$	$U_{50\%}(\text{kV})$	119	150	167	192	209	230	240
d	$\Delta U(\text{kV})$	3	3	3	1,5	3	4,5	1,5

Tableau : 6 Rapport de la tension $U_{50\%}$ avec barrière et
sans barrière $d=10\text{cm}$, $e = 5 \text{ mm}$

$a/d(\%)$	2L(cm)	10	20	30	40	50	60	70
0	k	1,1	1,5	1,7	1,9	1,9	2	2,2
20	k	1,2	1,5	1,6	1,9	2	2,2	2,3
kmoy		1,15	1,5	1,65	1,9	1,95	2,1	2,25

$$k = \frac{U_{50\%} b}{U_{50\%} s b} \cdot ; \quad k_{\text{moy}} = \frac{k_{0\%} + k_{20\%}}{2}$$

.../...

Tableau 7 :

Influence de la distance entre-electrodes .

$2L = 50 \text{ cm}$; $e = 5 \text{ mm}$.

d(cm)	14	27	39,5
$U_{50\%}$ (kV)	133	202	259
ΔU (kV)	3	3	3

.../...

Tableau 8 : Influence de l'épaisseur

a) $2L = 50 \text{ cm}$; $a_1/d \% = 0$

d (cm)		5	10	15	20
e = 5mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	120	184	211	276
	$\Delta U (\text{kV})$	6	5,5	7	4
e=5mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	150	198	238	282
	$\Delta U (\text{kV})$	5,5	4,5	4	1,5
e =8mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	180	219	252	287
	$\Delta U (\text{kV})$	5,5	3	3	3

b) $2L = 50 \text{ cm}$; $a_1/d \% = 20$

d(cm)		5	10	15	20
e= 2mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	112	215	238	270
	$\Delta U (\text{kV})$	5,5	1,5	1,5	1,5
e=5 mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	143	209	231	278
	$\Delta U (\text{kV})$	5,5	3	1,5	3
e= 8mm	$U_{50\%}(\text{kV})$	163	218	245	270
	$\Delta U(\text{kV})$	5,5	1,5	1,5	3

B I B L I O G R A P H I E

- (1) - J.S. Tawsend . Electricity in Gases . Oxford , 1914 .
- (2) - J.M. Meek , phys. Rev 57 , 1940 . p 722 .
- (3) - H. Raether . Electron avalanches and Breakdown in gases . Butterworths , LONDON , 1964 .
- (4) - L.B . Loeb and J.M. Meek. The mechanism of electric spark . Stanford University Press, 1940 .
- (5) - C. E. I. 60-2 (1973) . Techniques des essais à haute tension deuxième partie : Modalité d'essais".
- (6) - Kuffel and M.M. Abdullah "High Voltage Enginnering, Pergamon Press , 1970 .
- (7) - N.L. Allen AND D. Dring Effet of humidity on the properties of corona in a rod-plane gap under positive impulse voltages. Proc . R. SOC. LOND. A 396,281-295(1984).
- (8) - G.W. Trichel. Phys. Rev 55 (1939) , P. 382 .
- (9) - Electra CIGRE N° 23 Janvier 1984 .
- (10) - A. Roth : Hochspannungstechnik , Berlin 1927 p 11 B .
- (11) - E. Marx : Der Durchschlog der luft im unhomogenen elektrischen Feld bei Verschiederren.Spannungsaarten E.T.Z H33, 1930 p 1161 .

.../...

- (12) - E. Marx : Der elektrische Durchschlag von luft im unhomogenen Feld" . Arch.Elek Bd24 1930.p 61.
- (13) - H. Roser : Schirme zur Erhöhung der Durchschlagsspannung in luft E.T.Z H17, Bd 53 1932 p 411 .
- (14) - H. Roser : "Dünne Schirme im raumladungsbeschwertem Entladungsfeld zum Zwecke der Erhöhung der Durchschlagsspannung Und Begrenzung der Trägerströme in luft "
Dissertation , T.H. Braunschweig 1930 .
- (15) - N.F. Wolochtschenko :
"Influence des écrans sur la rigidité diélectrique des différents intervalles d'amorçage d'air " /en Russe /
Elektritschestwo , nr 3 , 1946 , p.21.
- (16) - N.F. Wolochtschenko :
" Problèmes relatifs au mécanisme de ...
l'effet de l'écran "
Elektritschestwo , nr 6 , 1947 , p.61.
- (17) - M.P. Verma :
"Durchschlagsspannung und Durchschlagvorgang für die Anordnung Spitze-platte mit Schirm".
Dissertation , T.U. Dresden 1961 .

.../...

- (18) - M.P. Verma :
"Die Schlagweite - Spannungs- Kennlinien für
Spitze- platte mit Schirm bei positiver stors
spannung " .
Wiss . Zeit . der TU Dresden H1 ,1961, p.111.
- (19) - J.M. Meek et M.M.C. Collins :
"Measurment of field changes preceding impulse
breakdown of rod-plane gaps".
Proc . of the 7 th int . conf. on Phenomena i
in Ionized Gases , vol 1 , Beograd 1966,
p. 581 .
- (20) - N.N. Tikhodeev :
"Effet of an incomplet barrier in electrical
discharge "
Soviet Physics Tech.Phys.,2, 1957, p. 385 .
- (21) - M. Abou Alia :
" Ein Beitrag zum storsdurchschlageiner
Spitze- Platte - Funkenstrecke mit isoliers-
schirm" .
Dissertation , T.H Stuttgard , 1966 .
- (22) - H. Remde :
" Storsdurchschlageiner spitze -Platte- Funkens-
trecke mit Isolierschirm "
Dissertation , TU Stuttgart 1969 .

.../...

(23) - H. Remde et H. Boecker :

"Voltage-current characteristics during propagation of a surge breakdown of a point-to - platte gap with insulating barrier "

I E E E trans.vol. Pas 9*: nr 1 , 1972
p. 271 .

(24) - J Pilling : Luftisolierung mit isolier stoff barrier en u
Verkleidungen bei wechschspannung "
Dissertation, TU Dresden , 1968 .

(25) - J. Pilling " isolier stoff barrier en zur Erhöhung der
Durchschlagwechsel spannung von inhomogenen
Luft funkenstrecken "
Elektrie 23, H.11 , 1969 , p. 463 .

(26) - Takehiko Hirano " The barrier . Effects on the propagetic
of discharge in the air gaps
(Voltage- Time characteristics)
Octobre 2 , 1981 .

(27) - Takehiko Hirano " Observations of the development processe
of the discharges in the air gaps with
insulating barrier arrangements
(January 13 , 1982).

National DEFENCE Academy (Japneese)

- (28) - M. Awad , E. El - Sharkawi , M. Hegazi , H.SAID , F.FARID
Modelling of multigaps using barrier arrangements
4^e ISH . ATHENS- GREECE, 5-9 September 1983 .
- (29) - K. NOWARI
" isoliers toffschirme parallel Zur Elektrodenachs
in inhomogenen Funkenstrecken . "
Dissertation, TH Aachen , 1975
- (30) - J. Kedzia : E . Brzostek et J. Skubis :
" Durchschgspannung von luftisolier ungenouit
Isolier stoff barrier en . "
Elektric 32, H12 , *978, p. 667 .
- (31) - V.S. Komalkov et A.M. Lifchits :
" influence of barrier on the development of
the electric discharge in long gaps " .
IZV Akad . Nauk URSS odtel T.N, nr 10 , Moscou
1950 , p. 1463 .
- (32) - H. Norinder et Salka
" Screens in long discharge gaps "
Arkiv för Fysik, BdG , nr 17, 1952,
p.151 .

.../...

(33) - Finster walder : " isolier schirm im spannungen unters-
chiedlicher Antiegszeit " .

Dissertation, U . Stuttgard , 1973 .

(34) - DARVENISA et B . Holcombe

The switching impulse strength of a long air gap
With a plastic sheet barrier "

Congrès Electrotechnique Mondial, Moscou 1977

Section 2 , rap . 104 .

(35) - Janusz L . JAKUBOWSKI et A. Boubakeur

"Rigidit  dielectrique des moyens interval-
les d'air dans les systèmes isolants pointe-
plan avec barrières "

15 fevrier , 1980 .

(36) - B. Hutzler et P. Sireau

Some properties of air gaps containing
additional floating electrodes .

4th I.S.H , ATHENS- Greece, Septembre

1983 .

(37) - Marx , E . Deutsches Reichspatent no . 455933 .

(38)- C.E.I 6064 Guide d'application des dispositifs de mesure

(39) - Technique de l'ingenieur D 135 "MESURE DES TRES HAUTE TENSIO
TENSIONS"

(40)- W.J.DIXON et A.M.MOOD "A Method for obtaining and analysing
sensitivity data"

Journal of A.S.A., Vol 43 , 1948, p109.

